

# 1<sup>AS</sup> JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL

*16 a 26 Novembro 1976*



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

# 1<sup>AS</sup> JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL

*16 a 26 Novembro 1976*

**INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO**  
(TEMA BASE)

INSTITUTO  
SUPERIOR DE ENGENHARIA  
DE LISBOA



## ÍNDICE

NOTA DE ABERTURA.....	3
MEDIR E MODULAR — por Herberto Miranda.....	5
CONSTRUÇÃO CIVIL INDUSTRIALIZADA — por Brazão Farinha.....	13
INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIO — por Teixeira Trigo.....	25
PAREDES PRÉ-FABRICADAS/PESADAS — por A. Almeida Anes.....	39
PAREDES DE BETÃO — por Luis Rodrigues dos Santos.....	53
COBERTURAS DE GRANDES VÃOS — por João Apletton.....	71
NACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO — por Nuno Patrício e Boadita Ferrão.....	93
CÁLCULO DE PAVIMENTOS — por Elías da Costa.....	101
VENTILAÇÃO TÉCNICA FÉRIA — Tipo SHUNT pelos Serviços TÉCNICOS DA FÉRIA .	111

PERES-ARTES GRÁFICAS  
Rua B, à Rua Latino Coelho, Lote 2  
Venda Nova • Amadora  
10.000 exemplares  
1976

## NOTA DE ABERTURA

*A realização das 1.ªs Jornadas de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, deve-se à vontade de alguns e à descrença de muitos.*

*Não pretendemos aqui fazer lugar comum do enumerar de agradecimentos como é hábito, queremos antes alertar para o que se pretende e deseja com esta realização; no entanto àqueles que muito prometeram e pouco fizeram, àqueles que não nos apoiaram e antes procuraram denegrir o nosso esforço não quisemos deixar de exprimir o nosso agradecimento sincero, pois de outro modo talvez não tivéssemos chegado até aqui.*

*O ISEL como neoescola superior do ensino de engenharia tem que criar os seus padrões, estruturar as suas formas, disciplinar o seu ensino e fundamentalmente provar a todos que julgam ver nele o oportunismo crasso, que existe pelo seu valor próprio e pela vontade dos que nela trabalham.*

*As Universidades não se criam "por favor" mas antes pela validade das suas estruturas.*

*A escolha do tema "Industrialização da Construção", tema este não estanque, antes permitindo o desenvolvimento de assuntos com ele interligados, deveu-se a uma análise dos progressos verificados neste campo nos últimos anos.*

*Esta realização pretende ser a primeira de muitas outras, que procurarão dissimular a estanqueidade da escola modular e levar a cabo um intercâmbio aberto do conhecimento entre todas as entidades colectivas e individualidades não só nacionais como estrangeiras.*

*Veicular o conhecimento, por a realidade à mão dos que aprendem, levar as firmas à escola e vice-versa, derrubar os muros de uma Universidade mitológica e ultrapassada é o desejo de todos aqueles que se empenham na concretização destas jornadas.*

*O elitismo universitário é algo de um passado recente que nunca entrou nesta Escola e que sinceramente desejamos que não venha a entrar.*

*O Secretariado das 1.ªs Jornadas de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL)*

# MEDIR E MODULAR

por HERBERT MIRANDA

*Eng. Civil Especialista em planeamento — professor do I.S.E.L.*

## MEASURE AND MODULATE

## MESURER ET MODULER

### 1 — INTRODUÇÃO

A necessidade de construir que se manifesta em todos os sectores, desde o da habitação, em que o homem recupera da fadiga física e intelectual, consequência da sua actividade diária, até àquele em que exerce a sua actividade de produção ou onde realiza as suas ocupações sociais dos tempos livres, obriga a procurar soluções, para a limitação de espaços — cada vez mais económicos em tempo, dinheiro, materiais e mão de obra.

Este objectivo levou ao desenvolvimento de técnicas de prefabricação, e bem assim a industrializar a construção, por elementos cada vez maiores — de acordo com os meios mecânicos de que se pode dispor na zona industrial, nos transportes e no estaleiro. Assim, conforme os elementos de construção a colocar em obra são manuseáveis ou, pelas suas dimensões e peso, careçam de meios mecânicos para poderem ser utilizados, a prefabricação está diferenciada em:

- a) Prefabricação ligeira
- b) Prefabricação pesada

Por outro lado, os diversos materiais que se utilizam na construção permitem a prefabricação industrial de elementos de construção: metálicos, de madeira, de betão, de pedra, de argila cozida, de vidro, etc.

### 2 — A PREFABRICAÇÃO ATRAVÉS DOS TEMPOS

Desde os tempos mais remotos que o homem procurou melhorar a sua produtividade e a qualidade do seu trabalho.

É assim que, a partir do trabalho, foi criando meios — o seu capital — que pudessem contribuir para melhorar a sua produção.

Através da História a prefabricação de elementos de construção foi sempre usada pelas diversas culturas, sendo de notar, genericamente:

**2.1 —** As pirâmides e outros monumentos que os Egípcios construíram, em que os elementos préfabricados de grandes dimensões, a aplicar na sua construção, eram transportados a distâncias notáveis — que ainda hoje nos surpreendem, dados os meios de que então se dispunha.

Note-se que a construção dos Egípcios é um tipo de prefabricação pesada, uma vez que, elementos de pedra de grandes dimensões eram talhados nas pedreiras e usados em obras, em diversos

pontos, onde se ajustavam e combinavam perfeitamente entre si.

Este facto mostra que já os Egípcios sabiam dimensionar elementos pesados, fora da obra, que se ajustavam perfeitamente à sua função na construção — o que nos leva a considerar que os Egípcios sabiam modular.

**2.2 —** Por sua vez os Assírios e os Caldeus, não dispondo de pedra para construção, foram forçados a recorrer ao material de que podiam dispor — a argila. Este facto levou-os a desenvolver uma técnica de trabalhar o barro, procedendo à sua cozedura e decoração em elementos ligeiros, a aplicar na construção.

Assim, os Assírios e os Caldeus, povos da Antiguidade Oriental, são os precursores da prefabricação ligeira.

**2.3 —** Seguindo o desenvolvimento cultural do Mediterrâneo, encontramos na Grécia antiga — que dispõe de madeira, de argila e de boas pedreiras de calcário — a utilização destes materiais na prefabricação de elementos destinados à construção de edifícios habitacionais e públicos. Porém, os elementos prefabricados são manuseáveis ou carecem dum equipamento simples para a sua colocação em obra.

**2.4 —** Só mais tarde, os Romanos, reunindo a cultura dos povos do litoral do Mediterrâneo, racionalizaram as técnicas de prefabricação de elementos de construção, utilizando elementos ligeiros ou elementos pesados, destinados à construção habitacional e à construção de edifícios públicos. Foram, assim, criados padrões de referência e séries de números preferenciais — conforme a função a que se destinava a construção.

As técnicas que os Romanos usavam nas suas construções foram reunidas por Vitruvius — arquitecto de Augusto, imperador romano — e divulgadas, no princípio da Idade Moderna, com a publicação dos seus dez livros de arquitectura, o que em muito contribuiu para a Renascença.

Da observação dos monumentos e outras construções romanas, facilmente se conclui que foram mestres — quer na modulação, quer no dimensionamento à escala humana ou à proporção humana de elementos prefabricados.

Entre nós, a prefabricação de elementos de construção não constituiu novidade, uma vez que a passagem dos Romanos pela Península nos deixou a sua cultura, que se tem conservado através dos tempos e que se manifesta em todos os sectores da actividade, incluindo a construção, o que facilmente se verifica nas ruínas de construção romanas que abundam no País.

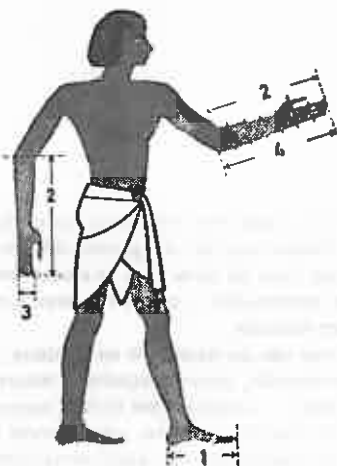
### 3 — SABER MEDIR

A prefabricação, especialmente no campo da construção habitacional, é muito sensível no que se refere à medição. Todos sabemos medir no sistema métrico decimal, tal como nos ensinaram na instrução primária. Mas, na prefabricação, podemos dizer que umas vezes o metro é o metro corrente enquanto que noutras é um pouco mais pequeno; o mesmo acontecendo com os elementos de construção modulados e normalizados, em que as dimensões nominais diferem das dimensões reais, dependendo estas dos materiais de que são feitos, da sua função na construção e do modo como são ligados.

#### 3.1 — Dimensão humana

Uma vez que o medir, na prefabricação, depende do espírito criador do homem e dos recursos físicos de que dispõe, devemos considerar esta acção como uma arte.

É assim que o homem, ao dedicar-se à arte de medir, usou para termo de comparação o seu corpo — o palmo, o pé, a côvada, a braça, foram padrões de medida na cultura dos povos antigos e que ainda se usam em muitas regiões do Mundo.



Eram medidas funcionais de que o homem se servia para construir e, qua quer diferença, só ao construtor atingia — uma vez que havia graves riscos quando o cliente não ficava satisfeito.

Quando se tratava de trocas comerciais, naturalmente, o comprador escolhia para encarregado de recepção um escravo de pés grandes e braços compridos, dando-se o inverso quanto à escolha do que fazia as entregas. Este sistema tinha como consequência que um tecido adquirido por determinada importância em determinada praça era vendido numa outra praça por menor preço, dada a notável diferença que havia na dimensão real de medidas com o mesmo nome.

No que se refere à prefabricação, o homem procura uma unidade de medida, que designa por módulo e que tanto se aplica como unidade de medida (o módulo de base), como elemento de construção (o módulo de construção).

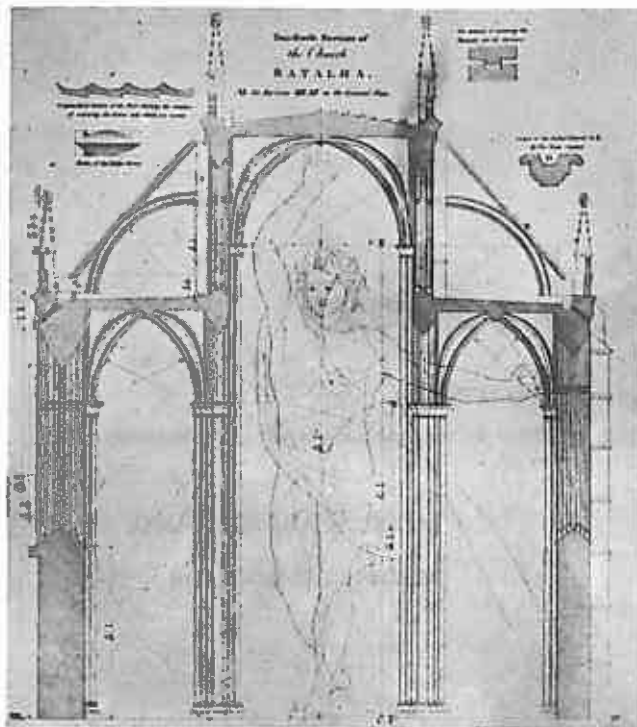
#### 3.2 — A Proporção humana

Desde a Antiguidade que no dimensionamento das construções, a par da dimensão humana, se desenvolveu a proporção humana — como padrão de referência para o seu dimensionamento.

Aos povos antigos se deve a diferenciação das duas séries de medidas relacionadas com as dimensões do corpo humano ou com a sua proporção e, aos Romanos, a sistematização usada na sua aplicação que, resistindo ao tempo, se exprime, resumidamente nos princípios seguintes:

— A construção habitacional é dimensionada de acordo com o corpo humano.

— As construções destinadas aos serviços públicos são dimensionadas pela proporção humana.



É de notar que, já na Antiguidade, o elemento de construção usado na prefabricação, considerava, nas suas dimensões nominais, a junta de ligação e o revestimento.

No início da nossa nacionalidade, os diversos sistemas de medida em uso na Península, derivavam do egípcio-babilónico. Tinham sido introduzidos, entre nós, pelos Romanos através do Sul da Europa e pelos Árabes através do Norte de África.

### 4 — MODULAÇÃO

As diferentes funções dos elementos a dimensionar para servirem numa construção, condicionados aos sistemas de medida a que me referi, deram origem a uma série de conceitos que se torna necessário definir para se compreender bem os condicionamentos da industrialização da construção. Assim, temos:

#### 4.1 — Módulo Clássico

O módulo tradicional usado com base do dimensionamento dos elementos de construção, que, no nosso País tem ainda larga aplicação é o que mede 12 cm, que corresponde ao tijolo corrente de 7 x 11 x 23 cm e que, na construção, contando com a junta, tem em volume modular:

$$2/3M \times 1M \times 2M$$

Ainda hoje, nas alvenarias e nos revestimentos, é de uso corrente o módulo 12, com apreciáveis resultados no que se refere a produtividade.

#### 4.2 — Módulos Métricos

Os diversos sistemas métricos em uso, levaram, na passagem da construção tradicional à construção industrializada, à fabricação de diversos elementos modulados e dimensionados de acordo com a unidade do sistema métrico usado.

A normalização do módulo de 10 cm, nos países que aderiram à convenção do metro, tem-se generalizado e tem a vantagem de se aproximar do módulo de quatro polegadas — usado no espaço cultural que mantém o sistema inglês de medida, agora em reconversão ao sistema métrico decimal.

Entre nós, o módulo de dez cm aparece já em muitos elementos de construção — mas sem se ter ainda conseguido dominar, totalmente, toda a indústria da prefabricação.

Presentemente, é já de recomendar que todos os projectos da construção habitacional satisfaçam ao módulo 10, ou usem elementos de construção que satisfaçam aos módulos 10, 12, 15, 20 e 30, uma vez que é corrente existirem no mercado elementos prefabricados satisfazendo aqueles diferentes módulos.

#### 4.3 — Módulo de base

O módulo de base é a unidade modular que se adopta e aparece como unidade linear, de superfície e de volume. É assim que, normalizando o módulo dez, teremos em superfície como módulo o  $\text{dm}^2$  e em volume o  $\text{dm}^3$ .

#### 4.4. — Módulo de Construção

A procura de soluções, cada vez mais económicas, para se poder satisfazer à necessidade sempre crescente de habitações, levou à utilização de elementos prefabricados — quer produzidos por indústrias especializadas quer nos estaleiros, de acordo com os equipamentos de que se dispõe.

Se a técnica usada na construção for a tradicional, o módulo de construção depende da densidade dos materiais, estando limitada a sua dimensão ao que é possível manusear pela equipa de trabalho, dentro da melhor produtividade. Este facto leva a considerar que a dimensão do módulo de construção, mais económica, varia com o custo da mão de obra, dos equipamentos disponíveis, dos materiais existentes e dos novos materiais que, constantemente, vão aparecendo no mercado.

Na prefabricação pesada, tudo depende dos meios mecânicos existentes no estaleiro, do número de repetições do elemento de construção e da sua função na obra.

#### 4.5 — Módulos industriais

Na industrialização da construção, o módulo tem um significado diferente, e é escolhido de acordo com as exigências do mercado, em determinado estado de desenvolvimento e, portanto, de acordo com as máquinas de que se pode dispor.

Nas indústrias de construção de prefabricados, dá-se a designação de módulo a um elemento de construção de dimensões variáveis e que se repete na construção como elemento de base.

#### 4.6 — Elementos Modulados

Do que dissemos, conclui-se que é de aconselhar ao sector industrial da prefabricação de elementos destinados à construção habitacional, a produção de elementos modulados tendo o mesmo módulo de base. Isto para permitir, sem trabalho adicional, o ajuste na obra, de vários elementos de construção produzidos em diversos locais.

Entre nós, é de recomendar o módulo de construção de 60 cm, uma vez que são correntes, no mercado, elementos de construção prefabricados satisfazendo aos módulos 10, 12, 15, 20 e 30, todos eles divisores de 60 e, portanto, permitindo a coordenação modular na construção.

### 5 — CONCLUSÃO

Para concluir estas considerações sobre a modulação, vamos definir alguns conceitos de base necessários à coordenação modular:

#### 5.1 — Coordenação modular

A coordenação modular consiste no emprego de elementos de construção, dimensionados de forma a ter por unidade um módulo que torne possível a sua colocação em obra sem ajustamento.

#### 5.2 — Elemento de construção

É uma unidade simples, ou uma unidade composta, ou ainda uma fracção de unidade, que faz parte duma construção.

#### 5.3 — Elemento modular

É uma unidade simples, ou composta, que faz parte duma construção cujo projecto foi executado a partir do "módulo de base".

#### 5.4 — Módulo de base

É a unidade de dimensionamento, fixa, a que se referem todas as dimensões que fazem parte de um sistema de coordenação modular.

#### 5.5 — Módulo do projecto ou de construção

Unidade superior, cujas dimensões são múltiplos do módulo de base. O módulo do projecto pode ter diferentes dimensões, mas é sempre múltiplo do "módulo de base" — que é uma unidade padrão.

#### 5.6 — Quadricula modular

É a quadricula formada por "módulos de base".

#### 5.7 — Dimensão modular

Chama-se dimensão modular à dimensão expressa em múltiplos inteiros do módulo de base.

#### 5.8 — Dimensão nominal

É a dimensão referenciada no projecto e à qual se referem as tolerâncias.

#### 5.9 — Dimensão máxima

É a dimensão máxima admissível, isto é: a dimensão nominal mais a tolerância.

#### 5.10 — Dimensão mínima

É a dimensão mínima admissível, isto é: a dimensão nominal menos a tolerância.

#### 5.11 — Dimensão real

É a dimensão executada na obra concluída, e que compreende as tolerâncias admitidas e as do sistema de medida.

#### 5.12 — Dimensão industrial

É a dimensão do elemento prefabricado, ou seja: a "dimensão nominal" menos o espaço das juntas e mais ou menos as tolerâncias.

### **5.13 — Dimensões preferenciais**

São dimensões que apresentam vantagens, para a coordenação modular, por permitirem combinações de elementos diversos.

### **5.14 — Junta total**

Espaço que separa dois elementos vizinhos colocados em obra.

### **5.15 — Tolerância de trabalho**

É o erro máximo admissível no dimensionamento da construção. Deve estar sempre compreendido entre a "dimensão máxima" e a "dimensão mínima" consideradas.

Com estas definições resumimos o que consideramos indispensável conhecer, para se poder pensar na industrialização da prefabricação, isto é: torna-se necessário saber "medir e modular".

# CONSTRUÇÃO CIVIL INDUSTRIALIZADA

por J. S. BRAZÃO FARINHA  
(Professor do I.S.E.L.)

## SUMÁRIO

— CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PROCESSOS TRADICIONAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E SUA EVOLUÇÃO PARA OS ADAPTAREM ÀS DIFERENTES CONDIÇÕES ECONÓMICAS. NOVOS PROCESSOS, DENTRO DA TÉCNICA INDUSTRIALIZADA, E REVISÃO DOS MÉTODOS DE TRABALHO.

## INDUSTRIALIZED CIVIL CONSTRUCTION

### SUMMARY

CONSIDERATIONS ABOUT THE TRADITIONAL METHOD OF CIVIL CONSTRUCTION AT ITS EVOLUTION TO BE FITTED TO THE VARIOUS ECONOMIC CONDITIONS. NEW METHODS WITHIN THE INDUSTRIALISED TECHNOLOGY AND REVISION OF THE METHODS OF WORK.

## CONSTRUCTION CIVILE INDUSTRIALISÉE

### SOMMAIRE

CONSIDÉRATIONS SUR LES MOYENS TRADITIONNELS DE CONSTRUCTION CIVILE ET LEUR ÉVOLUTION POUR ÊTRE ADAPTÉS AUX DIFFÉRENTES CONDITIONS ÉCONOMIQUES. NOUVEAUX PROCÈS, DANS LA TECHNIQUE INDUSTRIALISÉE ET RÉVISION DES MÉTHODES DE TRAVAIL.

Por "construção civil" designamos a actividade humana relacionada com a construção de edifícios, sejam destinados a habitação ou a certas actividades, como escritórios, hotéis, escolas, hospitais, etc. A construção de instalações fabris é designada por construção industrial.

1 — A construção civil tem mantido, na sua generalidade, uma actuação de tipo "artesanal", entendendo por tal designação a produção por encomenda, executando modelos diferentes, incorporando muita mão-de-obra com pequeno recurso à utilização de equipamento electro-mecânico. Várias razões concorreram para isso, por um lado o tradicional individualismo que se imprimia à habitação, de acordo com o gosto do proprietário. Por outro lado, a variabilidade e instabilidade do mercado e dos recursos disponíveis.

Numa fase mais recuada a actuação dos projectistas era muito reduzida, limitava-se aos elementos gerais do projecto e a indicações que iam dando aos construtores, à medida das necessidades da obra. Os prazos de execução não eram tidos em grande conta.

A construção de habitações tinha então um carácter regional, através de organizações ligadas ao emprego dos materiais locais. A mão-de-obra era abundante, aproveitando as pausas das lides agrícolas, que ocupava grande massa da população. Os operários especializados faziam a sua aprendizagem segundo métodos tradicionais que exigiam uma longa prática, e que eram transmitidos de geração em geração.

Esses operários recebiam a sua formação com vista ao trabalho de determinado material, a pedra, a argamassa, a madeira, o ferro, o chumbo, o zinco, a ardósia. Treinavam-se no uso das ferramentas adequadas ao exercício da sua profissão, e que individualmente lhes pertencia.

Eles dispunham de tempo e de liberdade para organizar o seu trabalho, de acordo com a sua cadência natural. Os operários trabalhavam com amor à sua profissão tinham espírito de iniciativa e cada um deles trabalhava com consciência profissional determinados na realização de uma obra bem feita, que representava a sua própria obra. Tempos houve em que, por exemplo, cada canteiro assinalava a sua marca nas pedras que trabalhava.

Tudo isto caracterizava um tipo de homem, marcadamente individualista, e um tipo de vida estabilizada.

2 — A situação atrás referida foi modificada com a industrialização dos transportes (ferroviários e por estrada) que tomou técnica e economicamente viável o intercâmbio de materiais de construção civil entre as regiões, destruindo o equilíbrio de interesses anteriormente existente.

Isso tornou possível, nomeadamente, a generalização do emprego do cimento e a utilização, cada vez maior, do betão armado. Esta utilização foi também o resultado da criação de métodos industrializados para o fabrico, transporte e colocação deste último material, que permitiram passar a alcançar, sistematicamente, (e empregando menos mão-de-obra) prazos e preços inferiores aos anteriormente conseguidos com a utilização de alvenaria de pedra. Com efeito, a extracção, o transporte e a colocação deste material em obra, entre outros casos que podiam referir-se, exige larga aplicação de mão-de-obra especializada.

Tornou ainda possível o desenvolvimento da préfabricação ligeira, que pôs à disposição dos construtores certos elementos de série, para pavimentos e cobertura de edifícios, serralhas, portas, janelas e mobiliário de cozinha, etc.

Esta situação, aliada à maior complexidade das obras devido à exiguidade dos prazos, e ao maior número de instalações de diversa natureza, e de materiais a aplicar, transformou a organização tradicional da construção civil. Esta passou, de instituição fortemente centralizada, que tudo executava, para uma organização descentralizada, constituída por gabinetes de estudo especializado e sub-empreiteiros independentes. Começou a impor-se a necessidade de planeamento para possibilitar adequada coordenação entre os diversos intervenientes.

Paralelamente, verificou-se uma modificação das condições de vida existentes, na medida em que, em muitos países, começou a orientação para a produção industrial.

Esta actividade concentra-se nas cidades, e oferece a possibilidade de ocupar mão-de-obra não especializada, encarregando-se da respectiva formação acelerada oferecendo salários que ultrapassam os praticados na construção civil.

A comodidade de um trabalho permanente, em bom local atraiu para as cidades as populações rurais mais jovens que sobravam das lides agrícolas que também passaram, em parte, a ser mecanizadas.

Deixou de haver muitos interessados no antigo tipo de aprendizagem com longo período sem remuneração e até muitos bons profissionais trocaram de actividade.

Todavia a situação dos mercados e dos capitais disponíveis manteve a sua estrutura.

No nosso País, dos capitais gastos na construção civil na década 1960-1970, 92% destinavam-se à procura privada e 8% às entidades oficiais. Ora não há dúvida que os capitais daquela origem são mais fortemente condicionados pela viabilidade do crédito, em face do quadro geral da política financeira. Sempre que se verificava qualquer dificuldade, a construção civil acusava discontinuidade na sua evolução.

Por outro lado, a impossibilidade de actualização das rendas face a uma forte desvalorização da moeda, que se seguiu à 1.ª guerra mundial, desalentava naturalmente a aplicação da poupança individual na construção civil.

A incerteza dos mercados reflectia-se no tipo de organizações e, deste modo, na data do 1.º inquérito industrial existiam no nosso País 3582 empresas de construção que tinham, em conjunto, 3847 dirigentes e 3149 empregados, ou seja em média, cerca de 1 dirigente e um empregado por empresa.

3 — A época actual tem problemas próprios, resultantes do grande aumento da população do Mundo (duplicação por períodos de cerca de 40 anos) e da obrigação social de resolver os problemas materiais básicos de todos os homens, pondo à sua disposição os bens indispensáveis a uma vida digna.

A maneira de conseguir tal objectivo é através da industrialização, que tem vindo a abranger cada vez mais actividades humanas, sendo a construção civil o último baluarte a conquistar.

Para conseguir tais resultados será indispensável, antes de mais nada, ter assegurado um mercado potencial suficiente para permitir à organização trabalhar com continuidade.

Considera-se viável montar uma indústria de construção civil com a certeza de um mercado mínimo inicial de 4000 a 5000 apartamentos executando anualmente cerca de 1000 apartamentos repetindo-se cada um deles pelo menos 150 vezes.

Esta questão prende-se, naturalmente, com a política nacional de investimentos, não sendo já possível deixar apenas à iniciativa privada o financiamento global necessário à resolução do problema da habitação, dados os montantes a dispendir e a prática impossibilidade de reembolso a médio prazo, contando só com os directos interessados.

O trabalho com continuidade é indispensável à organização, à mecanização e à fixação das pessoas nas Empresas. Ele está ligado ao problema mais geral da planificação da economia nacional.

Torna-se necessário dar a conhecer às Empresas, com razoável antecedência no tempo, qual será a política a adoptar no domínio da construção e quais os empreendimentos previstos. Sem a realização prática desta medida, as Empresas de construção progressivas, dificilmente poderão estruturar-se de modo conveniente, para poderem impulsionar as suas actividades.

Na realidade, a moderna Empresa, bem organizada em pessoal, instalações e equipamento, deixa de ter elasticidade para se adaptar aos caprichos do mercado, como era possível à antiga empresa artesanal. Ela não pode despedir os elementos mais activos nas épocas em que tem pouco trabalho ou, ao contrário, não pode aumentar, de maneira substancial, a sua capacidade de realização em épocas de euforia transitória do mercado.

Isso resulta de que uma organização do novo tipo não pode actuar por improvisação. Ela caracteriza-se por um certo património representado por cérebros, elementos impulsionadores e de acção, operários especializados, e por capital e equipamento que muito custa reunir, e que não pode ser alienado ou reorganizado em qualquer momento.

Esta inadaptação é já hoje perfeitamente compreendida em relação à indústria na sua generalidade e, por exemplo, todos compreendem que não é possível exigir a um estaleiro naval que inicie a construção de um navio alguns dias depois de assinado o contrato da respectiva construção, e no prazo imposto pelo armador. Tal exigência seria considerada absurda e nenhum estaleiro a poderia aceitar. Todavia, em relação à construção civil é uma atitude que hoje em dia muitos ainda tem por natural.

Nos estaleiros em que se trabalha dentro desta nova situação, as exigências quanto aos operários são bem diferentes das anteriormente referidas. Já não há lugar para o trabalho de um material, mas para a utilização de uma técnica. Já não existem ferramentas individuais, mas equipamento colectivo. Os operários tem um menor grau de iniciativa na organização do trabalho, e o seu esforço é mais sedentário e contínuo.

O trabalho é mais anónimo, menos pessoal, e a organização mais colectiva. O horário de trabalho é mais curto e mais compacto, sob disciplina mais rígida.

Notemos que o tipo de operário anteriormente referido, não desaparecerá em breve, porque a sua actividade, por dezenas de anos, ficará ligado à reparação, conservação e modernização das antigas construções existentes. Esse operário será mais nómada, terá que deslocar-se de umas obras para as outras, dentro de um horário de trabalho mais livre, mas mais prolongado. Existem, sem dúvida, homens e mulheres que se adaptam melhor a este regime de vida.

Dissemos já que a produção industrial implica com uma certa repetição isto é, não pode considerar-se a realização de um modelo único, embora possa executar qualquer modelo, desde que ele se repita um número interessante de vezes. Convém aqui salientar que a repetição que se refere diz respeito aos elementos de construção e não necessariamente ao conjunto dos edifícios.

Assinalemos que um edifício são assaz grandes, da ordem das dezenas de metros, portanto muito superiores ao que as fábricas costumam produzir. Há, deste modo, que sub-dividir o edifício em elementos mais pequenos, cujo transporte seja viável, e cuja ligação se possa processar, na obra, em boas condições. Dado o peso e o volume de uma construção, não é possível pensar na saída da fábrica, de edifícios já depois de completamente montados.

Além disso, a introdução do trabalho das máquinas só é rendável na produção de produtos iguais durante um período de razoável duração. É geralmente considerado que, nos trabalhos artesanais da construção, se obtém uma redução de custo de 10 a 20% quando se repete 10 vezes um mesmo trabalho. Nas actividades industriais este aspecto é naturalmente mais relevante, pois que não é possível uma organização económica do trabalho das máquinas e do pessoal se as tarefas a executar variarem constantemente.

Mas não é só na organização do trabalho que a repetição tem vantagens. É possível dispendir mais dinheiro no projecto — levando muito mais longe o estudo do que no caso de pequenas unidades que se não repetem. Daí um muito maior incentivo para a investigação e a experimentação, que a breve trechão dão os seus frutos, tanto no que se refere à economia como à melhoria da qualidade e ao prazo de execução.

Outra consequência deste aprofundamento poderá ser a utilização mais sistemática de novos materiais e de novas soluções como acontece nas outras indústrias, que impulsionam, constantemente, o progresso.

De acordo com o esquema apresentado, a industrialização dos edifícios comporta as seguintes funções: escolha de elementos simples, que se repetem, e são de fácil ligação; preparação do trabalho; execução destes elementos numa fábrica, cuidando-se da precisão do fabrico; transporte dos elementos; montagem no estaleiro com grande rapidez de execução; acabamentos finais, muito reduzidos em relação ao conjunto dos acabamentos dum edifício corrente.

Este programa exige a organização de empresas suficientemente equipadas e dispo de serviços capazes de organizar e controlar a produção por forma a obter um aumento continuado da "produtividade", isto é, de conseguir a redução sucessiva da relação entre o custo global da obra e o salário médio anual.

Anotamos que este objectivo não poderá ser alcançado pelo cansaço e esgotamento físico dos operários e outros intervenientes. O que se pretende é uma constante aplicação da inteligência para simplificar as técnicas de execução e reduzir perdas de tem-

po. As maiores produções deverão corresponder melhores salários.

4 — De acordo com o referido, podemos acrescentar que, verificada a necessidade de ultrapassar a fase tradicional, por terem surgido novas situações económicas, a construção civil orientou a sua actuação de diversas maneiras:

4.1 — *Processos tradicionais evoluídos* que resultaram da introdução de uma certa mecanização nos processos tradicionais de construir, e colhendo simultaneamente os frutos de uma organização do trabalho.

A introdução das máquinas resulta em 1.º lugar, do embaatecimento que se obtém com a sua utilização, e, depois, com a necessidade de aliviar o homem de trabalhos especialmente pesados (como sejam escavações e o transporte dos produtos escavados, a amassadura do betão, a elevação dos materiais até aos diferentes pisos dos edifícios, etc.), permitindo reservar a acção do homem para as actividades mais inteligentes. Tal introdução está portanto directamente relacionada com o custo da produção e com a abundância de bens, com a dignificação do trabalho, com o aumento da produtividade e, finalmente, e como consequência disso, com a possibilidade de aumento do nível de vida geral se este movimento se processar, numa determinada época, em todos ou em muitos dos sectores das actividades produtivas.

Convém aqui referir que nos primeiros tempos da industrialização certas pessoas receavam que a aplicação generalizada das máquinas poderia conduzir ao desemprego. Os factos vieram provar que era exactamente o contrário que se verificava porquanto da utilização das máquinas resultam, conforme referimos, maiores produções e importantes reduções de custo. Os produtos industriais, mais baratos e mais aperfeiçoados, chegam para todos. Possibilitam e provocam portanto o aumento do consumo e cria-se uma cadeia que conduz à prosperidade geral e que permite reduzir os períodos de trabalho individual e ao mesmo tempo aumentar os salários.

A mecanização não é uma operação fácil, antes de mais por ser onerosa em 1.º estabelecimento e depois porque, para ser proveitosa, é indispensável organizar a sequência dos trabalhos tendo em conta a necessidade da utilização o mais permanente possível das máquinas. Deste modo, tal utilização tem que ser o fulcro de toda a organização do trabalho.

Assim, por exemplo, quando se pretendia executar uma venda por processo artesanal, que incluía a escavação manual de caboucos e de valas para o assentamento de canalizações, a equipa encarregada destes trabalhos, podia interromper a sua actividade, por exemplo, para ajudar no enchimento de uma parte dos referidos caboucos, ou para ajudar momentaneamente na montagem de uma barraca ou na descarga de um camião. Podia mesmo deixar para mais tarde a abertura das valas para o assentamento das canalizações, visto não ser simultânea a necessidade da conclusão da escavação dos caboucos e das valas.

Num caso semelhante, quando agora se utiliza uma valadeira para substituir a equipa da escavação manual, não é, em regra, possível a interrupção do trabalho da máquina para a sua utilização noutra tarefa, ou para adiar para mais tarde, por não ser de momento necessária, a execução de uma parte do trabalho. A máquina em referência é conduzida ao estaleiro por um período de tempo limitado, correspondente ao da duração da tarefa total prevista, sendo retirada logo a seguir. É indispensável que tudo, no estaleiro, esteja em condições de permitir dar satisfação a este tipo de necessidades no que se refere ao trabalho das máquinas.

Ora na construção civil é particularmente difícil esta organização do trabalho das máquinas. Compreende-se perfeitamente que, na construção de uma estrada, por exemplo, seja possível organizar com facilidade tal trabalho, por muito numerosas que sejam as máquinas, porque a obra estende-se em geral sobre grandes áreas e pode decorrer com independência o trabalho de umas máquinas em relação às outras. Apenas se exige a integração ou coordenação dessas diferentes parcelas do trabalho total.

Na construção civil o trabalho realiza-se concentrado numa área em geral reduzida, e as diversas tarefas não podem realizar-se com continuidade nem com independência. As dimensões dos

estaleiros, no caso de construções dentro de cidades, são por vezes insignificantes, e correntemente só podem ser aumentadas à custa da criação de limitações no trânsito dos arruamentos adjacentes.

Em compensação, por outro lado, é relativamente pequeno o número de máquinas muito caras que a construção civil normalmente utiliza, sendo possível, nalguns casos, o recurso ao seu aluguer ou então através da execução em regime de subempreitada. Tal será o caso de utilização de escavadoras, e da execução de escavações.

As betoneiras e as gruas contam-se entre as instalações mecânicas que, nas obras de construção civil correntes, são utilizadas com carácter de permanência.

No que se refere às pequenas máquinas citam-se por exemplo as de trabalho do ferro para armaduras, de preparação de madeiras para cofragens, de abrir roços, de rebocar, etc.

Dentro dos processos tradicionais de construção por encomenda, o número de variáveis é naturalmente muito grande o que dificulta a organização, e isso tem levado a uma especialização e descentralização cada vez maiores. Aparecem, assim, por exemplo as instalações especializadas de fabrico de betão, em condições de poderem fornecer este material a todas as obras situadas em qualquer ponto da cidade. Do mesmo modo em relação à existência de centrais mecanizadas que possam, por exemplo, fornecer armaduras, já cortadas e dobradas, a todas as obras.

São já antigas as organizações que se dedicam à produção de elementos estruturais de pavimentos, aplicáveis a todos os projectos, e de que o nosso mercado conhece uma extensa gama.

Uma actuação deste tipo verifica-se também, por exemplo, na indústria automóvel, em que muitas peças são executadas em grande série por fornecedores especializados, que produzem as referidas peças e as fornecem a todos ou a muitos fabricantes de automóveis a preços inferiores ao que seria possível, por exemplo a estes, operando noutras condições.

Esta concentração da produção de peças só pode, todavia, processar-se, em condições económicas, se o número de tipos e modelos for reduzido, o que, necessariamente, e referindo-nos agora à construção civil, limita a liberdade dos projectistas.

Entre nós, no que se refere à indústria de cerâmica de barro vermelho foram estabelecidos para os tijolos de alvenaria apenas 7 tipos. Existe uma actividade de normalização geral, que já produziu bastante trabalho útil.

Neste domínio há, no entanto, ainda, um caminho longo a percorrer para a fixação de tipos e modelos de elementos de construção como cozinhas, instalações sanitárias, caixas de escada etc., e de fixação das suas dimensões e respectivas tolerâncias e dos processos práticos de implantação.

No que se refere a canalizações (de água, gás, telefones e electricidade) torna-se indispensável estabelecer, em todos os edifícios, colunas montantes visitáveis, de preferência a instalar na caixa da escada, o que permite eliminar a abertura de roços na construção e nas reparações.

Toma-se necessário estabelecer também projectos-tipo, em número limitado, de blocos sanitários que sejam prefabricáveis em oficina, contendo todas as canalizações de água, gás, esgotos, electricidade, ventilação, aplicáveis em qualquer tipo de obras. Do mesmo modo em relação a cozinhas cujos blocos podem ser, com vantagem, executados em conjunto.

Poderá ser padronizado o tipo de escadas, por forma a dispor-se também destes elementos pré-fabricados de tipo uniforme, etc.

Outro aspecto que interessa à construção tradicional evoluída é o da racionalização das cofragens, por forma a conseguir maior sistematização no seu emprego e melhores rendimentos de trabalho. Na construção de edifícios existem vários processos, merecendo relevo especial a referência às cofragens metálicas aperfeiçoadas, de grandes dimensões, verdadeiras cofragens — ferramenta, deslizantes ou fixas, susceptíveis de permitirem uma betonagem contínua.

A técnica da cofragem — ferramenta permite moldar elementos de betão armado, constituindo paredes e pavimentos ou então, separadamente, paredes e pavimentos. Depois de ligados

entre si, estes elementos ficam a constituir estruturas espaciais, sem pilares, em forma de caixa, com paredes finas, de igual espessura.

No sistema Tracoba utilizam-se cofragens constituindo moldes viajantes, em estrutura tubular, revestidos de chapa, com comprimento até 4,0 m os quais se deslocam sobre carris. Estes moldes, permitem executar simultaneamente paredes e pavimentos, ficando incorporadas todas as tubagens para ligações eléctricas, tacos para ligação de carpintarias, fixações para equipamento etc. A sua utilização (que é completada por cofragem auxiliar para moldar topos, reservas, etc.), comporta as seguintes fases: colocação das vias de rolamento da cofragem; descofragem da secção precedente; deslocação e limpeza das cofragens auxiliares; colocação do elemento principal da cofragem na sua posição; colocação das armaduras e das cofragens auxiliares; betonagem.

No final da execução de um corpo transversal do edifício os moldes são retirados por meio de consolas auxiliares, salientes da fachada do edifício e içados para o andar superior.

O sistema é estudado para permitir a execução de todo o ciclo de trabalho num mesmo turno das 8 ou 9 horas, com rendimentos da ordem dos 200 m<sup>2</sup>/dia, obtidos por descofragem após 24 h a contar do início do trabalho. A resistência do betão pode ser aumentada por sistema de aquecimento do betão incorporado no elemento de cofragem. O pé-direito é fixo em 2,50 m ou 2,60 m e o espaçamento entre paredes, variável mas superior a 2,50 m. A equipa que opera com o material e executa as betonagens é constituída por 12 homens.

No sistema Prometo executam-se as paredes por intermédio de cofragens deslizantes de 1,20m de altura que sobem à razão de 0,15 m/h, pela acção de macacos hidráulicos. Estes macacos ligam-se a hastes metálicas verticais, que se apoiam nas fundações do edifício a construir, ao longo das quais deslizam para cima, fazendo subir a cofragem de uma maneira contínua. Tais hastes (de 0,025 m diâmetro) ficam metidas na espessura do betão das paredes.

A parte superior das cofragens liga-se uma plataforma horizontal onde se instala uma bomba de óleo que alimenta os diversos macacos. Também se ligam à cofragem, logo que atinge uma certa posição acima do solo, dois andaimes suspensos que servem de plataforma de trabalho para a execução dos acabamentos das paredes, interior e exterior, à medida que o molde as vai deixando a descoberto. O rendimento do trabalho é de um piso por dia (fachadas e paredes interiores resistentes) com 2 a 5 jogos de cofragens.

Os pavimentos são betonados por intermédio de cofragens especiais adaptadas ao processo e que permitem dispensar a execução de rebocos.

As ligações entre paredes e pavimentos são conseguidas com armaduras de espera e rasgos de encastramento.

## 4.2 — Processos industrializados

A construção civil, como outra qualquer actividade, só pode industrializar-se utilizando a energia mecânica na produção dos diversos elementos construtivos dos edifícios. Na verdade, o que caracteriza a industrialização não é só a utilização de máquinas, pois que, conforme referimos, a construção civil tradicional utiliza máquinas e cada vez mais as utilizará. A industrialização caracteriza-se pela utilização de máquinas na execução de todos os elementos e em todas as fases da construção, o que implica organização e controlo muito apertado.

Esta é uma das preocupações fundamentais do industrial pois que é através da mecanização de todas as operações que exigem a utilização de muita mão-de-obra, que se podem obter as grandes economias.

4.2.1 — Nos processos industrializados de préfabricação pesada suprime-se a estrutura tradicional, constituída por pórticos, nos dois sentidos em que o edifício se desenvolve, criando a estrutura resistente apenas com os elementos de paredes e de

pavimentos após a sua íntima ligação, no estaleiro. A estrutura passa, assim, a ser constituída por paredes rígidas nos dois sentidos da construção, e por lajes, que ficam a constituir "caixas" ou elementos resistentes a três dimensões, interligados. As paredes são solicitadas à compressão excêntrica para as cargas verticais e também para a combinação destas com as solicitações horizontais de tipo vento ou sismo. As lajes são solicitadas à flexão para as cargas verticais e funcionam como vigas de grande altura, apoiadas nas paredes, para as solicitações horizontais.

Conforme referimos estes processos de construção caracterizam-se pela execução, em fábrica, de maior parte dos trabalhos, reduzindo, no estaleiro, as operações, à montagem dos elementos (o que é efectuado com um pequeno número de operários), e a trabalhos complementares de acabamento. Depois de montados os elementos, a construção fica imediatamente apta a receber o equipamento e os acabamentos finais que não é possível introduzir na fábrica, ou seja, os remates, na ligação entre elementos, revestimentos de pavimentos, assentamento de canalizações de água, gás, esgotos e lixos, serrarias, carpintarias, tocas sanitárias, equipamento de cozinhas, impermeabilização, isolamento térmico de terraços e as pinturas.

Já se referiu que não é possível produzir e montar um edifício dentro da fábrica pelo que a industrialização da construção civil se apresenta sob a forma de uma préfabricação total. Por oposição ao sistema da préfabricação parcial, que utiliza elementos leves — manuseáveis a braco — esta préfabricação total é designada por "préfabricação pesada".

Os elementos, sejam pavimentos, paredes, lanços de escada, condutas de fumo ou de ventilação etc., são executados já com grande parte dos acabamentos, em regra com a incorporação de materiais de isolamento e de tubagens das redes eléctricas, campainhas, antenas de TV e TSF, telefones etc. Isso permite reduzir a mão-de-obra especializada, cujo recrutamento é uma das grandes dificuldades actuais da construção civil tradicional.

4.2.2 — As fábricas são equipadas com a maquinaria necessária, entre outra, para o fabrico dos betões e argamassa, corte e dobragem de armaduras e para o transporte dos materiais utilizados no fabrico e dos elementos, depois de fabricados. Tais fábricas constam do seguinte:

— *Naves de fabrico*, que podem aproveitar o próprio pavimento para molde da face inferior dos elementos, *fig. 1*. Os moldes são, neste caso, constituídos por aros metálicos que limitam a espessura dos elementos e são adaptáveis a dimensões diversas, quer dizer, adaptáveis ao fabrico de elementos do mesmo tipo mas de diferentes dimensões. E de notar que a moldagem horizontal ocupa maior área dentro da fábrica do que a moldagem vertical, mas esta exige maior complexidade de moldes.

Este problema da área e do rendimento diário da produção numa unidade fabril é muito importante a ponto de alguns fabricantes utilizarem máquinas para moldar elementos verticais e horizontais, que, mediante aquecimento, permitem desmoldagens em períodos de 3 a 5 horas. Permite também a execução de blocos de condutas para sanitários e cozinhas englobando já todas as fixações para os aparelhos.

— *Centrais de energia*, que incluem o posto de transformação, a instalação de produção de ar comprimido, de óleo sob pressão para accionamento de macacos hidráulicos, instalação de aquecimento dos elementos, instalação de aquecimento de água, etc.

Com efeito toda a maquinaria é accionada por energia eléctrica, mas necessita-se de utilizar o ar comprimido para a vibração do betão, e o óleo sob pressão para o levantamento de mesas basculantes de fabrico.

Os elementos, depois de endurecidos, são desmoldados e logo a seguir transportados para o exterior da fábrica, dentro de um ciclo de fabrico de 24 h que, normalmente, corresponde a cerca de 18 h de endurecimento dos betões e argamassas. Nas épocas mais frias é necessário utilizar água quente nas amasadoras e aquecer o meio ambiente onde os painéis permanecem, no seu processo de endurecimento, até o dia seguinte.



Fig. 1 — Vista geral interior de uma fábrica de elementos

— *Central de fabrico de betão e de argamassas de gesso e de cimento*, com os seus silos de aglomerantes e de inertes e com a respectiva aparelhagem de doseamento e transporte (fig. 2).

— *Armazém e oficina de corte e dobragem de varão de ferro para armaduras*.

— *Meio de transporte de betão e argamassas e de outros materiais*, das centrais de produção, dos armazéns, ou do exterior, até aos locais de fabrico dos elementos, e do transporte destes, depois de atingirem um certo grau de resistência, para o exterior da fábrica, até aos parques de armazenamento. Incluem empilhadores, pontes rolantes e gruas.

— *Parques de armazenamento*, no exterior e dispostos de um e outro lado da fábrica, onde os elementos permanecem durante cerca de um mês para completar o endurecimento dos betões e das argamassas (fig. 3 e fig. 4). Os elementos são armazenados na sua posição resistente, isto é, pavimentos na horizontal e paredes na vertical. Isso exige a existência de meios de sustentação para permitir tal armazenamento com segurança, sem correr o risco de derrubamento das pilhas.

— *Oficinas de serralharia e de carpintaria e a ferramentaria*.

— *Armazéns de materiais*, tijolo (no exterior da fábrica), gesso, cimento e materiais inertes em silos apropriados, caixilhos e aduelas, tubos e caixas de material eléctrico, tacos e outras peças a incorporar nos elementos.

— *Laboratório* para a realização dos ensaios periódicos de recepção de materiais e para ensaios de pesquisa relacionada com as operações de fabrico.

— *Operários* em regra formados entre pessoal rural, incluindo, até, o que acciona as máquinas.

— *Escritório* que se encarrega da preparação de trabalho e de todos os controlos.

Estas fábricas podem produzir entre 2 e 8 fogos dia e para satisfazerem economicamente devem ter um raio de acção até valores entre 50 e 150 km.

O funcionamento de uma fábrica deste tipo comporta o seguinte:

a) *Planificação detalhada dos elementos a fabricar*, incluindo todos os materiais a aplicar nesse fabrico, tijolos, argamassas, ferros, tubos e caixas das redes eléctricas, caixilhos, peças de fixação diversas, moldagem de reservas especiais ou outras particularidades dos diversos elementos, etc.

Esta planificação inclui o desenho de todos os elementos e a medição individualizada de todos os materiais a aplicar.

b) *Preparação de moldes metálicos* para execução dos diversos elementos. Este molde diz respeito às faces laterais dos elementos quando o próprio pavimento da fábrica é utilizado para molde da face inferior dos referidos elementos, o que é sempre possível excepto no caso de lanços de escada, condutas, elementos com três dimensões, etc.

c) *Aprovisionamento de materiais*, que se baseia na reconstrução permanente dos estoques considerados mínimos para uma produção com segurança, atendendo às dificuldades de abastecimento que possam surgir.

d) *Preparação do trabalho* atendendo aos tipos de elementos a produzir e respectivos prazos de execução, em face do aproveitamento da área da fábrica.

e) *Abastecimento da fábrica*, colocando de véspera os materiais a utilizar o mais perto possível de cada elemento, e nas quantidades necessárias à execução, contando com quebras e desperdícios normais.

f) *Execução dos elementos*, pelos diferentes turnos de pessoal anteriormente treinados para o efeito. Nesta execução atende-se à melhor distribuição do tempo, conjugando o intervalo para almoço com o tempo de espera que é necessário para a execução dos acabamentos da face superior dos elementos.

g) *Endurecimento dos elementos* durante a noite, o qual poderá ser activado por meio de aquecimento por forma a na manhã seguinte, ao reiniciar o trabalho, ter sido atingida a re-



Fig. 2 — Central de fabrico de betões e argamassas de cimento e de gesso

sistência necessária a fim de poderem desmoldar-se os elementos e conduzi-los para o exterior até o parque de armazenamento.

h) *Controlo da recepção de materiais* e das resistências alcançadas nos elementos fabricados. Controlo dos consumos de materiais, comparando-os com as previsões.

i) *Planificação e realização do transporte dos elementos* por forma a libertar com tempo as áreas dos parques de armazenamento da fábrica e também permitir a criação de reservas no estaleiro, por forma a garantir a continuidade da montagem. Este transporte efectua-se em grandes camiões com capacidade para 20 a 25 t de carga útil.

j) *Planificação e execução da montagem* que se inicia após a

construção, por processo tradicional, das fundações dos edifícios. O elemento fundamental deste trabalho é uma grua potente, cuja instalação prévia é indispensável, bem como terraplenos para descarga e armazenamento provisório dos elementos, após transporte da fábrica. Este armazenamento deverá, em regra, garantir a laboração do estaleiro durante uma semana, e deverá efectuar-se de modo a permitir a retirada dos diversos elementos na ordem da sua utilização.

Todo o planeamento de fabrico e transporte deve atender às possibilidades de execução no estaleiro sob pena de se esgotar rapidamente toda a capacidade dos parques de armazenamento anexos à fábrica.

Fig. 3 — Parque de armazenamento de elementos de paredes e de condutas de fumo, e respectiva grua, na fase de carga de um transporte para o estaleiro

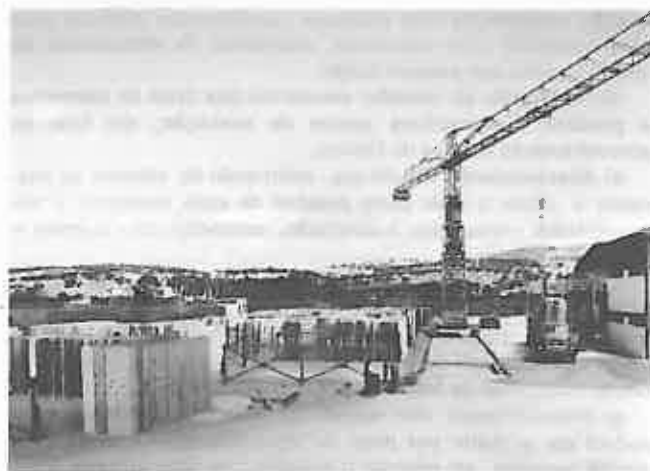


Fig. 4 — Parque de armazenamento de elementos de pavimento; ao fundo, vista exterior da fábrica de elementos.



**4.2.3.** — A montagem efectua-se, em regra, imediatamente a partir do nível das fundações, do qual salientam armaduras na correspondência das juntas entre elementos de paredes (fig. 5). Começam-se por colocar os elementos (lajes) do 1.º piso, os quais, como os dos pisos superiores, apoiam ligeiramente nas paredes deixando sobre estas, e entre topos dos elementos, caleiras horizontais, sobre as paredes, as quais servem para a betonagem das cintas, isto é, dos elementos de ligação entre as diversas lajes.

Concluída a betonagem referida, inicia-se a montagem das paredes, cujos elementos apresentam rebaixos nos topos laterais a que correspondem (depois dos elementos adjacentes ficarem dispostos lado a lado, ou de topo, a seco, na sua posição definitiva), rasgos verticais que permitem a betonagem dos pilaretes de ligação, entre si, dos diversos elementos de parede.



Fig. 5 — Vista da montagem de elementos num bloco em construção. No 1.º plano, execução das fundações de um edifício por processo tradicional.

As paredes são provisoriamente escoradas ao pavimento e também uns elementos aos outros, até à execução dos pilaretes de ligação. A seguir à obtenção de uma determinada resistência nestes, retiram-se as escoras e pode iniciar-se a montagem dos elementos do 2.º piso, e assim sucessivamente.

É dentro das caleiras das cintas, e antes de as betonar, que se executam as ligações entre as tubagens introduzidas, na fábrica, nos elementos de paredes e nos elementos correspondentes dos pavimentos.

Quando se utiliza tijolo na execução dos elementos, de modo a que os furos fiquem aparentes nos topos, o betão executado em estaleiro penetra nas cavidades de tijolo assegurando uma boa aderência entre o betão fresco dos pilaretes e das cintas e os materiais já endurecidos dos elementos a ligar, e, além disso, permite-se ao betão ter uma certa retracção sem comprometer tal ligação. Quando se utilizam paredes de betão, a aderência deverá ser melhorada com armaduras salientes ou por outro processo eficiente, sob pena de fissuração.

Toda a montagem se executa sem necessidade de andaimes (fig. 5 e fig. 6), uma vez que cada pavimento constitui uma plataforma perfeitamente consolidada. O pessoal só tem que chegar-se à periferia dos edifícios em montagem, quando a grua coloca os elementos da fachada, os quais constituem, por si só, um anteparo bastante seguro.

São especialmente cuidadas as juntas entre elementos de fachada, as quais são impermeabilizadas com elementos vedantes e são providas de canais de descompressão para prevenir a hipótese de tendência à migração de água por capilaridade (fig. 8).

**4.2.4** — Concluída a montagem iniciam-se, antes do mais, os retoques do revestimento (no caso deste ter sido atingido no transporte) e de remates, na ligação entre elementos de paredes e de paredes com pavimentos. Estes retoques têm sempre pequena importância no que se refere a volume de trabalho.

Segue-se o assentamento do revestimento de paredes e de

pavimentos que não tenham sido introduzidos na fábrica. Contam-se neste caso os revestimentos com tacos de madeira, que não podem assentar-se na fábrica, porque os elementos ficam expostos às intempéries, durante um certo tempo, nos parques de armazenamento.



Fig. 6 — Fase adiantada da montagem de um edifício de cave e 5 pisos, antes do início de quaisquer acabamentos finais

Vem depois o assentamento de condutas de água, gás e esgotos, as quais ficam assentes à face exterior das paredes, em regra instaladas em prumadas comuns, ou encobertas por sancas, etc., quando não se deseja deixá-las à vista, formando uma rede correctamente desenhada e pintada. Esta última hipótese é perfeitamente possível em cozinhas, casas de banho, etc. e é uma técnica aconselhável que até é obrigatória nalguns países, por facilitar a sua inspecção e reparação.



Fig. 7 — Fotografia de um edifício de 10 andares, executado, por processo de prefabricação total

Depois de assentar as carpintarias de limpos e as serralharias procede-se à pintura das paredes e destes elementos, quando de madeira ou de ferro (o alumínio e o plástico, por exemplo, dispensam a pintura).

A pintura das fachadas exteriores é executada por operários que usam bailléus exclusivamente reservados a estes serviços, os quais não exigem o suporte de grandes pesos nos andaimes suspensos.

**4.2.5.** — As breves referências atrás apresentadas são comuns aos vários processos industrializados, apresentando as figuras 1 a 7 diversos aspectos das instalações fabris da ICESA, na Póvoa de Santa Iria, e do estaleiro da mesma Empresa em Santo António dos Cavaleiros e que utiliza um destes métodos.

Existem diversos processos de prefabricação total os quais

podem agrupar-se em dois tipos, os que utilizam betão na execução dos elementos de parede e de pavimento e os que incorporam tijolo nesse fabrico. Pertencem ao 1.º grupo os processos Balency, Camus, Coignet, etc., e ao 2.º grupo os processos Flório, Costamagna e Technove.

Os elementos de betão, sendo mais pesados exigem aparelhagem de maior potência e, naturalmente, o custo do transporte é mais avultado.

Existem ainda duas variantes no que se refere à localização da fábrica, num local escolhido em função do mercado potencial, ou no próprio estaleiro. Esta 2.ª modalidade, que trabalha com unidades mais aligeiradas e menos especializadas, contempla mercados mais reduzidos e é onerada com a montagem e desmontagem da fábrica em cada estaleiro. São exemplo desta técnica os processos Barets, Estiot (que utiliza elementos metálicos de ligação dos painéis, e que ficam incorporados na construção), Tracoba, etc. Apontam-se a estes processos industrializados de prefabricação total diversas vantagens, como a seguir se indica.

— **Rapidez de construção** pois que permitem eliminar os tempos mortos da construção, endurecimento do betão, prazos de descofragem, secagem de argamassas, etc., melhorando os índices de produtividade e de ritmo de produção;

— **Melhor rendimento do trabalho** porque a execução numa fábrica permite uma planificação e uma mecanização mais desenvolvidas além de obter um melhor enquadramento do

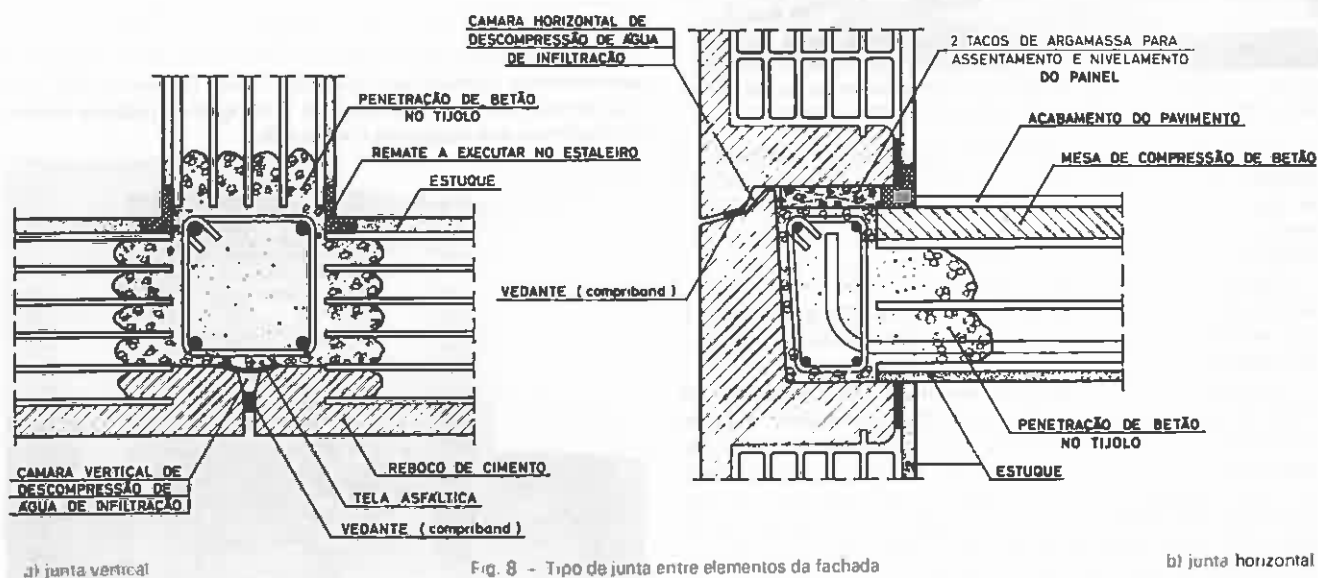
des, na maioria em recinto fechado o que facilita o controlo e reduz as perdas. No que se refere a moldes, resulta maior simplificação e redução do número, com extraordinária possibilidade de reutilização, dispensando os escoramentos e as operações de desmoldagem. Do mesmo modo, dispensa de andaimes.

— **Maior segurança no trabalho** uma vez que está eliminada a possibilidade da queda de materiais e ferramentas e muito mais dominado o risco, dada a simplicidade das operações de moldagem, havendo, ao mesmo tempo, muito menos pessoal na execução.

5 — **Conclusões** — Nas considerações anteriormente expostas pretendemos chamar a atenção para os novos processos utilizados na construção civil. Aos engenheiros compete fundamentalmente toda a organização do trabalho e o controlo das obras, em todas as suas fases. Daí a necessidade de, na sua formação escolar, se atender a tal objectivo.

As novas técnicas não afectam só a condução dos trabalhos, mas obrigam à revisão de certas concepções, no sentido de se conseguir a sua aplicação sistemática, e permitir, finalmente, atingir o objectivo da produção industrializada, que será o de possibilitar a construção de casas acessíveis a todos, ao ritmo do crescimento da população.

Tais técnicas exigem também a aplicação de vultuosos capitais, e tornam necessário que todos os Serviços de quem dependem a resolução global dos problemas habitacionais



pessoal que trabalha em melhores condições, pois que as operações são independentes do estado do tempo. Além disso a execução dos elementos ao nível do solo, efectua-se com vantagens de comodidade executiva, e em melhores condições técnicas do que seria possível conseguir directamente nas obras.

**Economia de custo** devida principalmente à produção em série dos elementos de construção e à facilidade e rapidez da sua montagem na obra, sendo esta efectuada utilizando, intensamente, adequados mecanismos de elevação e de transporte.

— **Aproveitamento da mão de obra não especializada**, superando uma das grandes dificuldades de construção tradicional, dificuldades essas que se agravarão certamente com o desenvolvimento da industrialização, como actividade normal em todos os domínios.

— **Economia de materiais** por trabalhar com grandes quantida-

(Câmaras Municipais, departamentos oficiais de Estradas e de Hidráulica, Concessionárias de Transportes, Laboratórios de Ensaio, etc.) trabalhem em conjunto, com a decisão de resolver todas as questões, a curto prazo.

Não será fácil a industrialização da construção civil numa fase da organização burocrática em que todos os caminhos críticos das diversas Programações passam pelos Serviços que apenas têm o encargo dos licenciamentos.

Há ainda uma actividade importante a desenvolver, que se refere à modulação e tipificação das construções.

Este problema tem, em nosso entender, um grande interesse para o curso de engenharia civil, no que se refere às cadeiras de Materiais e Processos de Construção, Planeamento, Organização e Controlo de Estaleiros de Construção.

# INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

por JOSÉ A. TEIXEIRA TRIGO

Engenheiro Civil —Especialista do L.N.E.C. — Chefe da Divisão de Processos de Construção

## SUMÁRIO

O CONCEITO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO. VIAS PARA A INDUSTRIALIZAÇÃO: RACIONALIZAÇÃO, MECANIZAÇÃO E PREFABRICAÇÃO. OS SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO. A INDUSTRIALIZAÇÃO E O MEIO TÉCNICO E ECONÓMICO. ALGUNS ELEMENTOS ESTATÍSTICOS E EXEMPLOS.

## INDUSTRIALISATION OF THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS

### SUMMARY

THE CONCEPTION OF INDUSTRIALISATION OF THE CONSTRUCTION. WAYS OF THE INDUSTRIALISATION: RATIONALIZATION, MECANIZATION AND PRÉ-FABRICATION. THE SYSTEMS OF CONSTRUCTION. THE INDUSTRIALISATION AND THE TECHNICAL AND ECONOMICAL MEAN. SOME STATISICAL ELEMENTS AND EXAMPLES.

## INDUSTRIALIZATION OF LA CONSTRUCTION D'ÉDIFICES

### SOMMAIRE

LE CONCEPT D'INDUSTRIALISATION DE LA CONSTRUCTION. VOIES POUR ABOUTIR À L'INDUSTRIALISATION: RATIONALISATION, MECANISATION ET PRÉ-FABRICATION. LES SYSTÈMES DE CONSTRUCTION. L'INDUSTRIALISATION ET LE MOYEN TECHNIQUE ET ÉCONOMIQUE. QUELQUES ÉLÉMENTS STATISTIQUES ET EXEMPLES.

### nota prévia

Em 1973, o autor teve oportunidade de divulgar, no âmbito dum curso sobre edifícios prefabricados realizado no LNEC, algumas reflexões sobre os conceitos ligados à industrialização da construção de edifícios e às vias pelas quais pode ser concretizado. Onde então, e apesar do curto período de tempo decorrido, foram publicados importantes estudos sobre o assunto que se tornava necessário ter em conta num trabalho de divulgação. Neles se incluem recentes recomendações da O.N.U. para a industrialização progressiva da construção, um debate sobre mecanização e automatização havido no C.S.T.B. e ainda um seminário sobre prefabricação realizada em Espanha. A alteração dos condicionamentos da indústria da construção em Portugal e as mais recentes estatísticas da O.N.U. sobre a evolução das técnicas de construção na Europa impunham também que tal revisão se fizesse alargando ligeiramente o seu âmbito e reformulando completamente diversas passagens. É este trabalho que, preparado no LNEC no âmbito do Planeamento de Estudos do Domínio dos Edifícios, se divulga em primeiro lugar e apenas parceladamente nas jornadas de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

## 1 — INTRODUÇÃO

Em todos os países se põe o problema da construção de edifícios com a maior economia de meios, quer se trate de habitações, de equipamento social — escolas, hospitais, etc. — ou ainda de instalações para a indústria e o comércio. A progressão demográfica, a aceleração do processo de urbanização com a consequente movimentação de grandes massas populacionais e a expansão de novos serviços colectivos para apoio das populações e das suas actividades sociais e económicas, obrigam os responsáveis pelos assuntos da construção, a procurarem as soluções que conduzam aos maiores índices de rentabilidade social. É sobretudo nos países mais atrasados e nos que se encontram em vias de desenvolvimento que aqueles fenómenos apresentam maior expressão e, em consequência, é aí que o problema da economia de meios se põe com maior acuidade, até porque tais meios são mais limitados.

São conhecidas em muitos países, inclusivé em Portugal, estimativas das carências de novas construções a curto e a longo

prazo (1). Em relação ao nosso país, as estimativas anteriores têm sido actualizadas por forma a se terem em conta os mais recentes movimentos populacionais, dos quais o mais significativo é, por certo, o regresso de grandes massas populacionais emigradas.

As experiências de alguns países que se lançaram em programas maciços de construção, mostram surgirem sempre novas necessidades. Em 1965, MYRDAL (8) tinha chamado a atenção para o facto de as necessidades de novas construções serem praticamente inesgotáveis perante a capacidade da indústria de construção nos países da Europa Ocidental. Felizmente que esta afirmação perdeu algum sentido em certos países europeus, como é o caso da Suécia e da Grã-Bretanha, onde o ritmo imposto à construção conseguiu ultrapassar as necessidades, assistindo-se recentemente a uma redução do esforço em novas construções.

No entanto, na maioria das regiões e a nível mundial, a questão mantém-se e pode-se considerar como uma utopia a construção, dentro de um curto prazo, de todos os edifícios necessários. Posta assim a questão, será tarefa dos responsáveis definir o volume dos meios que a sociedade pode afectar à construção, em função das disponibilidades e do conjunto das necessidades totais.

No caso português, o Colóquio sobre Política da Habitação (1) constituiu um primeiro passo na definição duma política a seguir. No essencial e no que respeita à habitação, as linhas de acção que estão a ser seguidas nos últimos anos, foram já delineadas naquele Colóquio. O planeamento mais recente aponta para um ritmo de construção de 65.000 fogos nos próximos 4 anos (5). Quem conheça um pouco das possibilidades actuais da indústria de construção, não pode deixar de se interrogar seriamente sobre a forma como aquele programa poderá ser posto em execução.

Também a construção escolar está submetida a fortes pressões resultantes da evolução social, económica e demográfica, devendo não só fornecer o tipo de construções apropriadas aos objectivos educativos em constante evolução, mas ainda fornecê-los onde são necessários e, em particular, fornecê-los em quantidades suficientes dentro de orçamentos limitados e quase sempre em prazos limitados (27). Neste domínio da construção escolar e em

(\*) De acordo com as estatísticas da O.N.U. (3), na Grã-Bretanha construíram-se 321 mil fogos em 1963, atingiram-se 372 mil em 1971, tendo-se seguido uma redução que se cifra em 290 mil em 1974; na Suécia, verifica-se fenómeno análogo, com 81 mil fogos construídos em 1963, um máximo de 110 mil em 1970 e uma redução até 85 mil em 1974.

relação ao nosso país, não existe ainda um levantamento adequado das necessidades, nem uma programação correcta. Alguns elementos divulgados são sectoriais ou baseiam-se em hipóteses muito discutíveis.

Sendo múltiplos os factores que condicionam a definição das melhores soluções, não serão por certo as de índole tecnológica as mais importantes. A política de solos, os planos de investimento, a prioridade dada à habitação social ou aos programas de equipamentos e ainda o grau de organização e coordenação do sector, são alguns dos aspectos mais relevantes.

As considerações que se seguem restringem-se apenas a aspectos tecnológicos, ou seja, ao problema que as técnicas podem e devem resolver: a comunidade põe à sua disposição um certo volume de materiais, de meios financeiros e de mão de obra; com estes elementos e atendendo aos restantes condicionamentos locais, deverão otimizar a solução — uma solução que permita construir o maior volume, num mínimo tempo, dando satisfação às exigências dos utilizadores e por um custo moderado.

As recentes recomendações da O.N.U. relativas à industrialização progressiva da construção (4) têm em vista a definição de políticas e de medidas a nível governamental que criem as condições e incentivos necessários à ultrapassagem das limitações existentes em muitos países. Aí se põe a ênfase na necessidade de melhorar o uso das possibilidades humanas e materiais. Esta atitude é já um primeira posição de racionalização necessária à industrialização.

## 2 — CONCEITO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Em que consiste a industrialização da construção? O que a caracteriza?

Dum ponto de vista económico, a actividade da construção é uma actividade industrial, qualquer que seja o modo como se processa. É porém habitual, dum ponto de vista tecnológico, opor o conceito de construção industrializada ao de construção tradicional. Quais os elementos que permitem estabelecer a diferença? Vejamos.

BALLADUR (7) considera como característica de qualquer fabrico industrial a substituição do fabrico manual dos objectos pelo seu fabrico mecânico, ou seja, a substituição da energia humana pela mecânica. Só acessoriamente se trataria da utilização de certos métodos de organização do trabalho, como sejam a planificação dos estudos, o fabrico em série ou a montagem em cadeia.

BRAZÃO FARINHA (12), definindo a industrialização da construção como a aplicação das técnicas próprias da actividade industrial à execução das obras de construção civil, considera como atributos essenciais a mecanização e organização do trabalho e a repetição das operações de fabrico.

Analogamente, no documento da O.N.U. já citado (4), entende-se por industrialização a aplicação à construção dos métodos modernos em matéria de indústria e de organização da produção, sendo características do método industrial, a produção em grandes séries e as operações em cadeia. Considera-se ainda como sendo um processo evolutivo que deverá atingir no final a produção completamente industrializada dos edifícios.

Segundo ODDIE (27), o conceito de industrialização supõe que os meios de produção são as máquinas, de preferência à mão de obra e que ambas estão concentradas, de preferência em fábricas, por forma que possam ser usadas num fluxo regular da produção. Supõe que o produto é fabricado num grande número de exemplares, de preferência a um único.

HEINZ RITTER (15) designa por industrialização da construção o uso de métodos de construção que conduzam a uma redução importante no número de horas de trabalho, mantendo a mesma qualidade e o mesmo volume de produção. As suas principais características seriam a transferência do máximo de operações do estaleiro para instalações fixas e a racionalização sistemática das diferentes operações desde o projecto ao acabamento das construções.

Alguns autores (13) dão tal primazia ao factor repetição das operações de fabrico em instalações fixas que acabam por identi-

ficar industrialização da construção com prefabricação. Posição análoga é assumida em algumas publicações onde sob o título de industrialização se fala apenas de prefabricação.

Mais do que tentar uma definição de industrialização da construção, que seria sempre parcial, interessa reflectir sobre as suas principais características e que serão:

1 — Definição clara dos objectivos, a partir do conhecimento das necessidades e dos desejos dos utilizadores; esta definição é feita a nível global e ao nível das diversas entidades promotoras da construção;

2 — Preparação prévia do trabalho desde a programação global, passando pela normalização e pela racionalização do projecto, até à organização das tarefas de construção;

3 — Execução em instalações fixas, por uma ou mais indústrias complementares, de grande parte dos elementos da construção;

4 — Utilização predominante de máquinas e de energia mecânica em substituição da mão de obra, quer nas operações realizadas em instalações fixas, quer nas de estaleiro;

5 — Especialização e repetição das operações de fabrico e de montagem.

A análise destas características mostra já muito, claramente qual é a posição da prefabricação no processo de industrialização, com o qual não deve ser confundida. Embora a prefabricação constitua uma componente típica e muito importante da industrialização esta corresponde a uma noção muito mais vasta que incide sobre a totalidade do processo de construção, desde a preparação do plano até às últimas operações de acabamento.

Saliente-se ainda que nas diferentes vias de industrialização da construção se verificam certas tendências comuns: substituição do trabalho manual por trabalho mecânico; aproximação das condições de trabalho da construção em relação às que se encontram nas restantes indústrias; aumento de produtividade dum modo geral, há uma deslocação do homem como fonte de energia para o homem como planificador, organizador ou operador.

Apesar de tudo o que se disse, é difícil fixar onde começa a construção industrializada e acaba a tradicional. Com efeito, as características atrás referidas encontra-se também na construção tradicional. A diferença reside sobretudo numa questão de grau (27). Trata-se portanto de uma apreciação relativa, cheia de subjectividade, que, para o mesmo nível de evolução originária respostas diferentes, em diferentes meios ou épocas.

Se analisarmos as estatísticas relativas à evolução tecnológica da construção em Inglaterra, que mais adiante se incluem, fica-se surpreendido como, num país onde é evidente o processo de industrialização, os números registados apresentam, entre 1970 e 1974, uma redução da percentagem de edifícios construídos segundo técnicas de construção industrializada, de 38 % para 22 % (3).

Tudo o que até agora se disse sobre industrialização da construção e prefabricação não teria por certo a aprovação de ORDONEZ que, no texto do seu seminário de Prefabricação recentemente publicado em Espanha (26), repudia os conceitos mais divulgados sobre industrialização e prefabricação. Considerando que os termos, além do mais, estão gastos, introduz um novo conceito, o de "prefabismo", que seria uma forma de construir que, partindo de uma mentalidade nova, a industrialização da construção, usando como ferramenta a prefabricação, e tendo presente em todo o instante o homem, daria lugar a uma arquitectura que pertencesse a todos. O "prefabismo" exige as seguintes características simultâneas: industrialização, planificação, projecto com nova mentalidade, possibilidade de opção, investigação, racionalização e arte popular.

Mas deixemos Ordóñez e a sua utopia do "prefabismo" e retomemos o tema da industrialização da construção, no sentido que se vem apresentando.

## 3 — VIAS PARA A INDUSTRIALIZAÇÃO

Admitindo que tudo quanto se disse sobre as vias que conduzem à industrialização da construção se pode resumir nas acções de

— racionalização,

- mecanização,
  - prefabricação,
- analise-se cada uma delas com mais pormenor.

### 3.1 — Racionalização

Trata-se de todo o conjunto de acções tendentes ao aumento de rendimento do sector em conjunto e de cada uma das tarefas a realizar em particular. Racionalizar é aplicar, em matéria de organização, de planificação e de verificação, as técnicas adequadas à melhoria da qualidade e ao acréscimo da produtividade, fazendo o melhor uso dos meios humanos, dos materiais de construção e do equipamento e instalações. Sem se pretender ser exaustivo, apresentam-se seguidamente alguns exemplos de actividade racionalizadora.

Ao nível geral do sector, rejeita-se a actividade de regulamentação e normalização, seja na definição de níveis de qualidade, seja na normalização de dimensões e na correspondente coordenação dimensional modular, seja ainda na normalização e na elaboração de documentos — base de trabalho — regras de apresentação de projectos, regras de medição, cadernos de encargos tipo, contratos tipo. Se, na maioria dos casos, esta actividade de base do domínio da normalização é tarefa da administração, das associações profissionais ou dos organismos de investigação, ultrapassando as unidades de intervenção — gabinetes de projecto e empresas de construção —, toda a sua eficiência resulta do modo como por estas é usada e aplicada.

Neste domínio, tem sido constatada a grande vantagem na normalização de elementos de construção. Uma gama muito larga de produtos constitui um obstáculo à especialização e, portanto, à adopção da mecanização e do trabalho de série. Na reunião do C.S.T.B. já referida (6), MOULET salientou a importância da normalização para a indústria francesa de elementos leves de madeira. Nesta indústria, cerca de 80% da produção corresponde a elementos normalizados. Assim, por exemplo, em relação a janelas, existem cerca de 240 modelos normalizados, dos quais são produzidos para "stock" cerca de 150.

Em relação à coordenação dimensional modular, é também significativo o testemunho de STAALBY, na mesma reunião do C.S.T.B. (6), que refere o arranque da industrialização da construção na Dinamarca, cerca de 1960, como fortemente apoiada na prefabricação e na coordenação modular.

Ao nível da execução das obras, refere-se, por exemplo, a actividade de racionalização e organização dos estaleiros. Engloba a melhoria das instalações do estaleiro por meio dum plano de implantação bem concebido e pelo estudo do modo de utilização dos materiais, das vias de acesso, das condições de armazenamento, das oficinas, da implantação do equipamento, etc. O desenvolvimento da prefabricação confere particular interesse à organização dos parques de armazenamento e aos sistemas de transporte e de elevação.

Quanto aos processos de construção, cita-se, ainda como exemplo, a racionalização de cimbres e cofragens, que constituem uma parcela importante do custo total de certos tipos de edifícios. O aperfeiçoamento das ferramentas manuais, máquinas e outros elementos de equipamento correntemente usados, bem como a introdução de ferramentas e máquinas novas e mais eficazes, são também factores importantes da racionalização.

A prefabricação total ou parcial de certos elementos da construção, alguns dos quais fabricados junto ao próprio estaleiro das obras, pode permitir também importantes acréscimos de rendimento relativamente às soluções tradicionais. O que interessa salientar, dentro do conceito de racionalização, é que as decisões de prefabricar ou não certos elementos, ainda que integrados em edifícios de construção mais tradicional, devem resultar de opções bem esclarecidas quanto às suas vantagens relativamente a outras soluções possíveis.

A escolha dos materiais a utilizar constitui também um amplo campo da actividade racionalizadora. Há que procurar a utilização de materiais locais, por regra mais económicos, desde que possam garantir o respeito pelas exigências relativas ao comportamento das construções, em substituição de materiais importa-

dos, quase sempre mais caros. Este aspecto é importante porque é normalmente pela mesma via por que se importam técnicas de industrialização que se faz a importação de novos materiais. Mesmo em relação à importação das próprias técnicas, há que efectuar um laborioso trabalho de adaptação às condições locais, sob pena de se estar a seguir um caminho errado de industrialização. Este aspecto é salientado pelo relatório da O.N.U. já referido (4). No caso particular do nosso país, somos de opinião de que existem conhecimentos e técnicos com nível e em quantidade suficiente para a apreensão da evolução tecnológica dos países mais desenvolvidos, no domínio dos processos de construção, e a sua adaptação às condições locais.

A organização do trabalho nas unidades fixas e nos estaleiros é uma natural consequência da actividade de racionalização. Os métodos habitualmente seguidos conduzem à especialização do pessoal na execução de tarefas repetidas, embora simples. Se tal especialização é fácil de conseguir nas grandes séries, só compatíveis com empreendimentos de grande dimensão, já o mesmo não é fácil nas obras pequenas, não repetidas ou dispersas, ainda nas obras muito condicionadas pela geometria e natureza do terreno. A imaginação dos empresários e dos outros responsáveis pela organização do sector é desafiada e dos outros responsáveis pela vados índices de produtividade em trabalhos aparentemente não seriados.

A generalidade das acções de racionalização não implica grandes investimentos financeiros nem alteração profunda da estrutura da indústria de construção. Há sobretudo que investir estudo, cujos dividendos são muito elevados, em termos de acréscimo de produtividade. Citando ainda o relatório da O.N.U. (4), quando a racionalização é aplicada completa e eficazmente, pode fazer os custos de 20% a 30%. Por exemplo, na Dinamarca, os métodos tradicionais de construção exigem 22 horas — operários por metro quadrado de superfície habitável, nos edifícios de habitação. A racionalização, só por si, permite uma redução para 13 horas — operário.

### 3.2 — Mecanização

Insiste-se na importância que se atribui à substituição do homem pela máquina, à utilização da energia mecânica em vez da humana, como meio para melhorar não só a produtividade, mas também a qualidade da construção. Efectivamente, a introdução dos aparelhos de manobra, das máquinas de transporte, das máquinas-ferramenta, permite a obtenção dum maior rendimento do trabalho do operário e, por outro lado, permite que a construção possa expandir-se apesar da grande carência de operários especializados neste sector. Certos trabalhos, como a vibração e a soldadura, devido à sua própria natureza, só com máquinas podem atingir satisfatório nível de qualidade.

Nas instalações fixas, a mecanização assume aspectos cada vez mais importantes, pois aí se generalizaram os equipamentos de manutenção e transporte — guias, pontes rolantes, "charriots" eléctricos, "monorails" e até sistemas pneumáticos. Nas instalações de prefabricação pesada, destacam-se as centrais de betonagem, as máquinas de moldar, fixas ou móveis, as instalações de vapor e as autoclaves. No fabrico de componentes leves e na prefabricação também leve, há que referir a utilização de máquinas — ferramentas cada vez mais aperfeiçoadas e adequadas à realização de operações em grandes séries.

Nos estaleiros, é decisiva a contribuição dos equipamentos de transporte e elevação. Pensa-se apenas na evolução havida entre o transporte manual dos materiais de construção e os processos de elevação mecânica, inicialmente utilizando monta-cargas e, mais recentemente entre nós, utilizando guias de capacidade crescente.

O emprego de guias dimensionadas, por exemplo, para o transporte de baldes de betão fresco, traz consigo uma série de consequências. Apesar de se tratar em geral de guias de capacidade média (cerca de 1 tf na extremidade), é evidente não serem económicas para a elevação de cargas da ordem das dezenas ou das poucas centenas de quilogramas. Assim, assiste-se ao

desenvolvimento dos processos de acondicionamento dos materiais em embalagens com peso adequado àquela capacidade. Por outro lado, com este equipamento, passa a ser vantajoso o emprego de elementos de construção que, pesando muitas centenas de quilogramas, substituem os elementos cujo peso era adequado ao transporte manual. Daqui um incipiente desenvolvimento da prefabricação de elementos de construção — pranchas vasadas para pavimentos com a espessura da laje final, prelares, e preligas com nervuras metálicas, painéis para divisórias, lanços de escadas, grandes peças de fibrocimento, etc. — e ainda a utilização de elementos de cofragem de grande dimensão. O passo seguinte será o que o próprio desenvolvimento da prefabricação aponta: o emprego de guias de capacidade crescente.

Há no entanto que atender aos inconvenientes que as máquinas de grande potência apresentam. Além do seu elevado custo, têm maiores problemas de conservação e, para serem rentáveis, exigem uma ocupação mais plena.

Ainda no que respeita aos estaleiros de construção, importa referir o desenvolvimento que se verifica no emprego de outros elementos mecânicos: escavadoras, instalações e ferramentas de ar comprimido, ferramentas eléctricas, aquecedores para aceleração do endurecimento dos betões e da secagem das construções, etc.

Alguns números: na Suécia, o número total de guias utilizadas na construção passou de 45 em 1951 para 920 em 1960 e 4830 em 1970 (10).

As estatísticas nacionais da construção (2) referem-se apenas ao período de 1969 a 1972 e admite-se que enfermem de algumas deficiências de inquérito. No Quadro I, registam-se os valores relativos a alguns equipamentos mais significativos. Infelizmente, a partir de 1972, o I.N.E. mudou de critério e regista apenas o valor do equipamento adquirido em cada ano.

Quadro 1 — Equipamentos utilizados na construção em Portugal				
Tipo de Equipamentos	1969	1970	1971	1972
Dumpers	1580	1725	2611	2801
Tractoras (de lagartas e de rodas)	389	686	857	822
Guias	1221	1442	1918	1889
Monta cargas	281	486	744	871
Grupos geradores de electricidade	185	257	370	229

Falta ainda uma referência em relação à automatização que acompanha em geral o processo de mecanização, tema que constitui o objectivo da reunião do C.S.T.B. já referido (6). Nesta reunião foi analisada a experiência alcançada com a automatização de fábricas de prefabricação pesada de betão, de vigotas para pavimentos, de caixilharias de madeira, etc. BLACHÉRE fala mesmo em automação ou, para evitar confusões, no controlo e regulação automática. Tratar-se-ia sobretudo da possibilidade suplementar dada às máquinas de se ajustarem, dentro de certos limites, a um determinado programa de fabrico definido sob a forma de cartões perfurados ou de bandas magnéticas.

### 3.3 — Prefabricação

O que anteriormente se disse permite situar já a prefabricação como uma das vias mais importantes para a industrialização dos edifícios, embora não se lhe atribua carácter de exclusividade. É fácil compreender também que as acções de racionalização, mecanização e prefabricação se sobrepõem e interpenetram de tal forma que é difícil separá-las claramente.

Como e quando começou a prefabricação, será uma questão que não terá muito interesse analisar agora. Existem publicações sobre o assunto (26). Quais são as suas diversas etapas já será um aspecto com mais interesse prático. Sobre este assunto o relatório da O.N.U. que temos vindo a referir contém indicações úteis quanto ao processo correcto de desenvolver a prefabricação (4).

Sem se pretender entrar em definições, consideram-se como

prefabricação as técnicas de construção que se baseiam na produção de elementos de construção fora dos seus locais definitivos, no estaleiro ou fora da obra, os quais são posteriormente ligados e montados no seu local definitivo. Num conceito muito alargado, seria prefabricação o fabrico de blocos cerâmicos em locais e instalações diferentes do estaleiro, o que se faz há milénios. Mas, hoje em dia, e ao mesmo nível, seria prefabricação a preparação de tintas a partir dos seus constituintes, em unidades fabris especializadas. Porém, quando as pinturas se apresentam já aplicadas em superfícies contínuas destinadas a serem coladas nas paredes, por certo que se passou a um estágio mais adiantado de prefabricação. A este nível poder-se-iam incluir as caixilharias interiores e exteriores, as divisórias e fachadas leves ou ainda certos equipamentos sanitários e de cozinha completamente acabados em fábrica.

No entanto, não é exactamente naquele âmbito que se utiliza o termo prefabricação, o qual habitualmente inclui apenas os elementos da construção que, podendo ser executados em obra segundo técnicas válidas, são fabricados fora do seu local definitivo e posteriormente montados. Assim, é já corrente falar de prefabricação parcial em relação à integração em construções, construídas segundo métodos tradicionais, de elementos fabricados fora delas. É o caso já referido dos elementos para pavimentos — vigotas, prelares, pranchas vasadas —, dos lanços de escadas, das divisórias e das fachadas pesadas, dos elementos para estruturas reticuladas, etc. Habitualmente este tipo de peças prefabricadas não inclui ainda quaisquer elementos secundários associados ou revestimentos.

O passo mais significativo é porém o representado pela fabricação total, onde a maioria possível das operações de construção se faz em fábrica ou oficinas, sendo o edifício obtido em grande parte pela montagem dos elementos prefabricados. Encontram-se neste caso soluções de construção pesada — que atingem o maior desenvolvimento nos sistemas de painéis pesados ou nos sistemas mistos de estrutura reticulada e painéis de enchimento — e ainda as mais variadas soluções de construção leve. Mesmo quando não integram outros elementos secundários ou de equipamento, também prefabricados, tais processos englobam trabalhos que ultrapassam um terço do custo total das obras e, sobretudo na construção leve, se aproximam por vezes dos 80% do valor da construção.

A concentração em instalações fixas do fabrico de partes importantes da construção permite utilizar as vantagens da especialização e da racionalização do trabalho.

Porque é nos sistemas que as diversas acções de industrialização atingem no momento, a sua máxima expressão, impõem-se-lhes uma breve referência.

## 4 — SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS

### 4.1 — Características gerais

Adopta-se um conceito de sistema que não corresponde ao processo de construção nem mesmo à série industrial. Em sentido lato e atendendo a que o termo sistema significa um conjunto de relações entre partes interdependentes, mesmo nas construções tradicionais haverá um sistema. Porém, na acepção que se irá usar, os sistemas que se consideram são apenas os industrializados, ou seja, os sistemas que não só são racionalizados (e em consequência) e eventualmente prefabricados, os elementos de construção, mas também são normalizados as suas relações (diga-se ligações). No que se segue, usar-se-á o termo sistema como sinónimo de sistema industrializado.

Nos sistemas de construção, e nos casos mais perfeitos, encontra-se uma integração de todo o processo construtivo, desde a fase de planeamento e projecto, passando pela organização das tarefas, pelos métodos e instalações de fabrico, pelos processos e equipamentos de montagem, até à conclusão das construções. Em princípio, tudo estará previsto, racionalizado, digamos industrializado.

O sistema, para atingir uma maior eficácia, começa antes do próprio projecto. Assim, inclui uma coordenação de dimensões,

métodos próprios da concepção e de apresentação dos projectos e técnicas de fabrico dos elementos (em instalações próprias ou sob contrato). Através de empresas próprias ou associadas, procede à montagem segundo técnicas normalizadas. Inclui elementos secundários e de revestimento que, embora com uma certa flexibilidade, são definidos com todo o pormenor.

O sistema é oposto à improvisação.

#### 4.2 — Características dos principais tipos de sistemas

Os sistemas que experimentaram maior expansão foram, pelo menos até há poucos anos, a de painéis pesados auto-portantes destinados a construções para habitação e outras utilizações análogas. Desenvolveram-se no pós-guerra nos países europeus, inicialmente com maior rapidez nos de economia planificada e posteriormente também nos de economia de mercado. Nestes últimos tiveram de introduzir sucessivos aperfeiçoamentos para se conseguir impor à construção tradicional em curso de racionalização, o que lhes valeu entretanto uma expansão a nível mundial.

Face à reduzida adaptabilidade das construções resultantes daqueles sistemas, e para satisfação das necessidades da construção de edifícios escolares e de escritórios, têm-se desenvolvido entretanto as soluções mistas de estrutura rectilínea da prefabricada com painéis para pavimentos e para a envolvente da construção, associando divisórias amovíveis.

O desenvolvimento destes sistemas deu origem a grandes instalações de prefabricação pesada, sendo correntes unidades para a produção de 1000 ou 2000 fogos anuais e até, como acontece na U.R.S.S., para 10.000 fogos anuais. A título de exemplo, cita-se uma fábrica dinamarquesa (6) que utiliza a moldagem de painéis de betão em bateria de elevado rendimento, com a produção de 2000 fogos anuais. Nestas instalações a produtividade atinge cerca de 2,5 horas-operário por metro quadrado de habitação. Em obra há um gasto adicional da ordem de 4 horas-operário, o que totaliza cerca de 6,5 horas-operário por metro quadrado.

Menos espectaculares, por serem usados em construções de baixa altura, são os sistemas de construção leve, com base em elementos de madeira, metálicos, plásticos ou de fibrocimento. Surgem no seguimento de uma experiência largamente generalizada deste tipo de construções em certas regiões e climas e atingem, neste momento, um grande desenvolvimento, particularmente na América do Norte. O seu êxito baseia-se na grande mobilidade da população activa norte-americana e no facto de os utentes-proprietários se contentarem com um bem de consumo de duração reduzida. As construções "mobile home", transportadas praticamente construídas da fábrica para o local definitivo, atingiram já um volume da ordem de alguns milhões de fogos nestes últimos anos. caso, uma organização perfeita das cadeias de fabrico e montagem assegura uma elevadíssima produtividade. A produtividade é da ordem de 3 horas-operário por metro quadrado.

Noutros sistemas, mais do que à prefabricação, recorre-se a técnicas de fabrico em obra. É o caso do sistema de origem norte-americana "Lift-slab" que constrói parte das estruturas ao nível térreo e as eleva para a sua posição definitiva por meio de macacos. No sistema inglês "Jackblock", usam-se técnicas do mesmo tipo: a construção é realizada ao nível do piso térreo, praticamente acabada e é elevada por macacos. A principal vantagem destas técnicas é permitirem a execução de grande parte do trabalho no mesmo local, a base do edifício, o que tem particular interesse em climas frios.

A técnica do "beton bauché", originária do sul de França e utilizada na construção de estruturas laminares de paredes e pavimentos de betão armado, tem permitido nos últimos anos uma forma de industrialização e incorpora paredes de elementos prefabricados. Esta técnica, nas suas formas mais evoluídas, associa equipamentos e elementos secundários. Note-se que, também neste caso, só se beneficia de todas as vantagens do processo quando este integra os vários atributos do sistema: coordenação de dimensões, particularmente para um bom rendimento das cofragens; racionalização do projecto para uma correcta integração

das canalizações e dos equipamentos; planificação das operações com vista à economia de mão de obra.

Normalmente estes sistemas utilizam uma forte mecanização em especial nas suas versões de "construção-túnel". Em relação aos processos de prefabricação pesada, permitem uma melhor integração dos elementos secundários e apresentam a vantagem adicional da economia de transportes. Permitem ainda uma redução dos problemas das juntas, quando integram elementos prefabricados.

Uma análise conjunta e necessariamente incompleta dos três tipos de sistemas referidos permite verificar que enquanto os sistemas de construção leve se não adaptam a edifícios em altura e apresentam graves limitações quanto à inércia térmica, nos outros tipos, embora estes inconvenientes desapareçam, surgem outros novos. Assim, nas construções de painéis pesados, os inconvenientes resultam do próprio peso que origina encargos significativos no transporte e na elevação em obra. Os sistemas de betão moldado em obra limitam a industrialização a uma parcela muito reduzida da construção, em termos do seu custo: cerca de 30 %.

Parece assim que a solução será encontrar sistemas que se baseiem na prefabricação dos elementos mais leves, quando possível com revestimentos e equipamentos incluídos e que constituam a cofragem para a colocação em obra dos materiais estruturais por natureza pesados. Esta ideia está já parcialmente posta em prática com a utilização de prelares, prévigas e envolventes para pilares com as armaduras incorporadas, RUIZ DUERTO 28 estudou recentemente em Espanha um sistema, ainda em fase experimental, e que se baseia na prefabricação total da cofragem, que fica incorporada na construção definitiva. Trata-se de caixas leves, tridimensionais e autoportantes, com cerca de 25 a 30 m<sup>2</sup>, totalmente acabadas e que funcionam de cofragem perdida para o enchimento de betão vasado, no caso das paredes, e servindo de apoio provisório a placas prefabricadas para os pavimentos. Os painéis, executados à base de "placoplâtre", incorporam as instalações, eventuais armaduras suplementares da estrutura das paredes, o equipamento sanitário, os acabamentos interiores e das fachadas, a carpintaria interior o exterior, o mobiliário fixo, tudo construído em cadeia. Sendo o peso da cofragem da ordem de 35 Kg/m<sup>2</sup>, é facilmente manobrado por gruas com a capacidade de 1 tf na extremidade. O valor da parte industrializada, segundo o autor, pode ultrapassar 60 %. A produtividade atinge cerca de 6 horas-operário por metro quadrado.

Crê-se que a ideia atrás apresentada poderá vir a constituir a base da futura industrialização da construção: prefabricação da cofragem com incorporação do equipamento e do acabamento e posterior vazamento em obra dos materiais resistentes. Julga-se ainda que a indústria aeronáutica, com a sua experiência e desenvolvimento, poderá vir a dar um grande contributo neste sentido.

#### 4.3 — Sistemas abertos

Os sistemas que se têm vindo a referir assumem normalmente a forma de sistemas fechados, ou seja, sistemas cujos elementos de construção não são intermutáveis, sendo usados apenas por uma única organização produtora, eventualmente com algumas concessionárias.

A abertura dos sistemas de construção no sentido da possibilidade de diferentes fabricantes produzirem elementos e componentes a integrar nas mesmas construções, está dependente sobretudo da resolução do problema das ligações. Esta questão tem sido uma das maiores dificuldades de natureza tecnológica para a abertura dos sistemas de construção (\*).

Têm sido tentadas algumas experiências no sentido da abertura dos sistemas. Referem-se, por exemplo, duas experiências diferentes: uma francesa (22) e outra israelita (23). Em ambos os casos se trata de construções de pequeno porte. Os fabricantes produzem elementos que satisfazem a um conjunto de regras que permite a sua integração em diferentes construções, o que terá a

(\*) Razões de índole comercial são, por certo, também muito importantes.

vantagem da sua escolha por catálogo, permitindo maiores séries e portanto elevados índices de produtividade. Pode-se afirmar que também nestes casos haverá, por detrás do conjunto dos fabricantes e das empresas de montagem, verdadeiros sistemas que garantem a eficiência do processo.

Solução análoga é a desenvolvida na Grã-Bretanha para a construção escolar. Após uma primeira fase de construção segundo sistemas privados que deram uma importante contribuição para a aceleração da construção escolar, desenvolveram-se vários sistemas sob a forma de consórcios públicos — CLASP, SCOLA e SEAC — que associam as autoridades escolares com as produtoras de elementos prefabricados metálicos e de betão e ainda com a indústria de produção em série de elementos secundários (17).

Já se referiu que uma das razões para o êxito na industrialização da construção dinamarquesa foi a introdução da coordenação modular, a qual foi acompanhada pela normalização das ligações. Criaram-se assim condições para a abertura dos sistemas de prefabricação. Naquele país está em desenvolvimento um novo esforço de abertura, através do B.P.S. — Byggeriets Planlaegnings Systems (Sistema de Planeamento da Construção) que pretende acelerar ainda mais a produção, com sistema aberto, de elementos de construção, a partir de uma cooperação entre os serviços oficiais de investigação no domínio da construção, os projectistas, os industriais de construção e ainda os donos de obra do sector público (6). O trabalho desenvolvido no quadro desta cooperação está na fase de racionalização e apoia-se nos seguintes elementos:

- convenções dimensionais,
- convenções de qualidade,
- catálogos com pormenores de ligação,
- documentação sobre os sistemas parciais e as componentes,
- normalização dos desenhos.
- guia para a concepção dos sistemas parciais e dos componentes,
- controlo de qualidade.

A abertura de um sistema só se atinge quando os produtores, os projectistas e os utilizadores estão de acordo em aceitar as mesmas regras de qualidade, de dimensão e de ligação. É particularmente significativa a acção em curso no Grupo Modular Internacional — grupo de trabalho W24 do CIB (10) no domínio da coordenação dimensional e da definição de tolerâncias de dimensões. Acções deste tipo, complementadas com esforços convergentes da ISO, também no domínio da coordenação dimensional modular e da tipificação de juntas, do CEB e da FIP nas recomendações para dimensionamento e execução de estruturas da UEA etc no estabelecimento de directivas comuns e de outras organizações industriais análogas, permite antever a possibilidade de uma maior abertura dos sistemas a nível internacional. Será utopia pensar num sistema mundial em substituição dos sistemas das empresas dos consórcios ou até regionais?

## 5 — RELAÇÕES ENTRE A INDUSTRIALIZAÇÃO E O MEIO

Em virtude da diversidade das intervenções que exige, o processo de industrialização da construção é largamente dependente do processo geral do desenvolvimento técnico económico e social do meio em que se insere. Analisam-se seguidamente as principais relações com o meio técnico e com a situação do mercado de emprego.

### 5.1 — Meio técnico

Dificuldades diversas, especialmente as resultantes das grandes dimensões e do peso dos elementos mais significativos usados pela construção, impedem trocas importantes entre regiões afastadas. Por outro lado, as construções, quer se trate de edifícios quer não, têm um carácter demasiado individual e local que não permite o desenvolvimento de uma padronização sistémica das soluções.

Assim, numa região em vias de desenvolvimento, como no nosso país, o processo de industrialização choca, logo de início, com as deficiências existentes no ensino e na preparação dos quadros técnicos, nos métodos de projecto, na organização do trabalho e ainda com a falta de normalização. Tratando-se de domínios em que a evolução é necessariamente lenta, pode-se afirmar que não serão de esperar mudanças radicais num curto período de tempo.

No que respeita às inter-relações com as outras indústrias, verifica-se que, no processo de desenvolvimento económico, a produção de materiais de construção, se tornou ela própria um ramo industrial autónomo. Por outro lado, certos sectores da indústria vêm aumentando gradualmente a sua participação na produção de equipamento e de componentes para a construção. Deste modo, esta indústria aumenta a sua dependência em relação aos outros ramos industriais. É significativa a participação das indústrias metalúrgica, metalomecânica, da madeira, da cerâmica, do cimento e ainda o ramo dos transportes.

A indústria da madeira fornece, além da madeira em bruto e aparelhada, o contraplacado e o aglomerado e ainda componentes da construção como sejam: portas, caixilhos para janelas, divisórias e elementos de revestimento de paredes, tectos e pisos. Em certas regiões é importante a contribuição deste sector, sob a forma de estruturas de madeira e de casa leves. O desenvolvimento da indústria da madeira presta, e pode assegurar, no futuro, um importante contributo para a industrialização da construção.

A indústria química, em especial o sector dos plásticos, vem aumentando cautelosamente a sua contribuição. Os plásticos são cada vez mais usados nas instalações sanitárias, impermeabilizações, isolamento térmico, revestimentos de pisos e de paredes, pinturas, etc..

A indústria metalúrgica fornece tradicionalmente os aços para as armaduras e os perfilados de construção. A indústria de construção exige porém materiais de qualidade, cada vez mais, particularmente aços para pré-esforço, perfilados de parede fina e ainda toda uma gama de metais com superfícies resistentes à corrosão.

O ramo das metalomecânicas contribui com portas, caixilhos para janelas, painéis para divisórias e tectos, ascensores, equipamento, ventilação e ar condicionado, etc. O rendimento dos estaleiros é influenciado pelo uso dos cimbres e cofragens metálicas recuperáveis e por todo o equipamento de transporte e manutenção.

Em todo este conjunto, podem-se detectar alguns pontos fundamentais que estão a condicionar o futuro da industrialização da construção. Assim, o desenvolvimento do uso de elementos prefabricados de betão implica a possibilidade de se dispôr de novos tipos de cimentos, de certos tipos e qualidades de aços para armaduras e ainda de certos materiais para isolamentos térmicos. A redução da incidência da mão-de-obra nos estaleiros implica o fornecimento de quantidades crescentes de componentes acabados. O equipamento de estaleiro e as instalações de prefabricação dependem do apoio da indústria metalomecânica. A realização de um programa de construção não é apenas um problema interno da indústria de construção: requer uma acção coordenada com numerosos sectores industriais.

Mas a indústria de construção não recebe dos outros sectores industriais apenas os seus produtos-cópia também os seus métodos a sua organização e a sua experiência tecnológica. Os princípios da repetição e da produção em grandes séries, que constituem a base dos métodos de produção industrial, necessitam porém de um ajustamento às características peculiares da construção.

Crê-se que não será possível o desenvolvimento correcto dum programa de industrialização da construção que não se baseie num desenvolvimento global da indústria e na adopção de uma mentalidade industrial. Assiste-se em Portugal às primeiras tentativas para a industrialização da construção: introdução de instalações de prefabricação de soluções de cofragens industrializadas, de equipamento cada vez mais potente nos estaleiros e outras manifestações secundárias do processo. Só quem tem trabalhado neste campo poderá sentir as dificuldades encontradas

para conseguir uma autêntica industrialização. Quantas vezes o processo fica pelas suas manifestações de aparência sem atingir uma verdadeira fase industrial, com as suas características de racionalização; organização e mecanização das operações e integração de elementos e componentes produzidos também industrialmente. Os benefícios de produtividade, de rapidez e de qualidade que uma prefabricação pode permitir são anuladas por deficiências na racionalização do processo, por defeitos de projecto, por falta de organização do trabalho ou ainda por falta de apoio das indústrias subsidiárias.

Situações correntes que se vêm generalizando entre nós, como a prefabricação de elementos sem qualquer controlo dimensional, que muitas vezes têm de ser separados e acertados na obra, o transporte de peças prefabricadas pesadas a distâncias tais que só a falta duma contabilidade correcta impede a percepção do erro em que se incorre, a incentivos à industrialização, por parte de entidades promotoras das obras que abdicam de qualquer controlo da qualidade na fase de projecto, de fabrico ou de montagem, o uso incorrecto de soluções tecnológicas importadas, as séries excessivamente curtas resultantes da falta de planeamento, têm de ser denunciadas com vigor, sob pena de, em vez de se caminhar no sentido de uma efectiva industrialização da construção, se estar a iniciar um processo de regressão e degradação da qualidade.

## 5.2 — Situação do emprego

Uma política de industrialização da construção deverá ter em conta a situação do mercado de emprego. A indústria de construção e de obras públicas absorve um volume de mão-de-obra muito importante, situando-se numa fase de transição para os trabalhadores não qualificados excedentes do sector primário, antes da sua passagem a outras actividades do sector secundário ou dos serviços.

A existência de mão-de-obra disponível não favorece a mecanização. É o que se passa nos países em vias de desenvolvimento. Mesmo em países com uma experiência significativa no domínio da industrialização da construção, como a França, a existência de mão-de-obra emigrada barata constitui um travão ao processo. BLACHÈRE (6) constata o atraso francês verificado nos últimos anos, relativamente a países como a Áustria, a Dinamarca ou a Polónia, em aspectos como a mecanização e a automatização.

Aceita-se que, em certas regiões (14) ou em épocas de crise económica, uma política global conduza à necessidade de incorporar excedentes de mão-de-obra na construção. Isto não impede, porém, que se procure, mesmo em tais casos, um objectivo de eficiência que só se obtém pela via da racionalização. O objectivo principal a ter em conta não será o de absorver os excedentes de mão-de-obra, mas sim o de produzir um maior volume de construções com os mesmos investimentos totais.

É um erro muito grave pensar que, por exemplo nos países em vias de desenvolvimento, não haverá interesse em melhorar a produtividade, pela simples razão de que a mão-de-obra é ainda abundante e barata. Se a actividade da construção se elevasse ao nível conveniente para dar satisfação às enormes necessidades de habitação, de equipamento colectivo, ela seria, desde que utilizasse técnicas modernas, capaz de, por si só, absorver uma grande parte da massa de desempregados.

Um índice proposto pela O.N.U. (4) para, como critério geral, se localizar o atraso ou avanço da industrialização da construção, é o relativo à incidência do custo da mão-de-obra no custo global da construção. Segundo aquela Organização, quando tal índice ultrapassa 40 %, existe atraso no processo de industrialização.

Alguns países seguiram neste domínio uma política muito ponderada. É o caso do Japão (6) que preparou uma mudança no campo tecnológico, tendo em atenção os riscos de desemprego. Esta preparação durou cerca de 15 anos. Iniciou a construção de um certo número de edifícios prefabricados, apenas para se familiarizar com o processo. Acompanhou muito de perto tudo o que se fazia no estrangeiro, realizando estudos sistemáticos e, quando o problema da produtividade se tornou

agudo, construiu fábricas muito rapidamente. Actualmente, as fábricas japonesas são, regra geral, muito mais mecanizadas do que as francesas. Política análoga foi seguida em relação ao "béton bauché".

Os resultados atingidos quanto à economia de mão-de-obra, com a adopção de soluções industrializadas, são espectaculares. Ao longo desta exposição, foi várias vezes referido o índice de produtividade representado pelo número de horas-operário por metro quadrado de construção. Em vez dos valores da ordem de algumas dezenas, característicos da construção tradicional, baixa-se para valores de 8, de 6 ou até de 3 horas.

A situação portuguesa actual, deste ponto de vista, parece muito preocupante. Juntamente com uma crise conjuntural de desemprego, rejeita-se um índice de produtividade que se estima entre 25 e 30 horas-operário por metro quadrado. (\*)

Relativamente à percentagem do custo da mão-de-obra no custo total da construção, trata-se de um tema de forte discussão. Note-se no entanto que a análise dos dados do I.N.E. conduz a uma estrutura de custos nas obras de habitação que situa aquele valor em 40 %, para 1970, portanto no limiar do valor recomendado pela O.N.U. Desde então tem vindo a crescer. Embora o Estado tenha aceite, nas fórmulas de revisão de preços fixados em 1975, o valor de 50 %, um trabalho recente do LNEC que tratou a informação fornecida por cerca de 40 projectos de edifícios, permite admitir que o valor real seja ainda superior.

Se se atentar nos programas de construção fixados oficialmente, que prevêm um acréscimo imediato da ordem dos 50 % na produção de habitações, e ainda nas carências reais de mão-de-obra qualificada na construção, é fácil concluir que é necessário adoptar medidas urgentes de industrialização, ainda que com muita atenção ao mercado de emprego (\*\*).

Outro aspecto que merece também uma breve reflexão, é o que se refere aos quadros. Mais do que técnicos de projecto e cálculo, cujo número pode ser muito reduzido, são necessárias pessoas para trabalho em organização e métodos. Necessitam-se técnicos para os estudos fundamentais de pesquisa e normalização, pessoas que saibam planear e conduzir os trabalhos.

São necessários engenheiros para conceber máquinas e desenvolver métodos.

## 6 — ALGUNS ELEMENTOS ESTATÍSTICOS

Não é fácil a comparação entre os dados estatísticos relativos a países diferentes. No entanto, as estatísticas da O.N.U. (3) fornecem alguns números com interesse e traduzem as soluções utilizadas nos elementos resistentes das construções.

Assim, na Grã-Bretanha verifica-se, paradoxalmente, uma redução, em termos estatísticos, da percentagem de construção industrializada, entre 1970 e 1974 (Quadro 2). Dentro deste tipo de construção, é sensível a redução da percentagem de edifícios de painéis pesados. Por certo não é estranha a este fenómeno a repercussão na opinião pública inglesa dum acidente, em 1968, com um edifício deste tipo. Note-se também que, no caso inglês, houve no mesmo período uma redução sensível na produção de novos fogos para habitação. Em termos gerais, dá a impressão que o esforço de construção do final da década de 60 e início da actual foi feito à custa de soluções ditas industrializadas, mantendo-se no entanto um ritmo de racionalização da construção tradicional, não evidenciado em termos estatísticos.

(\*) Este valor estimado refere-se a 1974 e não tem nada a ver com problemas entretanto surgidos.

(\*\*) Entende-se que, ao contrário do que aparece frequentemente difundido, não deve ser a construção de habitações a absorver os excessos de mão-de-obra provocados pelas crises económicas. Efectivamente não parece correcto atribuir a um sector industrial tão sensível, cujos custos se repartem depois com desigualdade, os encargos sociais do desemprego. Devendo ser a comunidade a suportá-los, nada melhor do que, por exemplo, obras como as de estradas para absorverem este excesso. Os custos seriam suportados directamente pelo Estado e neste sector não haveria o risco de, passada a crise, não ser fácil recuperar o nível tecnológico adequado. Na prática, bastaria limitar, nos programas de concurso dessas obras, e apenas nas zonas em que tal fosse considerado com interesse, o emprego de meios mecânicos.

Quadro 2 — Construções para todos os tipos de habitação na Grã-Bretanha					
Tipos de construção	Porcentagem				
	1970	1971	1972	1973	1974
Construção tradicional (principalmente de tijolo)	62,2	68,0	76,8	80,2	78,3
Construção industrializada	37,8	34,0	23,4	19,8	21,7
Na construção industrializada — total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Betão: Painéis	44,3	46,2	31,8	26,6	20,4
Estrutura reticulada	1,3	1,6	0,8	1,1	2,0
Elementos com 3 dimensões	0,4	—	—	—	—
Em obra	23,8	23,8	31,4	35,0	38,8
Madeira: Painéis	12,0	11,5	13,1	15,3	24,5
Aço: Painéis	—	—	0,4	0,6	—
Estrutura reticulada	5,4	3,3	5,7	7,3	7,8
Tijolos: Tradicional nacionalizado	13,0	13,6	16,7	14,1	6,5

Os valores relativos à Holanda, constantes do Quadro 3, mostram um crescimento significativo, nos últimos anos, do betão moldado em obra, à custa da construção de painéis pesados e da construção de tijolo. Neste período, o número total de fogos construídos foi relativamente estável neste país.

Passando aos países europeus de economia planificada, o Quadro 4 apresenta valores da construção na Checoslováquia para os edifícios multifamiliares.

Naquele quadro, verifica-se um muito elevado índice de prefabricação. Assim a construção de blocos de pequena dimensão foi praticamente substituída pelas soluções de painéis pesados. Os sistemas de painéis de dimensão média, atingiram um máximo em 1970 e estão também a ser substituídos pelos painéis de maior dimensão. Como curiosidade, registe-se que a solução de estruturas reticuladas monolíticas, tão generalizadas entre nós, nunca teve significado naquele país.

No Quadro 5, apresenta-se ainda o exemplo da Hungria, com uma evolução idêntica ao caso anterior. Apenas de registar o relevo que parece estar a assumir naquele país a solução de "béton bauché".

Quadro 3 — Construções para todos os tipos de habitação na Holanda				
Tipos de construção	Porcentagem			
	1971	1972	1973	1974
"Béton banché"	18,9	22,4	27,7	28,9
Elementos pesados com a dimensão dum compartimento	9,7	6,5	6,3	5,9
Elementos leves, incluindo o tijolo, etc.	71,3	71,1	66,0	65,2

Noutros países, a evolução para soluções de prefabricação não atinge expressão idêntica. Assim, na Itália, e de acordo ainda com aquelas estatísticas, em 1973 apenas 0,5 % das construções para habitação eram prefabricadas. O que não impede que, den-

Quadro 4 — Construções para edifícios multifamiliares na Checoslováquia			
Tipos de construção	Porcentagem		
	1963	1970	1974
Blocos cerâmicos de betão	42,8	7,8	3,7
Painéis de dimensão média	10,7	17,0	7,1
Estruturas reticuladas monolíticas	0,6	0,2	—
Estruturas reticuladas prefabricadas	2,8	2,3	2,8
Painéis com a dimensão dum compartimento	36,6	72,6	85,9

tro da construção tradicional, se venha a verificar uma crescente utilização de elementos parcialmente industrializados (18).

As estatísticas da O.N.U. não referem a situação em França mas estima-se em 1972 que cerca de 60 % das construções para habitação de renda económica e a quase totalidade das construções escolares fossem executadas segundo sistemas industrializados (19).

Os números apresentados mostram, nalgumas regiões, uma tendência para o aumento das dimensões dos elementos prefabricados: dos tijolos e blocos pequenos passa-se para os blocos de tamanho médio e para os painéis de grandes dimensões. Há uma evolução lenta mas sistemática a que correspondem sucessivas etapas de industrialização.

Quadro 5 — Construções para edifícios multifamiliares na Hungria			
Tipos de construção	Porcentagem		
	1963	1970	1974
Blocos cerâmicos	32,4	18,6	11,4
Blocos de betão leve de dimensão média	22,9	3,4	0,9
Grandes blocos de betão leve	19,6	19,3	11,6
Painéis com a dimensão dum compartimento	1,3	49,7	59,9
Estruturas reticuladas de betão armado	15,8	4,9	2,2
"Béton banché"	2,1	3,7	13,8

Porém nem sempre será a utilização dos grandes painéis que constituirá a via da industrialização. As construções com parede de betão moldado em obras, o recurso a toda a complexa gama de elementos secundários — dificilmente detectada nas estatísticas — é a introdução da mecanização da obra são outras tantas vias de industrialização que se têm vindo a acentuar.

Para o caso português, a informação de que se dispõe, refere-se apenas ao período de 1970 a 1973 e provém também das estatísticas da O.N.U. (3). O Quadro 6 apresenta os valores disponíveis, os quais não são muito explícitos quanto às técnicas utilizadas, mas apenas quanto aos materiais da estrutura resistente. Em todo o caso, parece claro que a construção é praticamente toda tradicional, embora se verifique uma transferência das estruturas de pedra, ainda correntes em certas regiões, e de tijolo para as estruturas de betão armado.

Quadro 6 — Construção para todos os tipos de habitação, em Portugal				
Tipos de construção	Porcentagem			
	1970	1971	1972	1973
Madeira	0,2	0,2	0,1	0,1
Pedra	15,1	11,6	7,1	5,8
Tijolos	40,2	39,8	33,2	31,3
Estruturas reticuladas de betão armado	40,8	44,1	54,8	59,5
Blocos de betão	3,4	4,1	4,8	3,2
Estruturas reticuladas de aço	0,1	0,1	—	0,1
Outros	0,1	0,2	—	—

## 7 — OBSERVAÇÕES FINAIS

Apresentou-se uma panorâmica do processo de industrialização da construção, exemplificando com a experiência de vários países. Salientou-se a importância das várias acções que contribuem para este processo: racionalização, mecanização e prefabricação. Procurou-se dar à prefabricação o seu verdadeiro significado.

Numa economia como a portuguesa, onde se começou a dar os primeiros passos no sentido da industrialização da construção, onde são limitados os meios financeiros que podem ser afectados ao sector, onde existe falta de mão-de-obra especializada da construção, onde são graves as carências de edifícios com a qualidade mínima, torna-se necessário ponderar correctamente as opções a tomar e as vias a seguir. Estas passam pelo esforço intelectual e não apenas pelo esforço físico, pela racionalização e não pela improvisação, pelo processo industrial e não pelo artesanato.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1 — MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, Lisboa — Colóquio sobre política da habitação. Relato Final, Lisboa, 1969
- 2 — INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, Lisboa — Estatísticas da Construção e de Habitação, Lisboa, 1970 a 1974
- 3 — ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, New York — Trends in the industrialization of building. New York, 1970
- 3 — ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, New York — Annual Bulletin of Housing and Building. Statistics for Europe United Nations. New York, vol. XV, 1971; Vol. XVIII, 1974
- 4 — ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, New York — Principes directeurs des politiques et mesures gouvernementales à appliquer pour industrialiser progressivement la construction, New York, 1974
- 5 — PORTUGAL — Programa do 1.º Governo Constitucional, Lisboa, Agosto 1976
- 6 — CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT, Paris — Entretiens sur la mécanisation et l'automatisation des fabrications dans le bâtiment. "Cahiers du C.S.T.B.", Paris, Cahier n.º 1255, Juil/Aout 1974
- 7 — BALLADUR, J. — L'industrialisation du Bâtiment. "Construction", Paris, Mars 1965
- 8 — MYRDAL, G. — Needs versus capacity — "Proceedings of the third CIB Congress: Towards Industrialised Building". Amsterdam. Elsevier Publishing Company, 1966
- 9 — AUBERT, Y — Le bâtiment peut devenir une industrie?, Paris, Eyrolles 1971.
- 10 — BERGVALL, M.L. — Design aids modular coordination. "5th CIB Congress: Research into Practice". Paris, 1971.
- 11 — SEBESTYEN, G. — Les Interrelations et la coopération de la recherche industrielle dans le bâtiment effectué dans les instituts publics, indépendants et industriels de recherche, Paris, CIB, 1971
- 12 — BRASÃO FARINHA, J.S. — Dificuldades para a industrialização da construção de habitações. "3.ªs Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil" Luanda/Lourenço Marques, 1971
- 13 — RICHTER, R.P.; SQUASSONI, E.; RUSSO, T. — A indústria de préfabricação na solução do problema habitacional. "3.ªs Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil". Luanda/Lourenço Marques, 1971
- 14 — MÁRIO TRINDADE — A préfabricação no plano nacional da habitação, do Brasil. "3.ªs Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil". Luanda/Lourenço Marques, 1971
- 15 — RITTER, H.F. — Observations de principe concernant l'industrialisation du bâtiment. "Europrefab". Lucerne, 1972
- 16 — HUTTENBERGER, L. — Tendances et développement dans la construction industrialisée en Suède. "Europrefab". Lucerne, 1972
- 17 — GILLHAM, J.M. — Building industrialization. United Kingdom, experience and future trends. "Europrefab". Lucerne, 1972
- 18 — POTESTA, A. — Situation et tendances de l'industrialisation du bâtiment en Italie. "Europrefab". Lucerne, 1972
- 19 — VANDENKERCKHOVE, M. — L'industrialisation du bâtiment en France. "Europrefab". Lucerne, 1972
- 20 — NISSEN, H. — Industrialized building and modular design. London, Cement and Concrete Association, 1972
- 21 — HAKIM, F.; HENRY, E.; PROVISOIR, H. — Pôles et perspectives de l'industrialisation du bâtiment. Grenoble. Institut de Recherche Économique et de planification, 1972
- 22 — MOULET, J. — Le marché français de la maison individuelle et les éléments de catalogue. "VII Congress International du Béton Manufacturé". Barcelona, BIBM, 1972
- 23 — WEISNTEN, I. — Apartment houses prefabricated in small series. "VII Congress International du Béton Manufacturé". Barcelona, BIBM, 1972
- 24 — VEZIN, C. — L'agrément technique et sa situation à l'échelle européenne. "Schweizer Baubatt", n.º 23. Março, 1973
- 25 — TEIXEIRA TRIGO, J.A. — Edifícios préfabricados. Curso de Especialização 144. Lisboa, LNEC, 1973
- 26 — ORDOÑEZ, J.A.F. — Prefabrication. Teoría y práctica. Vol I., Barcelona, Ed. Técnicos Asociados, 1974
- 27 — ODDIE, G. — École et la construction industrialisée. Paris, Ed. O.C.D.E., 1975
- 28 — RUIZ DUERTO — Um nuevo procedimiento de construcción industrializada. "Monografías del Instituto Eduardo Torroja", Madrid, 329, 1975

# PAREDES PRÉ-FABRICADAS PESADAS

por A. ALMEIDA ANES *Engenheiro Civil — Estagiário para especialista do L.N.E.C.*  
*Professor do I.S.E.L.*

## SUMÁRIO

REFERÊNCIA AOS PRINCIPAIS TIPOS DE PAINÉIS SOB OS PONTOS DE VISTA DIMENSIONAL, GEOMÉTRICO E DE CONSTRUÇÃO. APRECIÇÃO DAS PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS, A DESEMPENHAR PELAS PAREDES, QUE SE CONSIDERAM DEVAM TER TRATAMENTO MAIS ESPECÍFICO QUANDO SE UTILIZAM PAINÉIS PREFABRICADOS PESADOS. TRATAR-SE-Á SUCESSIVAMENTE DE: SEGURANÇA E ESTABILIDADE, ASPECTO ESTÉTICO, ESTANQUIDADE AO AR E À ÁGUA, ISOLAMENTO TÉRMICO E ISOLAMENTO ACÚSTICO.

## PREFABRICATED HEAVY WALLS SUMMARY

REFERENCE TO THE MAIN TYPES OF PANELS AT THE POINTS OF VIEW DIMENSIONAL, GEOMETRICAL AND OF CONSTRUCTION. STUDY OF THE FUNCTIONAL REQUIREMENTS TO BE ACCOMPLISHED BY THE WALLS, THAT MUST HAVE A MORE SPECIFIC TREATMENT WHEN PREFABRICATED HEAVY PANELS ARE USED. MENTION WILL BE MADE AFTERWARDS TO: SECURITY AND STABILITY, AESTHETIC APPEARANCE, WATER-TIGHT AND AIR-TIGHT, THERMIC AND ACOUSTICAL ISOLATION.

## MURS LOURDS PRÉFABRIQUÉS SOMMAIRE

RÉFÉRENCE AUX PRINCIPAUX TYPES DE PANEAU AUX POINTS DE VUE MESURABLE, GÉOMETRIQUE ET DE CONSTRUCTION. APRÉCIATION DES PRINCIPALES EXIGENCES FONCTIONNELLES À ÊTRE ACCOMPLIES PAR LES MURS, QUE L'ON CONSIDÈRE NÉCESSAIRE ÊTRE SOUMIS À UN TRAITEMENT PLUS SPÉCIFIQUE LORSQU'ON UTILISE DES PANEUX LOURDS PRÉFABRIQUÉS. ON S'OCCUPERA ENSUITE DE: SÉCURITÉ ET STABILITÉ, EXTÉRIEUR SUR LE POINT DE VUE ESTHÉTIQUE, ÉTANCHÉITÉ À L'AIR ET À L'EAU, ISOLEMENT THERMIQUE ET ISOLEMENT ACOUSTIQUE.

## 1 — INTRODUÇÃO

Pensando em termos de industrialização da construção de edifícios é bem evidente a contribuição da prefabricação de elementos, para esse desenvolvimento. O fabrico de blocos cerâmicos ou análogos em locais ou instalações diferentes do estaleiro será, no tempo, um dos primeiros exemplos.

A evolução das técnicas associadas ao fabrico e à construção dum modo geral, sem esquecer a capacidade de transporte e manobra das máquinas dos nossos dias, acompanhado por necessidades urgentes de realização, apontam-se como algumas das causas da corrente aplicação em construções de edifícios de elementos prefabricados de grandes dimensões. Constituem exemplo significativo desta evolução a aplicação em edifícios, de grandes painéis pesados prefabricados em instalações fixas e transportados e colocados em obra com auxílio de equipamento com elevada capacidade.

Painéis deste tipo surgem como parte integrante de sistemas de prefabricação dita "total" ou delimitando espaços em construções com estrutura resistente em moldes tradicionais. As dimensões, constituição e geometria com que se apresentam poderão ser muito diversas; no entanto e para cada caso será fundamental ter presente que a prefabricação tem na repetição uma das suas principais justificações.

A exposição que se segue tratará fundamentalmente da caracterização de diversos tipos de painéis prefabricados e o modo como com eles satisfazer as exigências funcionais que se colocam às paredes que constituem a envolvente exterior dum edifício.

## 2 — TIPOS DE PAINÉIS

Dimensões, geometria, constituição e acabamentos constituem os quatro principais grupos de parâmetros na diferenciação dos painéis prefabricados correntemente utilizados na envolvente exterior dos edifícios. Por tal motivo e com base nestes quatro parâmetros analisemos as soluções que mais vulgarmente se aplicam.

## 2.1 — Dimensões e geometria dos painéis

A aplicação de painéis com altura de um piso é a solução mais correntemente utilizada. A sua justificação é evidente se pensarmos no modo como geralmente se processa a construção dum edifício.

A aplicação de painéis com altura dos panos de peito ou em fachas parcelares, unidas em obra de modo a completar a altura dum andar, constituem também soluções de aplicação corrente.

Painéis com dimensões superiores à de um andar, sem aplicação tão frequente, poderão também ter cabimento.

As soluções a adoptar, em cada caso, são quase sempre consequência do sistema ou tipo de construção em que o painel se integra ou então resultam de factores económicos a que não é estranha a capacidade de manobra de que se dispõe em fábrica, no transporte e na colocação em obra.

Outros factores como sejam: a espessura dos painéis de que resultará maior ou menor fragilidade, possibilidade de originar fendas ou flechas exageradas nas diversas fases de fabrico, transporte, armazenamento e montagens, as características dos materiais utilizadas, nomeadamente as relacionadas com a massa específica e comportamento mecânico; técnicas de fabrico especialmente relacionadas com a natureza e funcionamento dos moldes; maior ou menor facilidade na realização das juntas; constituem ainda aspectos condicionantes nas dimensões dos painéis.

Sob o ponto de vista geométrico haverá que distinguir a geometria que se refere aos parâmetros exterior e interior dos painéis e a geometria dos contornos.

A variação da primeira está duma maneira geral relacionada com o aspecto que se pretende dar à fachada, não perdendo de vista a satisfação de certas exigências, tais como as que se relacionam com a qualidade, conservação e protecção das camadas interiores.

Quanto à geometria do contorno, a sua forma depende da existência de vãos e da organização das juntas. A geometria dos bordos das juntas está intimamente relacionada com a composição das fachadas e ligações estruturais a desempenhar pelas juntas. As figuras 1 a 3 constituem alguns exemplos da organização de juntas entre painéis prefabricados.

#### elemento prefabricado

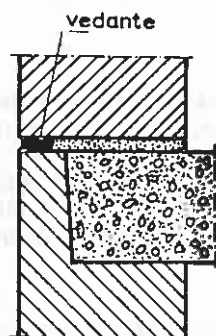
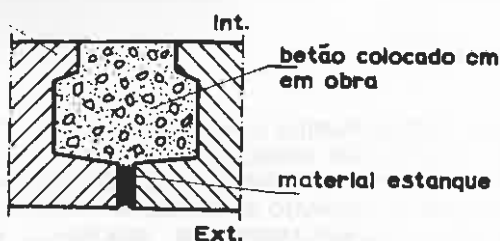


Fig. 1 — Juntas topo a topo

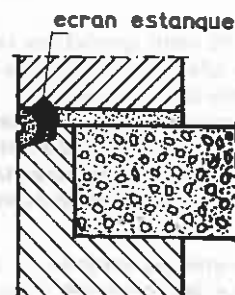
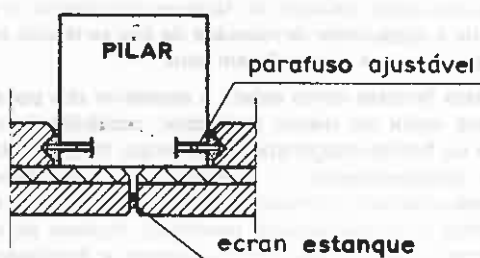
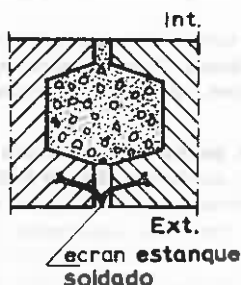


Fig. 2 — Juntas de ecran estanque

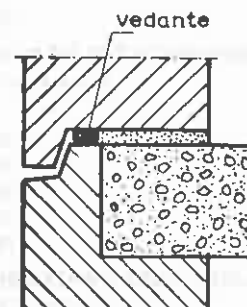
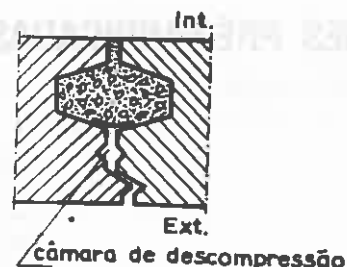


Fig. 3 — Juntas que funcionam em consequência da sua forma

Para facilitar a betonagem e a redução dos riscos de danificação dos moldes e das peças betonadas, quando da descofragem é oportuno referir-se aqui à necessidade de evitar sempre que possível que os planos de cofragem sejam normais entre si, o que consequentemente implica, como é óbvio, na forma das peças betonadas.

Este facto justifica em alguns casos a geometria das abas dos painéis.

É conveniente dar às peças formas que conduzam a jorramentos não inferiores a 5%. Quando tal não for possível os moldes devem ter peças móveis que se retirem, pelo menos em parte, para que ao descofrar se não verifiquem atritos entre o betão e as superfícies interiores dos moldes.

## 2. 2 — Constituição e acabamentos

A constituição e acabamentos dos painéis de parede estão intimamente ligados às exigências funcionais a garantir às construções.

A utilização de materiais sem viabilidade de utilização em construção tradicional (isolantes leves por exemplo) e a possibilidade de moldagem que pode oferecer o betão quando da utilização em instalações fixas de moldes adequados, apresentam-se como exemplos de factores que fornecem às paredes realizadas com painéis prefabricados características particulares.

Da aplicação e conveniente organização dos diversos materiais, resultam tipos de painéis que vulgarmente se enquadram nos tipos que a seguir se referem:

- Painéis homogêneos
- Painéis tipo "sandwich"
- Painéis com caixa de ar
- Painéis contendo elementos vasados
- Soluções mistas

Da organização destes cinco tipos de painéis com vista à satisfação das exigências funcionais que lhe são exigidas, tratar-se-á quando se falar de isolamento térmico.

## 3. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

Na definição das exigências a satisfazer pelas paredes que constituem a envolvente dum edifício, algumas há de carácter prioritário ou mesmo absoluto. Exigências deste tipo podem estar relacionadas com a habitabilidade ou dizerem respeito a condições económicas da construção e da utilização do edifício.

Sob o ponto de vista de habitabilidade e dentro das exigências funcionais prioritárias a exigir às paredes, considera-se terem tratamento mais específico, resultante da utilização de painéis prefabricados, as seguintes:

- Segurança e estabilidade
- Aspecto estético
- Estanquidade ao ar e à água
- Isolamento térmico
- Isolamento acústico

Nos parágrafos seguintes tratar-se-á destes 5 tipos de exigências.

### 3. 1. — Segurança e estabilidade dos painéis

No dimensionamento dos painéis deve atender-se não só aos esforços originados pela sua participação na estrutura, nas diversas fases de montagem e serviço, mas também de modo a resistirem sem dano permanente às solicitações a que estão sujeitos durante a execução, armazenamento, transporte e colocação em obra.

No que diz respeito à participação na estrutura e relativamente ao cálculo de painéis com funções resistentes a cargas verticais, deverá atender-se, no que lhe for aplicável às regras de cálculo consignadas nas recomendações CEB — "Recommandations Pratiques Unifiées pour le Calcul et l'Exécution de Constructions par Panneaux Assemblés de Grand Format" — completadas, quando necessário pelas Directivas UEAtc — Directives Communes pour l'Agrément des Procédés de Construction par Grands Pan n eaux Lourds Prefabriqués".

Durante o transporte e por vezes no armazenamento e na montagem geram-se esforços que poderão danificar os painéis se não tiverem sido considerados na definição da forma e no dimensionamento. Na fig. 4 mostra-se um exemplo revelador da influência da definição da forma no fabrico de painéis.



Fig. 4 — Influência da deformação da forma no fabrico de painéis

Elementos com formas irregulares podem originar problemas não só durante a desmoldagem como também durante o armazenamento e transporte.

Em painéis muito esbeltos podem surgir fendas durante o manuseamento e transporte. Na fig. 5 apresentam-se alguns exemplos, compilados por RUSSOF (7).

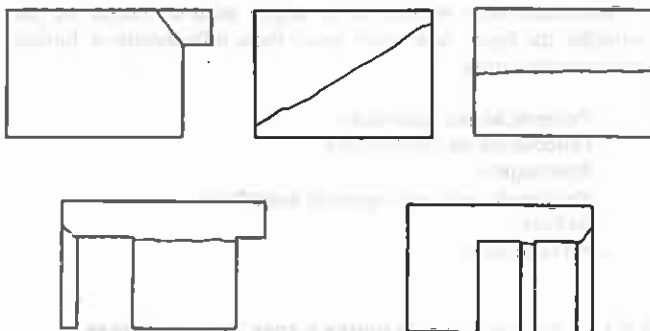


Fig. 5 — Fendas em painéis muito esbeltos

As abas muito grandes e pouco armadas dos painéis necessitam também de eficiente protecção durante as várias operações.

Para além das dificuldades resultantes da forma dos painéis e relativamente à desmoldagem, suspensão, transporte e montagem em obra deve ter-se em conta, no dimensionamento dos painéis, solicitações de: forças de aderência do betão ao molde, efeitos dinâmicos, diferenças entre a densidade aparente do betão humido e a densidade aparente do betão seco ao ar e solicitações devidas a cargas de equipamento suspensas e choques, entre outras.

Para ter em conta as forças de aderência preconizam alguns autores a adopção de valores que variam dos 100 a 500 Kg/m<sup>2</sup>, consequência, entre outros factores, da natureza do molde, produto de descofragem e desgaste do molde resultante da utilização (9).

Relativamente aos efeitos dinâmicos é frequente a utilização dum coeficiente de majoração 1.5 afectando o peso dos elementos (9).

A humidade do betão quando os painéis não estão ainda secos pode traduzir-se num acréscimo de 50 Kg/m<sup>3</sup> para betões normais e 150 Kg/m<sup>3</sup> para betões de agregados leves (9).

Em geral a desmoldagem pode ser realizada 18 a 24 horas após a colocação do betão, mesmo no caso de se não recorrer a processos de endurecimento acelerado. Tal facto deverá ser levado em conta pelo que a resistência à desmoldagem deve ser determinada por cálculo, impondo a condição de não fissuração das peças durante a operação. MOKK (5) especifica para o momento da desmoldagem 50% da resistência esperada aos 28 dias.

Relativamente às solicitações referidas e a todas as outras que conforme os casos se ache oportuno considerar deve atender-se às reais condições de apoio a que o painel fica sujeito nas diferentes fases.

A possibilidade de incorporação no interior dos painéis de tubagens pode ser motivo ainda a levar em conta no dimensionamento e concepção dos mesmos.

### 3. 2 — Aspecto

Os factores fundamentais que influenciam o aspecto estético das fachadas das construções incorporando painéis prefabricados e que lhe originam um cunho particular, referem-se à geometria e organização das juntas e ao acabamento e geometria da face exterior dos painéis.

A possibilidade que advém da utilização de moldes em que se vertem materiais de fácil modelação permite encontrar para os painéis de fachada aspectos variados. A influência das condições e modos de fabrico sobre o aspecto dos painéis é evidente.

Entre os parâmetros mais importantes que influenciam o aspecto dos painéis citam-se entre outros, os seguintes: características dos materiais utilizados, especialmente nos revestimentos; o cuidado posto na aplicação dos materiais; as características dos moldes (forma, material constituinte, rigidez, estanquidade, deformabilidade, lubrificação das superfícies interiores).

As preocupações que devem existir resultantes da necessidade de garantir a conservação, durabilidade e estanquidade dos painéis podem condicionar a organização, geometria e revestimento dos mesmos.

Assim, entre outras disposições a adoptar enumeram-se as seguintes:

- Evitar os diedros reentrantes vivos que favorecem a fendilhação por efeito do entalhe.
- Colocar as armaduras de modo a que o seu envolvimento seja suficiente mesmo em torno das cavidades ou reentrâncias mais marcadas.
- Limitar o relevo a pequena espessura em painéis do tipo "sandwich" com a camada exterior fina e prever uma linha de ligações complementares em torno dos limites de reentrâncias ou saliências de grande superfície.

— Evitar superfícies que proporcionam fácil acumulação das poeiras e detritos.

— Proceder a uma escolha racional dos revestimentos de modo a garantir as exigências que se deseja que possua o paramento exterior da parede (difícil deterioração, fácil manutenção, estanquidade adequada, ).

Entre os materiais mais utilizados no paramento exterior das paredes com painéis prefabricados contam-se: o betão, revestimentos decorativos à base de resinas plásticas, granuladas aparentes obtidas normalmente por lavagem à escova ou com projecção de areia, superfícies polidas, mosaicos cerâmicos ou placas de vidro de pequenas dimensões, pedra em placas finas de 1 a 3 cm de espessura ligadas por elementos metálicos ou simplesmente por aderência ao betão, revestimentos com fibrocimento, etc.

Para além das considerações referidas assume relevância especial no aspecto das fachadas com painéis, normalmente de geometria mais uniforme que as construções tradicionais, as diferentes colorações apresentadas pelas fachadas em consequência do escoamento das águas da chuva.

O escoamento da água das chuvas com as poeiras acumuladas sobre as fachadas tende, sempre que não se tomarem disposições adequadas, a escorrer por zonas preferenciais das fachadas, resultantes da inclinação das superfícies dos painéis, das possíveis reentrâncias e orientação das mesmas, da própria Geometria da Construção e Organização das juntas e vãos.

O problema em causa é por consequência complicado e a sua resolução tem a ver entre outros factores com: as condições de exposição da fachada, a natureza mais ou menos porosa dos materiais de revestimento, a natureza mais ou menos rugosa do paramento, a organização dos vãos e respectivos contornos a existência, colocação e orientação das reentrâncias existentes nas fachadas.

Na resolução deste problema é por conseguinte fundamental tomar disposições que evitem o escoamento das águas sobre as fachadas.

Para tal a necessidade de evitar ou quebrar o escoamento ao longo de algumas zonas das fachadas.

Na figura 6 mostram-se algumas das disposições vulgarmente adoptadas (1) (6).

Não se fala aqui das colorações diferentes nas fachadas resultantes de eflorescências e outros fenómenos químicos com consequências nos parâmetros exteriores.

Quanto ao paramento interior, é o betão ou o gesso que aparecem com mais frequência. Certos revestimentos à base de resinas sintéticas ou tintas incorporando cargas minerais, entre outros, são também vulgarmente utilizados.

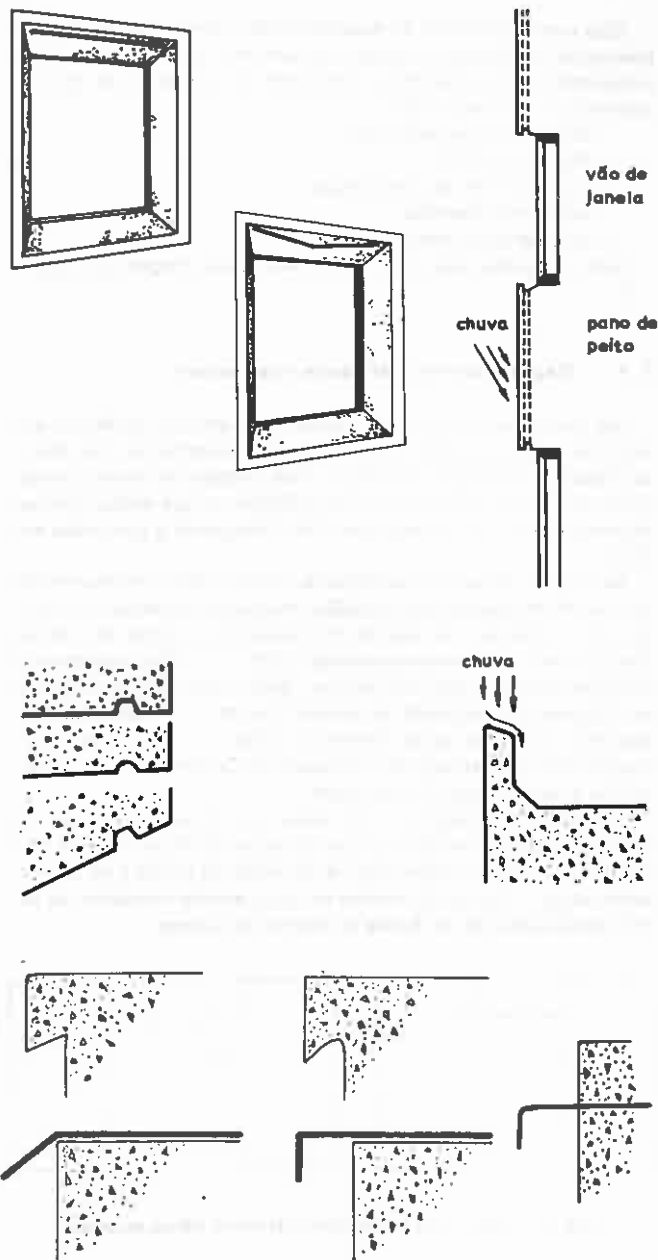


Fig 6 — Disposições vulgarmente adoptadas de modo a evitar o escoamento das águas pelas fachadas

### 3.3 Estanquidade ao ar e à água

No que diz respeito à estanquidade de paredes com painéis pesados prefabricados há que distinguir as superfícies correntes dos painéis e as juntas entre eles ou com outros elementos das construções em que se integram.

Quanto à estanquidade conferida pelas superfícies correntes pouco há a acrescentar àquilo que se conhece da construção tradicional. Desde que se faça bom uso dos materiais facilmente se obterá a estanquidade pretendida.

No que respeita a painéis tipo "sandwich" deverá ter-se em atenção que a penetração da humidade na camada exterior, normalmente pouco espessa, irá alterar as características de isolamento dos materiais que constituem aquela camada. O isolamento diminui com o aumento de humidade. Por tal facto justifica-se a adopção de armaduras superficiais na camada exterior de modo a evitar fissurações que facilitem a entrada de água por capilaridade.

O problema maior sob o ponto de vista de estanquidade reside

nas ligações quer entre painéis consecutivos, quer com outros elementos da construção.

Limitar-nos-emos aqui a focar muito sucintamente alguns dos aspectos mais importantes relacionados com o funcionamento das juntas entre painéis.

Resumidamente referem-se a seguir alguns modos de penetração da água, que regra geral mais influenciam o funcionamento das juntas.

- Penetração por gravidade
- Fenómenos de capilaridade
- Bombagem
- Progressão por molhagem da superfície
- Refluxo
- Arrastamento

#### 3.3.1 — Alguns tipos de juntas e suas características

Genericamente e tendo em conta os modos de penetração da água, as Directivas Comuns UEAtc classificam as juntas em:

- Juntas topo a topo
- Juntas de écran estanque
- Juntas que funcionam em consequência da sua forma

As figuras 1, 2 e 3 representam estes três tipos de juntas entre painéis.

Outros tipos de classificação das juntas podem seleccionar-se com a configuração ou com o modo de preenchimento. Assim é vulgar agrupar as juntas segundo a sua configuração em:

- Juntas de topo
- Juntas de recobrimento

Relativamente ao modo de preenchimento é vulgar agrupá-los em (11):

- Juntas fechadas
- Juntas abertas

As figuras 7 e 8 esquematizam estes quatro tipos de juntas (4) (11).

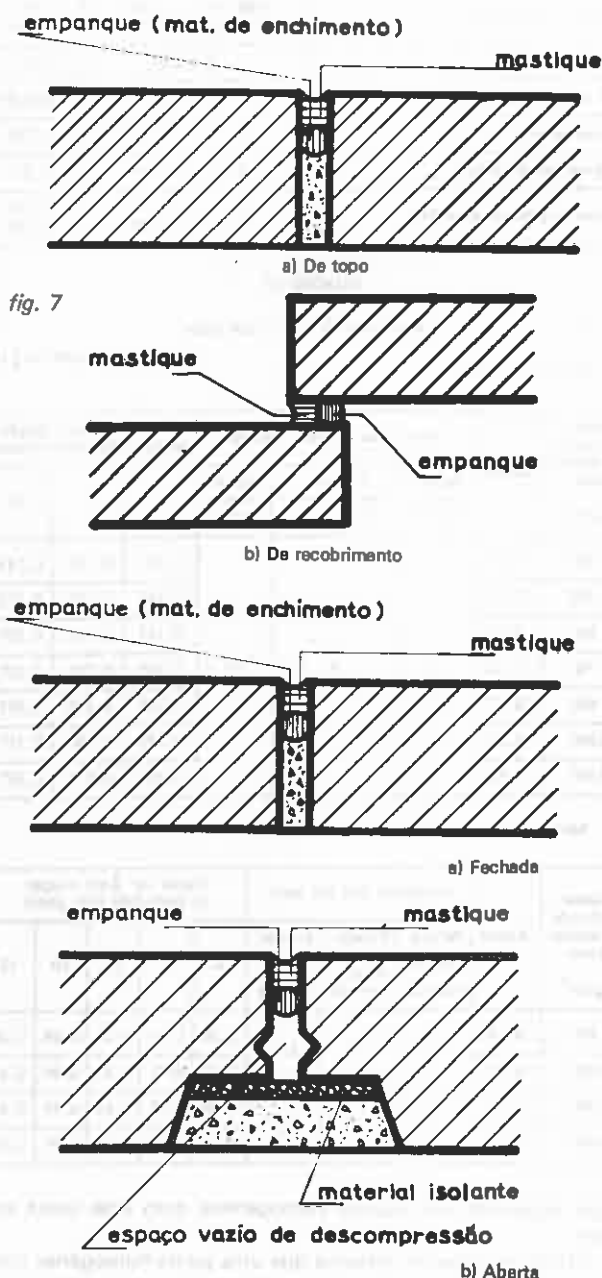


Fig. 8 — Tipos de juntas atendendo ao preenchimento

Em qualquer dos casos as juntas de fachada devem satisfazer segundo as "Directives communes UEAtc pour l'agrément des mastics d'étanchéité pour la construction des façades des bâtiments" (13) as seguintes exigências funcionais:

- Exigências fundamentais:
  - estanquidade
  - aspecto
  - compatibilidade
  - durabilidade
- Exigências complementares:
  - concepção da junta
  - condições de utilização em estaleiro

Relativamente à durabilidade das juntas, são indicados no mesmo documento os factores de solicitação a ter em conta: temperatura, água, radiação solar, acções químicas, bolores, movimentos da junta e deteriorações mecânicas.

### 3.3.2 — Cruzamento das juntas horizontais e verticais

Os cruzamentos das juntas horizontais e verticais, constituem habitualmente pontos de interrupção dos dispositivos de estanquidade realizados numas e noutras. Por tal motivo devem estes pontos ser objecto de cuidados especiais, assegurando-se, se necessário, o restabelecimento da continuidade interrompida, através da sobreposição de feltros ou outras disposições adequadas.

### 3.3.3 — Alguns dos problemas que normalmente se põem à realização e funcionamento das juntas

As condições de funcionamento teórico que se preconizam para as juntas, nem sempre correspondem à realidade. A explicação de tal facto é normalmente consequência de imperfeições de várias natureza, relacionadas com o fabrico e montagem dos painéis e natureza e aplicação dos vedantes.

Entre os mais importantes factores que influenciam o funcionamento das juntas em consequência de defeitos de fabrico e montagem dos painéis, contam-se (4):

- Não cumprimento de tolerâncias
- Tolerâncias muito elevadas
- Irregularidades nas superfícies de contacto
- Porosidade dos materiais
- Obstruções acidentais

Os factores relacionados com as tolerâncias são particularmente graves nas juntas topo a topo.

Relativamente à porosidade do betão, é importante referir aqui a influência de:

- Fuga da aguada de cimento por falta da estanquidade dos moldes

QUADRO I

Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica  $K^{(*)}$ , admitidos pela UEAtc para as habitações construídas segundo processos de prefabricação pesada por painéis

Elementos de construção		Zonas climáticas de Inverno				
		H I	H II	H III	H IV	H V
do envelope exterior	Coberturas $(^{**})$	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
	Fachadas laterais $(^{**})$	1,0	1,2	1,2	1,4	1,6
	Fachadas principais $(^{**})$	1,2	1,2	1,4	1,6	1,6
	Pavimento sobre passagens abertas	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2
Dado para locais não aquecidos	Paredes (garagens, por ex <sup>o</sup> )	1,2	1,4	1,4	1,6	1,6
	Pavimentos (sobre caves ou caixas de ar dos pisos térreos)	0,9	0,9	1,2	Sem exigências	

$(^{*})$   $k$  expresso em  $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ .

$(^{**})$  Valores aplicáveis a elementos com pesos iguais ou superiores aos seguintes:

Coberturas - 200  $\text{kgf} \cdot \text{m}^{-2}$   
Paredes - 250 "

**QUADRO II**  
Classificação das zonas climáticas por distritos

DISTRITOS	Zonas de inverno			Zonas de verão		
	Altitude (m)			Altitude (m)		
	0-200	200-500	500	0-200	200-500	500
Aveiro	H V	H IV	H III	E II	E II	E II
Beja	H V	H IV	-	E IV	E IV	-
Braga	H V	H IV	H III	E II	E II	E II
Bragança	H IV	H IV	H III	E IV	E III	E II
Castelo Branco	H IV	H IV	H III	E IV	E III	E II
Coimbra	H V	H IV	H III	E II	E II	E II
Évora	H V	H IV	H IV	E IV	E IV	E IV
Faro	H V	H IV	H IV	E IV	E IV	E II
Guarda	H IV	H IV	H III	E IV	E III	E III
Leiria	H V	H IV	H IV	E II	E II	E II
Lisboa	H V	H V	-	E II	E II	-
Portalegre	H V	H IV	H IV	E IV	E IV	E IV
Porto	H V	H IV	H IV	E II	E II	E II
Santarém	H V	H IV	-	E III	E III	-
Setúbal	H V	H IV	-	E III	E II	-
Viana do Castelo	H IV	H IV	H III	E II	E II	E II
Vila Real	H IV	H IV	H III	E IV	E III	E II
Viseu	H IV	H IV	H III	E IV	E III	E II

— Falta de elementos finos

— Tratamentos térmicos, com deficiente distribuição, que fazendo deslocar a água na massa do betão o deixam algumas zonas mais poroso.

Outro aspecto relevante relacionado com o funcionamento das juntas diz respeito à qualidade e comportamento ao longo do tempo dos vedantes utilizados.

### 3.4 — Isolamento térmico (8) (12)

O isolamento térmico conferido por elementos de parede da envolvente exterior dos edifícios é vulgarmente quantificado pelo coeficiente de transmissão K ou pela resistência térmica R.

Em diversos regulamentos fixam-se valores limites para K relativamente ao peso por m<sup>2</sup> das paredes, de modo a poder entrar-se em linha de conta com os factores de amortecimento e atraso de onda.

No quadro I referem-se os valores máximos do coeficiente de transmissão térmica K admitidos pela UEAtc para as habitações construídas segundo processos de prefabricação pesada por painéis. No quadro II dá-se conta do enquadramento dos distritos de Portugal Continental de acordo com a classificação das zonas climáticas referidas no primeiro quadro.

Sendo K função da condutibilidade térmica dos materiais que integram os diferentes tipos de parede, resumem-se no quadro III os valores da condutibilidade térmica útil dos principais materiais intervenientes na constituição de painéis prefabricados.

No quadro IV apresenta-se a variação com a humidade da condutibilidade térmica de betões celulares e de agregados de argilas expandidas.

#### 3.4.1 — Painéis homogéneos

Como o seu próprio nome indica trata-se de painéis em cuja constituição entra um ou vários materiais de estrutura homogénea, dispostos em camadas, funcionando conjuntamente, sem qualquer deles desempenhar função relativamente definida.

Os materiais que constituem estes elementos deverão possuir as características necessárias ao desempenho das exigências funcionais que lhe são exigidas.

É frequente a utilização de betões leves, nomeadamente de

**QUADRO III**  
Massa Volumica e condutibilidade Térmica Útil de Materiais

Materiais	Massa volumica kg/m <sup>3</sup>	λ útil kcal/mh.°C
Betões normais de agregados silíceos, sílico-calcedreos e calcedreos	2200 < ρ < 2400	1,5
	1700 < ρ < 2100	1,2
Betões celulares tratados em autoclave	750 < ρ < 850	0,28
	650 < ρ < 750	0,25
	550 < ρ < 650	0,22
	450 < ρ < 550	0,20
Argamassas: De cimento Estardada De cal	ρ = 2100	1,0
	ρ = 1900	0,9
	ρ = 1700	0,65
Aglomerados de fibras de madeira com cimento	500 < ρ < 600	0,12
	400 < ρ < 500	0,10
	300 < ρ < 400	0,08
Barro vermelho	1800 < ρ < 2000	1,0
Placas de gesso	800 < ρ < 1200	0,28-0,40
Placas de fibrocimento	1800 < ρ < 2200	0,8
	1400 < ρ < 1800	0,55
Vidro	ρ = 2700	1,0
Lã de vidro	150 < ρ < 400	0,05-0,08
Fibras minerais	20 < ρ < 300	0,035
Aglomerado de cortiça	250 < ρ < 350	0,07
Materiais plásticos expandidos	50 < ρ < 100	0,036
	25 < ρ < 50	0,034

**QUADRO IV**

Variação de λ com a humidade

segundo LEWICKI [14]

Betões celulares

Massa volumica no estado seco kg/m <sup>3</sup>	λ seco	Humidade útil em volume			Valor de λ em função de humidade (em volume)		
		Parede pouco húmida	Parede medianamente húmida	Parede muito húmida	6	8	10
350	0,07	6	8	10	0,115	0,130	0,145
500	0,10				0,145	0,160	0,175
600	0,12				0,173	0,190	0,207
700	0,14				0,193	0,210	0,227
800	0,17				0,223	0,240	0,257
1000	0,23				0,283	0,300	0,317
1200	0,30				0,353	0,370	0,387

Betões de agregados de argila expandida

Massa volumica no estado seco kg/m <sup>3</sup>	λ seco	Humidade útil em peso			Valor de λ em função da humidade (em peso)				
		Parede pouco húmida	Parede medianamente húmida	Parede muito húmida	4	6	8	10	12
800	0,16	6	8	12	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28
1000	0,22				0,27	0,31	0,35	0,39	0,43
1200	0,27	4	6	10	0,33	0,37	0,42	0,47	0,52
1600	0,45				0,55	0,63	0,71	0,79	0,87

argila expandida em painéis homogéneos com uma única camada.

A título de exemplo refira-se que uma parede homogénea com 25 cm de espessura realizada com betão leve de argila expandida, com massa volumica da ordem dos 1000 a 1200 Kg/m<sup>3</sup>

conduz a um valor de  $K = 1.2 \text{ Kcal m}^2/\text{°C} \cdot \text{s}$  resultante duma condutibilidade térmica útil de  $0,40 \text{ Kcal/m h}^\circ\text{C}$  para o betão de argila expandida.

É vulgar a utilização neste tipo de painéis de camadas interiores de materiais mais leves que possuindo características resistentes adequadas, por via da sua natureza, contribuem de modo especial para o isolamento térmico. É frequente a utilização de betões leves pouco compactos e betões cavernosos convenientemente revestidos por camadas estanques. A figura 9 exemplifica a constituição dum painel deste tipo.

### 3.4.2 — Painéis tipo "sandwich"

Com esta designação, denominam-se os painéis constituídos por três camadas, das quais, a do meio desempenha a função específica da isolante.

As ligações entre as camadas exterior e interior do betão poderão ser de dois tipos: rígidas e não rígidas.

As ligações rígidas são obtidas no contorno, onde as duas camadas estão solidarizadas por betão com armaduras. Esta solidarização periférica é completada por outros pontos rígidos na zona corrente do painel, também reforçados com armaduras.

Os principais inconvenientes deste tipo de ligação estão relacionados com as tensões que se podem desenvolver nas ligações como consequência das diferenças de temperatura e (ou) fluência entre as duas camadas e o facto de originarem pontes térmicas, sempre desfavoráveis nos painéis de fachada.

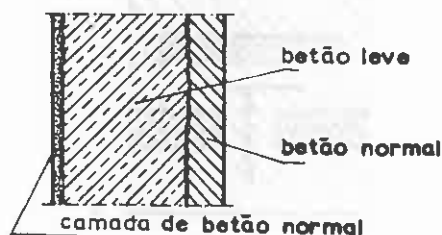


Fig. 9 — Painel de camadas homogêneas

Noutras soluções, uma das camadas, normalmente a exterior, fica suspensa da camada resistente do painel, não havendo qualquer ligação rígida, ou apenas uma. As outras ligações fazem-se normalmente com armaduras em aço inoxidável especialmente concebidas para o efeito distribuídas racionalmente pela superfície do painel.

Materiais plásticos (poliestireno expandido e espuma de poliuretano), lã de vidro, fibras minerais e aglomerados de fibra de madeira com cimento são os materiais de utilização mais corrente, como isolantes térmicos, neste tipo de painéis.

Na fig. 10 esquematiza-se a constituição dum painel deste tipo com duas camadas de betão de 6 a 9 cm de espessura e uma camada de 3 cm de poliestireno expandido. Considerando para valores da condutibilidade térmica úteis do betão e do poliestireno expandido, respectivamente  $\lambda = 1,5$  e  $0,034 \text{ Kcal/m h}^\circ\text{C}$  o valor de  $K$  obtido para aquela parede foi de  $K = 0,85 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ .

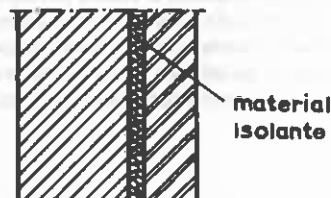


Fig. 10 — Painel "sandwich"

A figura 11 esquematiza uma outra solução para este tipo de painéis.

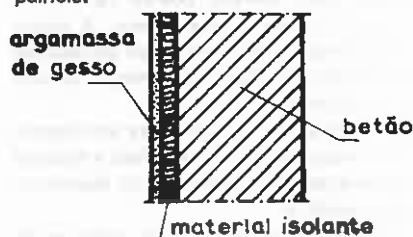


Fig. 11 — Painel "sandwich"

Segundo as recomendações do CEB deve adotar-se na camada exterior deste tipo de painéis uma armadura destinada a opor-se aos efeitos da retracção e de diferenças de temperatura. A secção mínima a adoptar para esta armadura deverá ser em cada direcção de  $0,8 \text{ cm}^2 \text{ p.m.h.}$ , com as armaduras espaçadas no máximo de 20 cm. A camada exterior que contém a armadura deve ter pelo menos 5 cm de espessura situando-se a armadura referida junto do paramento exterior desta camada.

### 3.4.3 — Painéis com caixa de ar

Espaços de ar de espessura superior a 1,5 cm conduzem a resistências térmicas da ordem de  $0,18 \text{ m}^2 \text{ °C/Kcal}$ , valor não desprezável no isolamento térmico duma parede. Tal circunstância pode ser aproveitada, utilizando painéis contendo espaços de ar de grandes dimensões (fig. 12). No entanto a situação mais corrente em paredes contendo caixa de ar e painéis prefabricados faz-se com a utilização de painéis homogêneos para o paramento exterior da parede a que se segue a caixa de ar delimitada interiormente por parede que se realiza no local da obra. A caixa de ar poderá ser cheia com material de isolamento.

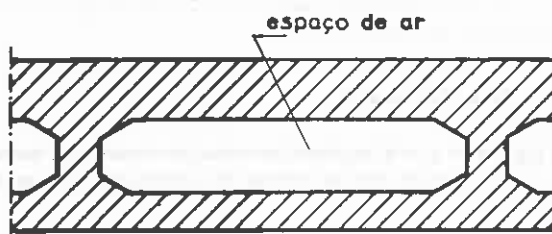


Fig. 12 — Painel com caixas de ar

### 3.4.4 — Painéis contendo elementos vasados

Neste tipo de painéis a função de isolante térmico é desempenhada fundamentalmente à custa de elementos vasados, normalmente blocos cerâmicos ou de betão.

A orientação das fiadas e das juntas entre blocos tomam diferentes aspectos. Como exemplo, nas figuras 13 a e b mostram-se duas organizações diferentes.

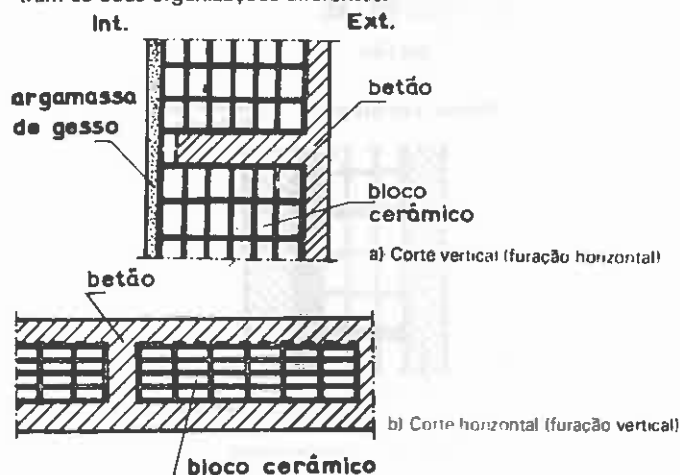


Fig. 13 — Painéis contendo elementos vasados

O cálculo do coeficiente de condutibilidade térmica  $K$ , deste tipo de painéis torna-se mais complicado; de qualquer modo o método que se segue consiste ainda uma análise de comportamento por camadas.

No LNEC existe programa de cálculo automático que resolve este tipo de situações.

A título de exemplo referem-se alguns valores de  $K$  obtidos com aquele programa de cálculo para paredes de constituição análoga à que se representa na figura 13a)

**Espessura total — 28 cm**

Camada exterior de betão — 3 cm

Camada interior de argamassa de gesso e argila expandida — 5 cm

Blocos cerâmicos — 20 cm

Valor de  $K = 1,0 \text{ Kcal m}^2/\text{°C} \cdot \text{s}$

**Espessura total — 21.5 cm**

Camada exterior de betão — 3 cm

Camada interior de argamassa de gesso — 1.5 cm

Blocos cerâmicos — 17 cm

Valor de  $K$  —  $1,3 \text{ kcal m}^2 / ^\circ \text{C}^{-1}$

**Espessura total — 22.5 cm**

Camadas exteriores de betão — 3 cm

Camada interior de argamassa de gesso e argila expandida — 2.5 cm

Blocos cerâmicos — 17 cm

Valor de  $K$  —  $1,2 \text{ kcal m}^2 / ^\circ \text{C}^{-1}$

Os valores de condutibilidade térmica adoptados são os que se referem no quadro III para o caso de betões normais de agregados siliciosos e barro vermelho. Relativamente à argamassa de gesso adoptara-se valores de condutibilidade térmica útil de 0,32 e 0,35 respectivamente para a argamassa de gesso com e sem elementos de argila expandida.

### 3.4.5. — Soluções mistas

As figuras 14 a) e b) representam soluções deste tipo, baseando-se na combinação dos princípios de constituição que se tem vindo a referir.

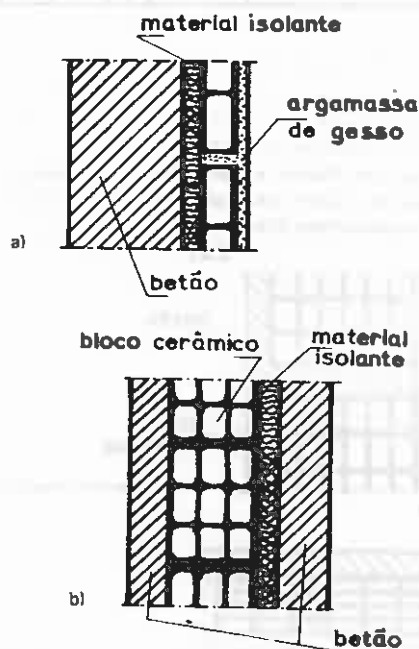


Fig. 14 — Soluções mistas

### 3.4.6 — Algumas observações relativamente às soluções apresentadas

Para o bom funcionamento, sob o ponto de vista térmico das paredes, muito contribui o cuidado posto na execução dos painéis.

A delimitação incorrecta de camadas; o aparecimento de rebarbas como pontos de contacto; a falta de protecção adequada relativamente a certos isolantes leves, são alguns aspectos a ter em atenção no fabrico dos painéis.

Outro problema, sob o ponto de vista térmico, geralmente colocado às paredes como painéis prefabricados relaciona-se com a existência das juntas e nervuras periodicamente dispostas na parede, que funcionando como pontes térmicas podem diminuir consideravelmente o isolante conferido pela parede. Na fig. 15 esquematiza-se a situação referida com o traçado aproximado das linhas de fluxo.

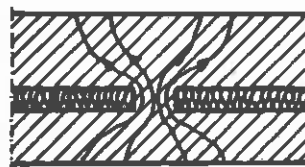


Fig. 15 — Linhas de fluxo

Como exemplo refira-se que se executarem no LNEC dois ensaios sobre painéis do sistema FIORIO de 22,5 cm de espessura com uma camada exterior de betão com 3 cm, uma camada interior de argamassa de gesso com 2,5 cm, e blocos cerâmicos de 17 cm de espessura.

Num deles os blocos cerâmicos dispunham-se em fiadas horizontais contínuas, no outro existiam nervuras verticais de betão com 10,5 cm que separavam os blocos cerâmicos com 33 cm de comprimento.

Os valores obtidos para  $K$  foram:

Parede sem nervuras de betão —  $K = 1,3 \text{ Kcal/hm}^2 ^\circ \text{C}$

Parede com nervuras de betão —  $K = 1,8 \text{ Kcal/hm}^2 ^\circ \text{C}$

As figuras 16 a) e b) mostram soluções de possível adopção em alguns casos, para minimizar este problema.

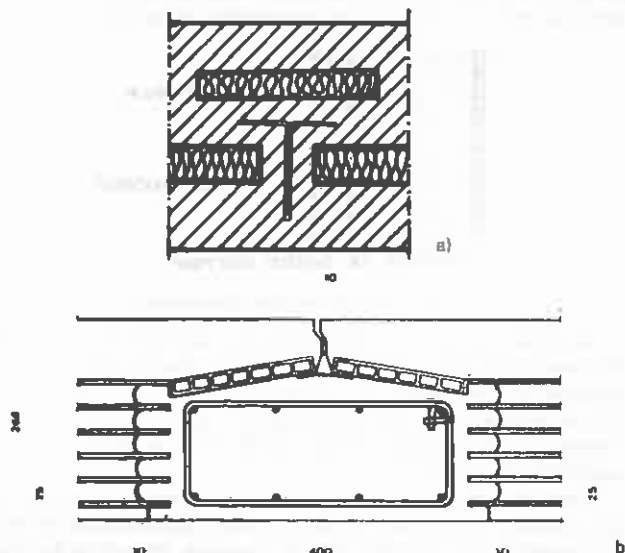


Fig. 16 — Minimização dos efeitos das pontes térmicas

Como se referiu no princípio deste capítulo nem só o coeficiente  $K$  traduz o conforto térmico que uma parede pode proporcionar. Para tal, pode ter também influência, a inércia térmica e a distribuição da mesma na espessura da parede. Como exemplo deste caso refere-se que de duas paredes com o mesmo valor de  $k$  e a mesma massa equivalente, é aquela em que a massa maior se concentre do lado interior da construção, que proporciona maior conforto térmico.

### 3.5 — Isolamento acústico

Relativamente às paredes dum edifício põe-se também o problema do isolamento acústico para ruídos aéreos. A quantificação deste isolamento faz-se pelo chamado *Índice de redução sonora*  $R$  que traduz a redução do fluxo de energia sonora através dos elementos de construção.

Aquele valor varia com a frequência do som, para um mesmo elemento da construção. Por este motivo e com vista a traduzir de modo mais simples as características sonoras do elemento, usa-se correntemente o valor médio  $R$ .

Os valores do índice de redução sonora médio, para os di-

ferentes tipos de parede, determinam-se de forma suficientemente aproximada recorrendo à lei experimental das massas, que relaciona o índice de redução sonora com a massa por unidade de superfície do elemento em consideração.

O Quadro V traduz aproximadamente aquela relação. O valor assim obtido deverá ser corrigido tendo em conta o monolitismo da construção. Em construção tradicional poderá cifrar-se numa

QUADRO V

Lei das Massas

Massa por unidade de superfície do elemento $M \text{ (kg/m}^2\text{)}$	Índice de redução sonora calculado $R \text{ (dB)}$	Intervalo a considerar para o índice de redução sonora $R \text{ (dB)}$
79 - 93	39	37/41
93 - 111	40	38/42
111 - 132	41	39/43
132 - 157	42	40/44
157 - 186	43	41/45
186 - 233	44	42/46
233 - 271	45	43/47
271 - 316	46	44/48
316 - 369	47	45/49
369 - 430	48	46/50
430 - 501	49	47/51

diminuição de 3dB ao valor resultante da tabela referida no quadro V. Para construções em painéis pesados com elevado grau de monolitismo aquela correcção deverá ser da ordem dos 5 dB. Refira-se no entanto que a obtenção de valores seguros só se conseguirá com o auxílio de ensaios a realizar em obra.

### 3.5.1. — Valores recomendados para o índice de redução sonora, R

O isolamento acústico dum edifício está à priori condicionado às exigências que neste domínio, por via da sua utilização se lhe pretende conferir e à sua própria localização. CAVALEIRO e SILVA considera que para paredes de separação entre habitações o isolamento se qualifica em:

Bom:  $la \leq 51 \text{ dB}$   
 Aceitável:  $45 \leq la \leq 50 \text{ dB}$   
 Mau:  $la \leq 44 \text{ dB}$

No interior das habitações será desejável a obtenção de valores superiores a 40 dB.

### 3.5.2 — Algumas observações

O problema do isolamento sonoro das paredes é de difícil quantificação prática, já que quer a existência de vãos fechados

com materiais diferentes, quer as próprias ligações e rigidez das construções são elementos intervenientes na quantificação do isolamento em causa.

Por tais motivos a quantificação exacta só é possível com ensaios a realizar no próprio local.

A utilização de paredes duplas nem sempre melhora o isolamento sonoro numa parede. Haverá neste caso que ter em conta o espaço de ar entre os elementos interior e exterior que definem a caixa de ar que não deve ter espessura inferior a valores da ordem dos 7 a 8 cm. Refira-se no entanto que mesmo para espessuras desta ordem ou mais elevadas não se verifica acentuada melhoria para o índice de redução sonora.

Da utilização de materiais com boas características de absorção sonora na caixa de ar atrás definida poderá tirar-se algum partido para o isolamento sonoro das paredes.

### BIBLIOGRAFIA

- 1 - CARRIE C.; MOREL D.; FOURQUIN J. — Les Salissures de façades, Bâtir n.º 30 (nouvelle série), Paris, Abril 1974, p. 39-52.
- 2 - CAVALEIRO E SILVA — Isolamento sonoro de paredes e pavimentos. Descrição e classificação. Comunicação às 3.ªs Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, Luanda, Lourenço Marques, 1971
- 3 - COMITE EUROPEEN DU BETON CEB — "Recommandations pratiques unifiées pour le calcul et l'exécution de constructions par panneaux assemblés de grand format", Roma, Associazione Italiana Tecnico.
- 4 - LUGEZ J. — La prefabrication lourde en panneaux et le bâtiment d'habitation, Ed. Eyrolles, Paris, 1973.
- 5 - MOKK L. — Prefabricated concrete for industrial and public structures, Akadémiai Kiadó, Budapeste, 1964.
- 6 - PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE (PCI) — Chicago — Architectural precast concrete, 1973.
- 7 - RUSSOF B.B. — Transportation and erection problems. Industrialized building and the structural engineer. The Institution of Structural Engineers, London, 1966.
- 8 - RUY GOMES — Condicionamentos climáticos da envolvente dos edifícios para habitação, Memória n.º 181. LNEC, 1962.
- 9 - TEIXEIRA TRIGO, J.A.A. — Curso 144. Edifícios prefabricados, LNEC, 1973.
- 10 - UEAtc — Directives communes pour l'agrément des procédés de construction par grands panneaux lourds préfabriqués, Paris, Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Livraison 80, Cahier 696, 1966.
- 11 - VASCONCELOS PAIVA J. — Humidades na edificações, Tese, LNEC, Lisboa, 1969.
- 12 - VASCONCELOS PAIVA J. — O problema da transmissão térmica em elementos de construção, Relatório, LNEC, 1966.
- 13 - UEAtc — Directives communes pour l'agrément des mastics d'étanchéité pour la construction des façades des bâtiments, Paris, 1975.
- 14 - LEWICKI, B. — Bâtiments d'habitations préfabriqués de grande dimensions. Paris, Ed. Eyrolles, 1965.

# 1.ªS JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL

# 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 CONSTRUCTIVOS 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.

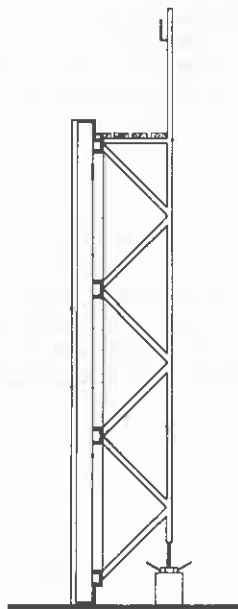


Fig. 1 — Painel de cofragem

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).

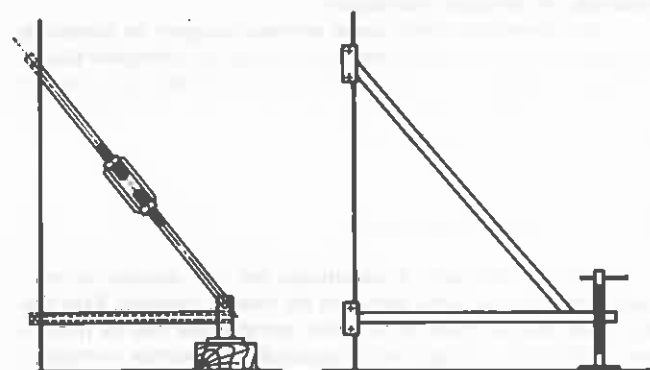


Fig. 2

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...

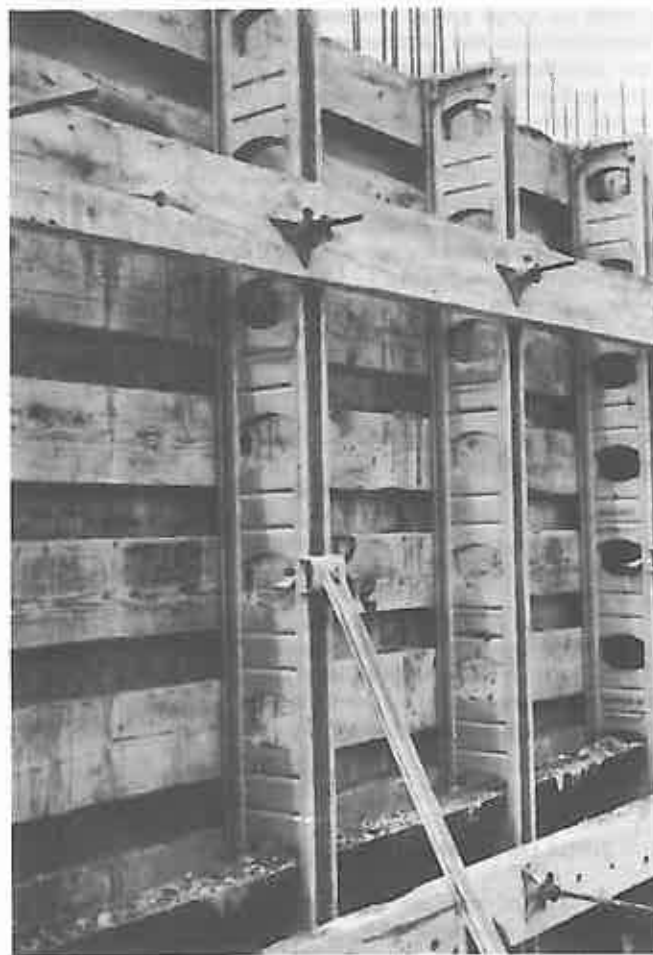


Fig. 3 — Painéis Desmoldáveis

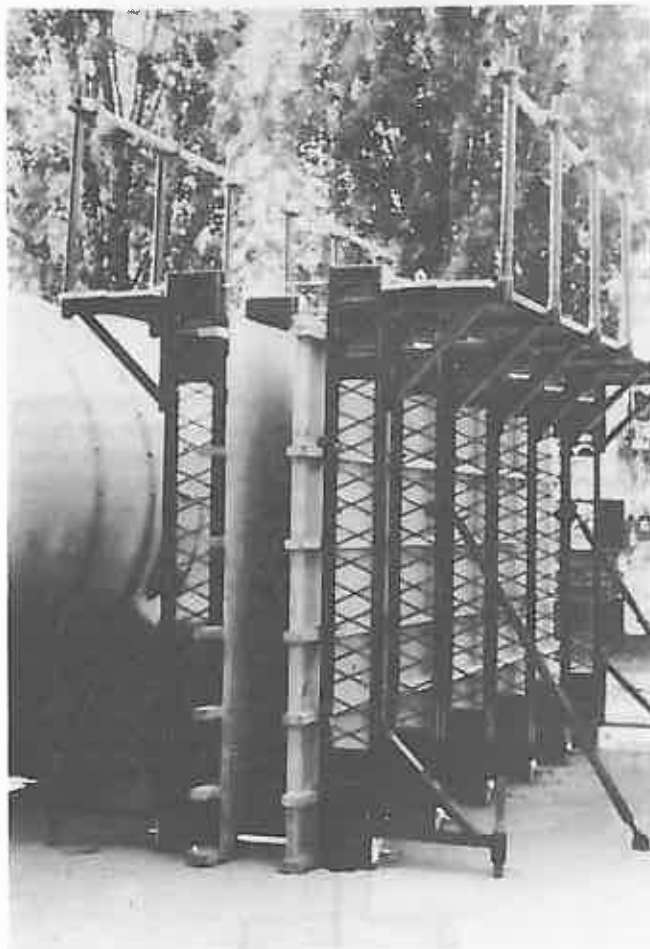


Fig. 4 — Painéis Desmoldáveis

— 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).

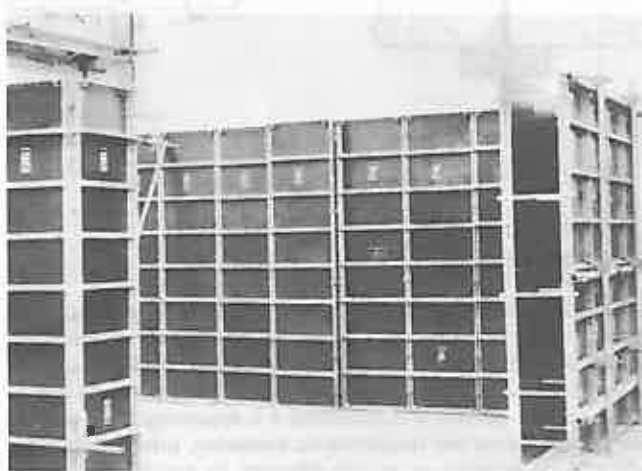


Fig. 5 — Painéis Modulares

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).

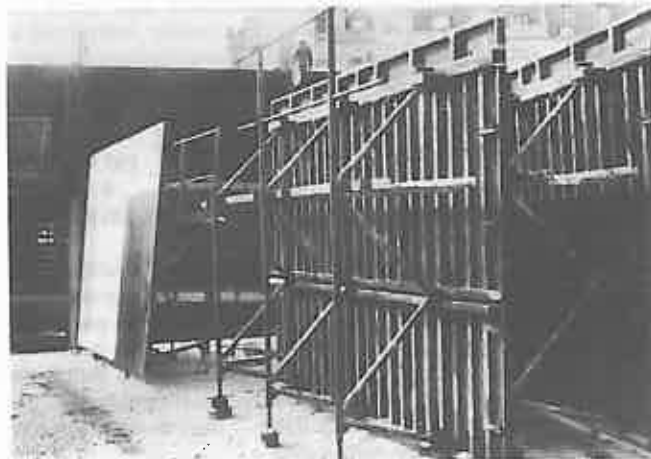


Fig. 6 — Painéis Monolíticos

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 <sup>2</sup>
madeira tratada .....	0,80 a 1,0 horas/m <sup>2</sup>
aço .....	0,44 a 0,85 horas/m <sup>2</sup>

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 <sup>2</sup>
Corte.....	6 kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidade.....	63.000 kgf/cm <sup>2</sup>

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 <sup>2</sup>
Corte.....	4 kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidade.....	20.000 kgf/cm <sup>2</sup>

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 pré-fabricados.

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 inclusive 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*.

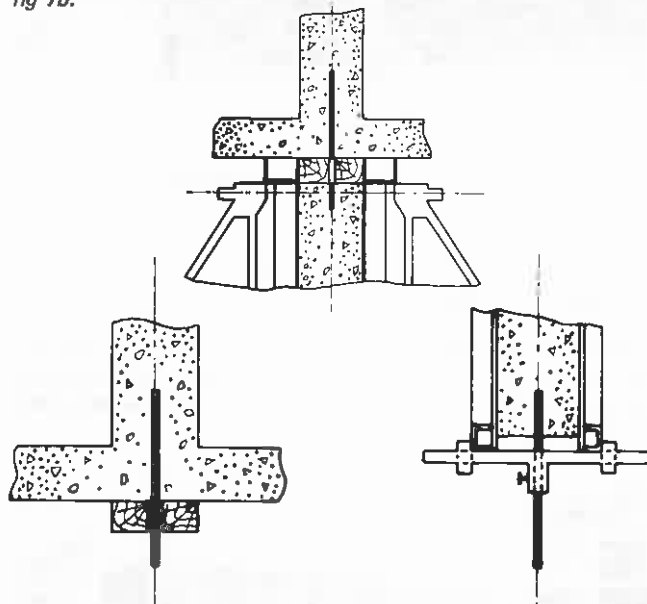


Fig. 7 — Tipos de juntas atendendo à forma

#### — 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*.

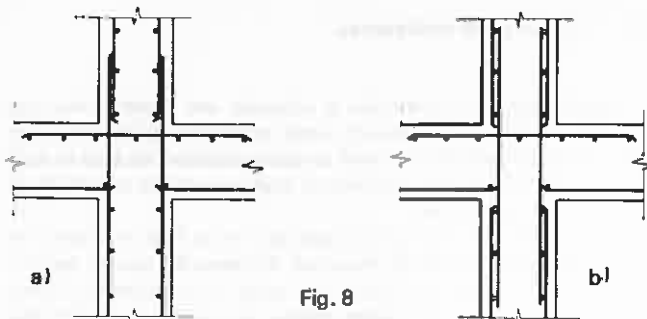


Fig. 8

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 acautelada, 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 m<sup>2</sup>/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 m<sup>2</sup> 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).

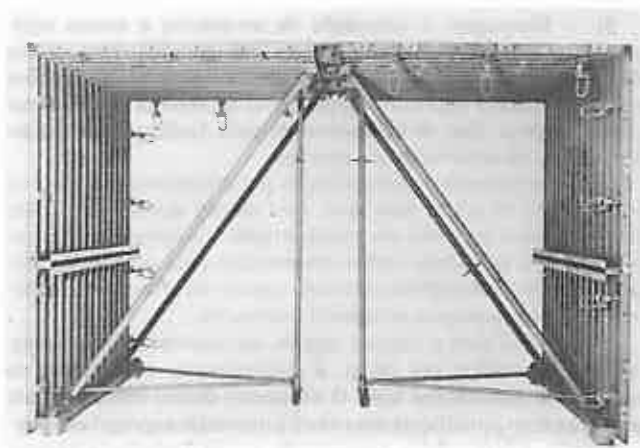


Fig. 9 — Cofragem túnel

Os pesos praticados, são da ordem dos 60 a 70 Kg/m<sup>2</sup> de cofragem — em madeira ou contraplacado, os valores são da ordem dos 25 a 45 Kg/m<sup>2</sup> — 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 Kg/cm<sup>2</sup>.

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 encurvatura 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 Kg/cm<sup>2</sup>.

— 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. Indicam-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.

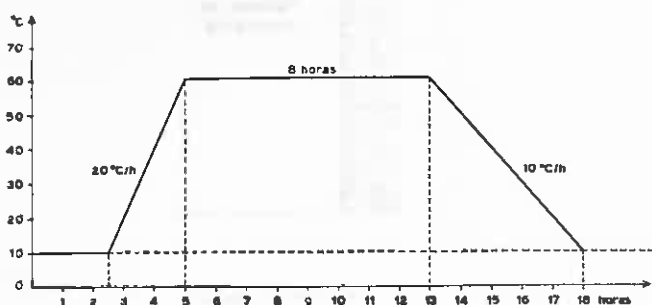


fig. 10

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/cm<sup>2</sup>.

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 <sup>2</sup>
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.

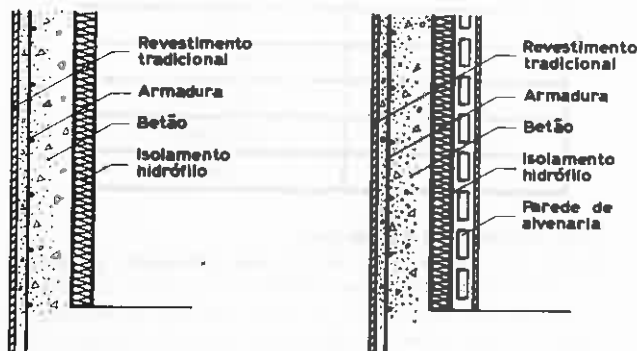


Fig. 11 — Paredes do tipo I

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

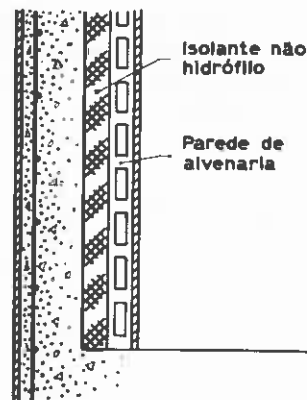
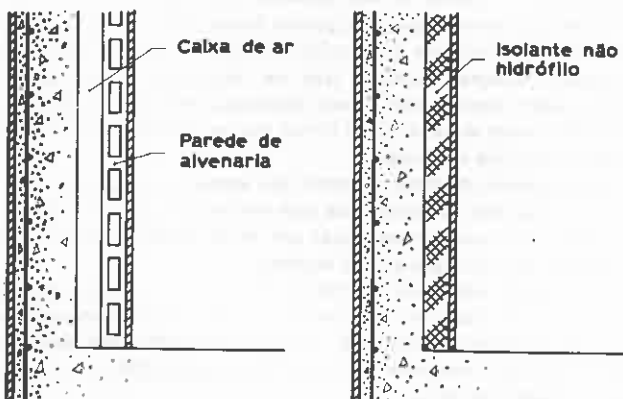


Fig. 13 — Paredes do tipo III

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.

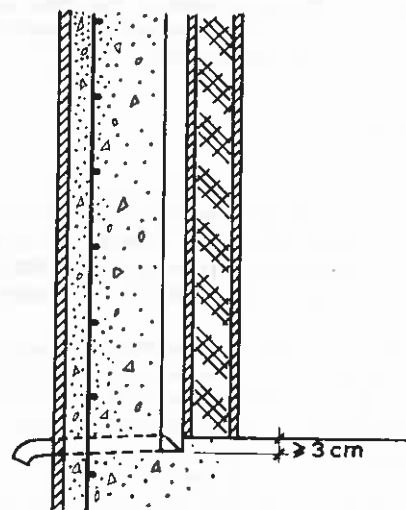


Fig. 14 — Paredes do tipo IV

#### 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/m<sup>2</sup> — 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 cm 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.

# COBERTURAS DE GRANDES VÃOS

por JOÃO APLETON

Engenheiro Civil — Estagiário para especialista no L.N.E.C.

## SUMÁRIO

TIPOS DE ESTRUTURA PARA COBERTURAS DE GRANDE VÃO: ESTRUTURAS INDIFERENCIADAS E DIFERENCIADAS. PRÉFABRICAÇÃO DE ELEMENTOS: MATERIAIS; MOLDES; EXECUÇÃO; DESMOLDAGEM, CURA E ARMAZENAMENTO; TRANSPORTE E MONTAGEM; TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS. SOLICITAÇÕES, ESFORÇOS E DIMENSIONAMENTO. DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS.

## COVERING OF LARGE SPANS

### SUMMARY

TYPES OF STRUCTURE FOR COVERINGS OF LARGE SPAN: DIFFERENTIATED AND UNDIFFERENTIATED STRUCTURES. PREFABRICATION OF ELEMENTS: MATERIALS; MODELS; EXECUTION; UNMOULDING, CURE AND STORAGE; CARRYING AND SETTING; DIMENSIONAL ALLOWANCES. LOADS, STRAINS AND MEASURABLENESS. BUILDING ARRANGEMENTS.

## COUVERTURES DE LARGES PORTÉES

### SOMMAIRE

TYPES DE STRUCTURE POUR DES COUVERTURES DE LARGE PORTÉE: STRUCTURES NON DIFFÉRENCIÉES ET DIFFÉRENCIÉES.

PRÉFABRICATION D'ÉLÉMENTS: MATÉRIELS; PATRONS; EXÉCUTION; DÉMOLAGE, CURA ET MAGASINAGE; TRANSPORT ET MONTAGE; TOLÉRANCES MESURABLES. SOLICITATIONS, EFFORTS ET MESURAGE. DISPOSITIONS POUR LE BÂTIMENT.

## 1 — INTRODUÇÃO

De entre os materiais com que são fabricadas as estruturas avulta entre nós o betão, material que, aliás, há muito conquistou lugar privilegiado no domínio da construção, sobrepondo-se à madeira e ao aço. A madeira de pinho, em que o país é rico, é reservada quase exclusivamente a edifícios leves, de carácter mais ou menos provisório. Quanto ao aço, a sua utilização restringe-se, praticamente, a coberturas de unidades industriais, pavilhão, etc., já que o seu elevado custo o torna um material de construção pouco competitivo.

As estruturas de cobertura reflectem, como é natural, este panorama de supremacia do betão e, se é verdade que alguns tipos estruturais (asnas, por exemplo), têm vindo a ser preteridas relativamente a correspondentes estruturas metálicas, devido ao crescente aumento do custo da mão de obra, outros tipos de estruturas de betão, como as vigas de inércia variável, vêm ocupar lugar de relevo no campo das estruturas de cobertura.

O presente trabalho, inserido no programa de palestras levadas a efeito no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e integrado nas 1.ªs Jornadas de Engenharia Civil organizadas por esta instituição, aborda os problemas relativos a coberturas de grande vão ou, mais propriamente, trata as estruturas de betão para coberturas de grandes naves, não constituindo sua preocupação o tratamento dos elementos com funções específicas de revestimento, impermeabilização, isolamento térmico, etc. No que se segue, referem-se estruturas de betão armado e pré-esforçado, sendo dado lugar destacado aos elementos prefabricados. Apresentam-se diversos tipos de estruturas, aplicados ou não em Portugal, dedicando-se particular atenção à análise dos correspondentes pormenores construtivos.

## 2 — COBERTURAS COM ESTRUTURAS DE GRANDES VÃOS

### 2.1 — Tipos de estrutura

As principais exigências funcionais das coberturas são a resistência mecânica, a estanqueidade ao ar e à água e o iso-

lamento térmico e acústico, exigências essas que podem ser asseguradas por um ou mais elementos.

Nas coberturas de grandes vãos, o sistema estrutural de suporte é muito complexo, bem como toda a cobertura em geral, especialmente quando são elevados os níveis das exigências relativas ao isolamento e estanqueidade. Quando estes níveis são baixos, usam-se soluções de coberturas com revestimentos leves (à base de chapas onduladas metálicas ou de fibrocimento), sendo correspondentemente leves os respectivos elementos estruturais de suporte. Então as estruturas de cobertura são descontinuas e constituídas por vigas, asnas ou arcos: designam-se então por coberturas com estrutura diferenciada.

Pelo contrário, quando as exigências se aproximam das que, habitualmente, se requerem em edifícios de habitação, há necessidade de recorrer a coberturas mais complexas e, logicamente, mais pesadas. Podem ainda, é um facto, usar-se coberturas do tipo antes referido, mas hoje caminha-se decididamente para a utilização de coberturas com estrutura indiferenciada, isto é, aquelas em que o elemento estrutural de suporte é contínuo e constitui por si o próprio revestimento, cumprindo simultaneamente várias funções, necessitando apenas de algumas disposições suplementares (de impermeabilização, por exemplo). Estão neste caso os painéis de cobertura, de forma variada, e as cascas (Fig 1) (1) (2).

## CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS

### ESTRUTURA DIFERENCIADA

### ESTRUTURA INDIFERENCIADA

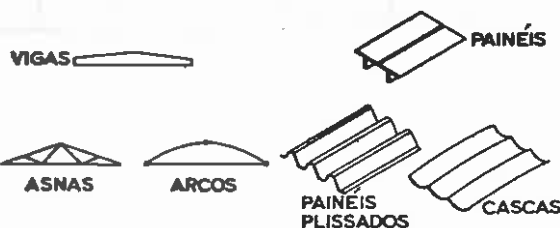
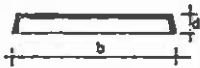
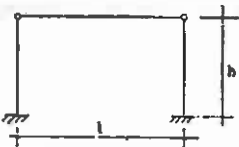
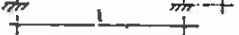
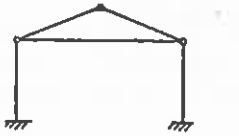
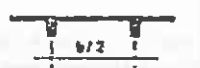


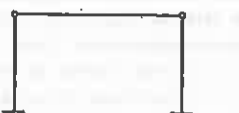
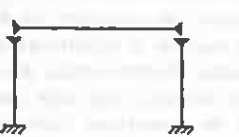


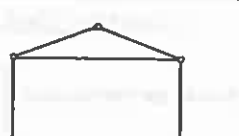


Fig. 1 — Sistemas de construção de coberturas em edifícios industriais

QUADRO 1 - TABELA COMPARATIVA DE ESTRUTURAS INDIFERENCIADAS  
PARA COBERTURAS PLANAS

SECÇÃO		SISTEMA ESTÁTICO	COBERTURA				PAREDE EXTERIOR				TEMPO DE MONT h / ELEMENTO	
			l (m)	BETÃO Kg/m <sup>2</sup>	AÇO Kg/m <sup>2</sup>		h (m)	BETÃO Kg/m <sup>2</sup>	AÇO Kg/m <sup>2</sup>		COBERT.	PAREDE EXTER.
b (cm)	d (cm)				DE PRE- ESFOR.	DE ALT. RESIST.			DE PRE- ESFOR.	DE ALT. RESIST.		
 100 a 250	20		9,0	150		6,0	4,0		1,00	7,0	0,20	0,5
	a		a	a		a	a	250	a	a	a	a
	65		15,0	250		15,0	10,0		2,50	10,0	0,40	1,0
			12,0	150		6,0					1,5	
	a		a	a		a					a	
	20,0		250		10,0						3,0	
 150 a 250	20		(1) 8,0	200	2,0	3,0	4,0		1,00	7,0	0,20	0,5
	a		a	a	a	a	a	250	a	a	a	a
	65		15,0	250	3,0	4,0	10,0		2,50	10,0	0,40	1,0
 150 a 250	35		(2) 9,0	200	2,0	3,5	4,0	300	1,50	8,0	0,20	
	a		a	a	a	a	a	a	a	a	a	
	120		30,0	350	8,0	5,0	10,0	400	3,00	12,0	0,40	
			(2) 9,0	200	2,0	3,5	10,0	300	3,00	12,0	1,00	1,0
	a		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	30,0		350	8,0	5,0	20,0	400	8,00	15,0	3,00	2,0	
 250 a 300	65		12,0	150	1,70	5,0	4,0		1,00	5,0	0,20	0,5
	a		a	a	a	a	a	150	a	a	a	a
	30,0		250	5,70	10,5	12,0			2,50	7,0	0,40	1,0
			24,0	170	1,50	12,0					1,5	
	a		a	a	a	a					a	
	36,0		200	3,00	18,0						3,0	

(1) ATÉ 30 m APROXIMADAMENTE [3] (2) ATÉ 36 m [3]

### 2.1.1 — Estruturas Indiferenciadas

Este tipo de estrutura, quando prefabricada, permite vencer vãos até cerca de 30 m, existindo hoje uma gama muito variada de soluções construtivas, desde os painéis de betão armado e pré-reforçado, nervurados em forma de T, TT (1), etc. até às cascas fabricadas com os mesmos materiais. Entre estas distinguem-se, as cascas HP, de grande expansão, que têm a forma de parabolóide de revolução e cuja espessura pode atingir apenas 5 cm, aplicando-se em construções com vãos compreendidos entre 15 e 30 mm.

No que diz respeito aos painéis anteriormente referidos, o quadro I, apresentado a título meramente informativo, dá ideia das suas possibilidades que são, como se pode observar, muito variáveis (2).

Para além dos elementos mencionados no quadro I podem ainda referir-se outros, como os painéis vazados de secção transversal variada (fig. 2).

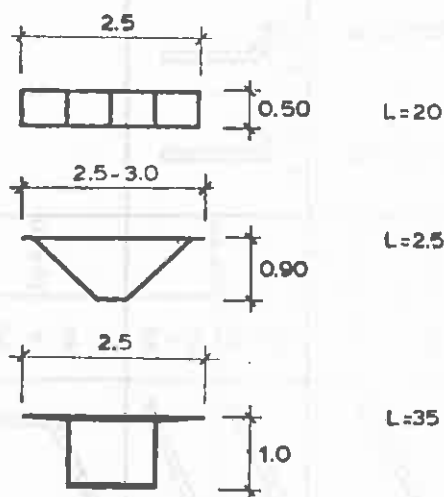


Fig. 2 — Painéis vazados para grandes vãos

O comportamento destes elementos não difere substancialmente daquele que corresponde aos painéis T.TT, U, já mencionados; devem no entanto, assinalar-se as suas melhores características de isolamento térmico, proporcionadas pelas caixas de ar.

Importa também referir os painéis plissados (folded plates), com secções e comportamento que se aproximam dos conhecidos canaletes de fibrocimento. Trata-se, como o nome indica, de estruturas constituídas por diversos elementos fazendo entre si ângulos variados, realizando diversas secções transversais (fig. 3)

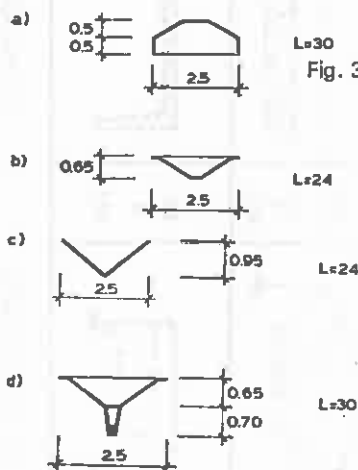


Fig. 3 — Painéis plissados tipo

- a) túnel
- b) U
- c) V
- d) U com nervura central

(1) Estes painéis têm enorme aplicação nos E.U.A. (3)

Quanto às estruturas tipo casca, há a distinguir as de simples e as de dupla curvatura; as primeiras têm um comportamento preponderante de flexão e não diferem substancialmente das estruturas plissadas vistas anteriormente (fig. 4).

Dentre as cascas de dupla curvatura distinguem-se as já referidas cascas HP, pré-esforçadas e com as características mencionadas anteriormente.

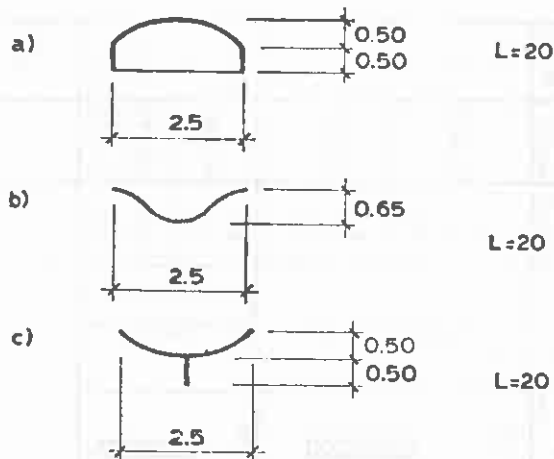


Fig. 4 — Cascalas de curvatura simples a) túnel b) ondulada c) com nervura central

### 2.1.2 — Estruturas diferenciadas

Nas coberturas em que a estrutura constitui apenas como que um esqueleto, distinguem-se três tipos estruturais fundamentais (fig. 5): vigas, de alma cheia ou oca, asnas e arcos.



Fig. 5 — Estruturas diferenciadas

No quadro II apresenta-se, a título de curiosidade, um conjunto de valores comparativos entre diversos tipos de estrutura de cobertura (2).

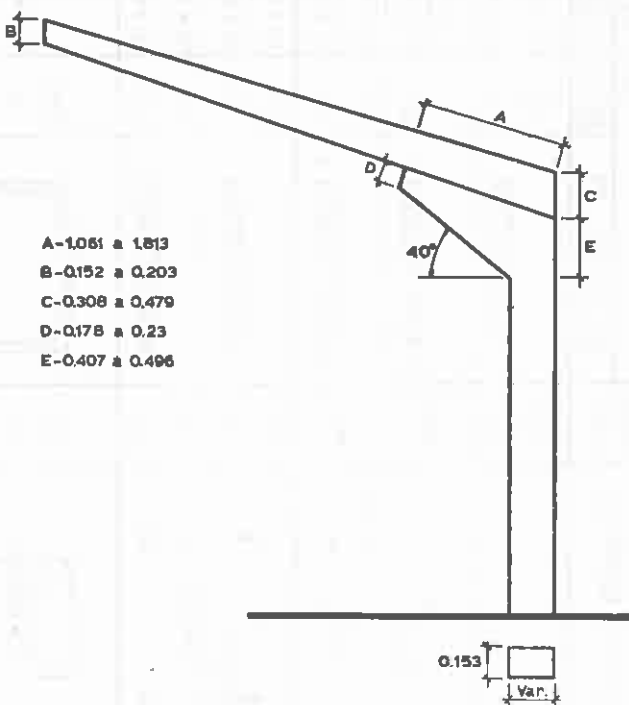


Fig. 6 — Pórtico Crendon: geometria

QUADRO 2 - VALORES COMPARATIVOS PARA COBERTURAS  
COM ESTRUTURA DIFERENCIADA

SISTEMA ESTATICO	VÃOS (m)	TIPO DE ESTRUTURA				TIPO DE APOIO		TIPO DE MONT. h/ESTR.
		INCLINAÇÃO DA COBERTURA < 10%	BETÃO Kg/m <sup>2</sup>	AÇO Kg/m <sup>2</sup>	INCLINAÇÃO DA COBERTURA > 10%	BETÃO Kg/m <sup>2</sup>	AÇO Kg/m <sup>2</sup>	
	12,0 a 30,0		60 a 120	10 a 8,0 10 a 4,0		50 a 80	30 a 5,0 10 a 2,0	0,5 a 2,0
	20,0 a 40,0		100 a 200	10 a 3,0 2,5 a 6,0		40 a 60	30 a 6,0 20 a 3,0 10 a 2,5	a 2,0
	12,0 a 30,0		60 a 120	50 a 8,0 1,5 a 3,0		40 a 80	30 a 6,0 20 a 3,0 10 a 2,5	1,0 a 2,0
	20,0 a 40,0		80 a 160	10 a 2,5 20 a 5,0		50 a 80	20 a 3,0 10 a 2,5	2,5 a 10,0
	10,0 a 12,0		100 a 150	50 a 10,0		80 a 120	40 a 6,0	0,5 a 1,5
	20,0 a 40,0		100 a 170	25 a 4,0 10 a 2,5		80 a 150	20 a 4,0 10 a 2,5	1,5 a 2,5
	10,0 a 12,0		50 a 100	0,5 a 8,0 1,5 a 3,5		30 a 60	30 a 6,0	1,2 a 2,0
	20,0 a 40,0		50 a 100	50 a 8,0 1,5 a 3,0		40 a 80	30 a 6,0	0,5 a 1,2
	6,0 a 12,0		50 a 100	30 a 8,0		40 a 80	30 a 7,0	0,5 a 1,2

• AÇO DE PRÉ-ESFORÇO • ARTICULAÇÃO • NÃO RÍGIDO PREFABRICADO • NÃO RÍGIDO EXECUTADO EM OBRA

No nosso país, os arcos não têm tido utilização, adquirindo especial importância as asnas e as vigas (de inércia constante ou variável), sendo estas muitas vezes prefabricadas com ligações rígidas aos elementos de apoio (pilares) constituindo pórticos. Nestas condições as estruturas porticadas prefabricam-se apenas para vãos reduzidos (até cerca de 12m), ao passo que, quando viga e pilar são fabricados em separado, os vãos de construção aumentam até cerca de 40m. Os pórticos Crendon, produzidos em Portugal, permitem vencer um vão máximo de 18,5 m (fig. 6).

As vigas podem ser de inércia constante ou variável, maciças ou ocas, e a sua secção assume formas muito diversas (fig. 7).



Fig. 7 — Vigas: secções transversais

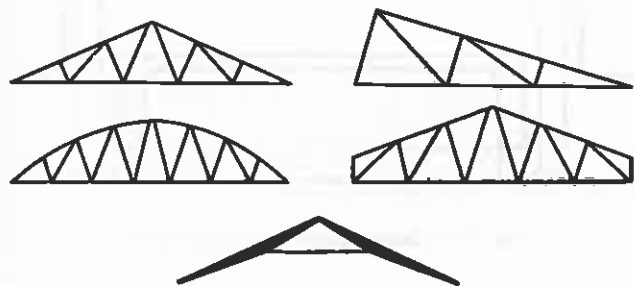


Fig. 8 — Algumas formas de asnas

As asnas apresentam também muitas variantes (fig. 8), sendo a mais divulgada a asna de duas águas, em betão armado e com a linha pré-esforçada. As asnas totalmente construídas de betão armado usam-se para vãos até cerca de 12 m, já que o pré-esforço tem como consequência a diminuição das deformações das asnas, resultando estas mais económicas para grandes vãos.

Assinale-se que existem realizações (Polónia e Jugoslávia, nomeadamente) com asnas atingindo 60 m de vão e mesmo ultrapassando este valor (fig. 9) (2) (4).

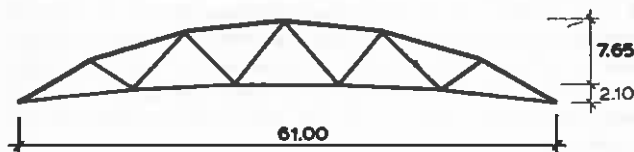


Fig. 9 — Asna parabólica pós-tensionada composta de barras isoladas

Refira-se ainda, e a propósito da figura anterior, que, em muitos casos, se recorre à prefabricação por partes destas estruturas, com o fim de conseguir maior economia de espaço em estaleiro (para a betonagem, cura e armazenamento), bem como para permitir a utilização de equipamento corrente para o seu transporte.

## 2.2 — Prefabricação de elementos

Pretende-se, neste parágrafo, fazer uma abordagem sintética dos problemas relativos à prefabricação de elementos de betão armado e pré-esforçado.

### 2.2.1 — Materiais

As estruturas de grande vão em betão, está associado normalmente o pré-esforço, já que os elementos de betão armado não apresentam características aceitáveis, nomeadamente sob o ponto de vista de deformação e fendilhação. De qualquer forma, quer se trate de betão armado, quer de pré-esforçado, o betão a utilizar é necessariamente de boa qualidade, tendo características

de resistência que o identifiquem pelo menos como um betão de classe B300 (5) (6), sendo mesmo frequente o emprego, em pré-esforçado, de betão de classe superior a B 400.

Quanto ao aço para betão armado (e para as armaduras ordinárias de betão pré-esforçado), as suas características são bem conhecidas dos utilizadores, empregando-se em regra varões de aço A 24 e A 40, lisos ou nervurados, de dureza natural ou artificialmente endurecidos (7).

O aço de pré-esforço não é considerado na regulamentação em vigor, pelo que há que seguir as prescrições dos próprios fabricantes (no caso de aços importados), ou os resultados dos ensaios realizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (no caso dos aços nacionais controlados por este organismo). Trata-se de um aço de alta resistência, obtida através de combinações de tratamentos mecânicos e térmicos aplicados ao aço natural. A diferença destes tratamentos provoca, além de diferenças de resistência, variações noutras propriedades, como por exemplo a relaxação (perda de tensão sem aumento de deformação) que é de grande importância na determinação das perdas de pré-esforço.

O pré-esforço aplica-se segundo duas técnicas fundamentalmente distintas: a post-tensão e a pretensão, cujo significado o próprio nome indica. A post-tensão, isto é, a aplicação do pré-esforço após o endurecimento do betão, é sem dúvida o processo mais utilizado no tipo de estruturas em estudo, obrigando à utilização de dispositivos específicos de ancoragem (\*) e de envolvimento das armaduras (permitindo o deslizamento destas). As formas de realizar ancoragens e bainhas são muito variadas, resultando descabida e fastidiosa a sua enumeração e análise, no âmbito deste trabalho.

### 2.2.2 Moldes

Os moldes utilizados para a prefabricação de elementos de betão, podem ser realizados de madeira (os mais correntes) aço e betão (para estruturas racionalizadas permitindo elevado número de utilizações).

Dado o elevado peso que o custo das cofragens têm hoje sobre o preço global de uma estrutura, é necessário realizar o máximo esforço no sentido da sua industrialização, o que passa, evidentemente, pela própria racionalização dos elementos estruturais (fig. 10 e 11) (4).

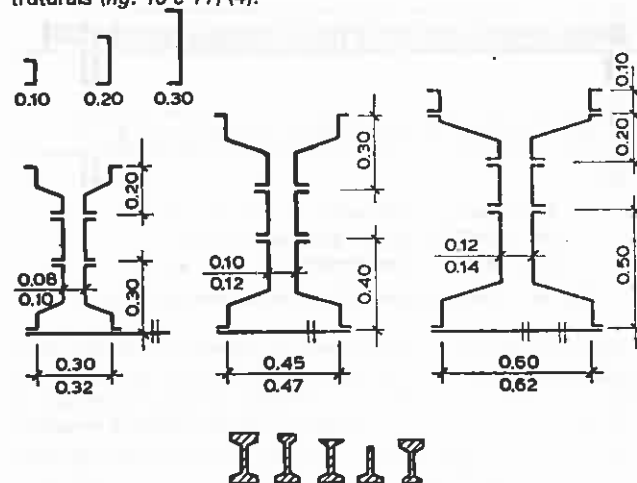


Fig. 10 — Moldes metálicos para vigas

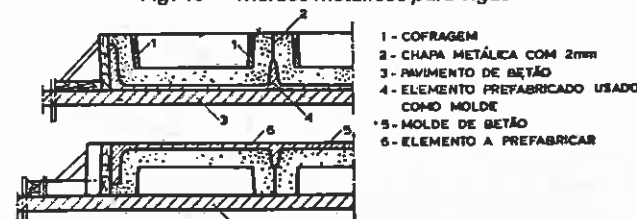


Fig. 11 — Execução de um molde de betão

Em cima: preparação do molde a partir de um elemento prefabricado  
Em baixo: moldagem de novo elemento

\* Sistema permitindo a transmissão ao betão da força de pré-esforço aplicada ao aço.

### 2.2.3 - Execução

Há diferentes processos de executar as peças prefabricadas, podendo a betonagem fazer-se com os moldes em posição horizontal (fig 11) ou vertical (fig 12). A betonagem horizontal tem como principal vantagem permitir uma regular compactação do betão (o que não é possível quando o molde se encontra em

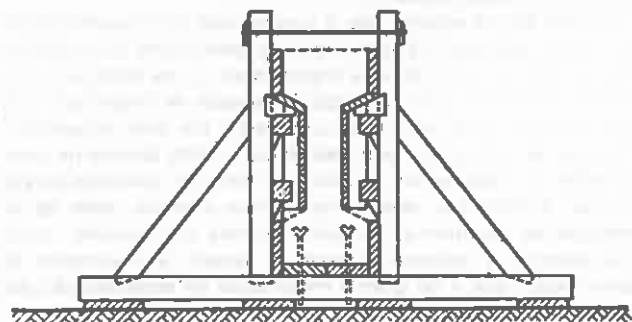
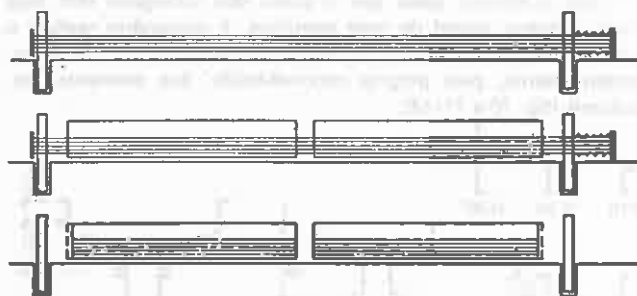


Fig. 12 - Molde de madeira para viga

posição vertical), e pode ser feita sobre o próprio pavimento da fábrica ou sobre mesas de betonagem (vibratórias ou não). Além disso o elemento a betonar ocupa pouco espaço em altura. Em contrapartida, a área ocupada é muito grande, exigindo grandes superfícies de estaleiro pelo que, para elementos de grandes dimensões, se pode optar pela betonagem vertical. Refira-se ainda a aplicação à prefabricação da técnica dos moldes deslizantes, o que obriga a uma grande repetição das peças betonadas.

A aplicação do pré-esforço, quando for caso disso, faz-se como se disse, segundo duas técnicas distintas que consistem em aplicar uma força à armadura de pré-esforço antes da presa do betão (betão pré-tensionado) (fig. 14) ou após o início do endurecimento (betão post-tensionado) (fig 15)



EM CIMA : aplicação do pré-esforço  
AO CENTRO : betonagem dos elementos  
EM BAIXO : desprendimento dos cabos

Fig. 14 - Mesa de pré-esforço (betão pré-tensionado)

Em pretensionado, a transmissão de tensões aço-betão faz-se fundamentalmente por aderência, atrito e corte, enquanto em betão post-tensionado essa transmissão é feita, sobretudo, à custa de elementos intermédios (ancoragens) ficando a armadura de pré-esforço mergulhada em bainhas, as quais devem ser posteriormente injectadas, ou adaptado outro procedimento adequado à protecção das armaduras contra a corrosão.

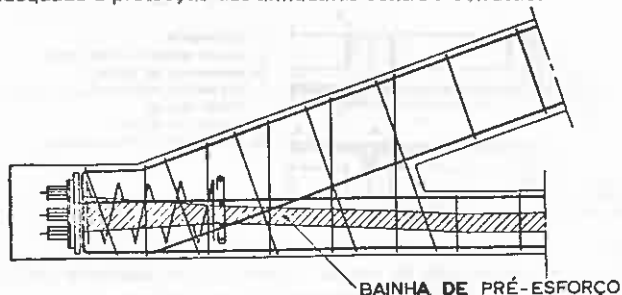


Fig. 15 - Asna pos -tensionada

### 2.2.4 - Desmoldagem, cura e armazenamento.

A desmoldagem dos elementos prefabricados faz-se após períodos variáveis com as técnicas utilizadas na execução dos mesmos (com ou sem aquecimento, por exemplo) e mesmo com a época do ano quando a execução é feita a céu aberto. Em geral, pode dizer-se que os elementos prefabricados podem ser desmoldados após 18-20 horas no Verão mas, em tempo frio, esse período alonga-se para 2 ou 3 dias, devendo admitir-se, como regra prática, que a descofragem pode ser realizada quando a resistência do betão atinge 50% do valor da sua resistência aos 28 dias (fig 16).

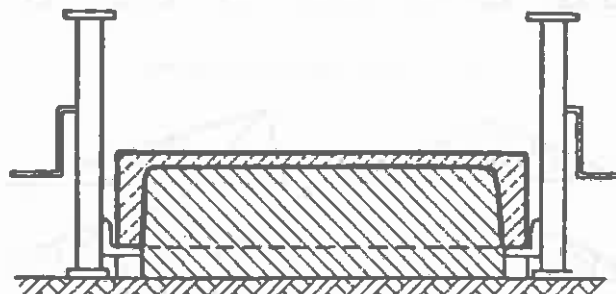


Fig. 16 - Desmoldagem de um elemento

Algum tempo após a desmoldagem, os elementos prefabricados são transportados até à zona de armazenagem, onde prossegue a sua cura, até serem conduzidos para o local de aplicação. Em alguns casos, o local de betonagem funciona simultaneamente como espaço de armazenagem: é o que acontece quando se utiliza a técnica dos moldes deslizantes, em que os elementos são fabricados sucessivamente uns sobre os outros, ficando apenas separados por lâminas de plástico ou similares, aguardando nesse mesmo lugar o transporte para a obra. Note-se que, sendo o local de armazenagem distinto do que foi utilizado para a betonagem (a situação mais frequente), é necessário ter em conta as tensões introduzidas nas peças por esse transporte e devidas ao seu peso próprio, atendendo a que o betão não atingiu nessa altura um valor muito próximo da sua resistência final (4).

### 2.2.5 - Transporte e montagem

A consideração destes dois conjuntos de acções é importante, não só no sentido de permitir o planeamento racional dos respectivos meios de transporte e suspensão, como também porque, sob o ponto de vista estrutural, podem corresponder à criação de tensões elevadas nos elementos, se não forem adoptadas as disposições convenientes. Assim, interessa sobretudo estudar as dimensões máximas dos elementos prefabricados (condicionantes do equipamento de transporte), o seu peso (mais importante no dimensionamento do equipamento de elevação e montagem), o número de pontos de suspensão, de tal forma que as tensões introduzidas sejam mínimas.

Pode dizer-se que as técnicas de prefabricação evoluem paralelamente com o avanço da tecnologia mecânica, influenciando-se mutuamente. Assim, a produção de elementos prefabricados cada vez maiores e mais pesados, obrigam à concepção e execução de máquinas cada vez mais poderosas. Pelo contrário, as limitações dos meios mecânicos obrigam, por seu turno, à execução de peças prefabricadas com as características convenientes, pois não faz sentido produzir elementos para os quais não existe equipamento adequado (fig 17 e 18).

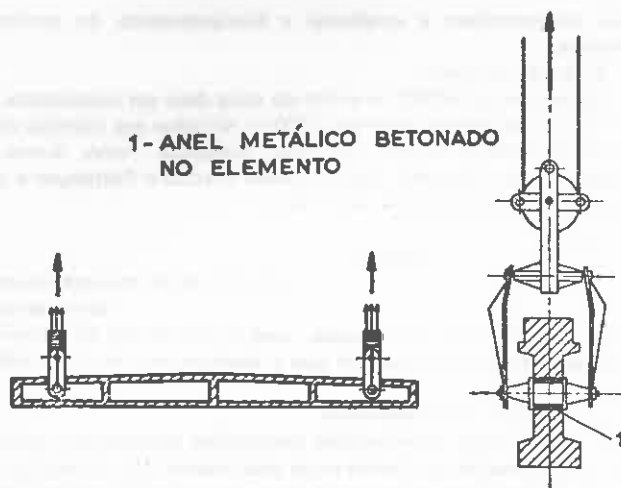


Fig. 17 — Suspensão de uma viga

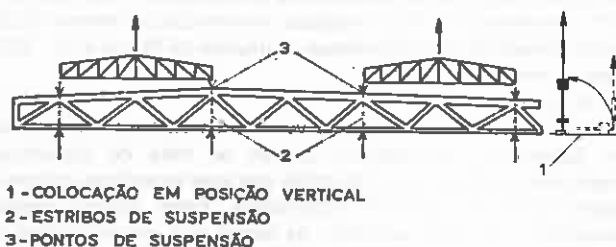


Fig. 18 — Suspensão de uma asna

## 2.2.6 — Tolerâncias dimensionais

A prefabricação de elementos exige muito menores cuidados do que a construção de estruturas monolíticas. Pequenos erros cometidos durante o fabrico reflectem-se em grandes dificuldades durante a ligação das peças e a execução de juntas. Na figura seguinte apresenta-se uma interpretação gráfica simples, do significado de desvios e tolerâncias dimensionais (4) (fig 19).

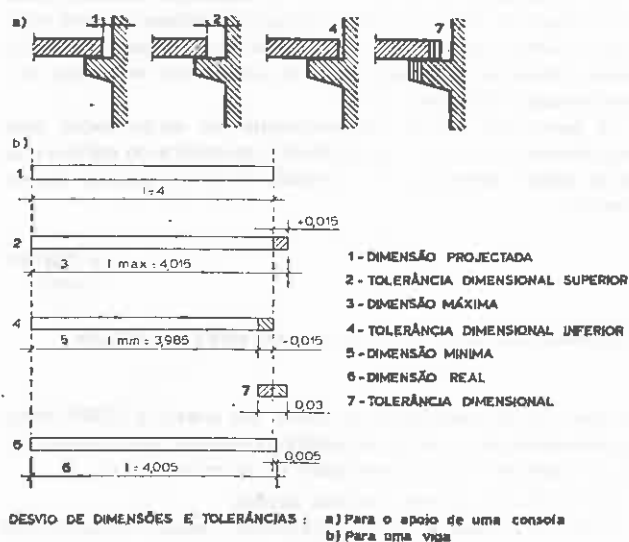


Fig. 19

A título exemplificativo, indicam-se no quadro III, os valores especificados na norma D.I.N.18201 (tolerâncias dimensionais na construção industrial), em que as obras de construção são divididas em dez classes (AC<sub>1</sub> a AC<sub>10</sub>), correspondendo a cada uma delas um certo conjunto de tolerância.

QUADRO 3 - TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS (Norma DIN 18201)

Classe	Tolerância em mm para dimensões dadas em mm					
	< 100	100-250	250-1000	1000-2500	2500-10000	> 10000
AC6	± 1,5	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6
AC7	± 2	± 3	± 5	± 6	± 8	± 10
AC8	± 3	± 5	± 6	± 10	± 12	± 16
AC9	± 5	± 8	± 12	± 16	± 20	± 25
AC10	± 8	± 12	± 20	± 25	± 30	± 40

As estruturas prefabricadas situam-se nas classes 6 e 7 (prefabricação em fábrica) e nas classes 8 e 9 (prefabricação em obra).

Para estas estruturas devem também tomar-se em consideração os desvios relativos à fase de montagem. Assim, toma-se necessário definir tolerâncias para o posicionamento de pilares, paredes (referidas ao eixo das mesmas) e sapatas, bem como para as juntas de montagem.

Apresentam-se seguidamente alguns valores indicados pelo Prestressed Concrete Institute (3) para tolerâncias em alguns tipos de estruturas prefabricadas e pré-esforçadas (fig. 20 e 21)



fig. 20

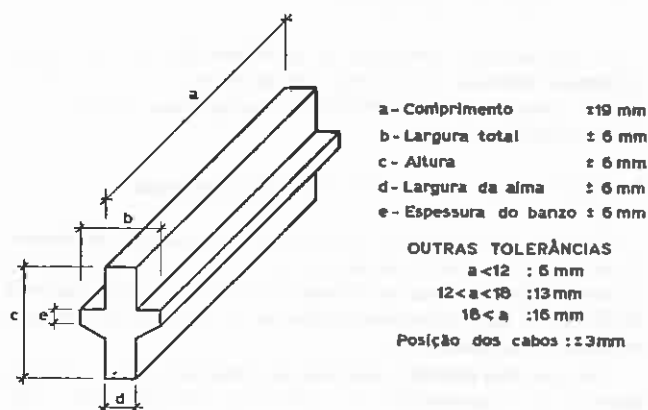


Fig. 21 — Tolerâncias em vigas

Observam-se as discrepâncias dos critérios adoptados nos exemplos apresentados. Tal corresponde a uma situação real de contradição e mesmo indefinição e diz bem da dificuldade de regulamentar neste domínio. Em Portugal praticamente nada se tem feito no sentido de sugerir as tolerâncias a adoptar para os diferentes tipos de estrutura, ficando o seu estabelecimento dependente da análise de cada caso.

## 2.3 — Sollicitações. Esforços. Dimensionamento.

Embora os assuntos em epígrafe saiam, talvez, um pouco do âmbito deste trabalho, não pode deixar de fazer-se-lhes uma referência, ainda que breve. Far-se-á apenas a análise daquilo que diz especificamente respeito à estrutura de cobertura, não esquecendo que o mais importante é o comportamento global da estrutura do edifício em que a cobertura se insere.

### 2.3.1 — Solicitações

De acordo com a regulamentação em vigor (8) distinguem-se solicitações permanentes e acidentais.

#### 2.3.1.1 — Solicitações permanentes

Nas coberturas, há que considerar as seguintes solicitações permanentes:

a) peso próprio da estrutura de cobertura (incluindo o peso dos elementos estruturais secundários, se existirem).

O seu valor é calculado adoptando para peso específico do betão (armado ou pré-esforçado) o valor

$$b = 2500 \text{ kgf/m}^3$$

b) peso do revestimento (incluindo impermeabilizações e respectiva protecção).

Estes valores são muito variáveis com as características dos materiais pelo que, em muitos casos, devem utilizar-se os valores fornecidos pelo fabricante, depois de devidamente comprovados. Com a devida reserva indicam-se, seguidamente, alguns valores cuja adopção se aconselha, nomeadamente em fase de anteprojecto.

Chapa ondulada de fibrocimento 8 — 20 kg/m<sup>2</sup> (1)

Chapa de ferro zincado 5 — 10 kg/m<sup>2</sup>

Chapa ondulada de alumínio 8 — 12 kg/m<sup>2</sup> (2)

Chapa translúcida acrílica, em PVC, etc. 2,5 a 5 kg/m<sup>2</sup>

Impermeabilização com telas e emulsão betuminosa 5 — 15 kg/m<sup>2</sup> (3)

c) peso de ferros, tectos falsos, esteiras, etc.

Os valores correspondentes a estas solicitações são ainda mais variáveis que os anteriores, não fazendo sentido senão chamar a atenção para a necessidade de serem considerados, caso por caso.

#### 2.3.1.2 — Solicitações acidentais

O regulamento prescreve a consideração de solicitações acidentais habituais (sobrecarga regulamentar, acção do vento, neve e variações de temperatura) e excepcionais (sismos (4) e vento excepcional).

##### a) Sobrecarga regulamentar e outras sobrecargas

O RSEP indica que as sobrecargas a considerar no dimensionamento das coberturas são variáveis com o tipo das mesmas e com as funções a que se destinam, indicando valores mínimos de 30 kg/m<sup>2</sup> para coberturas ordinárias (5) e de 100 kg/m<sup>2</sup> para terraços não acessíveis (6).

No caso das grandes naves não se considera, em princípio, a hipótese de acessibilidade da cobertura, situação que, pelo contrário, é corrente em edifícios de habitação.

Além desta sobrecarga distribuída, deve considerar-se ainda (não simultaneamente com aquela) uma sobrecarga concentrada de 100 Kgf para dimensionamento dos elementos secundários da cobertura (8).

Não pode esquecer-se a existência de outras sobrecargas, em particular daquelas que têm carácter de permanência, como sejam equipamentos fixos de iluminação e ventilação, e em especial as

(1) O valor mínimo correspondente a chapas de pequena espessura (+ mm)

(2) Estes valores dizem respeito a chapas comercializadas de constituição complexa, incluindo protecções anti-corrosivas. Para chapas de alumínio propriamente dito, os valores oscilam entre 3 e 4 kg/m<sup>2</sup>.

(3) Não incluem camada de forma. O valor máximo correspondente a impermeabilizações usuais em coberturas planas.

(4) Interessa sobretudo considerar a acção dos sismos sobre a estrutura do edifício e não apenas sobre a cobertura.

(5) Cobertura ordinária é aquela cuja forma ou natureza dos elementos constituintes, não permite a fácil circulação de pessoas.

(6) Terraços acessíveis são aqueles que têm a sua acessibilidade condicionada a fins de reparação.

que correspondem à existência e funcionamento de pontes rolantes.

##### b) Acção da neve

De acordo com RSEP, a acção da neve deve ser considerada, em locais com altitude superior a 200 m, situados nos distritos de Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Bragança, Porto, Aveiro, Viseu, Guarda, Coimbra, Leiria, Castelo Branco e Portalegre e o seu valor característico é dado por,

$$s = \frac{H}{5} - 10 \quad s - \text{Kg/m}^2$$

H - altitude em m arredondada às centenas

podendo este valor ser reduzido, com o mínimo de 30 Kg/m<sup>2</sup>, para coberturas inclinadas em que o deslizamento da neve não esteja impedido.

##### c) Variações de temperatura

É usual adoptar determinadas disposições construtivas, como juntas de dilatação, por forma a que seja possível não considerar a acção das variações uniformes de temperatura (\*). Quando tal não aconteça, não pode deixar de se considerar esta acção, de acordo com o RSEP, o que se faz tomando os valores característicos das variações uniformes de temperatura aí indicadas, e que são de 15°C para estruturas não protegidas constituídas por elementos de betão armado de reduzida espessura (menos de 70 cm) e de 10°C para as restantes casas.

##### d) Acção do vento

A consideração da acção do vento é de extrema importância em coberturas, em especial quando se trata de coberturas aligeiradas e quando a configuração das suas superfícies origina o aparecimento de sucções importantes. Estas podem mesmo ultrapassar, em valor absoluto, as forças que correspondem às cargas permanentes, surgindo então situações de instabilidade, para as quais há que adoptar as convenientes disposições de projecto e construção. Por outro lado, e mesmo que não se trata dos casos antes mencionados, não se pode esquecer que o vento pode provocar pressões elevadas, que ultrapassam, normalmente, o valor da sobrecarga regulamentar e mesmo da neve. Além disso, dado que a acção do vento é considerada perpendicularmente à superfície da cobertura, tem de se contar com a existência da componente horizontal desta acção (em coberturas não planas), que tem interesse, sobretudo, na concepção e dimensionamento dos apoios.

O RSEP divide o país em duas zonas, correspondentes a dois graus de actuação do vento: zonas de exposição normal e zonas muito expostas. Por outro lado, obriga a considerar o vento habitual e o vento excepcional, classificação que corresponde a dois níveis diferentes de probabilidade de ocorrência de ventos com determinada intensidade (\*\*).

A partir dos valores da velocidade do vento dados pelo regulamento, em função da localização geográfica do edifício e da altura deste, determina-se a pressão dinâmica através da expressão.

$$q = \frac{V^2}{16} \quad q - \text{Kg/m}^2 \quad V - \text{m/s}$$

e a pressão resultante da acção do vento será calculada por

$$P_v = cxq$$

em que c é um coeficiente de forma. Em anexo, o RSEP indica alguns valores de c, sendo necessário considerar, simultaneamente, um coeficiente de forma exterior,  $c_e$ , e um interior,  $c_i$ .

##### e) Acção dos sismos e outras acções

Como já se disse, é pouco importante a acção localizada dos sismos sobre a cobertura considerada isoladamente, sendo muito

(\*) Há ainda as variações diferenciais de temperatura, que dependem do clima da região onde se localiza a construção e das características térmicas da estrutura.

(\*\*) O futuro Regulamento de Segurança e Solicitações em Estruturas de Edifícios e Pontes (9), reformula em novas bases de segurança este problema, e introduz inovações, como a que diz respeito à rugosidade do terreno.

maior a importância da acção global sobre toda a estrutura da construção, de que a cobertura faz parte. Em princípio, esta acção deve apenas ser considerada para o dimensionamento dos apoios, adoptando os coeficientes sísmicos regulamentares (8), e que, como se sabe, variam com a natureza do terreno, a localização geográfica da construção e a existência ou não de elementos não estruturais de travamento (†).

Quanto a outras acções, e visto que se estão tratando de estruturas prefabricadas, interessa sobretudo referir aquelas que dizem respeito ao transporte e montagem das peças (assunto já abordado anteriormente). Dado que estas acções são extremamente variáveis, com o tipo de estrutura e com as condições do transporte e montagem, aqui se lhe faz, apenas, esta breve referência.

### 2.3.2 — Esforços

A determinação de esforços nas estruturas de cobertura realiza-se de acordo com as técnicas usuais em teoria de estruturas. Não cabe aqui enumerar, muito menos analisar os diversos métodos usualmente seguidos para essa determinação.

Basta dizer que, uma vez que se trata de estruturas prefabricadas, há que pensar nas diferentes fases, da construção à montagem, antes e depois da colocação da estrutura em condições de utilização (\*\*). Quando as estruturas de cobertura têm um comportamento fundamental do tipo viga, a determinação dos esforços é fácil, embora por vezes se trate de estruturas de inércia variável e de forma complexa. O mesmo se passa relativamente às estruturas porticadas: aplicam-se então diversos métodos, dos quais os mais generalizados são os de Cross, Kani, deslocamentos, forças, etc. As próprias asnas se podem incluir nesta situação, embora existam métodos simplificados que de forma expedita e sem erros grosseiros podem ser aplicados: métodos de Maxwell-Cremona, Ritter, etc.

A situação complica-se, necessariamente, quando as estruturas são superficiais, isto é, com várias direcções resistentes ou quando se trata de estruturas espaciais. Embora em alguns casos existam métodos de análise bastante divulgados (gralhas e pórticos espaciais, por exemplo, são facilmente analisados automaticamente), a resolução de outros obriga à aplicação de métodos morosos e de certa complexidade, podendo mesmo levar a recorrer ao cálculo automático através de programas muito elaborados e dispendiosos (cascas, estruturas plissadas, etc.).

### 2.3.3 — Dimensionamento

São válidos, para o dimensionamento das estruturas de cobertura, os comentários feitos a propósito da determinação de esforços. Note-se que, sendo na generalidade preponderantes os esforços de flexão, os dimensionamentos das secções de betão armado faz-se de acordo com as hipóteses escritas no REBA (5), o mesmo se aplicando à verificação de tensões devidas a outros esforços (torsão, esforço transversal, etc.).

Quanto ao betão pré-esforçado e aqueles outros casos que o regulamento não contempla (como por exemplo os betões leves) deve recorrer-se a obras conceituadas cuidadosamente escolhidas. Sobretudo, deve ter-se em atenção que a regulamentação técnica varia de país para país e que a simples variação de critérios de segurança, por exemplo, obriga a olhar, com toda a cautela, as informações contidas em bibliografia estrangeira.

A próxima saída do novo regulamento de estruturas de betão armado e pré-esforçado, deixa esperanças quanto ao preenchimento do vácuo actualmente existente e relativo a alguns materiais.

(\*) De acordo com o já mencionado projecto do Regulamento (9), o problema das acções sísmicas é tratado de forma diferente, dentro de hipóteses mais evoluídas e realistas e introduzindo novos elementos para a sua abordagem.

(\*\*) Note-se que, em muitos casos, as condições de ligação dos elementos estruturais são alterados na fase final da montagem, transformando-as por exemplo, estruturas isostáticas em hiperestáticas.

Note-se ainda que a concepção de estruturas com secção transversal de forma caprichosa (estruturas plissadas, por exemplo), obriga também a cálculos de dimensionamento morosos, não podendo recorrer-se a tabelas ou ábacos como os que existem para secções de forma geométrica simples (rectangular, T, I) (10). No entanto, e porque se trata, em geral de elementos prefabricados, é vantajosa para o próprio fabricante, a elaboração dos referidos elementos de cálculo, que devem ter a confiança do utilizador, pelo que é desejável a colaboração da entidade oficial competente.

## 2.4 — Disposições construtivas

Neste parágrafo apresentam-se, a título meramente informativo, algumas disposições construtivas a observar na execução de coberturas, com estruturas de grandes vãos; abordando-se apenas o caso de elementos prefabricados.

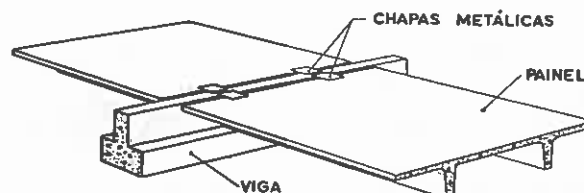


Fig. 22 — Apoio de painéis TT sobre vigas (3)

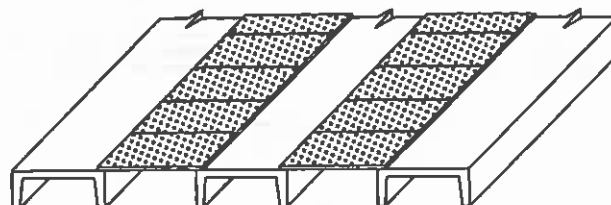


Fig. 23 — Faixas de clarabóias em painéis U ou TT (2)

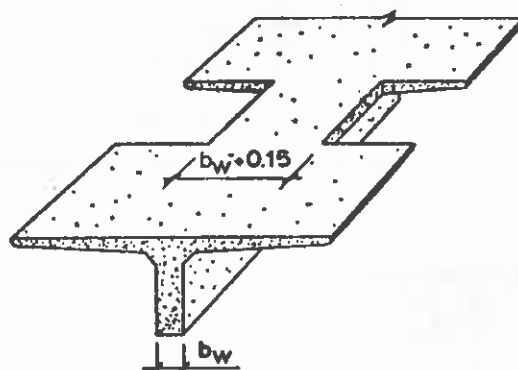


Fig. 24 — Aberturas usuais em painéis T. Estas aberturas são executadas durante a fabricação do painel (3)

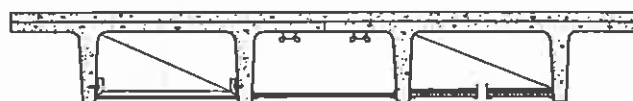


Fig. 25 — Painéis metálicos e difusores em painéis TT (3)



Fig. 26 — Tecto falso suspenso de painéis TT (3)

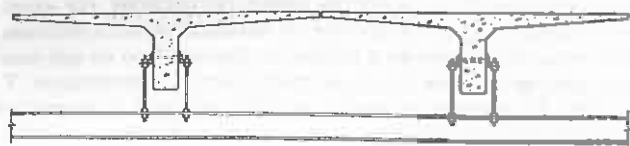


Fig. 27 — Suspensão de caminhos de rolamento em painéis T (3)

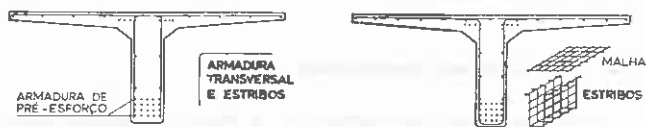


Fig. 28 — Armaduras de painéis T. No primeiro caso os estribos mergulham no banzo do painel. No segundo usam-se malhas electrosoldadas

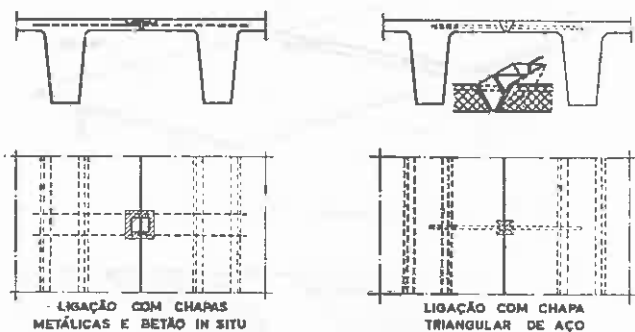


Fig. 29 — Ligação de painéis T entre si: alguns exemplos (2)

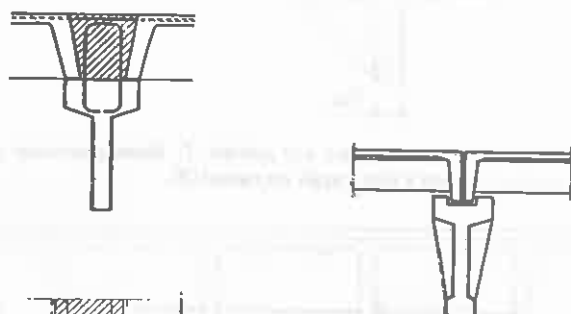


Fig. 30 — Apoio de elementos de cobertura (2)

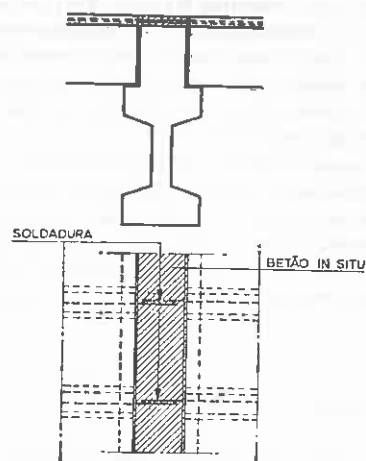


Fig. 31 — Apoio de elementos TT por forma a conseguir o efeito de viga contínua (2)

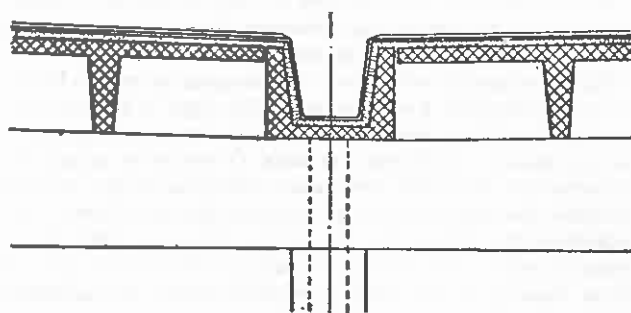


Fig. 32 — Realização de caleiras em coberturas planas (2)

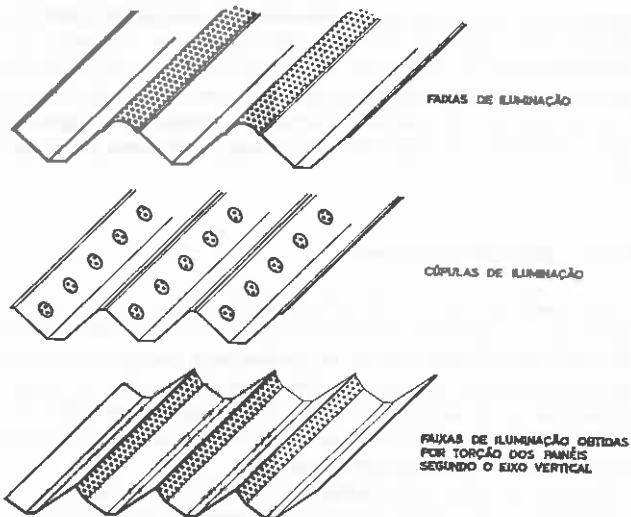


Fig. 33 — Claraboias ou faixas de iluminação em painéis plissados (2)

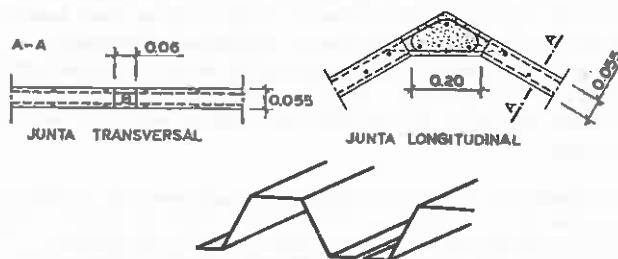


Fig. 34 — Ligação de painéis plissados entre si (4)

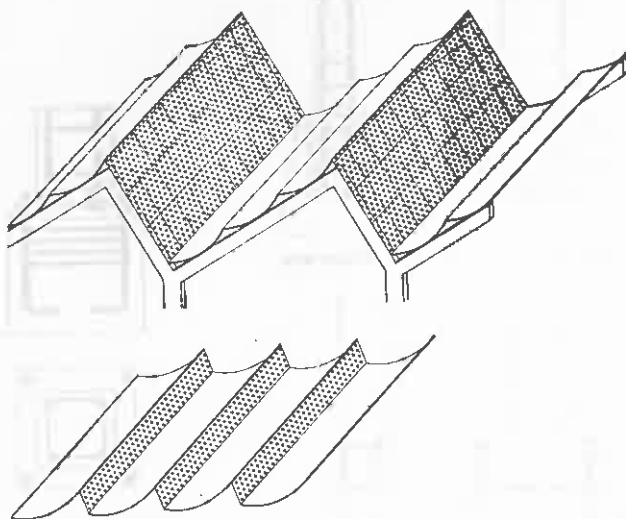


Fig. 35 — Cascas HP em coberturas tipo shed (2)

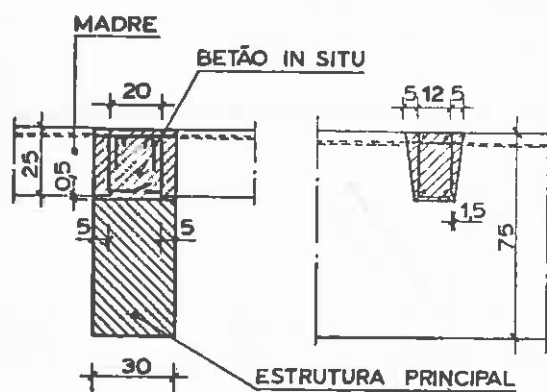


Fig. 36 — Ligação de madres à estrutura principal de cobertura (viga, asna, etc.) (2)

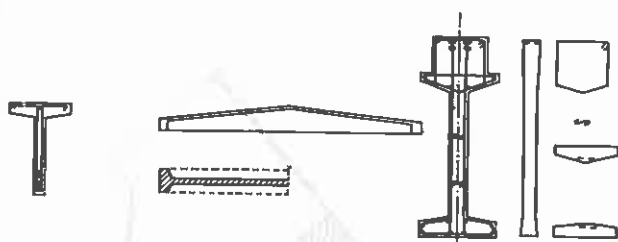


Fig. 37 — Pormenores de armaduras em vigas de inércia variável (4)

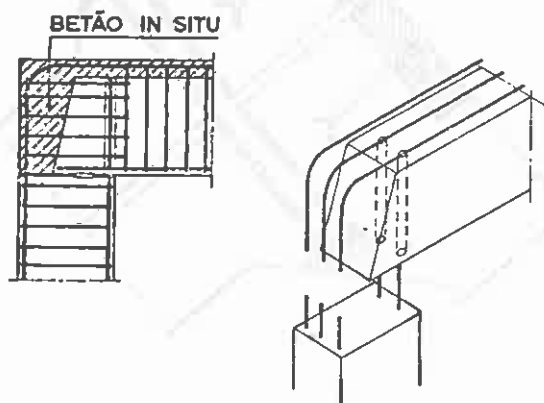


Fig. 38 — Ligação de vigas a pilares (2)

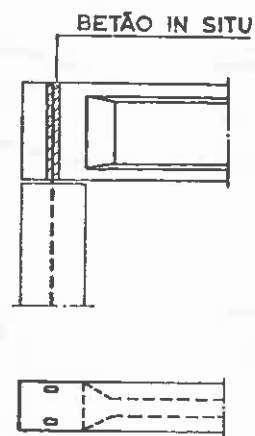


Fig. 39 — Ligação articulada da viga-pilar

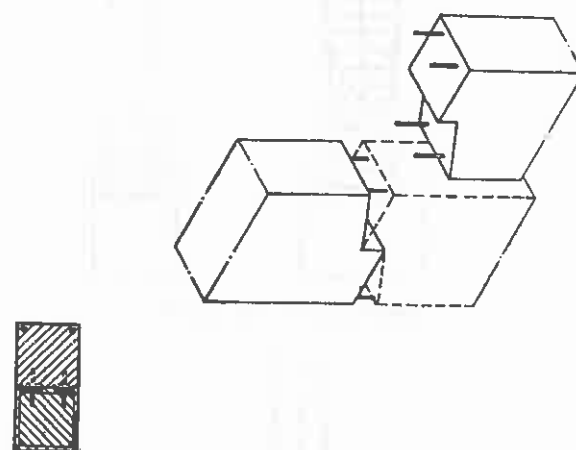
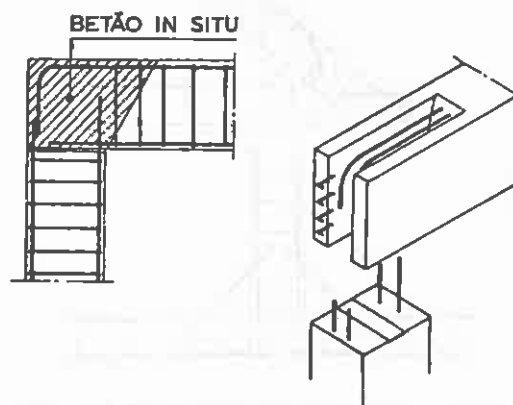


Fig. 40 — Ligação de vigas fabricadas por partes



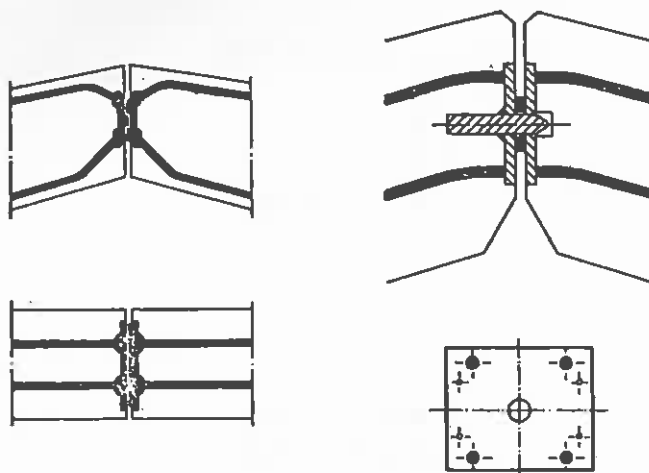
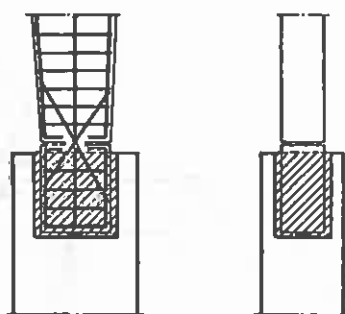
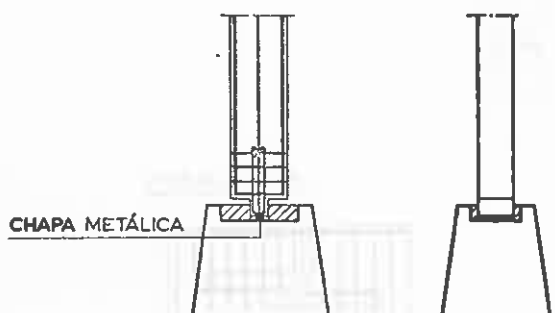


Fig. 41 — Fecho de pórtico articulado (2)



ARTICULAÇÃO DE BETÃO



ARTICULAÇÃO COM CHAPA METÁLICA

Fig. 42 — Ligação de montantes de pórticos a sapatas de fundação: articulações (2)

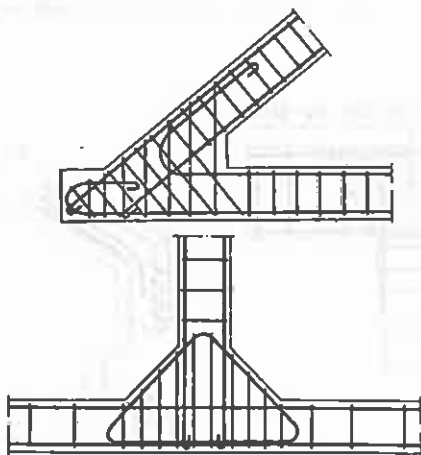
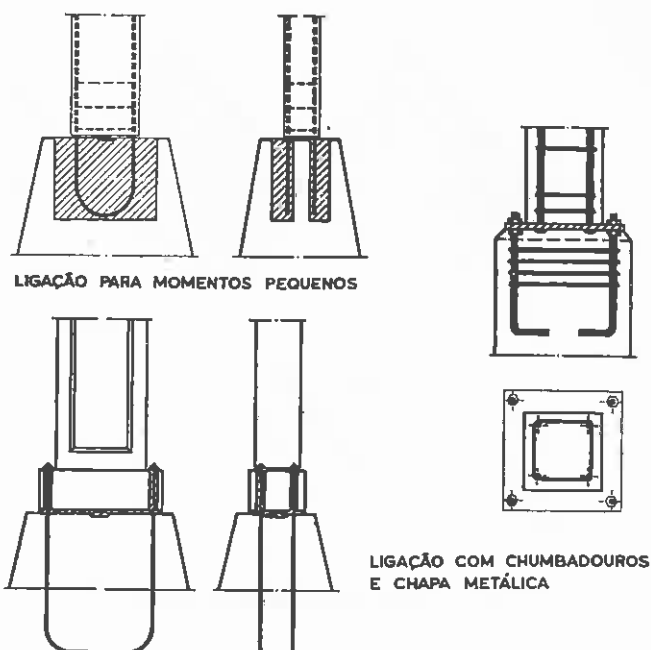


Fig. 44 — Pormenores de armaduras em asnas (11)



LIGAÇÃO PARA MOMENTOS PEQUENOS

LIGAÇÃO COM CHUMBADOUROS E BLOCO DE BETÃO

Fig. 43 — Ligação de montantes de pórticos a sapatas de fundação: ligações rígidas (2); (3)

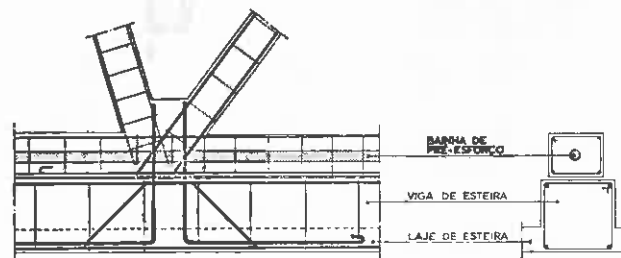


Fig. 45 — Asna com esteira suspensa: pormenor

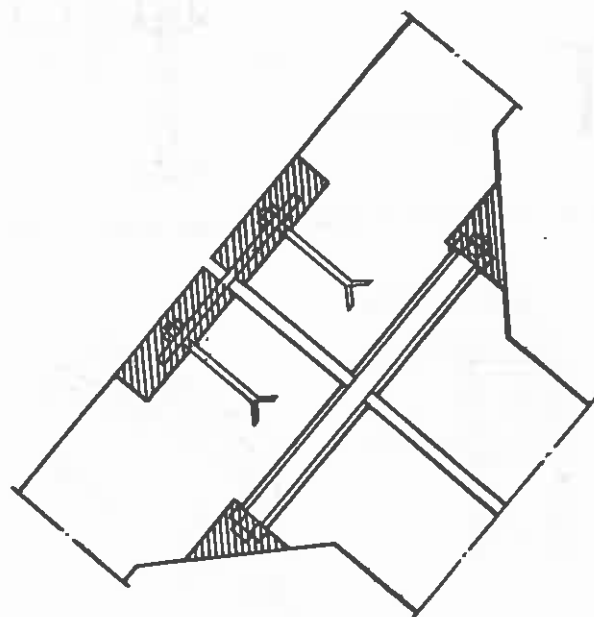


Fig. 46 — Pormenor de ligação de asna fabricada por partes



Fig. 47 — Pormenores de ligação de asna a elementos secundários da estrutura de cobertura

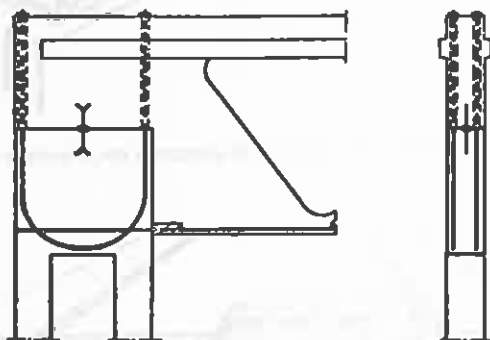


Fig. 48 — Pormenor de apoio de asna em pilar. Ver também Fig. 38 e 39

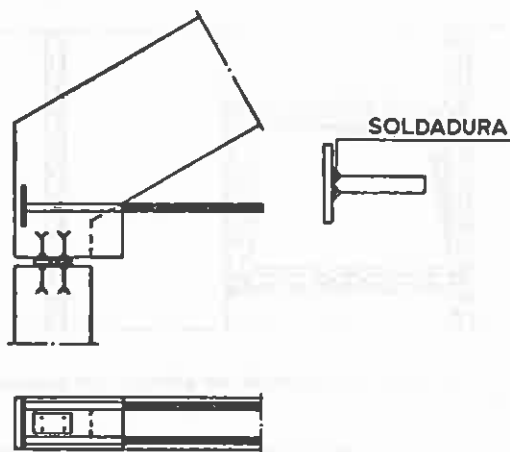


Fig. 49 — Pormenor de apoio de arco atirantado (2)

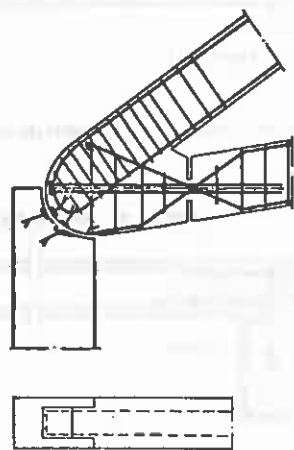
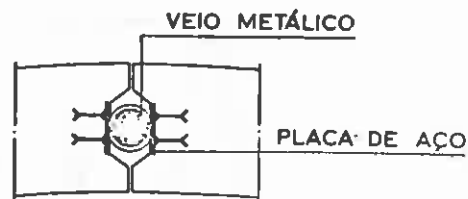
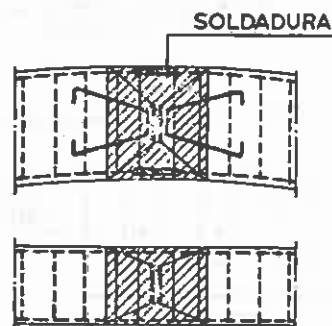


Fig. 50 — Pormenor de apoio fixo de arco atirantado com articulação de betão armado



ARTICULAÇÃO DEFINITIVA COM CILINDRO DE AÇO



ARTICULAÇÃO PROVISÓRIA

Fig. 51 — Articulação no fecho de arcos de betão (2)

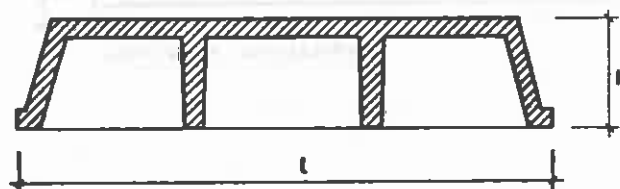


Fig. 52 — Painel nervurado

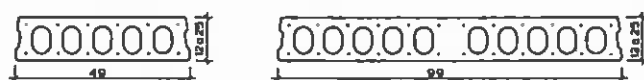


Fig. 53 — Pranchas vazadas pré-esforçadas fabricadas em Portugal

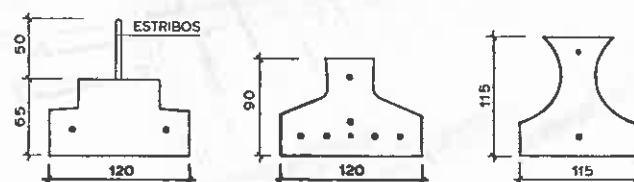


Fig. 54 — Vigotas pré-esforçadas

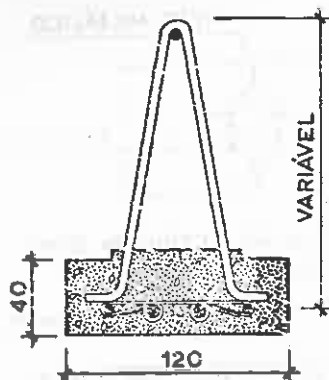


Fig. 55 — Vigota de betão armado

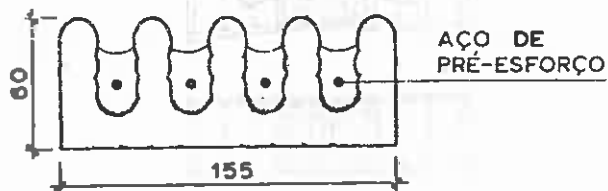


Fig. 56 — Prancha cerâmica pré-esforçada

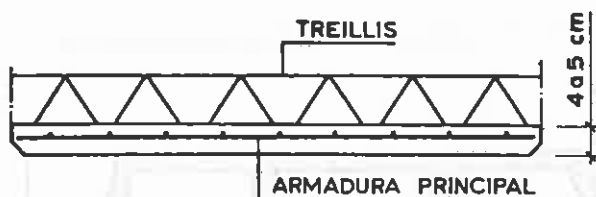


Fig. 57 — Prelaje

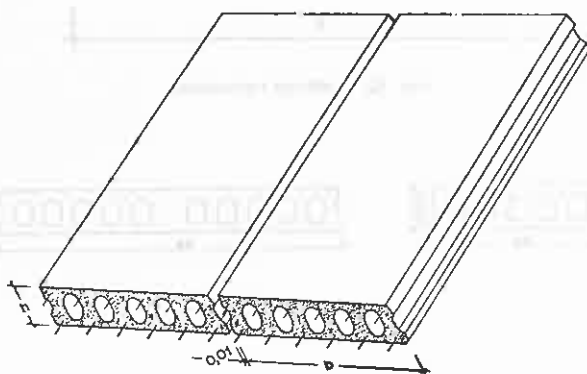


Fig. 58 — Pormenor de ligação entre pranchas vazadas

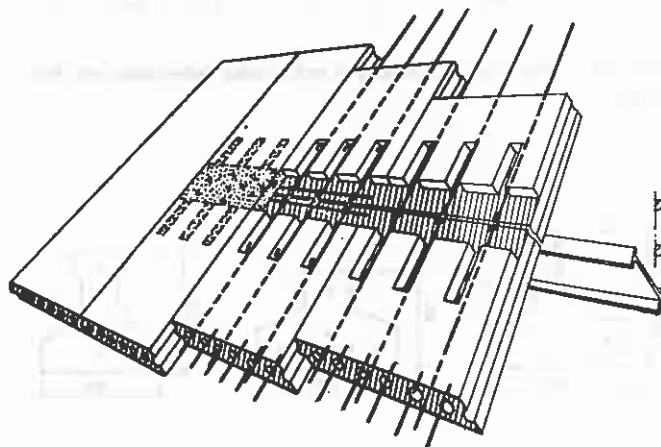


Fig. 59 — Ligação de pranchas por forma a obter efeito

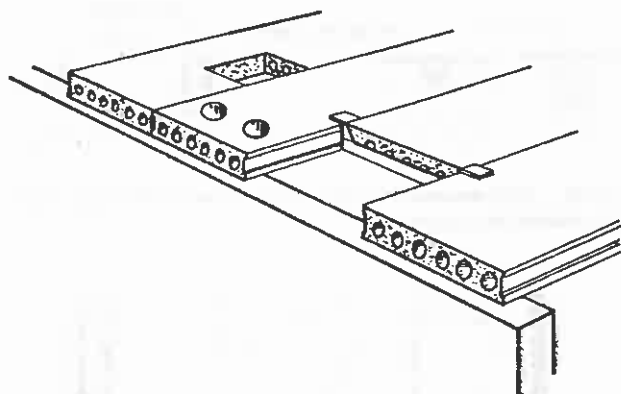


Fig. 60 — Alguns casos típicos de aberturas em pranchas vazadas (3)

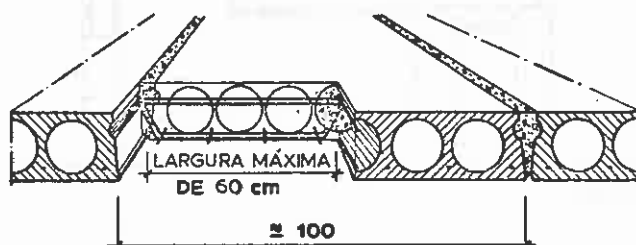


Fig. 61 — Pormenor de realização de abertura em pranchas vazadas (18)

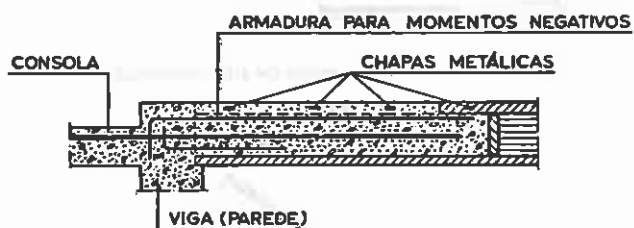


Fig. 62 — Pranchas vazadas: ancoragem de consola (18)

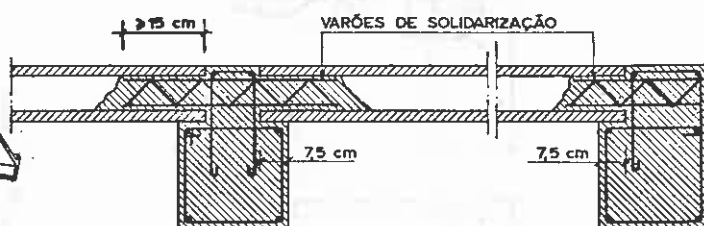


Fig. 63 — Pranchas vazadas: pormenores de apoio

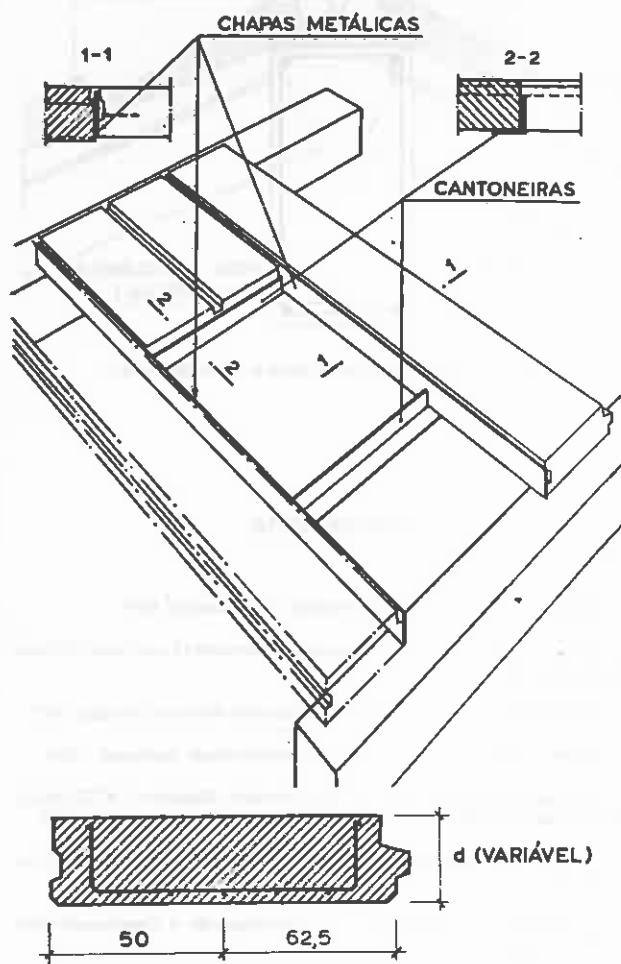


Fig. 64 — Pranchas de betão leve: pormenores (13)

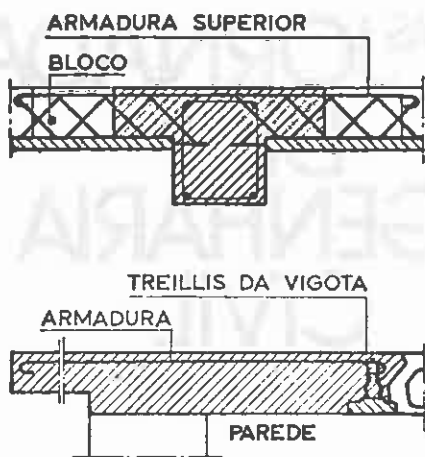


Fig. 65 — Vigotas de betão armado: pormenores de apoio

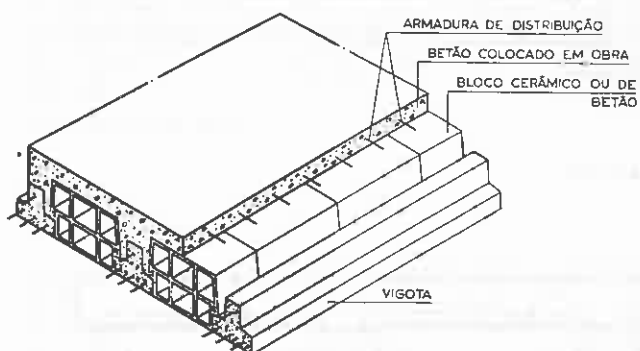


Fig. 66 — Vigotas de betão pré-esforçado (14)

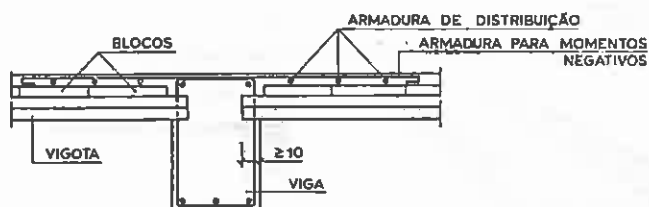


Fig. 67 — Vigotas pré-esforçadas: pormenor de apoio

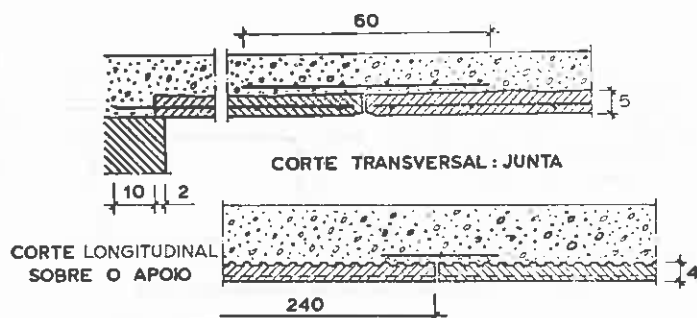


Fig. 68 — Prelajes: pormenores (16)

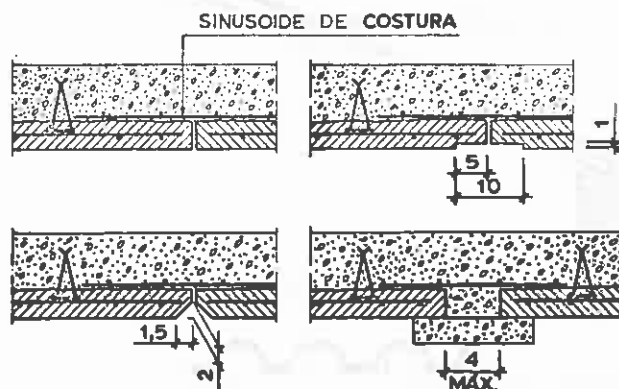


Fig. 69 — Prelajes: exemplos de juntas (16)

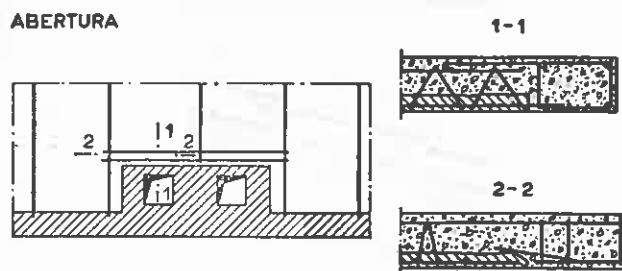
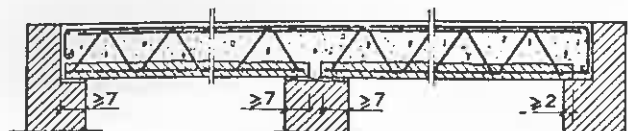
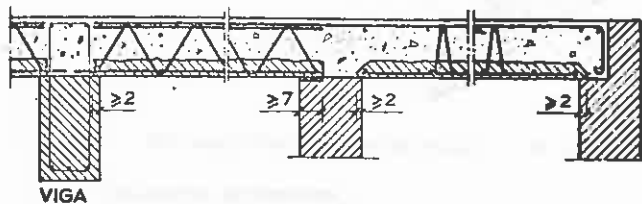


Fig. 70 — Prelajes: pormenor de abertura (16)

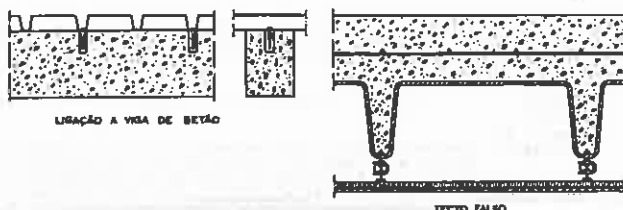


APOIOS



VIGA

Fig. 71 — Prelajes: pormenores de apoios (16)



LIGAÇÃO A VIGA DE BETÃO

TETO FALSO

Fig. 72 — Pranchas metálicas: pormenores (17)

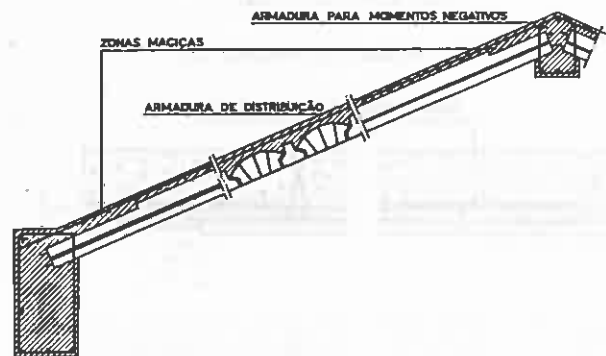


Fig. 73 — Cobertura com laje aligeirada e telha assente sobre esta

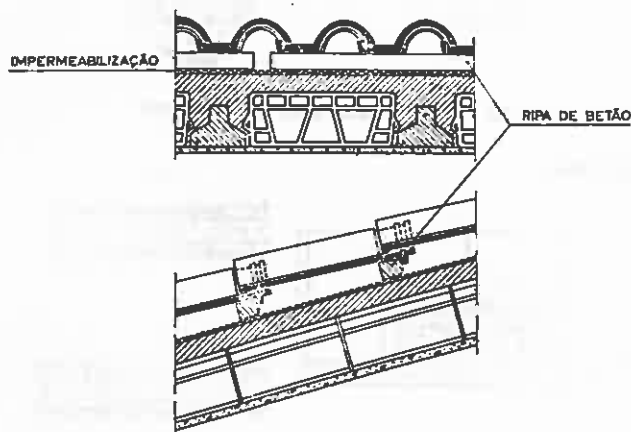


Fig. 74 — Telha sobre laje inclinada com ripado de betão (19)

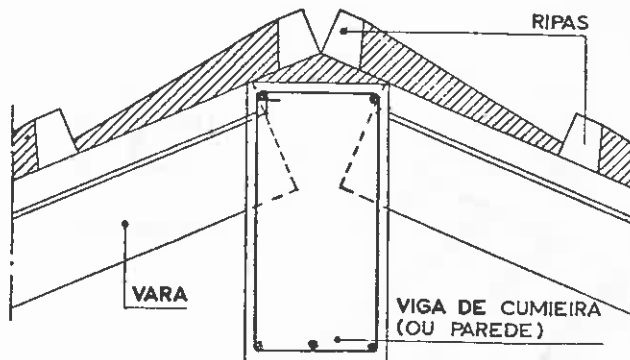


Fig. 75 — Cobertura em varas e ripas de betão

## BIBLIOGRAFIA

- 1 — Curso n.º 144, Edifícios Préfabricados, LNEC, Lisboa, 1974
- 2 — Koncz — Manual de la Construcción prefabricada (3 volumes), Editorial Blume, Madrid, 1968
- 3 — PCI Design Handbook, Prestressed Concrete Institute, Chicago, 1971
- 4 — Makk — prefabricated Concrete, Akademiai Kiado, Budapest, 1964
- 5 — Regulamento de Estruturas de Betão Armado, Decreto n.º 47 723 de 20 de Maio de 1967 rectificado pelo Decreto n.º 47 842 de 11 de Agosto de 1967
- 6 — Regulamento de Betões e Ligantes Hidráulicos, Decreto n.º 404/71 de 23 de Setembro
- 7 — Documentos de Documentos de Homologação e Classificação dos aços, LNEC, Lisboa
- 8 — Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes, Decreto n.º 44 401 de 18 de Novembro de 1961
- Projecto de Regulamento de Segurança e Solicitações em Estruturas de Edifícios e Pontes, LNEC, Lisboa, 1978
- 10 — Arga e Lima, Coelho, A. T., Monteiro, V. — Manual de Betão Armado, LNEC, Lisboa, 1969
- 11 — Guerrin, A. — Traité de Beton Armé (vol. 5), Dunod, Paris, 1965

# 1<sup>AS</sup> JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL

# RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

por NUNO PATRÍCIO e BOADITA FERRÃO *Engenheiros Cívicos*  
(*Delegados Técnicos da Outinord em Portugal e Brasil*)

## RATIONALISATION DANS LA CONSTRUCTION

## RATIONALIZATION IN THE CONSTRUCTION

Entre todas as imposições que se nos deparam à nossa existência actual, há uma particularmente tirânica e exigente: A PRODUTIVIDADE. Dentro de pouco tempo o problema de produtividade dominará todos os outros problemas económicos, será a capacidade produtora dum País que decidirá o seu futuro.

A especulação imobiliária tem feito esquecer o custo da construção, levando os promotores e os técnicos a um adormecimento que os tem afastado do interesse de conhecer novas tecnologias encaminhadas para a PRODUTIVIDADE.

A indústria de Construção Civil, muito diversa e complexa, onde a repetição das grandes séries é muito rara, não pode aplicar os métodos de produção em cadeia possíveis em grandes séries de outras indústrias. Pode-se entretanto melhorar de forma bem significativa a produtividade dos estaleiros a partir de:

- Estudo detalhado dos planos de execução antes do início da obra
- Organização perfeita dos estaleiros
- Concentração dos postos de trabalho
- Constituição de equipas, tendo tarefas precisas e repetitivas
- Pleno emprego de uma ferramenta que permita eliminar trabalhos secundários.

Os métodos de construção tradicionais pareciam impostos desde há milénios, como se a construção estivesse condenada a uma actividade artesanal.

No fim do último século o ferro e o betão provocam uma ligeira evolução. A rápida expansão urbana exigiu repensar a forma de construir, para se cumprirem prazos e custos cada vez menores, numa linha paralela à da construção de automóveis em série.

Havia que criar novas tecnologias, conceber e utilizar novos materiais, repensar a concepção dos edifícios. Havia que ter a coragem de libertação dos milenários processos tradicionais.

Nasce assim a construção pré-moldada, e com ela alguns problemas:

- Necessidade de significativos investimentos na montagem da fábrica

- Necessidade da mão de obra especializada em fábrica e em obra
- Rigidez de repetitividade num dado programa
- Exigência de estocagem em fábrica e depois no estaleiro da obra
- Carga, transporte e descarga no estaleiro
- Manutenção de pesados guindastes para a elevação dos elementos pré-moldados
- Falta de monolitismo na estrutura
- Colocação provável de armadura suplementar nos elementos de betão para acudir a esforços ocasionados durante o transporte.

Estas razões levaram a pensar que sendo o betão um material barato, tornava-se caro depois de colocado em obra. Parecia mais lógico deslocar o molde do que o produto do molde. A betonagem local asseguraria o monolitismo tão necessário da estrutura, não exigiria armaduras suplementares, nem estocagem, nem significativos investimentos, nem mão-de-obra especializada, nem transportes onerosos, deixando a maior liberdade de expressão para a imaginação dos projectistas.

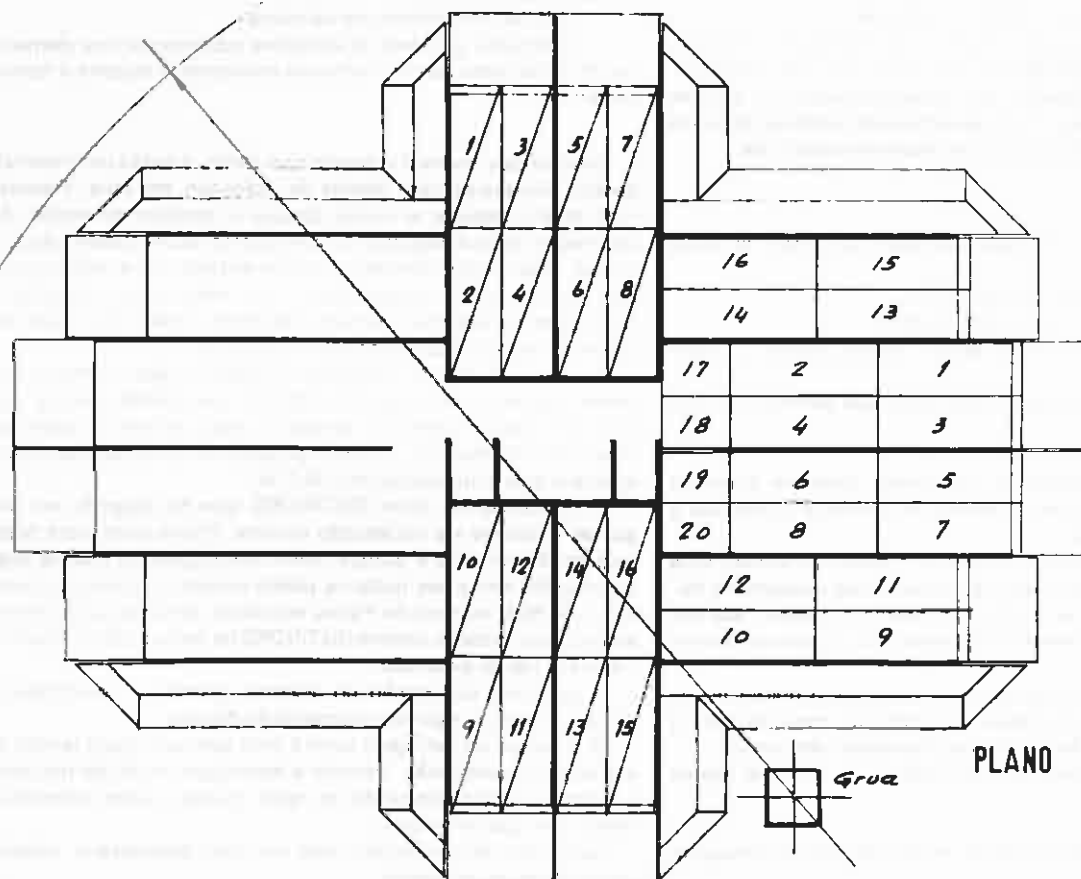
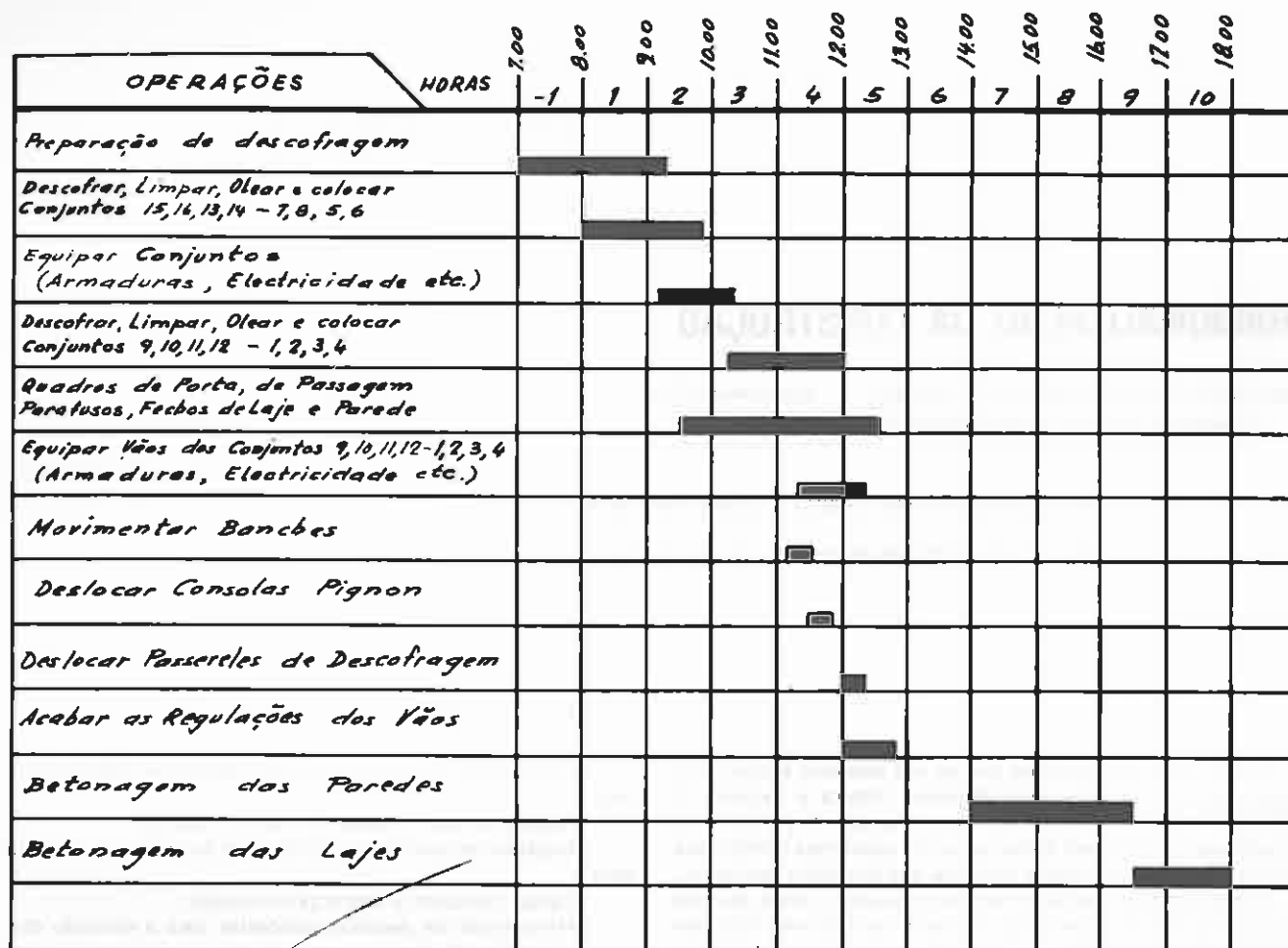
Da preocupação de transportar o molde e não o produto do molde nasceu o processo OUTINORD, permitindo betonar no local em uma só operação paredes e lajes, através do sistema túnel, fácil de deslocar, rápido e simples de utilização, processo esse que teve a aprovação do C.S.T.B.

A tecnologia do túnel OUTINORD que foi segredo em algumas empresas de construção durante alguns anos, está hoje vulgarizada em toda a Europa, sendo empregada na maioria das construções em quase todos os países europeus. Conta-se já em cerca de 50 o número de Países europeus, africanos asiáticos e americanos, onde o sistema OUTINORD foi introduzido e encontra-se em rápida expansão.

A astuciosa concepção do sistema, permite a descofragem diária, permitindo rigorosa programação da obra.

O processo de cofragem túnel é uma operação fabril levada à indústria da construção. Permite a betonagem local das paredes e lajes em betão, dispondo as vigas, pilares e o seu preenchimento com panos de tijolo.

Deste tipo de construção cada vez mais generalizado, salientamos algumas vantagens:



PLANO DE TRABALHOS

- Melhor insonorização ao barulho ambiente
- Células simples e repetitivas
- Melhor contraventamento
- Uma liberdade quase total na escolha das fachadas
- Bom comportamento sísmico

O processo implica economia, precisão, qualidade e rapidez.

#### ECONOMIA DEVIDA

- A tempos elementares de descofragem, cofragem e betonagem
- Ao emprego de uma mão de obra repetindo as mesmas operações, diariamente, e segundo a mesma ordem, ao longo de toda a construção.
- A supressão de vigas e portanto de tecto falso, possibilitando menor altura para igual volume de construção.
- A eliminação de rebocos a abertura de roços para redes de águas esgotos e electricidade
- A organização de unidades de trabalho agrupadas, permitindo um controlo eficaz da mão de obra.
- A um investimento reduzido no equipamento, comparado com o volume da obra
- A despesas gerais e gastos financeiros dada a redução dos prazos de execução da obra, etc.

#### PRECISÃO DEVIDA

- Ao sistema de posicionamento das cofragens impedir qualquer montagem defeituosa e especialmente um mau alinhamento dos elementos.
- A possibilidade de regulação em todos os sentidos de cada conjunto de túneis completo.

#### QUALIDADE DEVIDA

- Aos parâmetros perfeitamente planos e prontos para receber a pintura ou papel
- Ao monolitismo da construção graças à betonagem continua das paredes e das lajes.

#### RAPIDEZ DEVIDA

- A uma rotação acelerada da cofragem (todos os dias se executa a descofragem, cofragem e betonagem dos mesmos elementos de moldes)
- A possibilidade de uma organização do estaleiro simples eficaz e fácil de controlar
- Ao trabalho vertical que permite o trabalho dos acabamentos com pequena desfazagem do tosco

O meio túnel é o elemento essencial, constituído por painéis que formam um ângulo recto. Dois meios túneis associados materializam no painel vertical a cofragem para a parede e no painel horizontal a cofragem para a laje. Vários túneis agrupados constituem uma unidade de trabalho. Aos meios túneis podemos associar um fundo que permitirá realizar paredes perpendiculares. Uma característica do túnel é a deformabilidade do ângulo recto, permitindo descofrar-se da laje e parede numa operação muito simples.

Os conjuntos de túnel apresentam-se, uma vez montados, com a profundidade correspondente em cada caso à planta do edifício. Entre os túneis fica o espaço necessário para a betonagem das paredes, e na sua parte horizontal faz-se a betonagem da laje.

Tendo-se referido essencialmente aos aperfeiçoamentos técnicos, importa salientar que ele por si só não são suficientes, há outros problemas a resolver, antes de mais o da mão de obra.

Para encaminhar uma juventude operária para a construção, é urgente revalorizar o operário de construção, assegurando-lhe o seu justo lugar na hierarquia social, e interessá-lo de forma compreensiva e atractiva no rendimento do estaleiro.

Uma vez reunidas estas condições primordiais, haverá grandes probabilidades para que o operário de construção civil se dedique sinceramente ao seu ofício. Sendo assim, dentro de poucos anos, não se assistirá mais aos tristes espectáculos actuais de se encontrar em muitos estaleiros 5 a 10% de operários qualificados e o resto, simples manobreadores sem grandes conhecimentos profissionais e sem futuro.

Exemplo de um ciclo de trabalho da equipe túnel.

Apresenta-se seguidamente um plano de trabalhos da equipe túnel adaptado a uma planta de uma torre cujo piso foi executado em três fases. Trata-se de uma torre executada pelo processo OUTINORD em Vilamoura (ALGARVE).

# 1<sup>AS</sup> JORNADAS DE ENGENHARIA CIVIL

# ALGUMAS DIFICULDADES DO CÁLCULO DE PAVIMENTOS

por ELIAS DA COSTA  
Professor do I.S.E.L.

## SUMÁRIO

— EVOLUÇÃO DO CÁLCULO DE PAVIMENTOS. DIFICULDADES SURTIDAS NO CÁLCULO RACIONAL DE PAVIMENTOS, DEVIDAS AO COMPORTAMENTO REOLÓGICO COMPLEXO DAS SUAS DIFERENTES CAMADAS, À HETEROGENEIDADE DO TRÁFEGO RELATIVAMENTE AOS PESOS POR EIXO, VELOCIDADES, ETC., ÀS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA E HUMIDADE QUE DETERMINAM ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DAS CAMADAS.

## SOME DIFFICULTIES IN THE DESIGN OF PAVEMENTS

### SUMMARY

— EVOLUTION IN THE DESIGN OF PAVEMENTS. DIFFICULTIES ARISING FROM THE RACIONAL CALCULATION OF PAVEMENTS, OWING TO THE COMPLEX REOLOGICAL BEHAVIOUR OF ITS DIFFERENT LAYERS, HETEROGENEITY OF THE TRAFFIC ACCORDING TO THE WEIGHT BY AXLE, SPEED, ETC., VARIATIONS OF TEMPERATURE AND HUMIDITY WHICH PROVOKE SOME ALTERATIONS IN THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE MATERIALS OF THE LAYERS.

## QUELQUES DIFFICULTÉS DANS LE CALCUL DE PAVEMENTS

### SOMMAIRE

— ÉVOLUTION DANS LE CALCUL DE PAVEMENTS. PROBLÈMES QUI SE PRÉSENTENT AU CALCUL RATIONNEL DE PAVEMENTS, DUES AU COMPORTEMENT REOLOGIQUE COMPLEXE DE SES DIFFÉRENTES COUCHES, À L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DU TRAFFIC PAR RAPPORT AUX POIDS PAR AXE, VITESSES, ETC., AUX VARIATIONS DE TEMPÉRATURE ET HUMIDITÉ QUI DÉTERMINENT DES ALTÉRATIONS AUX CARACTÉRIQUES MÉCANIQUES DES MATÉRIAUX QUI COMPOSENT LES COUCHES.

## 1 — HISTÓRIA

Já desde há muito tempo que a determinação das dimensões da estrutura de um pavimento tem merecido a atenção dos construtores de estradas.

Assim, a constituição das célebres estradas romanas, já era variável tomando em consideração a natureza dos solos, embora as suas dimensões pecassem geralmente por excesso pois a mão-de-obra e os materiais eram pouco dispendiosos. Deste modo é possível haver ainda hoje troços de estradas romanas transitáveis como sucede aliás também com muitas pontes romanas. Mas evidentemente o dimensionamento dessas estradas era arbitrário e dependia do julgamento pessoal do construtor ou de regras empíricas muito simples obtidas da prática de outras obras análogas mas sem qualquer base científica.

Foi principalmente após a 2.ª Guerra Mundial com o desenvolvimento da utilização de veículos de tracção mecânica tanto em número como velocidade e peso que o problema se modificou profundamente e essa evolução, antes diria explosão, exige um estudo mais cuidado e urgente.

Mau grado dos construtores chamados práticos, a sua arte tornou-se, não desnecessária evidentemente, mas insuficiente para acompanhar aquela evolução do tráfego. A necessidade premente de construir estradas e as dificuldades do cálculo racional, levaram no entanto inicialmente ao estabelecimento de fórmulas empíricas mas cada vez mais elaboradas e com uma base científica de observação e de experimentação em grande escala. Infelizmente essa fase ainda continua em grande número de casos pois as dificuldades são tantas para encontrar uma metodologia racional isenta de quaisquer críticas que este problema muito dificilmente tem progredido. Devo dizer no entanto que o cálculo eletrônico tem ultimamente contribuído para um maior progresso dos métodos racionais.

O muito conhecido método CBR é um método empírico inicialmente muito simples mas que tem vindo a ser aperfeiçoado tomando em consideração as variáveis mais influentes de modo a torná-lo mais realista. E no entanto basta conhecer o ensaio CBR para se avaliar quanto longe está da realidade e da indefinição portanto dos métodos que nele se baseiem.

As dificuldades que existem no cálculo racional e que se irão mencionar, não tem evidentemente o mesmo peso na sua acção

perturbadora do cálculo ou na sua influência real mas julgo que há vantagens em conhecê-las e principalmente saber avaliar aquela influência e é nisto que a prática dos trabalhos tem realmente a maior importância.

Evidentemente que as estradas tem que se fazer e não se pode esperar que apareça um método racional impecável para elas se executarem. Se se quiser obter um método racional prático é pois necessário aplicar hipóteses simplificadoras, como aliás sucede noutros ramos de Engenharia, conhecendo as consequências das diferentes hipóteses adoptadas. Hoje existem já diversas teorias nestas condições mas baseadas por vezes em hipóteses demasiadamente simplificadas.

No entanto o progresso traduz-se na adopção de hipóteses cada vez mais realistas embora daí resulte evidentemente maior complexidade para o cálculo.

Mas os ábacos e o cálculo informático nos ajudarão.

Indicar as dificuldades não representa pois pessimismo mas simplesmente tem por fim alertar os técnicos para que todos os resultados obtidos devam ser objecto de uma análise crítica cuidada antes de serem adoptadas e para isso é indispensável conhecer aquelas dificuldades.

## 2 — COMPORTAMENTO REOLÓGICO DOS MATERIAIS

O comportamento reológico dos materiais rodoviários é muito complexo. Embora a maioria das teorias existentes os considerem como elásticos evidentemente é uma aproximação um pouco grosseira principalmente no início da existência do pavimento. É curiosa a contradição entre essas teorias em que por um lado os consideram elásticos e por outro fixam a sua duração em função do número de passagens das cargas o que demonstra que admitem que haja dissipação de energia.

Por outro lado considerá-los como visco-elásticos obedecendo ao modelo de VOIGT como o fazem já algumas teorias, embora represente um progresso evidentemente ainda não é a realidade pois na verdade o seu comportamento é plástico-visco-elástico não linear principalmente, como se disse, no início do pavimento. Não é fácil obter qualquer modelo reológico verdadeiramente representativo.

Mas mesmo considerando os pavimentos como elásticos, a complexidade do cálculo tem obrigado a considerar-se apenas os casos até três camadas e só recentemente o cálculo electrónico tem permitido considerar mais camadas.

Por outro lado a determinação das características mecânicas da teoria da elasticidade a materiais não elásticos tem levantado grandes dificuldades obtendo-se resultados não só muito dispersos mas dependentes do ensaio adoptado para as determinar.

Assim por exemplo o módulo de elasticidade do betão betuminoso que é um tipo de camada de desgaste muito utilizada, tem sido tomado igual a valores muito diferentes pelos diferentes autores:

100 000 a 40 000 Kg/cm<sup>2</sup> — por Jeuffroy e Bachelez

80 000 Kg/cm<sup>2</sup> — por Burmister

50 000 a 25 000 Kg/cm<sup>2</sup> — por Peattie

20 000 Kg/cm<sup>2</sup> — por Jones

20 000 a 15 000 Kg/cm<sup>2</sup> — por Ivanov

Estas diferenças são principalmente devidas à velocidade de aplicação das cargas, temperatura, etc. As mesmas diferenças se notam quanto ao coeficiente de Poisson, assim por exemplo:

0,5 — para Fox, Peattie, Jeuffroy e Bachelez

0,35 — para Jones

0,25 — para Mehta e Valetsos

Isto tem interesse porque, para valores menores de coeficiente de Poisson, obtém-se no cálculo maiores deformações verticais do pavimento.

O valor 0,35 está actualmente a ser mais utilizado.

Dadas as dificuldades em determinar o módulo de elasticidade quer pela velocidade de propagação de ondas quer por ensaios de deflexão dinâmica, tem-se tentado correcioná-lo com o CBR. Como é evidente a dispersão é enorme, dada a diferença profunda entre os ensaios:

Assim por exemplo:

E = 100 CBR — para Henkelon e Peattie

E = 20 a 30 CBR — para Jeuffroy e Bachelez

E = 15 a 20 CBR — para Bonnard e Recordon

Outro factor que torna a análise mais complexa embora em geral não seja considerado é a utilização do chamado binder ou camada de ligação que consiste numa mistura betuminosa menos cuidada e com teor de betume menor que o betão betuminoso. Embora desta utilização possam resultar algumas economias, ela não é justificável tecnicamente dado que as tracções são maiores justamente aí e o binder tem uma resistência menor que o betão betuminoso. Antes se compreendia que o binder tivesse maior teor de betume e menor porosidade para maior resistência à fissuração, maior adesividade e menor envelhecimento.

### 3 — FACTORES QUE INFLUEM NAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Outro factor que influi por vezes bastante, principalmente nas camadas betuminosas, é a temperatura. Assim por exemplo para os módulos de elasticidade do betão betuminoso teremos:

a 5.°C — E = 50 000 Kg/cm<sup>2</sup>

a 30.°C — E = 20 000 Kg/cm<sup>2</sup>

com betume de penetração 80/100 ou ainda

a 5.°C — E = 40 000 Kg/cm<sup>2</sup>

a 30.°C — E = 15 000 Kg/cm<sup>2</sup>

com betume de penetração 180/200

Simultaneamente pode-se apreciar nestes valores também a influência da dureza do betume, no valor do módulo de elasticidade.

Edwards apresentou um processo para o qual o pavimento é calculado para um determinado TMMA (Temperatura Média Mensal do Ambiente). Evidentemente melhora o problema mas não o resolve para climas com diferenças de temperatura muito grandes.

Tudo isto é muito importante porque a distribuição das tensões e deformações depende dos módulos de elasticidade. Um aumento do módulo de elasticidade do betão betuminoso corresponde a maiores tracções na parte inferior desse betão. É talvez uma das causas mais frequentes da sua fendilhação. Pelo contrário uma diminuição a maiores tensões e deformações no

solo de fundação do pavimento.

O módulo de elasticidade de um betão betuminoso varia, como se viu, com a penetração do betume, portanto também quando este envelhece: as tensões nele podem aumentar enquanto que a sua resistência diminui.

Finalmente o módulo de elasticidade varia com o teor do betume, a própria qualidade dos agregados e sua granulometria, a sua compactidade, etc. Outro factor de grande importância é a velocidade de aplicação das cargas e a sua duração.

O comportamento reológico do pavimento para cargas estáticas é muito diferente do das cargas dinâmicas.

Enquanto que no segundo caso, o comportamento é quase elástico tanto mais quanto maior a velocidade de actuação, no primeiro caso, a parte viscosa manifesta-se com maior intensidade.

A diversidade de velocidade dos veículos é portanto outro factor de perturbação e se em certos casos as cargas dinâmicas são piores, noutros casos as estáticas. Não basta portanto considerar nos cálculos a maior velocidade dos veículos como também não é suficiente considerá-los parados.

Finalmente o tempo entre duas aplicações das cargas influi no comportamento do pavimento pois verifica-se em certos casos a sua auto-reparação principalmente no betão betuminoso.

Mas o comportamento do próprio solo de fundação do pavimento é muito complexo e variável. Um dos factores mais importantes é a variação do teor de água como se poderá verificar através dos ensaios CBR.

Um solo argiloso com razoáveis resistências mecânicas quando seco, pode ter mesmo resistências nulas para teores de água maiores.

Ora o teor de água sob o pavimento não é igual, é muitas vezes maior junto das bermas; também é junto das bermas que o teor de água é mais variável. Isto é, tanto pior quando é precisamente aí que se localizam as maiores tensões e deformações.

Este facto era mais prejudicial no antigo processo de construção da abertura de caixa, hoje felizmente posto de parte em quase toda a parte.

Um processo para evitar as maiores deformações do pavimento junto das bermas embora pouco vulgarizado, consiste em adoptar espessuras maiores das sub-bases junto das bermas em relação ao eixo da estrada. A maior inclinação da sub-base facilita igualmente a sua drenagem.

No entanto, as variações da resistência do solo com o teor de água são hoje atenuadas utilizando na última camada dos aterros, solos de características determinadas de acordo com as especificações existentes.

### 4 — RELAÇÃO ENTRE AS CARGAS NUM PAVIMENTO

A diversidade de tipos de veículos e de carga por eixo, torna necessária a sua homogeneização, isto é, a redução a eixo tipo, obtida pela multiplicação do peso do veículo por um coeficiente de equivalência de modo a obter o número de passagens equivalente do eixo-tipo com a mesma acção sobre o pavimento que uma única passagem do eixo do veículo. Esses coeficientes são indicados em tabelas ou em fórmulas evidentemente empíricas, tais como a fórmula de Dormond e Metcalf adoptada pelo TRRL ou seja:

$n = 2,2 \times 10^{-L}$  sendo  $n$  o número de passagens de um eixo standard (8,2 toneladas) equivalente a uma passagem de um eixo de 7 toneladas. É claro que seria desnecessário dizê-lo que esses coeficientes são diferentes conforme os autores o que não é para admirar dada a dificuldade em obtê-los mas o pior é que eles são dependentes da própria constituição do pavimento e portanto não podem ser válidos para todos os pavimentos.

Por outro lado a intensidade de tráfego a considerar para uma estrada a projectar é baseado em elementos estatísticos, de uma precisão também por vezes muito precária. Os próprios recenseamentos de tráfego normalmente dão apenas os números de veículos por categorias, isto é, veículos ligeiros, pesados de dois eixos, etc. e nada nos dizem sobre as cargas dos eixos cuja determinação por sua vez é baseada em estudos pouco precisos.

Este problema actualmente pode ser resolvido mais perfeitamente por meio de básculas dinâmicas que permitem conhecer as cargas dos eixos dos veículos sem ser necessário fazê-los parar.

## 5 — RELAÇÕES ENTRE AS CAMADAS DE UM PAVIMENTO

Há métodos de cálculo (método da AASHO, método do Asphalt Institut, etc.) que determinam apenas a espessura de uma camada única necessária para o pavimento, deduzindo-se desta espessura, as espessuras das outras camadas por meio igualmente de coeficientes de equivalência também empíricos.

Assim por exemplo a espessura de um tapete de betão betuminoso seria igual a  $n$  vezes a espessura do macadame ordinário. Neste caso o valor  $n$  varia segundo os autores entre 3 e mesmo 3,5 até 2.

Na realidade estes coeficientes além de serem imprecisos, devem igualmente depender da constituição do pavimento e portanto a sua utilização não pode ser geral. Mas outro factor também muito importante para o desenvolvimento do cálculo de qualquer método racional de dimensionamento, é a natureza das interfaces entre as diferentes camadas do pavimento.

Há teorias, como a de Burmister que as consideram perfeitamente aderentes. Outras, como a de Jeuffroy e Bachelez consideram a camada de desgaste com uma laje simplesmente apoiada sem atrito sobre outras camadas perfeitamente ligadas, etc. A teoria de Ivanov considera também as camadas aderentes entre si mas facto muito importante, a relação dos módulos de resistência entre uma camada do pavimento e a sua camada imediatamente inferior não pode ser superior a um determinado valor.

A realidade da natureza das interfaces, no entanto, deverá estar no meio termo isto é, nem perfeitamente independente nem perfeitamente ligadas.

Este facto é de grande importância conhecer pois pode-se considerar idêntico ao comportamento de duas vigas sobre-postas submetidas à flexão contractando-se livremente ou de duas vigas fixadas rigidamente entre si por meio de entalhes por exemplo. Como sabemos, as suas resistências num caso e noutro, são muito diferentes.

Muitas outras causas de erro se poderiam ainda citar tais como as camadas serem calculadas geralmente como indefinidas quando tem uma largura bem definida, as cargas são supostas circulares quando o não são, etc., etc.

## 6 — CONCLUSÃO

Embora a maioria dos métodos utilizados apenas nos dêem as espessuras convenientes das diferentes camadas de um pavimento e por vezes as tensões e deformações maiores, é possível já hoje calcular as tensões e deformações em qualquer ponto da estrutura de um pavimento tal como sucede noutras estruturas.

No entanto, como vimos, o cálculo é sempre baseado em hipóteses simplificadoras que nem sempre satisfazem.

É claro que os estudos desenvolvem-se em todo o mundo no sentido de nos aproximarmos mais da realidade.

Para atender aos efeitos de temperatura e do tempo de carga é adoptado por vezes, um subterfúgio que consiste em determinar um dimensionamento que satisfaça simultaneamente às seguintes hipóteses:

- a) — cargas estáticas com temperatura limite superior conforme o clima da região;
- b) — velocidade dos veículos igual à do projecto com uma temperatura limite inferior conforme o clima da região.

É um processo que nos permite calcular com mais aproximação a tensão de tracção na parte inferior do betão betuminoso (2.ª hipótese) e a maior pressão no solo de fundação, (1.ª hipótese).

Mas desejo terminar, insistindo mais uma vez que ter uma confiança cega nos cálculos assim como fazer uma crítica derrotista, são atitudes ambas perigosas e ambas geralmente motivadas pela falta de conhecimentos destes problemas.

A atitude mais razoável é fazer sempre uma interpretação crítica dos resultados obtidos.

# VENTILAÇÃO TÉRMICA "FÉRIA" — Tipo SHUNT

(Elaborado pelos Serviços Técnicos da FÉRIA)

TERMIC VENTILATION "FERIA" — SHUNT TYPE

VENTILATION THERMIQUE "FERIA" — TYPE SHUNT

## 1 — DESCRIÇÃO GERAL DAS INSTALAÇÕES

As instalações de ventilação em estudo destinam-se a realizar o arejamento geral e permanente de habitações — pelo menos durante o período do ano em que a temperatura exterior obriga a manter as janelas fechadas — e a assegurar a evacuação de gases e fumos resultantes da combustão em aparelhos de aquecimento por queima (esquenadores e fogões) de uso corrente nas habitações.

Estas instalações (fig. 1) compreendem basicamente os seguintes componentes:

- Tomadas de admissão de ar exterior nos compartimentos principais (quartos, sala de jantar e sala de estar), montadas nas paredes de fachada ou na caixilharia, de vãos envidraçados nelas incluídos;

- Conduitas colectivas para evacuação de ar viciado e/ou gases e fumos providas de aspiradores estáticos no topo emergente da cobertura e de ramais individuais com a altura de um andar dispendo de abertura de extracção, guarnecidas, nos compartimentos de serviço (cozinha, retrete e casa de banho).

Neste processo de ventilação, a renovação do ar é determinada por tiragem térmica decorrente da diferença de temperaturas entre o interior e o exterior das habitações, combinada com a depressão criada por acção do vento nos aspiradores estáticos.

## 2 — DIMENSIONAMENTO DAS INSTALAÇÕES. SOLUÇÕES-TIPO

Para efeitos de dimensionamento e selecção dos componentes das instalações adoptaram-se os critérios referidos no cahier n.º 1071, (livraison n.º 124), Novembro de 1971, do C.S.T.B., "Exemples de solutions pour faciliter l'application du règlement de construction, VENTILATION", com os ajustamentos adequados às condições climáticas médias de Inverno no nosso país.

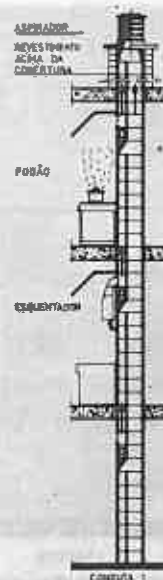
Para efeitos de definição de soluções tipo tiveram-se em atenção recomendações contidas na publicação do C.S.T.B. atrás referida, disposições específicas da regulamentação francesa

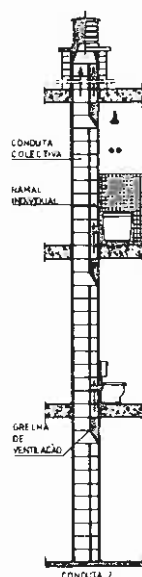
"Aération des logements" e "Conduits de fumée desservant des logements" (Journal Officiel do 30 de Octobre de 1969) e informações recolhidas em França junto da firma SERIC.

### 2.1 — Caudais de admissão de ar exterior

Adoptaram-se os seguintes valores para os caudais de admissão de ar exterior nos compartimentos principais:

- Compartimentos de área inferior a 18 m<sup>2</sup> — 30 m<sup>3</sup>/h;
- Compartimentos de área não inferior a 18 m<sup>2</sup> — 60 m<sup>3</sup>/h.





## 2.2. — Caudais de evacuação de ar viciado

Adoptaram-se os seguintes valores para os caudais de evacuação de ar viciado nos compartimentos de serviço:

- Cozinhas de habitações pelo menos três compartimentos principais — 90 m<sup>3</sup>/h;
- Cozinhas de habitação com menos de três compartimentos principais — 70 m<sup>3</sup>/h;
- Casas de banho — 45 m<sup>3</sup>/h,
- Retretes — 30 m<sup>3</sup>/h.