

1^{AS} JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL

16 a 26 Novembro 1976



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

PAREDES DE BETÃO — Sua integração na Construção Industrializada

por LUIS RODRIGUES DOS SANTOS — *Engenheiro Civil — Estagiário para Especialista do L.N.E.C.*

SUMÁRIO

PAREDES DE BETÃO, SUA INTEGRAÇÃO NA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. SÍNTESE COMPARATIVA DAS VÁRIAS ALTERNATIVAS DE CONSTRUÇÃO DE PAREDES DE BETÃO. ANÁLISE DOS PRINCIPAIS ASPECTOS CONSTRUTIVOS DA TECNOLOGIA DAS COFRAGENS TÚNEL. A PAREDE DE BETÃO COMO ELEMENTO INTEGRANTE DO EDIFÍCIO DE ESTRUTURA LAMINAR E SUA PARTICIPAÇÃO NA ESTANQUIDADE DA ENVOLVENTE E NO CONFORTO TÉRMICO E ACÚSTICO.

WALLS OF REINFORCED CONCRETE FROM BUILDINGS

SUMMARY

WALLS IN CONCRETE, IT'S INTEGRATION IN THE INDUSTRIALISED CONSTRUCTION. COMPARATIVE SYNTHESIS OF THE DIFFERENT ALTERNATIVES OF CONSTRUCTION OF WALLS IN CONCRETE. ANALYSIS OF THE MAIN BUILDING ASPECTS OF THE TECHNOLOGY OF THE TUNNEL MOULDS. THE WALL IN CONCRETE AS THE MAIN ELEMENT OF THE BUILDING OF LAMINATED STRUCTURE AND IT'S PARTICIPATION IN THE WATER — TIGHTNESS AND IN THE THERMIC AND ACOUSTIC COMFORT

MURS EN BÉTON ARMÉ DE BÂTIMENTS

SOMMAIRE

MURS EN BÉTON, SON INTÉGRATION DANS LA CONSTRUCTION INDUSTRIALISÉE. SYNTHÈSE COMPARATIVE DES DIFFÉRENTES ALTERNATIVES DE CONSTRUCTION DE MURS EN BÉTON. ANALYSE DES PRINCIPAUX ASPECTS CONSTRUCTIFS DE LA TECHNOLOGIE DES COFFRAGES TUNNEL. LE MUR EN BÉTON COMME ÉLÉMENT INTÉGRANT DU BÂTIMENT DE STRUCTURE LAMINAIRE ET SA PARTICIPATION DANS L'ÉTANCHÉITÉ DE L'ENVELOPPANTE ET DANS LE CONFORT TERMIQUE ET ACOUSTIQUE.

1 — INTRODUÇÃO

A necessidade constante de fazer face à carência habitacional a curto ou longo prazo, tem sido o principal incentivo para o desenvolvimento dos métodos e processos construtivos. Perante esta solicitação, a indústria responde com novos métodos de construção ou com o aperfeiçoamento e racionalização dos existentes, procurando a "industrialização da construção".

É neste evolução, intimamente relacionada com a alteração do conceito de habitação, que surge o edifício de estrutura laminar, cujas características de modelação permitem uma certa uniformização nos equipamentos de construção, conduzindo a um encurtamento de prazos e a um aumento da capacidade de resposta ao mercado da habitação.

Em relação ao nosso país, pode-se dizer que estão sendo dados os primeiros passos para o desenvolvimento da estrutura laminar de betão, dispondo-se já de alguns empreendimentos dispersos por vários pontos do país. Neste tipo de construção, em que a estrutura é envolvente e divisória, importa salientar a necessidade de uma coordenação apurada de todas as fases do processo de projecto.

É sobre a tecnologia de construção de paredes de betão armado, quer do ponto de vista estrutural quer do ponto de vista de conforto, que nos propomos apresentar alguns apontamentos que se espera contribuam para cimentar e divulgar a experiência já existente.

Observa-se, no entanto, que não é do âmbito deste texto um tratamento exaustivo de todos os temas focados, pois que, mais não se pretende do que dar ao leitor um conhecimento genérico da problemática envolvida, permitindo-lhe no entanto desenvolver qualquer dos assuntos tratados através da bibliografia referida no texto.

2 — TIPOS DE COFRAGENS

O trabalho de cofragem, por si só, é sem dúvida o factor mais importante na construção laminar de edifícios pois que, além de ser através dele que se consegue a forma final da estrutura e o tipo de acabamento pretendido, ele apresenta uma elevada incidência no custo global da estrutura.

As parcelas que compõem o custo final do trabalho de cofragem são muito diversificadas, incluindo plano de trabalhos, especificações de obra, materiais utilizados, mão de obra para a construção dos moldes, mão de obra para colocação e remoção, métodos de transporte, encargos de manutenção, dispositivos de segurança, etc... Recorde-se ainda que paralelamente aos aspectos económicos, o tipo de cofragem pode influir na presa e endurecimento do betão, e deve permitir uma betonagem fácil, bem como um conveniente posicionamento de armaduras ou de qualquer outro equipamento, não esquecendo a necessidade de um bom ajustamento dos moldes entre si.

Esta multiplicidade de funções da cofragem, foi condicionante na sua evolução que, partindo de um aperfeiçoamento dos moldes tradicionais de madeira, chegou até ao aparecimento dos moldes metálicas que, apesar de mais caros, permitem um maior número de aplicações associados a uma menor necessidade de uma mão de obra para montagem.

No desenvolvimento deste processo surgem os painéis de cofragem, prumos e vigas metálicas, mesas de cofragens túnel e cofragens deslizantes. Assim, dentro dos métodos que resultam do aperfeiçoamento e evolução da construção tradicional, podem-se distinguir vários grupos:

2.1. — Cofragem tradicional

Construída em obra, é constituída por um tabuado de madeira reforçado por uma estrutura do mesmo material. Este tipo de molde resulta mais económico, sempre que não se prevê a sua reutilização ou a geometria da parede não permite o emprego de cofragens de outro material em termos rentáveis.

2.2 — Painéis de parede

A constituição de moldes para paredes de betão por uma associação de painéis de cofragem, resulta da procura de uma economia de tempo e mão de obra. o objectivo é de suprimir o tempo de fabrico e reduzir ao mínimo a duração da fase de montagem. Por outro lado, pretende-se também que os materiais e a

estrutura dos moldes sejam tais que, possibilitem várias utilizações com pequenos gastos de manutenção, sem requererem pessoal especializado.

Embora a evolução das cofragens para paredes, tenha dado origem a diversos tipos de painéis, pode afirmar-se que todas elas resultam do desenvolvimento do painel tipo esquematizado na fig. 1.

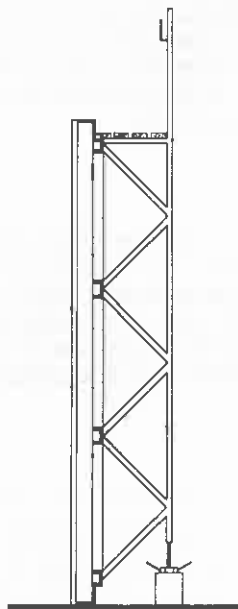


Fig. 1 — Painel de cofragem

Um painel de cofragem, é constituído por uma superfície cofrante e por uma estrutura que a suporta e lhe dá rigidez, transferindo para os elementos que assegurem a estabilidade do painel, os esforços devidos ao betão fresco. Na estrutura de suporte podem-se distinguir elementos primários e elementos secundários.

Os elementos primários são geralmente verticais, pouco espaçados — 25 a 35 cm — e estão em contacto directo com a superfície cofrante, que é fixa por pregos ou parafusos — madeira e contraplacado — ou ainda por soldadura no caso de ser metálica. Seguem-se os elementos secundários, normalmente horizontais, que são em menor número e dão a rigidez ao conjunto. Os dispositivos que permitem assegurar a verticalidade, são na maioria dos casos constituídos por uma estrutura metálica triangular conforme os esquemas da (fig. 2).

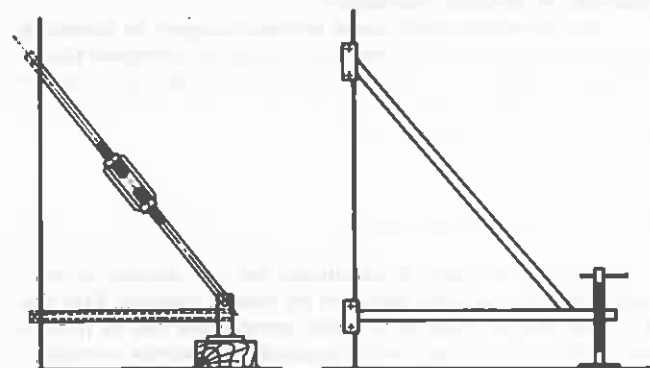


Fig. 2

A opção por determinado tipo de painel resultará sempre de uma solução de compromisso entre as disponibilidades da empresa e a solução considerada "tecnicamente boa". Assim, a escolha dependerá da dimensão da empresa, dos tipos de obra a realizar e do número de utilizações previsíveis numa programação a curto ou a médio prazo.

Entre as soluções consideradas industrializadas, podem-se

distinguir três grupos de painéis utilizados na moldagem de paredes de betão.

- painéis desmontáveis
- painéis modulares
- painéis monolíticos
- painéis desmontáveis

O princípio básico é o de substituir a estrutura de suporte clássica de madeira por elementos metálicos de comercialização corrente, que permitem a substituição da superfície cofrante quando necessário.

De referir que, nestes painéis a estrutura secundária é frequentemente constituída por vigas extensíveis verticais — permitindo a obtenção de diversas alturas do painel — sendo a estrutura primária formada por elementos horizontais de madeira.

Para superfície cofrante opta-se pelo solho ou contraplacado de cofragem conforme o tipo de paramento que se pretende e o número de utilizações previsto, embora este número seja também grandemente condicionado pela rigidez da estrutura de suporte.

Em síntese pode-se considerar que este tipo de equipamento será indicado para empresas de pequena dimensão, com várias frentes de trabalho resultando a sua escolha de um compromisso entre a versatilidade dos moldes em oposição ao tempo dispendido na colocação, desmontagem, armazenamento e constituição de nova geometria.

De referir ainda que os sistemas comercializados apresentam uma vasta gama de acessórios, incluindo espaçadores, peças de canto e de topo, permitindo betonar grandes superfícies numa só operação. Nestes painéis, (fig. 3 e 4), cuja altura corrente varia de 2 a 3 m, está prevista a sua interligação quer lateral quer vertical, tomando-os aptos à moldagem de obras tais como: muros de suporte, reservatórios, paredes de edifício etc...

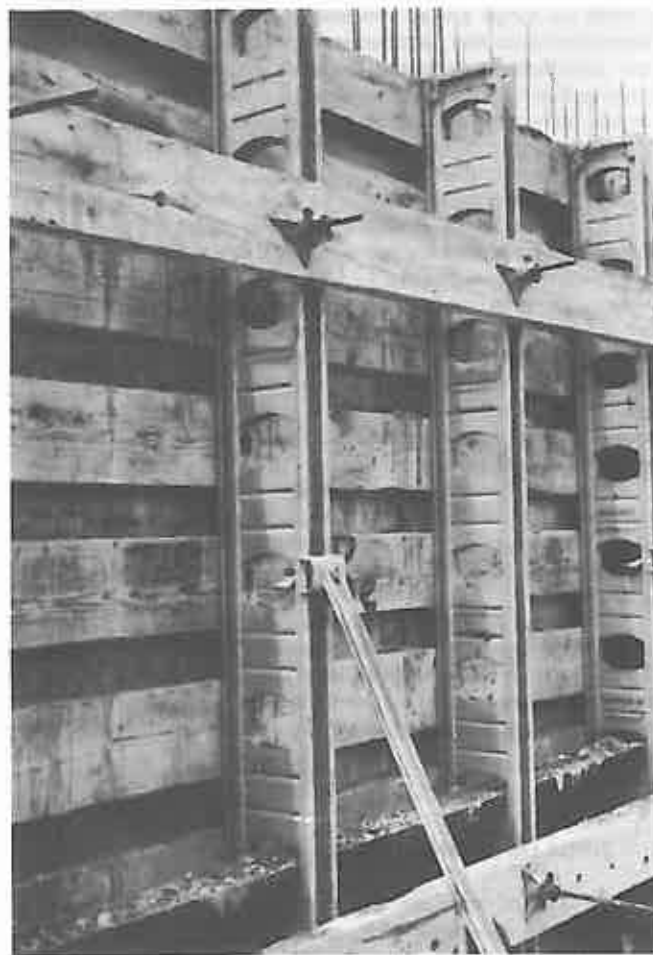


Fig. 3 — Painéis Desmoldáveis

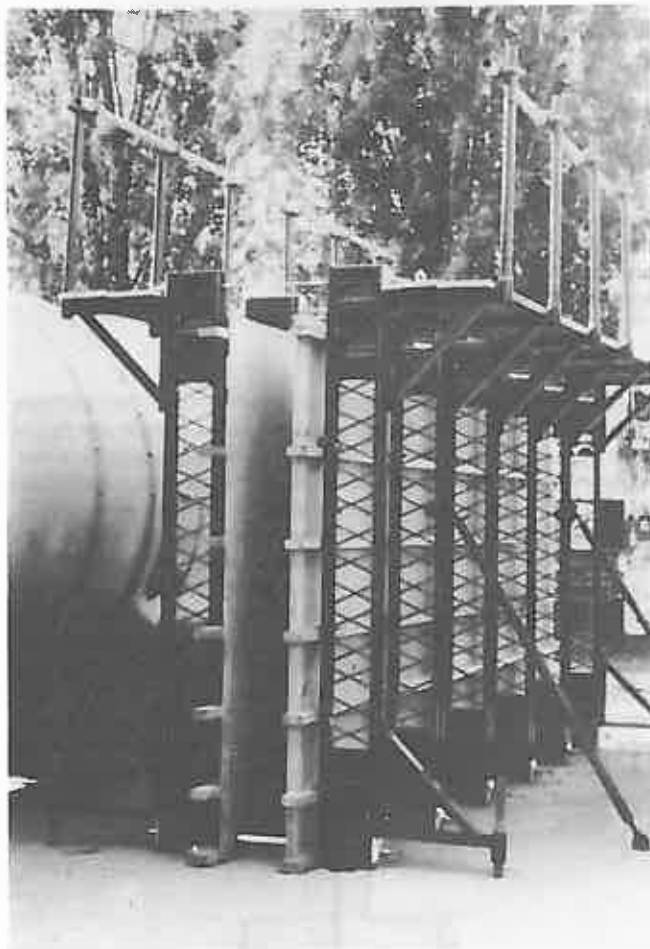


Fig. 4 — Painéis Desmoldáveis

— painéis modulares.

Neste grupo pretende-se integrar os painéis comercializados em medidas normalizadas que, transportados separadamente para a obra, permitem com a sua associação múltiplas aplicações em obras correntes (fig. 5).

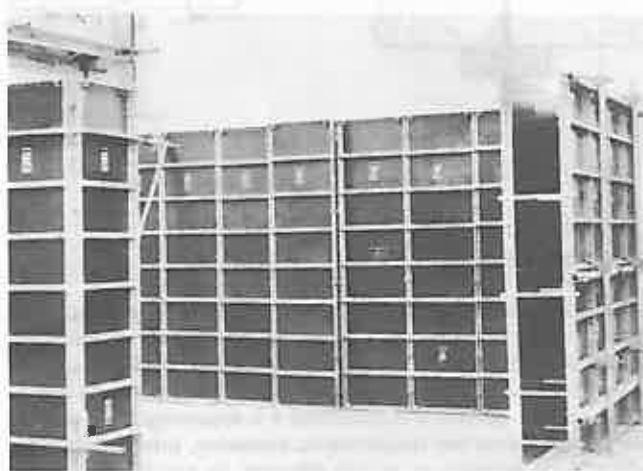


Fig. 5 — Painéis Modulares

A sua particularidade é de apresentarem uma estrutura de suporte aglutinada num único plano e aplicada directamente à superfície cofrante conferindo-lhe a necessária rigidez. É frequente verificar-se numa cofragem para parede de betão cons-

truída com estes painéis, um maior número de separadores uma vez que, assim se reduzem os esforços induzidos na estrutura do painel pelo betão fresco.

A moldagem de uma parede é conseguida pela junção de diversos painéis solidarizados entre si, podendo optar-se por uma superfície cofrante de contraplacado ou metálica. A ligeireza destes painéis permite um transporte fácil — na maioria dos casos manual — embora os tempos de colocação não sejam desprezáveis.

De referir que não é fácil evitar que o paramento acuse as juntas entre painéis, sendo frequente verificar-se a necessidade de um tratamento posterior da superfície.

— painéis monolíticos.

Trata-se de painéis com grandes dimensões, inteiramente metálicos, em que a superfície cofrante e a estrutura de suporte formam um conjunto bastante rígido (fig. 6).

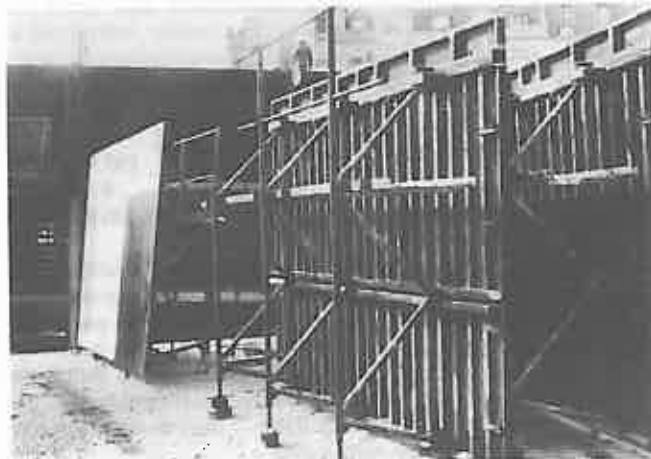


Fig. 6 — Painéis Monolíticos

As vantagens da sua utilização, são basicamente, a possibilidade de se obterem paramentos bastante perfeitos, aptos para receberem pintura directa com mínimo de tratamento da superfície. Por outro lado, com este equipamento atingem-se rendimentos de trabalho bastante elevados, conforme se conclui da leitura dos valores referidos por Cervenka (2).

— Mão de obra necessária para a montagem de cofragens:

madeira	1,30 horas/m ²
madeira tratada	0,80 a 1,0 horas/m ²
aço	0,44 a 0,85 horas/m ²

Embora estes painéis constituam um equipamento de grande rentabilidade, o seu elevado custo e a dificuldade, senão impossibilidade, de lhes alterar as dimensões, fazem com que a sua amortização tenha de ser feita num único empreendimento pelo que a sua utilização será condicionada a grandes empresas, que possuam um volume de trabalhos que lhes assegure sucessivas aplicações do equipamento.

2.2.2. — Superfícies cofrantes

Fundamentalmente o aspecto final de um paramento de betão, depende do material utilizado na respectiva cofragem. Assim, a rigidez, estanqueidade, número de juntas e a natureza da superfície do molde, condicionam os trabalhos finais de acabamento do paramento, antes da aplicação do revestimento final.

Considerando que o recurso à madeira-solho de cofragem — está largamente desenvolvido entre nós e que existe uma vasta experiência de utilização, em comparação com outras alternativas, apenas se irão focar alguns aspectos referentes a estas.

contraplacado de cofragem

Trata-se de um material constituído por diversas camadas de madeira coladas entre si, de modo a que a orientação das fibras de duas camadas sucessivas seja perpendicular. Estas camadas, são na maioria dos casos em número ímpar, e apresentam espessuras entre 1 a 3 mm. Os paramentos são formados por um revestimento protector constituído por um papel impregnado de resinas especiais, aplicado a quente por prensagem.

Em síntese, um contraplacado é essencialmente caracterizado pela qualidade da sua colagem, pela sua composição e pelo tipo de revestimento.

Quando da montagem, importa conseguir uma junção perfeita entre painéis, para se obter uma superfície sem as juntas acentuadas. Diversos sistemas têm sido propostos, no entanto, parece obter-se bons resultados recorrendo a bandas de tela colada, ou ao preenchimento da junta com bandas de poliuretano ou com mastic.

A espessura do contraplacado é condicionada pela rigidez da estrutura de suporte e pela altura de betão a moldar. Indicam-se a seguir alguns valores característicos de dimensionamento, considerando que as fibras das placas exteriores são orientadas segundo o vão.

Flexão.....	130 Kgf/cm ²
Corte.....	6 kgf/cm ²
Módulo de Elasticidade.....	63.000 kgf/cm ²

Embora alguns autores refiram ser possível 50 a 100 utilizações, este número é difícil de fixar, pois que, além de depender da qualidade do contraplacado, ela é grandemente influenciado pelos cuidados de utilização. Assim, uma danificação do filme protector implica uma deteriorização rápida da chapa devido aos efeitos da humidade. Por outro lado, deve-se ter em conta o abaixamento do módulo de elasticidade — 1,5 a 3 vezes — devido aos efeitos da humidade após sucessivas aplicações.

— Aglomerados de partículas de madeira

Os aglomerados de fibras ou partículas de madeira, são normalmente fabricados de madeira de pinho com colas resistentes à acção da humidade, podendo também apresentar a superfície impermeabilizada com filme aplicado a quente. As espessuras correntes vão dos 4 aos 40 mm, sendo as tensões de dimensionamento, mais baixas que o contraplacado.

Flexão.....	30 kgf/cm ²
Corte.....	4 kgf/cm ²
Módulo de Elasticidade.....	20.000 kgf/cm ²

Embora estes valores sejam mais baixos que os do contraplacado, salienta-se que eles se mantêm em todas as direcções do plano da chapa. Refere-se ainda que, por vezes, este tipo de material é utilizado na moldagem de superfícies curvas.

— Superfície metálica

O emprego de chapas de aço — 3 a 6 mm — em painéis monolíticos, é generalizado e permite a obtenção de paramentos mais perfeitos, quer um menor número de juntas, quer por ser mais fácil garantir uma ligação eficaz entre painéis sucessivos.

Embora o número de utilizações de um painel com superfície metálica seja bastante condicionado pela rigidez da estrutura de suporte, e pelos cuidados havidos na sua utilização, é vulgar apontarem-se números de ordem das 800 a 1000 aplicações em painéis rígidos, ultrapassando em larga escala as possibilidades do contraplacado.

— Outros materiais

Para paredes cujo paramento não é plano e cujo número de moldagens é suficientemente elevado recorre-se por vezes a moldes rígidos de PVC ou de fibra de vidro. É o caso do fabrico de painéis de fachada préfabricados.

Outra solução é o recurso a mantas de espuma de material plástico que se fixam à superfície do molde para se obterem parâmetros com efeitos arquitectónicos.

2.2.3 — Utilização em obra

Após se ter descrito a constituição dos diversos painéis utilizados na cofragem de paredes, importa salientar alguns aspectos acerca da sua utilização em obra. Neste domínio os dois problemas principais serão talvez, o posicionamento dos moldes e a incorporação de armaduras.

— posicionamento

Na construção de uma parede de grande altura — em edifícios corresponderá ao caso da betonagem de uma parede por troços definidos pelo nível dos pavimentos — importa garantir a verticalidade e evitar a acumulação dos erros da implantação dos moldes. Para isso deve-se materializar a posição dos moldes, tomando como referência o primeiro troço betonado, recorrendo ao fio do prumo ou inclusivé aparelhos topográficos.

Um outro processo mais expedito consiste em deixar betonado a nascente da parte superior da parede — *fig 7a* —, o que além de servir de referência ao novo posicionamento, melhora consideravelmente a estanqueidade da junta entre o painel e o pavimento, dificultando a fuga da leitada do betão fresco e o consequente aparecimento de "chochos". Como alternativa a este método, pode-se recorrer a apoios pontuais a servir de referência ao novo posicionamento, conforme o esquema da *fig 7b*.

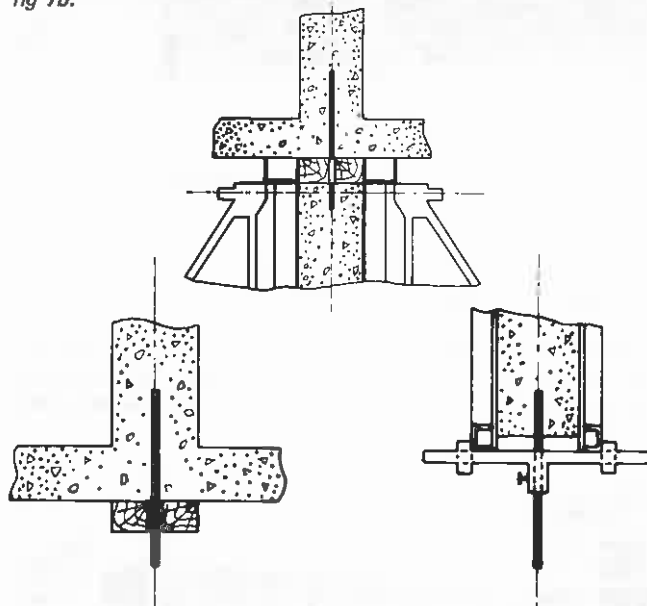


Fig. 7 — Tipos de juntas atendendo à forma

— Incorporação de armaduras.

O posicionamento de armaduras em paredes de betão armado, apresenta particular importância quando se praticam pequenas espessuras. Assim: um recobrimento diminuto aumenta os riscos de corrosão, bem como afecta a aderência do aço ao betão, indo prejudicar a durabilidade e a segurança da estrutura. Do mesmo modo um recobrimento excessivo, provoca uma distribuição das tensões na secção diferente da que foi prevista no cálculo podendo comprometer a capacidade resistente da parede.

A prática recomendável será a prefabricação das malhas de armaduras no estaleiro da obra, após o que se procede à montagem do conjunto no local. A continuidade de armaduras verticais poderá ser conseguida por um dos processos esquematizados na *fig 8*.

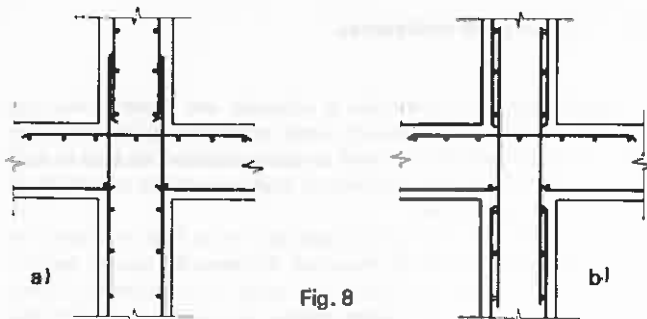


Fig. 8

Saliente-se que o esquema indicado em 8b, facilita a prefabricação das armaduras das lajes, pois que a montagem destas não é dificultada pelas armaduras salientes da parede.

A separação entre armaduras e moldes, para realizar o recobrimento previsto no projecto, é correntemente obtida por separadores de argamassa de cimento que se fabricam na própria obra e incorporam um arame para fixação às armaduras. A superfície de contacto com a cofragem, pode ainda ser reduzida, recorrendo a uma forma semi-esférica ou tronco-cónica.

De referir também a utilização de separadores de plástico do tipo circular. Saliente-se que, embora estes elementos sejam bastante práticos quando se trabalha, por exemplo numa fábrica de prefabricados de betão, a sua utilização em obra pode não resultar uma vez que, cada separador só se adapta a um diâmetro de varão e, ou se dispõe de uma caixa onde os separadores estejam arrumados por diâmetros ou a sua escolha na própria altura poderá ser morosa prejudicando o ritmo dos trabalhos.

Os separadores comercializados podem ser de nylon, PVC, ou poliestireno de alta densidade, materiais estes que, além de apresentarem um coeficiente de dilatação térmica cerca de 10 vezes superior ao do betão, perdem a rigidez a partir dos 70 a 80° C e fundem cerca dos 100 a 110° C. Por estas razões a sua utilização, quando se procedem tratamentos térmicos do betão, deverá ser acutelada, pois que poderá dar origem ao aparecimento de manchas na superfície, ou à formação de vazios durante o arrefecimento, facilitando a corrosão das armaduras.

2.3 — Cofragem Túnel

2.3.1 — Características dos moldes

Este equipamento pode ser considerado como o resultado da aglutinação da utilização conjunta de painéis de parede e mesas de cofragem, na construção de edifícios de estrutura laminar. Trata-se de um sistema de cofragens metálicas que se destina à moldagem simultânea de paredes e lajes. O seu elevado grau de aperfeiçoamento, torna-o um sistema com grande capacidade de produção, pois que, recorrendo à mão de obra pouco especializada, permite a eliminação de tempos mortos, associados a um bom ritmo de rotação dos moldes.

O modo como é utilizado na construção de edifícios de estrutura laminar, permite distinguir dois tipos de construção: a cofragem túnel longitudinal e a cofragem túnel transversal.

Embora os princípios básicos em que assentam as Tecnologias dos dois processos sejam os mesmos, o primeiro deles, distingue-se por definir uma estrutura portante constituída por paredes dispostas segundo o eixo longitudinal do edifício, podendo definir simultaneamente as fachadas. Ainda que a este processo esteja associado um rendimento da ordem dos 200 m²/dia, com uma equipa de dez homens — é habitual imputar-lhe o defeito de pouca maleabilidade em comparação com o recurso à cofragem túnel transversal.

A cofragem túnel transversal, sem dúvida de utilização mais generalizada, define as paredes transversais e as empenas, constituindo uma estrutura monolítica com grande capacidade resistente, nomeadamente a acções horizontais (*). O contraventamento do edifício, é feito por paredes perpendiculares às anteriores, moldados com painéis que se associam aos túneis. A construção das fachadas, só pode ser feita após a retirada dos moldes, sendo habitual, soluções integrando painéis prefabricados de betão ou, eventualmente, painéis de prefabricação leve.

(*) Com este método, atingem-se valores da ordem dos 250 m² de cofragem por dia, com uma equipa de 10 homens.

Estes moldes podem ser constituídos por dois meios túneis, ou por um túnel completo com comprimentos usuais à volta dos 2 m, que se ligam de topo formando os comprimentos desejados.

É vulgar atribuir maior versatilidade aos sistemas que recorrem à associação de dois meios túneis, e considerar como factor preferencial o facto destes sistemas poderem ser utilizados com equipamento de elevação de menor capacidade (fig. 9).

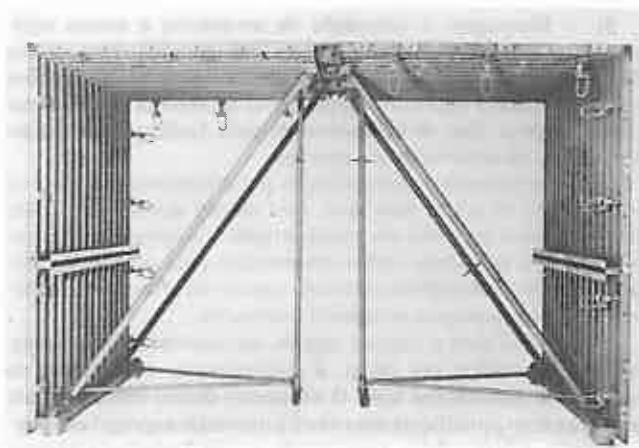


Fig. 9 — Cofragem túnel

Os pesos praticados, são da ordem dos 60 a 70 Kg/m² de cofragem — em madeira ou contraplacado, os valores são da ordem dos 25 a 45 Kg/m² — conduzindo a meios túneis que pesam cerca de 700 Kg.

Os vãos praticados, são correntemente utilizados em edifícios de habitação, podendo ser aumentados pela interposição entre os dois meios túneis de um painel de cofragem. Refere-se no entanto que, documentos de homologação — agréments — relativos a estas cofragens, e emitidos pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, de Paris, restringem, por razões de rigidez dos moldes, os vãos a valores máximos da ordem dos 5,5 a 6 m. Os mesmos documentos limitam também, por razões construtivas, as espessuras das paredes a um mínimo de 12 cm.

2.3.2 — Utilização em obra

Conforme já se referiu, a maior vantagem da utilização de cofragens túnel, reside na ausência de tempos mortos e na grande rapidez de rotação dos moldes; não esquecendo que este equipamento poderá garantir cerca de 800 a 1000 aplicações admitindo que se verifica um manuseamento cuidado e se procede a reparações periódicas.

Desde que se trabalhe com uma equipa experiente neste tipo de equipamento, atingem-se ritmos de rotação de 48 ou 24 horas, conduzindo a bons rendimentos de trabalho e a uma elevada capacidade de produção.

Saliente-se que quando uma empresa recorre pela primeira vez a estes moldes, dificilmente atinge, no início da obra, os ritmos atrás indicados. Eles só se atingem, quando o pessoal estiver familiarizado com o processo construtivo, e encare um ciclo de rotação dos moldes, como um conjunto de operações elementares e repetitivas, de modo a possibilitar uma rotina de produção.

Indica-se a seguir, uma síntese dos trabalhos que compõem cada uma das fases de um ciclo de rotação.

a) — Posicionamento e solidarização dos moldes entre si. Esta é uma fase em que se evidenciam as diferenças entre os meios túneis e os túneis completos. Enquanto que a verticalidade dos moldes é mais fácil de obter com os túneis completos, o meio túnel oferece a possibilidade de poder ser manejado com equipamento de elevação menos potente.

A duração desta operação, pode ser bastante encurtada se se deslocar simultaneamente dois ou mais túneis ou meios túneis, ligados de topo, recorrendo a uma viga metálica que se fixe aos moldes e através da qual se faz a ligação ao cabo da grua no

ponto correspondente ao centro de gravidade do conjunto.

Esta fase requer uma técnica apurada, pois que, qualquer erro de implantação ou verticalidade, reflete-se na geometria da estrutura. Para facilitar a colocação dos moldes, existe entre os acessórios das cofragens, umas régua metálicas que permitem a moldagem simultânea de um pequeno troço da parede superior, conforme indicado na (fig. 7a).

b) — Montagem e colocação de armaduras e outros equipamentos que eventualmente fiquem incorporados como, tubos de electricidade, aros para definição de aberturas, etc.... Embora esta fase apareça aqui como seguimento da anterior, faz-se notar que na prática elas se interpenetram para facilitar a colocação das malhas de armaduras das paredes.

É prática corrente a prefabricação das armaduras das paredes no estaleiro de obra, pelo que, elas devem apresentar rigidez suficiente para poderem ser transportadas. Se necessário, pode-se recorrer a pequenos varões transversais para garantir o afastamento das duas malhas paralelas, e ainda recorrer a varões dispostos na diagonal para solidarizar o conjunto.

De acordo com o mesmo espírito de acelerar as operações, também se verifica, por vezes, a prefabricação, no estaleiro da obra, das armaduras das lajes. O transporte destas malhas, é feito pela grua como auxílio de uma estrutura metálica apropriada. Faz-se notar que esta prática corresponde a uma Tecnologia bastante avançada, que só se atinge com pessoal experiente, sendo mais corrente verificar-se uma solução intermédia de compromisso, em que se procura racionalizar a construção das malhas das lajes sobre os moldes.

c) — Betonagem dos moldes. Pode-se usar o betão bombado ou recorrer ao transporte por balde, que embora mais demorado conduz a um aproveitamento do equipamento de elevação, se eventualmente não estiver mobilizado em apoio ao estaleiro da obra.

A colocação do betão nas paredes, deve ser feita sem interrupção em todo o desenvolvimento das cofragens, e em toda a altura das paredes, principalmente no caso em que elas participem na estanquidade da envolvente. A altura de queda deve ser condicionada a 3 m para paredes com espessura inferior a 20 cm (10). Refere-se ainda que o recurso à vibração externa deve ser condicionado a cofragens rígidas, susceptíveis de transmitir ao betão uma vibração homogênea.

d) — Segue-se a imobilização dos moldes até o betão alcançar a resistência pretendida na fase de descofragem. O encurtamento dos prazos de descofragem é conseguido por tratamentos térmicos do betão, aquecendo o ar contido no espaço definido pelos moldes, para o que se envolve o conjunto por lonas nas aberturas das células, e protegendo a superfície das lajes com almofadas de lona para minorar as perdas térmicas.

Há quem conteste a validade dos tratamentos térmicos do betão num clima como o nosso. Esta atitude parece muito optimista visto que, ainda que se trate de um clima temperado, não se deve esquecer que as amplitudes térmicas diárias, são consideráveis e que, por razões de rentabilidade dos trabalhos, importa que o período de imobilização dos moldes corresponda ao período da noite. Assim, será frequente verificarem-se temperaturas abaixo dos 10°C que não são convenientes a uma aceleração do endurecimento do betão que se pretende atingir.

e) — A fase final corresponde à retirada dos moldes e eventual colocação de prumos metálicos de escoramento. Após a descofragem, os moldes são retirados para a plataforma de trabalho onde se procede à limpeza dos mesmos e à aplicação do óleo de descofragem, sendo depois transportados com o auxílio da grua para a nova frente de trabalhos. De referir que a escolha do óleo descofrante é importante pois para reduzir o tempo correspondente à sua utilização convém escolher um óleo que possa ser aplicado à pistola.

2.4. — Cofragens deslizantes

Neste tipo de construção é utilizado um molde misto de madeira e metal constituindo uma estrutura rígida com uma plataforma de trabalho ao nível da parte superior, da qual se suspendem andaimes que permitem o acabamento da superfície de betão à saída do molde.

Esta cofragem, cuja altura varia de 1 m a 1,80 m desloca-se continuamente através de macacos de elevação que se apoiam em guias de ferro embebido no betão já endurecido. Estes macacos, atingem velocidades médias da ordem dos 3,5 m/dia sendo normalmente suficiente capacidades da ordem das 3 ton.

Este processo construtivo, cuja aplicação não se considera rentável para alturas inferiores a 12 m, foi desenvolvido fundamentalmente para a construção de chaminés, silos, pilares de pontes elevadas, etc... No entanto, vem sendo aplicado também em edifícios, particularmente na construção de núcleos de rigidez.

Salienta-se a necessidade de organização do estaleiro que assegure não só a colocação contínua de betão, mas também um controle efectivo quer de qualidades quer de resistência do mesmo à saída do molde.

A colocação do betão deve ser feita em camadas de 10 a 20 cm antes de se iniciar a presa da camada inferior, que poderá ter início 1 a 2 horas após a sua compactação, para evitar juntas de trabalho. Aconselha-se ainda não encher a cofragem até ao topo de modo a evitar a rotura dos bordos superiores com a subida da cofragem.

A determinação da velocidade de subida é um factor essencial quer para a organização do estaleiro quer para a eficácia do sistema.

A velocidade mínima é determinada pela condição do betão não se colar ao molde, o que se consegue assegurar com duas elevações por hora quando a temperatura é inferior a 15°C e com três elevações por hora para temperaturas superiores.

Pretende-se que o betão termine a sua presa, mantendo a sua forma sem o auxílio do molde no terço inferior do mesmo. Assim a velocidade máxima é condicionada pela que corresponde ao betão destacar-se do molde a 10 cm do bordo inferior, e é dada por

$$V = \frac{h-a-10}{T} \text{ cm/h}$$

h — altura do molde em cm.

a — altura de camada de betão colocado em cm.

T — tempo em horas para o betão atingir a resistência de compressão de 1,5 a 2,0 Kgf/cm².

O controle da resistência do betão saído do molde apresenta aqui um papel importante não só para garantir a segurança da estrutura mas também para impedir a encurvadura das barras de apoio. Na referência bibliográfica (3) recomenda-se a realização de duas séries de 3 cubos e uma série de 3 prismas por cada metro de altura de parede.

Se se considerar 3 metros de parede é-se conduzido a 6 séries de cubos e 3 séries de prismas a ensaiar como se segue:

— 1.ª série, conservação de acordo com o regulamento para ensaio de compressão aos 28 dias.

— 2.ª série, mantida nas condições da estrutura e é ensaiada após a 1.ª série para testemunho.

— 3.ª série, mantida nas condições da estrutura e ensaiada após dois dias ou, no caso de tempo frio, a saída de protecção térmica, para verificar a resistência mínima à compressão exigida de 50 Kgf/cm².

— 4.ª série, mantida nas condições da estrutura e ensaiada à compressão aos sete dias.

— 5.ª e 6.ª séries, mantidas nas condições da estrutura e ensaiadas sucessivamente aos 1/2, 1,2,5 e 15 dias para estabelecer a curva de endurecimento.

Os prismas serão ensaiados nas condições das 3.ª, 4.ª e 5.ª séries.

3 — TECNOLOGIA DE FABRICO

3.1 — Composição do betão

O estudo da composição do betão tem por objectivo a obtenção da máxima compactidade associada a uma trabalhabilidade compatível com a geometria das peças a betonar e com os meios de compactação disponíveis.

O Regulamento de Betões e Ligantes Hidráulicos define a composição do betão pela dosagem de cimento, máxima dimensão do inerte, relação água/cimento e trabalhabilidade. Deste modo, deixa-se ao cuidado do fabricante, a escolha da granulometria que conduza ao máximo de compactidade.

Para o estudo das composições granulométricas, o processo mais desenvolvido entre nós é o das curvas de referência. Das várias curvas existentes, destaca-se a de Faury, não só pela sua simplicidade de aplicação como também pelos parâmetros fundamentais que toma em consideração. A utilização destas curvas, permite, após determinação experimental da granulometria de cada um dos inertes, a obtenção da composição do betão no gabinete, não havendo necessidade de se recorrer a mais experiências a não ser uma eventual amassadura para corrigir a dosagem de água.

Em paredes de betão armado, moldadas em obra, é frequente verificarem-se pequenas espessuras associadas a grandes densidades de armaduras. Esta ocorrência impõe limitações à máxima dimensão do inerte, tendo em conta a sua influência no efeito de parede e na entrada do betão nos moldes sem segregação.

Se se considerar o caso de uma parede com 13 cm de espessura, a verificação do recomendado no Art.º 17.º do RBLH. conduz à limitação da máxima dimensão do inerte a 2,5 cm. Salienta-se assim, a necessidade de se trabalhar com inertes de pequena dimensão, conduzindo à adopção de betões ricos em elementos finos cujo estudo de composição deve ser cuidadoso, tendo em vista os níveis de resistência pretendidos.

Por outro lado, as cofragens metálicas comercializadas, quer em painéis quer em túnel não apresentam aberturas laterais que facilitem o processo de compactação. Assim, é recomendada a utilização de betões de consistência mole — abaixamento do cone de Abraams de B a 16 cm — de modo a tomar possíveis processos de compactação menos potentes.

Refere-se também que, embora seja pouco frequente a utilização de betão bombado em edifícios de estrutura laminar devido à procura de um bom aproveitamento do equipamento de elevação, é costume avaliar a qualidade do betão para o enchimento das paredes pela maior ou menor facilidade que ele oferece à bombagem.

3.2 — Betonagem

Segundo a cadeia de fabrico, a colocação e compactação são duas operações que surgem após a amassadura e transporte. Na colocação importa evitar a segregação, e preparar o betão em camadas que possibilitem uma compactação eficaz. A compactação tem por objectivo aumentar a compactidade de massa provocando a saída do ar retido no interior, facilitando o arranjo das partículas, através de uma diminuição do atrito interno entre elas.

Quando se betonam paredes, a visibilidade é limitada a 1 m ou 1,5 m da parte superior do molde, o que dificulta a betonagem. Por esta razão, sempre que as cofragens utilizadas o permitam, é conveniente que uma das faces do molde seja constituída por painéis de 1 m a 1,5 m de altura que se colocam de acordo com a progressão do nível do betão. Uma outra técnica é prever a existência de aberturas, criteriosamente dispostas, através das quais se processam as operações referidas.

Refere-se ainda que com a utilização de cofragens metálicas, tais métodos não são viáveis, optando-se, conforme já se afirmou, por um betão que permita uma compactação menos potente.

Dos vários processos de compactação, a vibração interna, é sem dúvida o mais generalizado. As agulhas vibratórias transmitem directamente à massa de betão a energia de vibração e, por serem fáceis de manipular, permitem o acesso a pontos difíceis. O

processo vibratório impõe diferentes acelerações às partículas, rompendo instantaneamente o contacto entre elas. Assim, manifesta-se a acção da gravidade e obtém-se um arranjo de partículas numa posição de equilíbrio mais estável.

É também usual recorrer-se à vibração externa quando se utilizam moldes metálicos, nomeadamente as cofragens túnel.

Este tipo de vibração convém a secções delgadas e a zonas com tal densidade de armaduras que seriam difíceis de vibrar por outro modo. Usualmente as frequências variam de 3000 a 9000 rotações por minuto, devendo-se recorrer a altas frequências e baixas amplitudes em betões de granulometria fina.

O betão deve ser colocado em camadas de pequena altura, pois que o ar tem dificuldade em ser expulso através de grandes espessuras. É ainda aconselhável recorrer-se à vibração interna das camadas superiores para ajudar a saída do ar.

Sobre a localização de juntas de betonagem, pode-se afirmar que nunca deve ser feita uma junta em locais de elevadas tensões tangenciais, devendo para tal existir um plano de trabalhos. Quando se localiza uma junta na ligação laje-parede, é necessário que se garanta uma ligação eficaz das duas peças, utilizando, se necessário, armaduras capazes de absorverem as tensões de corte.

3.3.1 — Cura do betão na estrutura

A passagem da massa de betão ao estado sólido constitui uma reacção química exotérmica de hidratação onde se distinguem duas fases: presa e endurecimento. A primeira corresponde à passagem do estado fluido ao estado sólido e é caracterizada por um rápido aumento de viscosidade. O endurecimento identifica-se com o aumento de resistência com o tempo que, sendo muito rápido de início, parece que é indefinido.

Teoricamente, o processo de presa inicia-se logo que se faz a mistura do cimento com a água. Esta fase é grandemente influenciada pela temperatura. A 25°C pode durar 6 a 7 horas mas, a 50°C, estes valores reduzem-se a menos de metade.

Posteriormente à realização da presa, o betão continua a ganhar resistência segundo um processo contínuo que se desenvolve desde que não falte água para a realização das reacções de hidratação. Assim, denomina-se por cura do betão o conjunto de métodos utilizados na prática, para evitar a evaporação da água de amassadura.

Embora estes métodos estejam suficientemente divulgados apresenta-se em seguida uma síntese dos mais vulgares.

a) — Conservação dos moldes. Só é viável quando a sua paralização for possível, o que não acontece com a cofragem túnel por exemplo. Quando a cofragem é de madeira, esta deve-se manter húmida para evitar a abertura de fendas e a secagem através delas.

b) — Aspersão com água. Devem-se tomar precauções para evitar esforços de fadiga devidos a contracções e expansões sucessivas que podem originar fendilhação.

c) — Cobrir as superfícies com substâncias que retenham a água tais como: areia, terra, juta, etc..

d) — Cobrir as superfícies com substâncias impermeáveis como folhas de plástico.

e) — Utilização de membranas de cura. Estas membranas derivam de emulsões aquosas ou soluções de produtos resinosos ou parafínicos. Após a aplicação, que deve ser feita a partir do momento em que a superfície deixa de ter brilho, elas constituem uma película delgada que não deve ser incolor para se poderem observar sem dificuldade os locais de aplicação. Estas membranas, devem ainda poder-se retirar facilmente por meio de escovagem.

3.3.2. — Tratamentos térmicos do betão

Os métodos de cura anteriormente indicados, correspondem

aos tradicionalmente aplicados, em que o endurecimento apresenta uma evolução lenta. Na construção industrializada, nomeadamente na prefabricação de elementos de betão, importa acelerar o processo de presa e endurecimento para se conseguir um maior rendimento dos moldes ou a redução dos mesmos, para a mesma quantidade de elementos fabricados. O referido aceleramento pode ser conseguido por duas vias:

- Métodos de natureza química
- Métodos de natureza física.

Os primeiros, referem-se à utilização de cimentos especiais e ao emprego de aditivos aceleradores. Os últimos, correspondem aos tratamentos térmicos do betão e estão bastante desenvolvidos na indústria da prefabricação. Indica-se a seguir os principais processos a que se recorre na prefabricação para garantir a transmissão de valor à massa do betão.

- Aquecimento prévio dos materiais constituintes
- Imersão em água quente
- Cura de vapor à alta pressão
- Cura de vapor a baixa pressão
- Aquecimento eléctrico

Destes métodos, pode-se talvez afirmar que os mais aplicados são os que recorrem ao vapor de água, pois que, este é o melhor portador do conjunto "calor — humidade", elementos indispensáveis ao aceleramento da presa e endurecimento do betão.

O maior inconveniente dos tratamentos Térmicos do betão, é a perda de resistência final, quando comparada com a de uma cura normal, que pode atingir valores significativos se não se controlar a evolução da temperatura na massa do betão. Por esta razão, importa fazer algumas considerações acerca das causas primárias da perda de resistência.

Em princípio podem-se distinguir dois grupos de causas primárias: químicas e físicas. As físicas são devidas ao facto de os constituintes do betão terem diferentes dilatações térmicas, pelo que o aquecimento pode conduzir a um aumento de porosidade e fendilhação. As causas químicas consistem na possibilidade de diferentes composições químicas, micro-estruturas e graus de hidratação entre uma cura térmica e uma cura normal.

Dos estudos feitos sobre o assunto, toma-se pouco evidente que as diferenças químicas inerentes às duas curas, afectem significativamente a resistência final. Assim, atribui-se às causas físicas a responsabilidade das perdas de resistência.

Quando se submete a massa de betão a um aumento de temperatura, verifica-se a expansão do ar contido nos seus poros, que por ser o componente mais compressível sofre um restringimento por parte do betão envolvente. Este fenómeno, conduz a um desenvolvimento de tensões que, sendo excessivas, podem originar fendilhações que se mantêm após o endurecimento e conduzem a um abaixamento na resistência final.

Dos vários critérios existentes que permitem caracterizar e comparar o grau de eficácia de curas de betão a diferentes temperaturas, salienta-se, pela sua simplicidade, o de Nurse — Saul (5), em que se recorre à noção de maturidade definida pela expressão.

$$M = (T + 10) t$$

em que

- M — maturidade, em °C.h.
- t — tempo de tratamento, em horas
- T — temperatura a que se processa o tratamento, em °C.

Se a temperatura for variável, como acontece na generalidade dos casos, a expressão anterior toma a forma:

$$= \int_{T_b}^{T_a} (T_i + 10) dt_i$$

De acordo com os autores, a base teórica do método é a de que betões da mesma amassadura, com diferentes condições de cura, mas com igual maturidade, conduzem a características de resistência idênticas. Mostra a experiência, que este método conduz a resultados com uma dispersão aceitável, principalmente

te, quando aplicado numa gama de temperaturas de 5 a 50°C.

Quando se utilizam cofragens cujo custo de aquisição e amortização são elevados, importa procurar uma economia dos moldes traduzida por um maior rendimento dos mesmos.

Na tecnologia das cofragens túnel o encurtamento dos prazos de descofragem consegue-se por tratamentos térmicos do betão, sendo a transmissão de calor à massa de betão, feita por aquecedores de gás ou por insufladores de ar quente que se colocam nas câmaras definidas pelos moldes. Para se evitar a evaporação da água de amassadura, o conjunto das cofragens é envolvido por mantas de lona que se colocam sobre as lajes e fechando as extremidades das câmaras com lonas que, no caso de se recorrer a aquecedores de gás, devem deixar pequenas aberturas no topo para permitir a fuga dos gases.

Não se dispondo, de momento, de resultados de ensaios realizados em obra que permitam avaliar com rigor os resultados deste tipo de tratamento térmico, crê-se ser útil referir as principais características de uma cura por vapor a baixa pressão contínua pois que se pode estabelecer um paralelismo entre os dois processos.

Neste tipo de tratamento podem-se distinguir quatro fases:

- a) — período de espera
- b) — período de aquecimento
- c) — período de temperatura constante
- d) — período de arrefecimento.

a) — Este período tem por objectivo aguardar que o betão adquira uma resistência suficiente para resistir às tensões que se desenvolvem durante o aquecimento, devidas à expansão do ar contido na massa.

Resultados experimentais mostram que qualquer prolongamento do tempo de espera será sempre favorável à obtenção de maiores resistências finais. A duração do período varia com a composição do betão devendo ser maior para relações "água/-cimento" mais elevadas. Para valores correntes desta relação, a sua duração varia de 2 a 5 horas.

Recorda-se que, ainda que se possam referir os princípios gerais a que obedece um tratamento térmico de betão, o estabelecimento de regras fixas que indiquem, não só para esta fase mas também para as seguintes, qual a metodologia mais indicada, só pode ser feito caso a caso conforme os resultados experimentais.

b) — A velocidade de aquecimento influi nas propriedades físicas da massa, pois que os esforços desenvolvidos por fortes gradientes térmicos modificam a estrutura e a densidade da massa de betão.

Assim, o ritmo de aquecimento deverá ser tal que não conduza ao aparecimento de fortes gradientes de temperatura pois que quanto mais rápida é a velocidade de aquecimento, maior é a perda de resistência a longo prazo.

Deste modo, ainda que os maiores períodos de espera permitam ritmos de aquecimento mais elevados, as velocidades normais de aquecimento variam entre 10°C/h a 20°C/h, sendo mais frequente observar-se valores próximos de 15°C/h.

Refere-se ainda que o desenvolvimento rápido de temperaturas elevadas prejudica a aderência "aço — betão".

c) — A duração deste período favorece a resistência a longo prazo, mas não convém prolongá-lo demasiado, pois torna-se caro pela imobilização das cofragens precisamente no período de maior deterioração. Esta fase pode variar de 2 a 16 horas, embora seja frequente observar-se valores próximos das 8 horas. Numa obra em que as condições de controle da temperatura são deficientes não convém ultrapassar os 60°C.

d) — Período no qual se atinge a temperatura atmosférica e no qual se recomenda que o ritmo de arrefecimento seja mais suave que o de aquecimento. A descida de temperatura deve observar valores entre 10°C/h e 20°C/h.

A aplicação deste método, cujo diagrama de temperaturas

típico se apresenta na figura 10, é como se compreende prejudicado em betões com grandes percentagens de ar, pelo que se torna propício a massas devidamente compactadas e com inerte grosso de pequena dimensão.

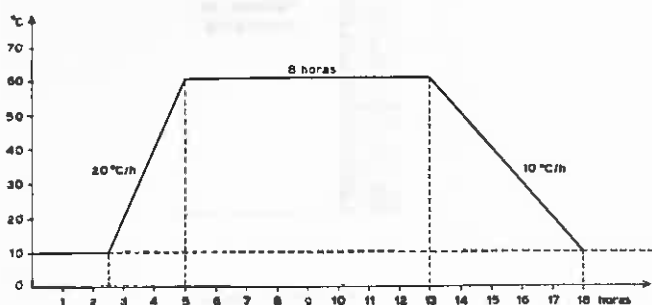


fig. 10

De referir ainda a necessidade de se prever que o aquecimento seja tanto quanto possível uniforme em todos os elementos da estrutura de modo a evitar locais onde se concentrem temperaturas elevadas.

Convém não deixar de referir a técnica de utilização de betão quente, que, embora menos eficaz, tem a vantagem de ser mais económico.

Este processo consiste em introduzir na betoneira os inertes e a água de amassadura previamente aquecidas conforme referido no Art.º 24.º do R.B.L.H. Outra solução é a da introdução na betoneira, de vapor de água, que permite elevar a temperatura até um máximo de 60°C. Neste caso deve reduzir-se a água de amassadura em aproximadamente um terço para atender ao efeito da condensação do vapor.

De um modo geral pode dizer-se que este método não substitui o aquecimento da peça moldada, mas deve ser encarado como um complemento, principalmente em condições de temperatura particularmente desfavoráveis.

3.4. — Descofragem

De acordo com o R.E.B.A., e para casos correntes, os prazos mínimos para a descofragem variam entre 3 e 28 dias, de acordo com as características das peças. Quando por razões de programação e rendimento de equipamento se pretenda alterar estes prazos, impõe o mesmo regulamento a necessidade de justificação especial.

Como já se referiu, este encurtamento de prazos para a descofragem é normalmente conseguido por tratamentos térmicos adequados e, que permitem prever, com certa aproximação, a resistência que se alcança ao fim de algumas horas. No entanto, para se proceder à descofragem, convém ter uma indicação mais precisa do nível de resistência alcançado.

Esta informação consegue-se por ensaios de rotura à compressão de provetes normalizados, submetidos às mesmas condições de cura da estrutura. Para este efeito deve o estaleiro ter possibilidade de proceder a um controle sistemático da resistência. Refere-se que, embora a informação obtida seja valiosa no que se refere a prazos de descofragem, não devem ser utilizados estes provetes para a determinação da tensão característica do betão colocado em obra, que deve ser obtida de acordo com o disposto no R.B.L.H.

Quanto aos resultados dos ensaios, pode dizer-se que, de um modo geral, uma peça não deve ser desmoldada sem que, no mínimo, tenha alcançado 50 % da sua tensão característica aos 28 dias. No entanto, alguns regulamentos como por exemplo o Russo, consideram estes valores excessivos e indicam valores da ordem dos 100 Kgf/cm².

Embora se refira este valor, parece aconselhável que ele seja estabelecido, tendo em conta as tensões que se prevêm vir a desenvolver-se na peça após a descofragem. No caso de lajes, quando se utiliza a cofragem túnel, é frequente deixar-se um escoramento de uma ou duas fiadas de prumos metálicos.

Outro processo de avaliação da resistência do betão em obra, consiste na utilização do esclerómetro, devidamente calibrado principalmente quando já existe alguma experiência no que se refere a resistências obtidas anteriormente no momento de descofragem, em betões do mesmo estaleiro.

O esclerómetro, baseado no método de reflexão por choque, mede a energia elástica remanescente em relação à energia de choque. Existem três tipos de esclerómetros de Schmidt destinados a ensaios em peças delgadas (L), pesadas (M) e com dimensões correntes (N).

Este ensaio, embora fornecendo indicações com interesse, é pouco preciso pois dá erros da ordem dos 30 % sendo grandemente influenciado por factores como: ângulo de incidência de choque, deformabilidade da peça, variações locais no betão, módulo de elasticidade do inerte, etc... Assim, quando se trate de peças do tipo laje ou parede com menos de 15 cm de espessura, convém utilizar o tipo L ou o tipo U junto aos apoios para o resultado não ser falseado pela deformação da peça.

Para tentar evitar os erros inerentes a variações locais no betão, o ensaio deve ser realizado em locais pouco armados, fazendo uma série de 10 leituras distribuídas num círculo de diâmetro 3 a 4 vezes a máxima dimensão do inerte. O índice esclerométrico é a média das dez observações.

Chefelville (5) relaciona o índice esclerométrico com a resistência do betão de acordo com o quadro seguinte:

Índice Esclerométrico	Resistência compressão Kgf/cm ²
20	100
20 a 30	100 a 200
30 a 40	200 a 350
40 a 50	350 a 500
50	500

Como síntese pode afirmar que:

Desde que o tratamento térmico seja adequado, pode-se limitar a perda de resistência aos 28 dias a um máximo de 15%.

O controle das resistências do betão na fase de descofragem deve ser feito por provetes submetidos às condições de cura da estrutura eventualmente completada por ensaios de esclerómetro.

4 — EDIFÍCIOS DE ESTRUTURA LAMINAR

Perante a crescente expansão do edifício de estrutura laminar, considera-se conveniente recordar quais as principais funções e características que a parede de betão apresenta neste tipo de estrutura.

4.1 — Estanquidade

As condições de exposição e os movimentos da estrutura devidos a retracções e variações de temperatura podem provocar fissurações, e afectar a estanquidade, pelo que se toma conveniente que na espessura da parede exista uma zona para lá da qual não possa ocorrer penetração de águas infiltradas. No caso da parede integrar materiais (por ex: isolantes) cujas propriedades sejam susceptíveis de ser afectadas pela água, a referida zona deve estar situada de tal forma que se oponha ao contacto da água com tais materiais.

Numa parede de betão armado que apresente um betão compacto e disponha de armaduras que minimizem os riscos de fissurações, esta poderá assegurar por si só a estanquidade, em condições de exposição pouco severas.

De acordo com documentação francesa (10), que convirá consultar para maior esclarecimento, podem-se conceber quatro tipos de paredes incorporando um pano de betão, aos quais se deverá recorrer conforme as condições de exposição de acordo com o quadro seguinte.

SITUAÇÃO	CASO CORRENTE		MUITO EXPOSTAS FAIXA LITORAL	
	ABRIGADA	NÃO ABRIGADA	ABRIGADA	NÃO ABRIGADA
altura de parede < 6m	I	I		II
6 a 8	I	II	I	II
18 a 28		II	I	II III
28 a 50		II		III
> 50		II IV		IV

As paredes dos tipos I e II correspondem àquelas em que a estanquidade depende directamente da conservação do pano de betão. No tipo I, (fig. 11), o paramento exterior pode ficar aparente ou ser revestido por um revestimento aderente permeável ou cuja impermeabilidade possa ser afectada por uma fissuração accidental do pano de betão. Respondem a esta definição os seguintes materiais:

- revestimentos de mosaicos, ladrilhos etc...
- pinturas correntes
- rebocos tradicionais
- massas plásticas para paredes.

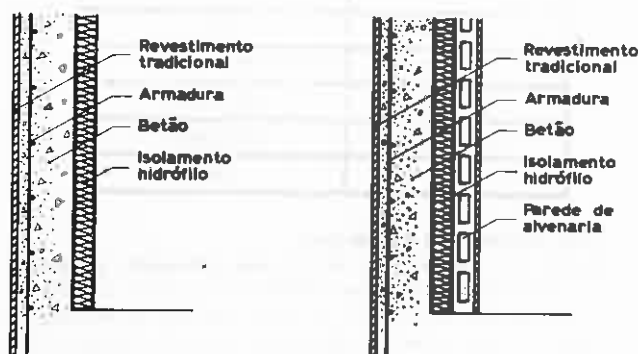


Fig. 11 — Paredes do tipo I

O paramento interior poderá apresentar um revestimento do mesmo tipo, um material imputrescível hidrófilo directamente aplicado ou projectado, ou ainda um material imputrescível hidrófilo preenchendo completamente o intervalo entre a lâmina de betão e um pano interior de alvenaria. Recorde-se que um material diz-se hidrófilo quando em contacto com água é susceptível de a absorver por capilaridade e oferecer-lhe a possibilidade de um percurso interno por gravidade.

Fig. 12 — Paredes do tipo II

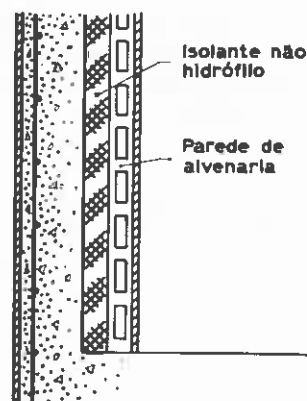
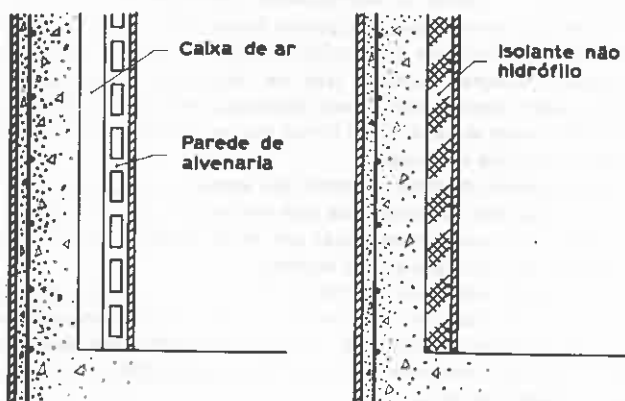


Fig. 13 — Paredes do tipo III

As paredes do tipo II, (fig. 12), poderão apresentar o mesmo revestimento exterior que as do tipo I, mas no lado interior, a parede é completada por:

- parede de alvenaria definindo caixa de ar
- por um conjunto integrando um material não hidrófilo aplicado directamente ou por pontos há face interior da lâmina de betão.
- por um isolante não hidrófilo preenchendo o espaço entre a lâmina de betão e um pano de alvenaria interior.

As paredes do tipo III e IV (fig. 13 e 14), respondem a condições de exposição particularmente severas, admitindo-se que a lâmina de betão permite a infiltração de água. A estanquidade é obtida quer por uma recolha das águas infiltradas, após o que são canalizadas para o exterior — tipo III, quer pela existência de um revestimento exterior à lâmina de betão — tipo IV.

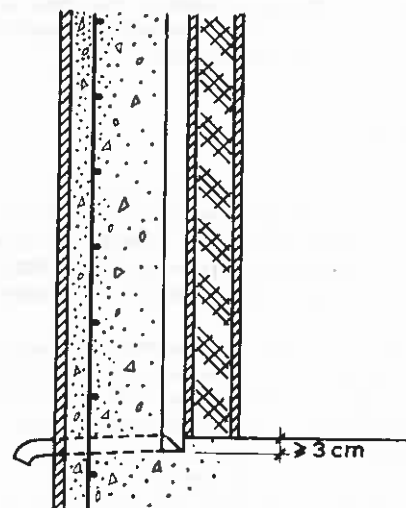


Fig. 14 — Paredes do tipo IV

4.2 — Conforto térmico

Como conceito geral, as paredes da envolvente de um edifício de estrutura laminar, deverão satisfazer as exigências de conforto térmico imposto pela localização da construção.

Convém no entanto recordar que, na maioria das situações, o isolamento que oferece um pano de betão não é por si só suficiente. Assim, se considerarmos uma parede de empena de betão armado como 0,20 m de espessura, ela apresenta um coeficiente de transmissão térmica de:

$$e = 0,20 \text{ m} \quad \lambda = 1,5 \text{ Kcal/m}^\circ\text{C} \quad h_e = 18 \quad h_i = 7$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{7} + \frac{0,20}{1,5} + \frac{1}{18} = 0,333 \text{ m}^2 \text{ h}^\circ\text{C/Kcal}$$

$$K = 3 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$$

Esse valor, manifestamente insuficiente, deverá ser corrigido, para o que, as soluções mais praticáveis para obter o isolamento térmico necessário, serão a de construção de uma parede interior de alvenaria de tijolo furado ou de blocos, formando caixa de ar ou incorporando entre os dois panos uma camada de material isolante térmico. Outra solução consiste em revestir interiormente a lâmina de betão com um ferro de material isolante térmico, passível de ficar directamente exposto às condições de utilização previstas.

No que se refere às fachadas, estas poderão apresentar também membros de betão tornando-se válidas as considerações mencionadas.

As soluções mais correntes, no entanto, são obtidas com paredes duplas de alvenaria de tijolo e/ou de blocos ou ainda pelo recurso a painéis prefabricados. Nestes casos, e de um ponto de vista de conforto térmico, nada de especial há a assinalar a não ser que a solução deverá garantir um isolamento adequado à zona climática em que se localiza.

4.3 — Isolamento acústico

Neste tipo de estruturas, o problema do conforto acústico põe-se principalmente em relação às paredes interiores. Nestas paredes há, basicamente, que considerar o isolamento sonoro aos sons aéreos, com vista a assegurar condições aceitáveis de conforto e privacidade. Em estruturas laminares o fenómeno das transmissões marginais de ruídos apresenta particular acuidade devido ao monolitismo e à rigidez da estrutura. Embora o fenómeno seja mal conhecido, é vulgar, em fase de concepção, atribuir às transmissões marginais uma quebra de isolamento sonoro de 5 a 6 dB.

Deste modo, uma parede de betão armado com 0,15 m de espessura — 575 Kg/m² — apresenta um índice de isolamento sonoro de 50 dB, valor que, mesmo considerando as quebras indicadas, garantirá boas condições de isolamento sonoro entre fogos.

Nos casos em que a separação de fogos habitacionais não é realizada por paredes de betão armado, haverá que buscar uma solução que, de um ponto de vista de isolamento sonoro, não seja inferior a uma parede de alvenaria de tijolo furado com 0,25 m de espessura, cujo isolamento sonoro, embora inferior ao de um pano de betão com 0,15 m de espessura, se considera ainda aceitável.

Também devido ao monolitismo e à rigidez destas estruturas, os ruídos produzidos pelas instalações de águas e esgotos, podem transmitir-se entre locais muito afastados do mesmo edifício. Assim, embora a produção de ruídos esteja directamente vinculada às canalizações, a sua transmissão para os compartimentos faz-se pelos elementos de construção que as integram ou onde se apoiam.

No que se refere à incorporação de elementos nas paredes de betão salienta-se que, como regra, a estrutura laminar não deve integrar canalizações de água ou esgoto, podendo no entanto estar embebidas canalizações para electricidade desde que, em materiais compatíveis. Aceita-se ainda que as canalizações de água possam ser embebidas pela parede de betão, quando executadas com materiais de elevada durabilidade, tais como: o aço inoxidável e o cobre.

A solução recomendável é a de prever mangas para canalizações, nos traçados verticais, e tectos falsos — normalmente nos corredores — para os traçados horizontais. Salienta-se ainda a necessidade de colocação de materiais isolantes elásticos entre condutas e paredes, nos atravessamentos, entre braçadeiras e tubos e, de um modo mais geral, nas fixações de tubagens e equipamento sanitário.

Embora não relacionado com paredes, refere-se ainda que, pelas características já apontadas deste tipo de estruturas, é usual verificar-se a necessidade de melhorar o isolamento sonoro dos pavimentos quanto a ruídos de percussão. Para tal a solução tecnicamente mais eficaz é a de constituir pavimentos flutuantes assentes sobre camadas resistentes? dispostas sobre a laje estrutural. Menos eficiente e mais limitativo na escolha dos revestimentos do piso é o recurso ao uso de revestimentos que amortecem os ruídos de impacto, de que são exemplo as alcatifas.

5 — NOTA FINAL

A razão de ser do tema que serviu de base à elaboração deste texto, "Paredes de betão — sua integração na construção industrializada", justifica-se pela expansão que entre nós se está a verificar de construção de edifícios de estrutura laminar, com os quais se pretende resolver parte do problema da habitação.

Ainda que tal via se considere correcta, julga-se conveniente salientar que, a rentabilidade de qualquer processo de construção industrializada, por mais sofisticado que ele seja, é sempre condicionada pela capacidade da empresa que a ele recorre. Só uma empresa, integrando uma equipa de técnicos com vários graus de formação, aptos a resolverem problemas de coordenação, aprovisionamento de materiais, programação de obra... ou, em resumo, aptos a racionalizarem a exploração das potencialidades da empresa, se poderá conceber uma "construção industrializada".

Concretizando, para a aplicação de cofragens túnel, crê-se ser essencial a formação de uma equipa técnica que, além de coordenar os vários projectos intervenientes na obra, e ter um papel activo na concepção deste tipo de estruturas, proceda a uma planificação pormenorizada do desenvolver dos trabalhos, que deve ser complementada com um acompanhamento efectivo de todas as fases do processo de construção.