

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

*16 a 26 Novembro 1976*



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

# 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 avulsa 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 (asas, 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, asas 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

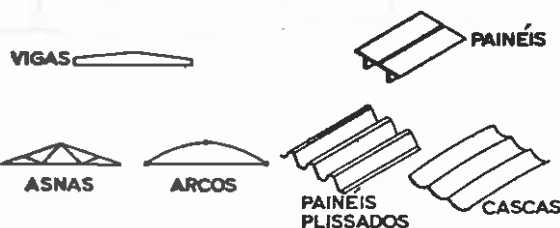
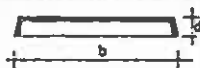
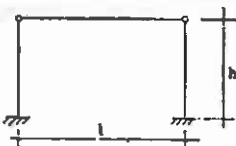
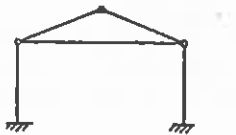
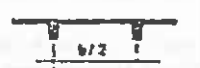






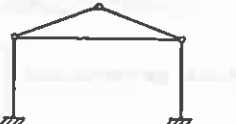


Fig. 1 — Sistemas de construção de coberturas em edifícios industriais

QUADRO 1 - TABELA COMPARATIVA DE ESTRUTURAS INDIFERENCIADAS  
PARA COBERTURAS PLANAS

SECÇÃO		SISTEMA ESTATICO	COBERTURA				PAREDE EXTERIOR				TEMPO DE MONT h / ELEMENTO	
b (cm)	d (cm)		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.
					DE PRE- ESFOR.	DE ALT. RESIST.			DE PRE- ESFOR.	DE ALT. RESIST.		
	20		9,0	150		6,0	4,0		1,00	7,0	0,20	0,5
100 a 250	65		15,0	250		15,0	10,0	250		2,50	10,0	0,40
			12,0	150		6,0					1,5	
			20,0	250		10,0				3,0		
	20		(1) 8,0	200	2,0	3,0	4,0		1,00	7,0	0,20	0,5
150 a 250	65		a	a	a	a	a	250	a	a	a	a
			15,0	250	3,0	4,0	10,0		2,50	10,0	0,40	1,0
	35		(2) 9,0	200	2,0	3,5	4,0	300	1,50	8,0	0,20	
150 a 250	120		a	a	a	a	a	a	a	a	a	
			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
			30,0	350	8,0	5,0	20,0	400	8,00	15,0	3,00	2,0
	65		12,0	150	1,70	5,0	4,0		1,00	5,0	0,20	0,5
250 a 300			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	
			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).

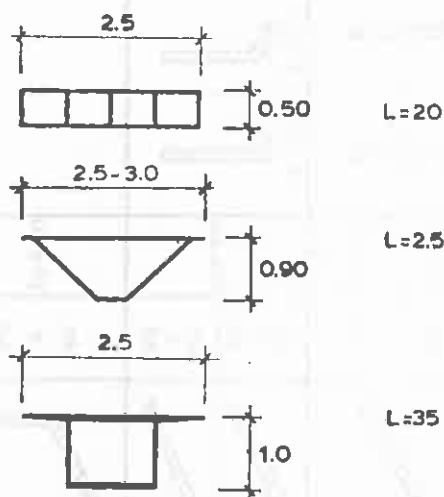


Fig. 2 — Painéis vazados para grandes vãos

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)

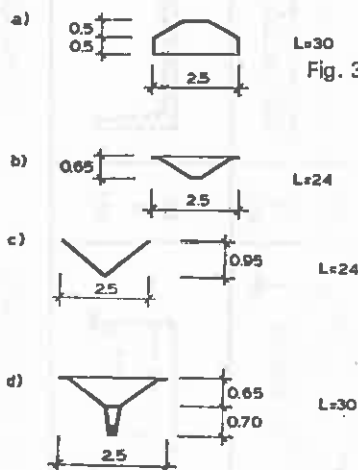


Fig. 3 — Painéis plissados tipo

- 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.

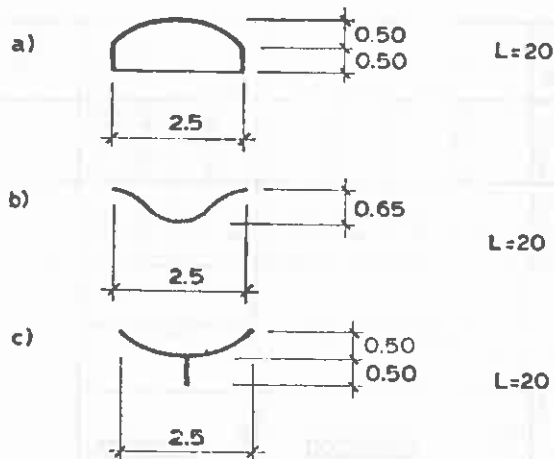


Fig. 4 — Cascalas de curvatura simples a) túnel b) ondulada c) com nervura central

### 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).

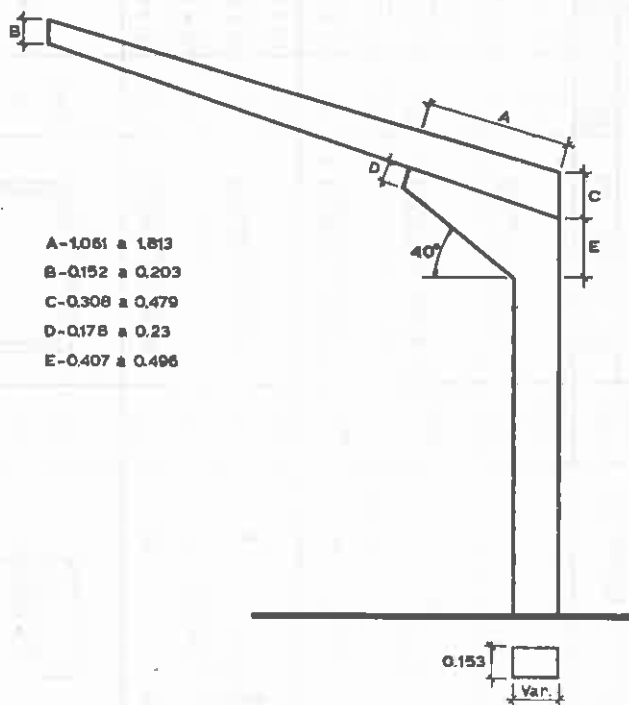


Fig. 6 — Pórtico Crendon: geometria

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 25 a 6,0		40 a 60	30 a 6,0	a
			60 a 120	50 a 8,0 15 a 3,0		40 a 80	20 a 3,0 10 a 2,5	2,0
	12,0 a 30,0		60 a 120	10 a 6,0 10 a 3,5		50 a 80	30 a 6,0	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
			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 120	0,5 a 8,0 15 a 3,5		30 a 60	30 a 6,0	1,2 a 2,0
			50 a 100	50 a 8,0 15 a 3,0		40 a 80	30 a 7,0	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 • NO RÍGIDO PREFABRICADO • NO 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

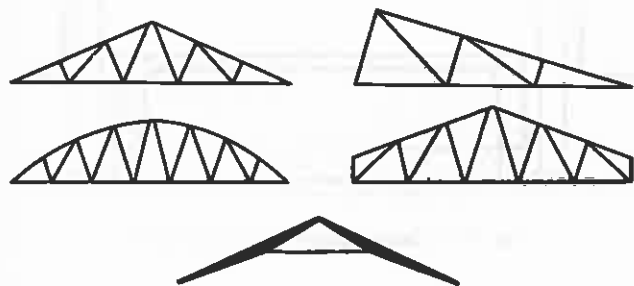


Fig. 8 — Algumas formas de asnas

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).

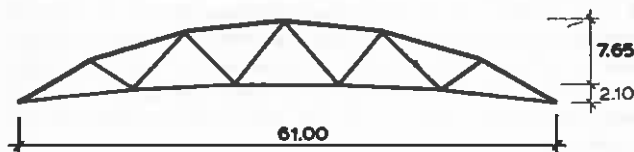


Fig. 9 — Asna parabólica pós-tensionada composta de barras isoladas

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).

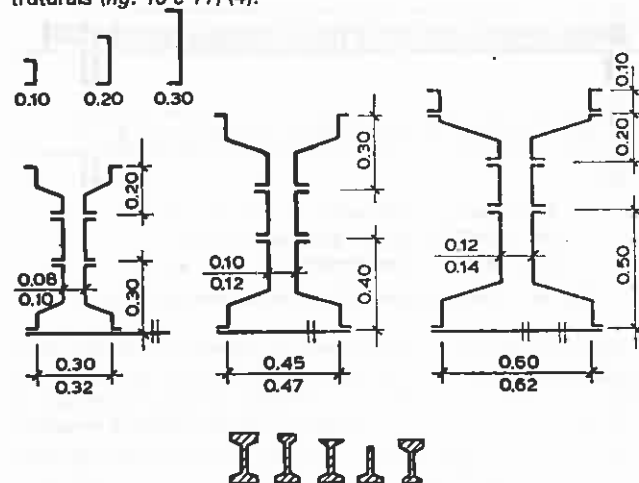


Fig. 10 — Moldes metálicos para vigas

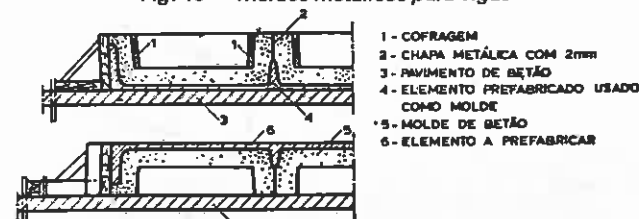


Fig. 11 — Execução de um molde de betão  
Em cima: preparação do molde a partir de um elemento prefabricado  
Em baixo: moldagem de novo elemento

\* 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

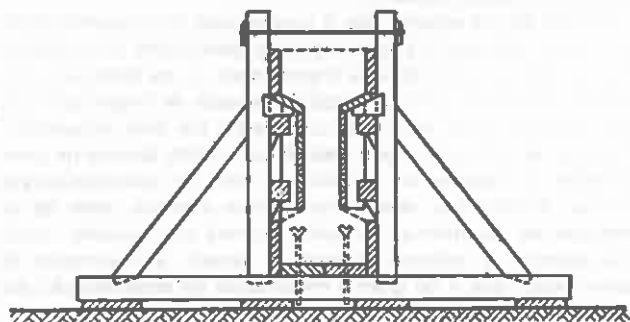
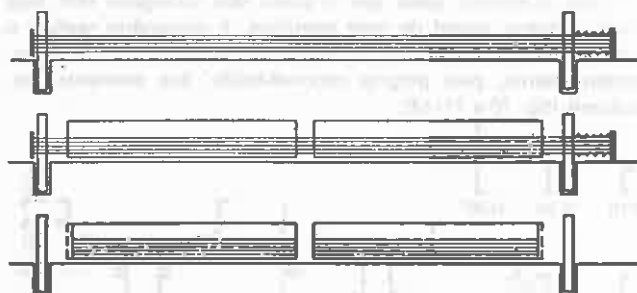


Fig. 12 - Molde de madeira para viga

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.

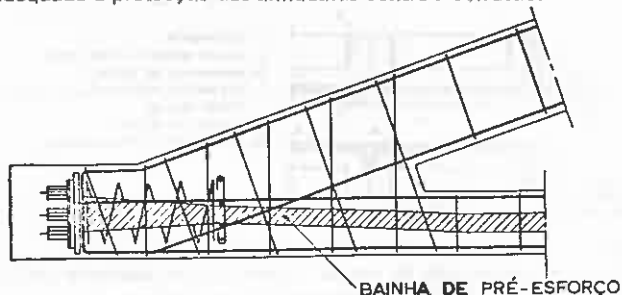


Fig. 15 - Asna pos -tensionada

### 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).

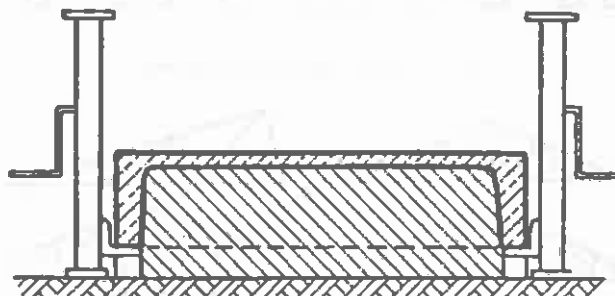


Fig. 16 - Desmoldagem de um elemento

Algum tempo após a desmoldagem, os elementos prefabricados são transportados até à zona de armazenamento, 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 armazenamento: 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 armazenamento 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).

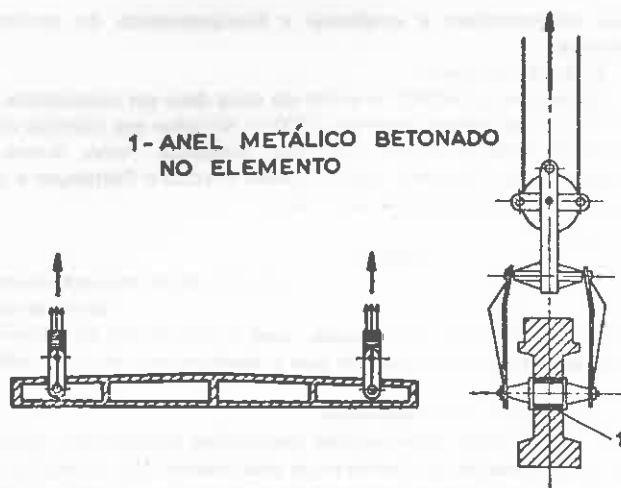


Fig. 17 — Suspensão de uma viga

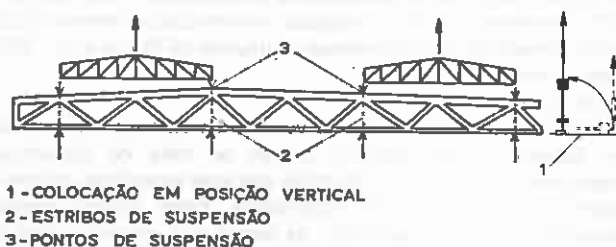


Fig. 18 — Suspensão de uma asna

## 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).

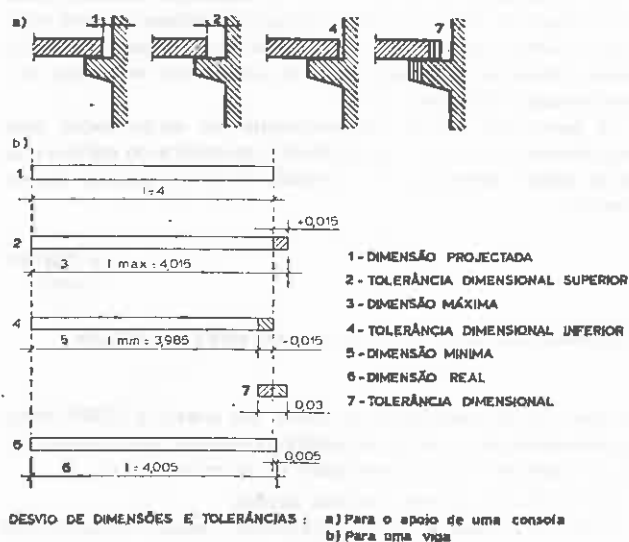


Fig. 19

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)

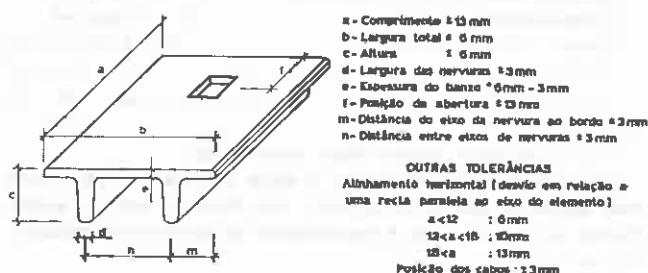


fig. 20

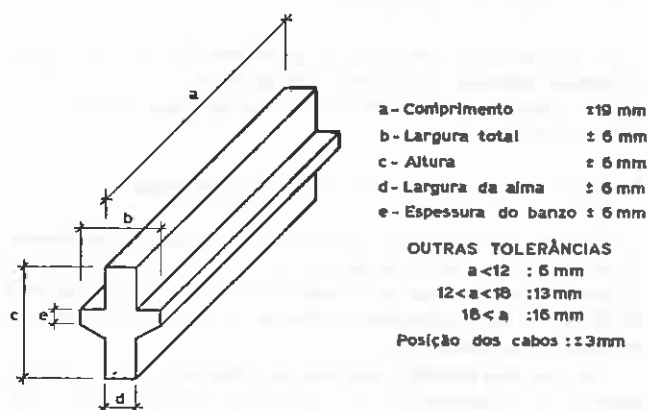


Fig. 21 — Tolerâncias em vigas

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.

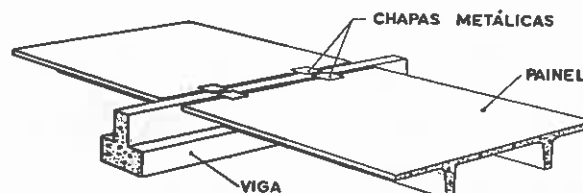


Fig. 22 — Apoio de painéis TT sobre vigas (3)

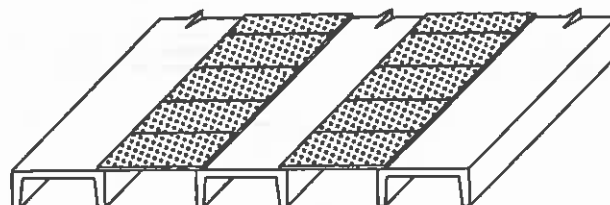


Fig. 23 — Faixas de clarabóias em painéis U ou TT (2)

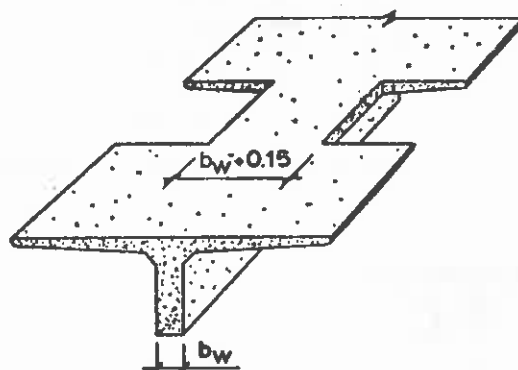


Fig. 24 — Aberturas usuais em painéis T. Estas aberturas são executadas durante a fabricação do painel (3)

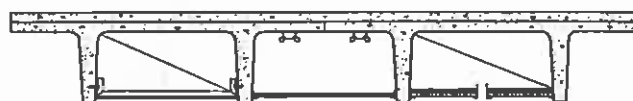


Fig. 25 — Painéis metálicos e difusores em painéis TT (3)



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

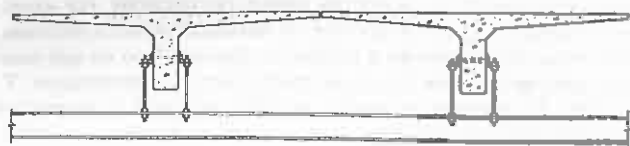


Fig. 27 — Suspensão de caminhos de rolamento em painéis T (3)

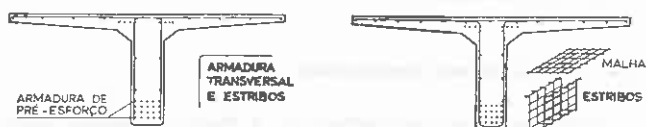


Fig. 28 — Armaduras de painéis T. No primeiro caso os estribos mergulham no banzo do painel. No segundo usam-se malhas electrosoldadas

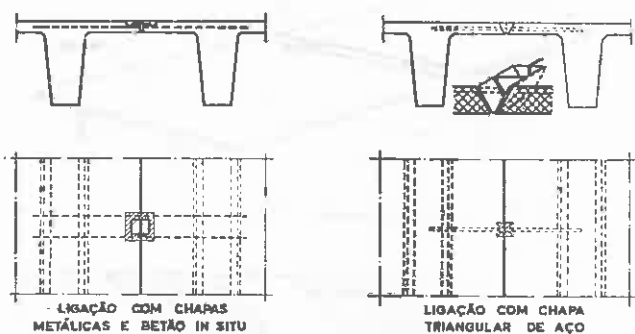


Fig. 29 — Ligação de painéis T entre si: alguns exemplos (2)

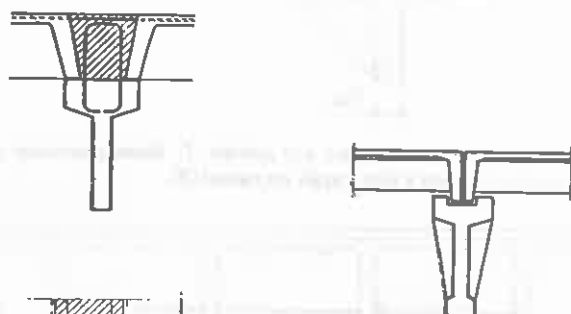


Fig. 30 — Apoio de elementos de cobertura (2)

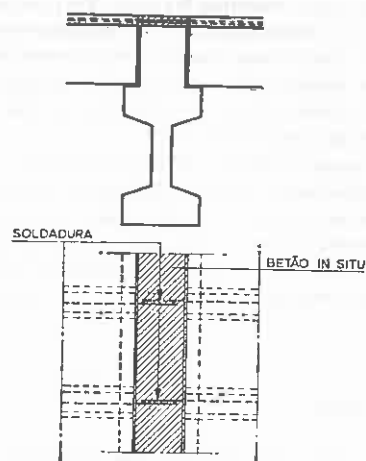


Fig. 31 — Apoio de elementos TT por forma a conseguir o efeito de viga contínua (2)

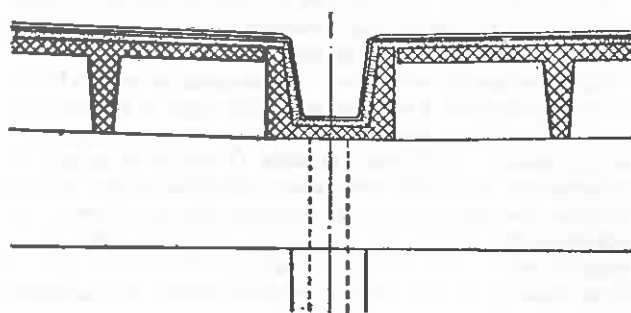


Fig. 32 — Realização de caleiras em coberturas planas (2)

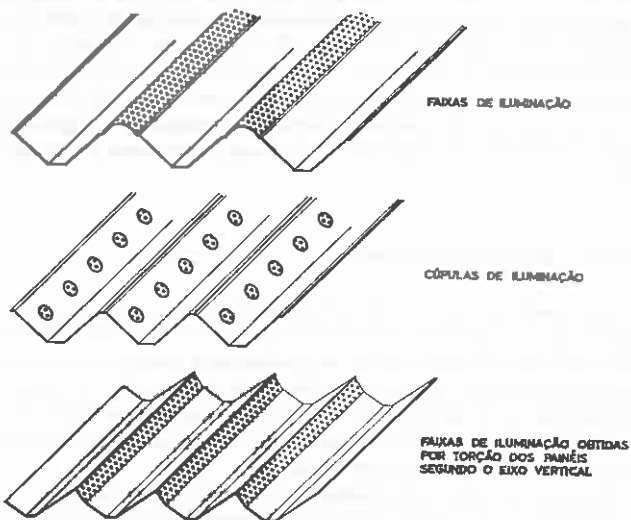


Fig. 33 — Claraboias ou faixas de iluminação em painéis plissados (2)

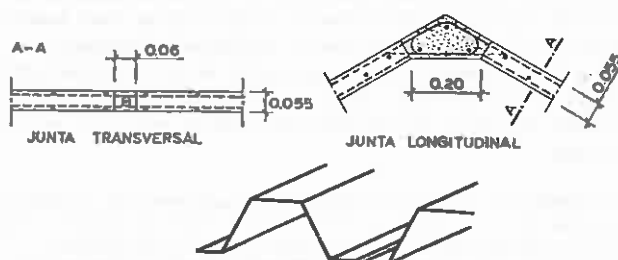


Fig. 34 — Ligação de painéis plissados entre si (4)

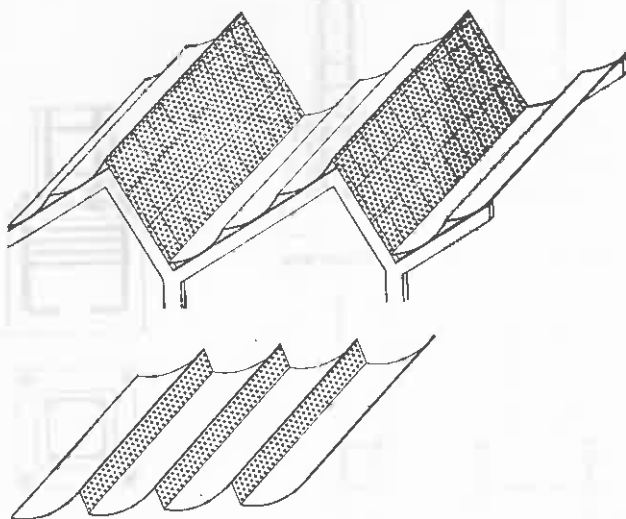


Fig. 35 — Cascas HP em coberturas tipo shed (2)

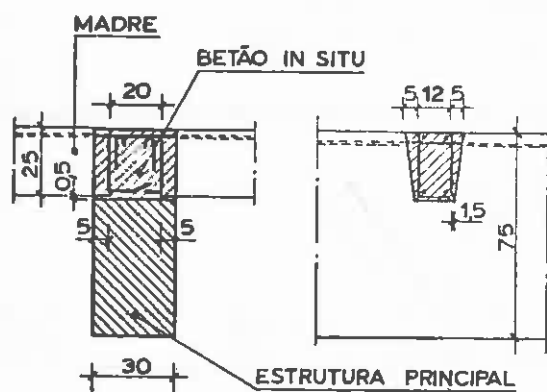


Fig. 36 — Ligação de madres à estrutura principal de cobertura (viga, asna, etc.) (2)

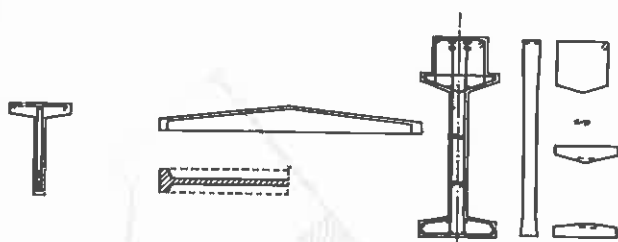


Fig. 37 — Pormenores de armaduras em vigas de inércia variável (4)

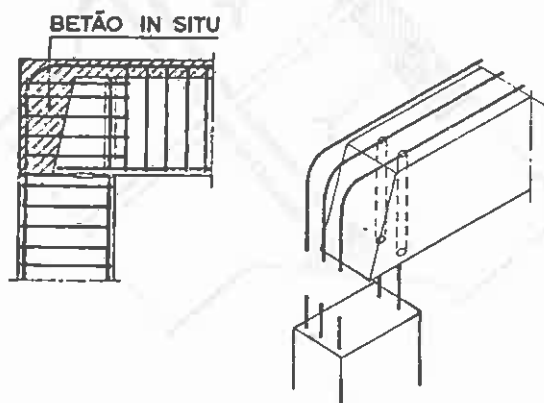


Fig. 38 — Ligação de vigas a pilares (2)

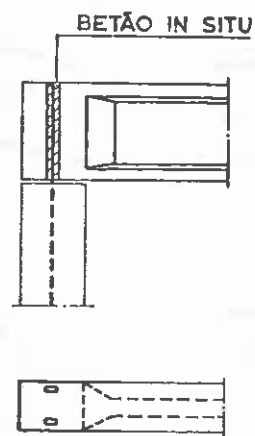


Fig. 39 — Ligação articulada da viga-pilar

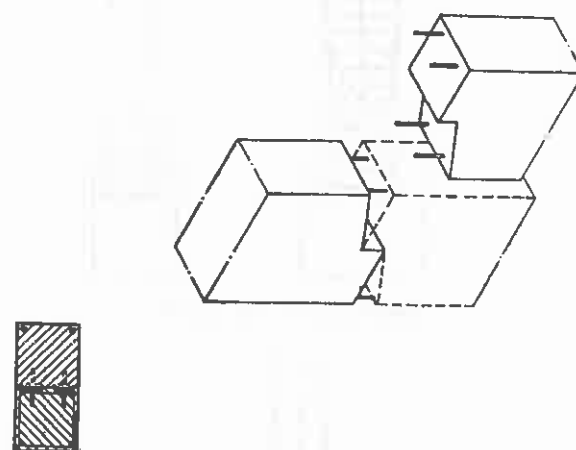
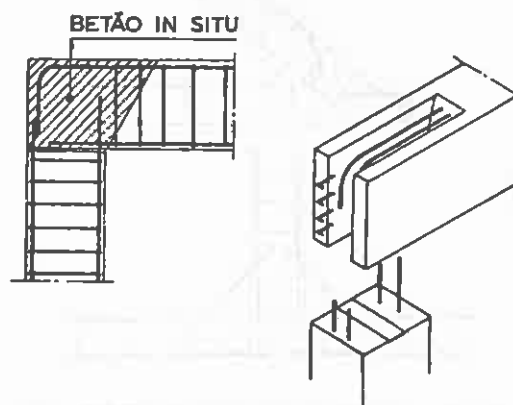


Fig. 40 — Ligação de vigas fabricadas fabricadas por partes



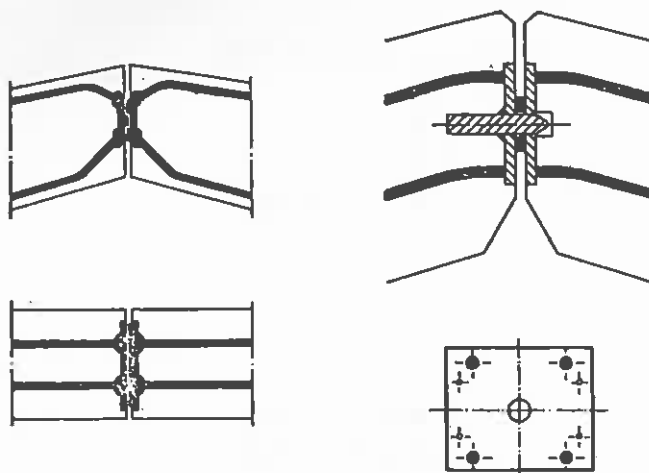
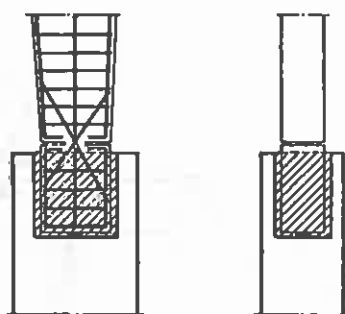
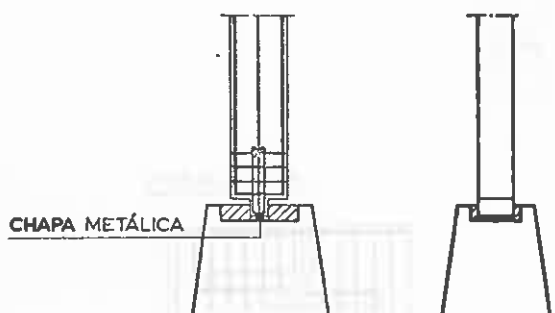


Fig. 41 — Fecho de pórtico articulado (2)



ARTICULAÇÃO DE BETÃO



CHAPA METÁLICA

ARTICULAÇÃO COM CHAPA METÁLICA

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

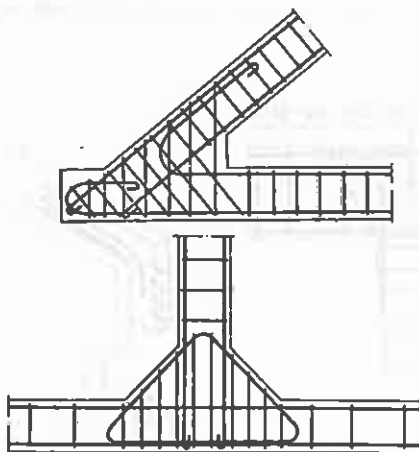
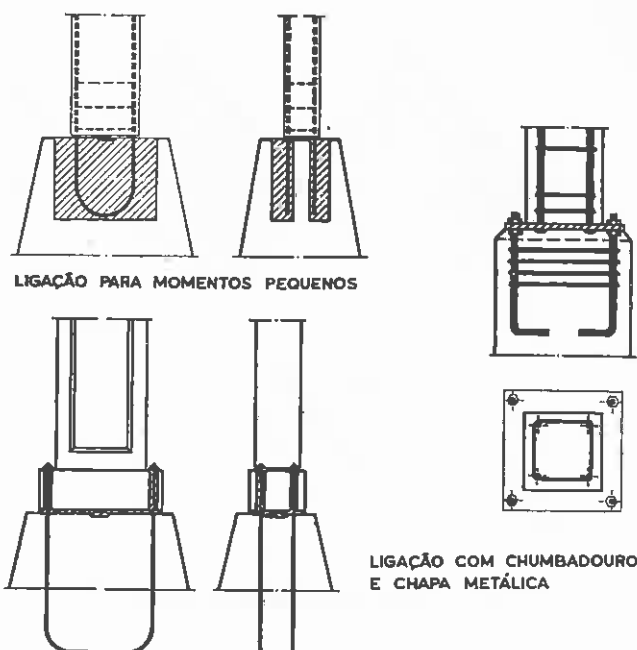


Fig. 44 — Pormenores de armaduras em asnas (11)



LIGAÇÃO PARA MOMENTOS PEQUENOS

LIGAÇÃO COM CHUMBADOUROS E BLOCO DE BETÃO

LIGAÇÃO COM CHUMBADOUROS E CHAPA METÁLICA

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

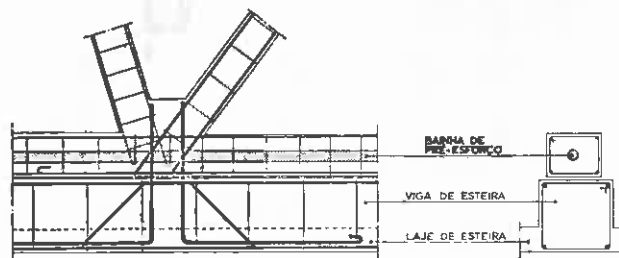


Fig. 45 — Asna com esteira suspensa: pormenor

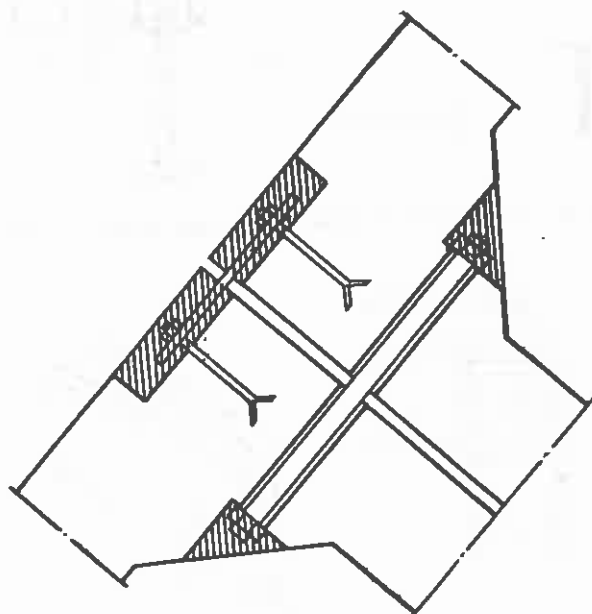


Fig. 46 — Pormenor de ligação de asna fabricada por partes





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

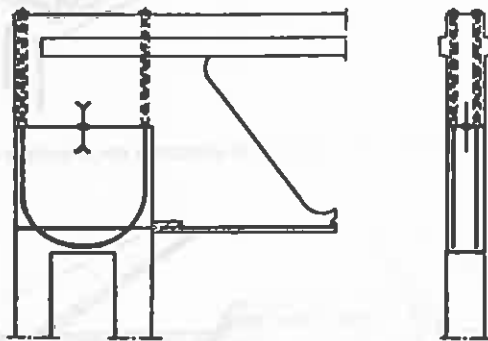


Fig. 48 — Pormenor de apoio de asna em pilar. Ver também Fig. 38 e 39

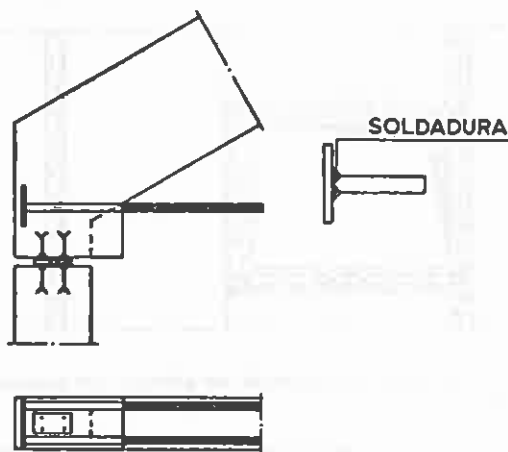


Fig. 49 — Pormenor de apoio de arco atirantado (2)

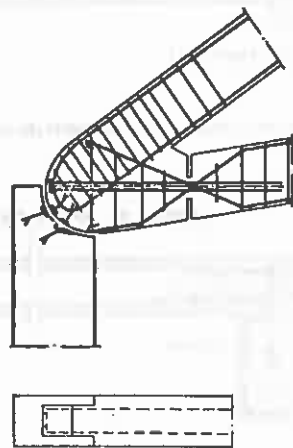
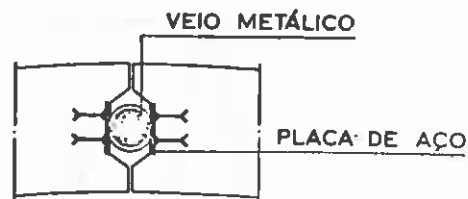


Fig. 50 — Pormenor de apoio fixo de arco atirantado com articulação de betão armado



ARTICULAÇÃO DEFINITIVA COM CILINDRO DE AÇO

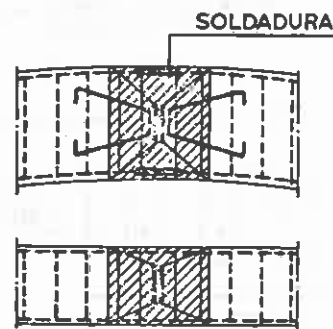


Fig. 51 — Articulação no fecho de arcos de betão (2)

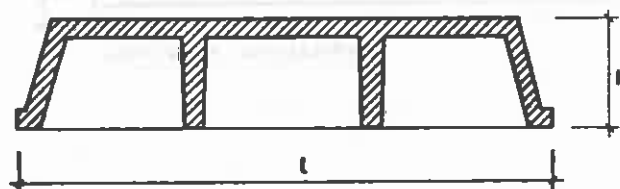


Fig. 52 — Painel nervurado



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

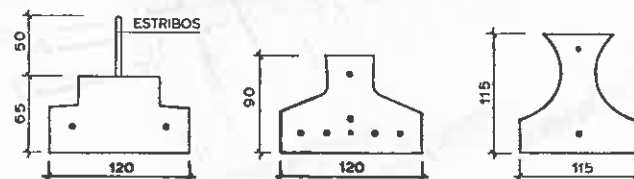


Fig. 54 — Vigotas pré-esforçadas

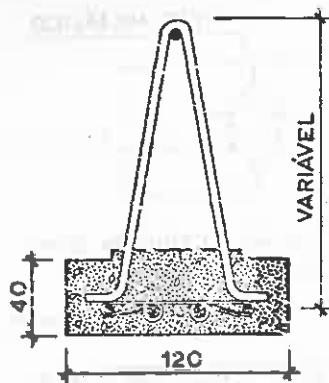


Fig. 55 — Vigota de betão armado

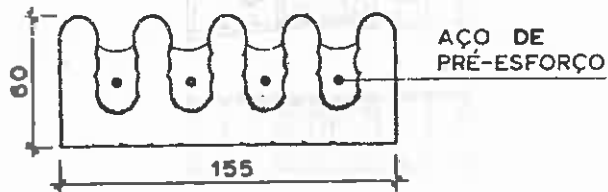


Fig. 56 — Prancha cerâmica pré-esforçada

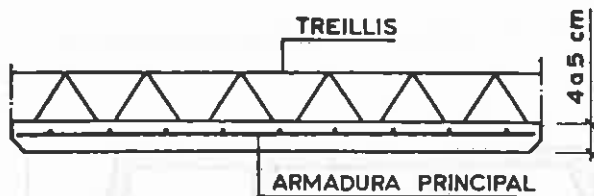


Fig. 57 — Prelaje

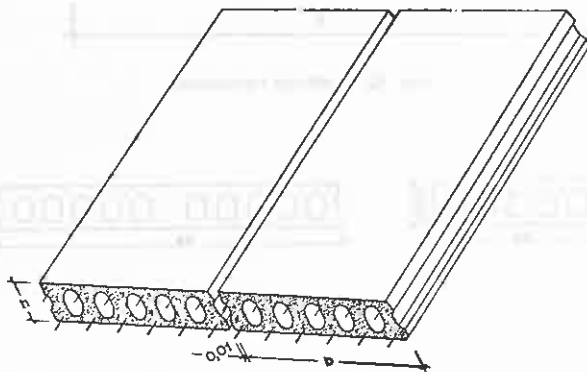


Fig. 58 — Pormenor de ligação entre pranchas vazadas

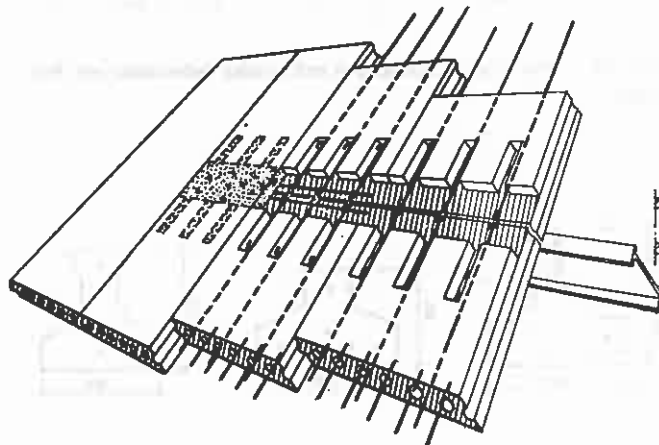


Fig. 59 — Ligação de pranchas por forma a obter efeito

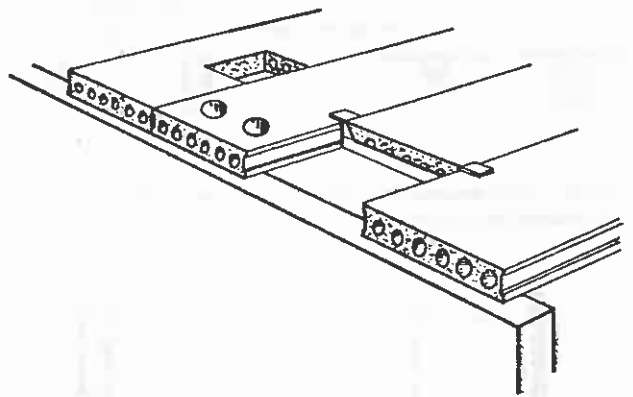


Fig. 60 — Alguns casos típicos de aberturas em pranchas vazadas (3)

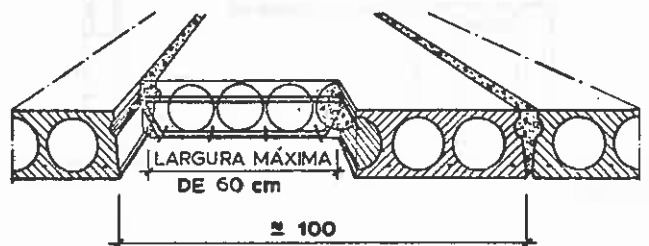


Fig. 61 — Pormenor de realização de abertura em pranchas vazadas (18)

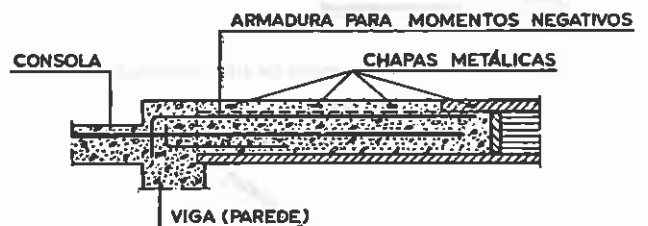


Fig. 62 — Pranchas vazadas: ancoragem de consola (18)

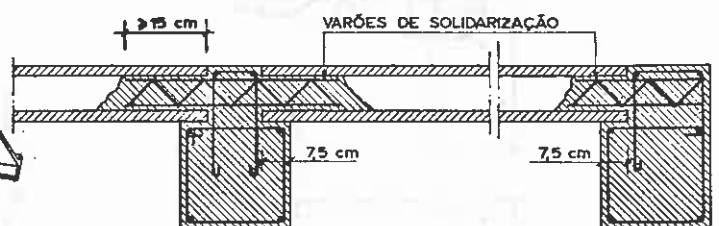


Fig. 63 — Pranchas vazadas: pormenores de apoio

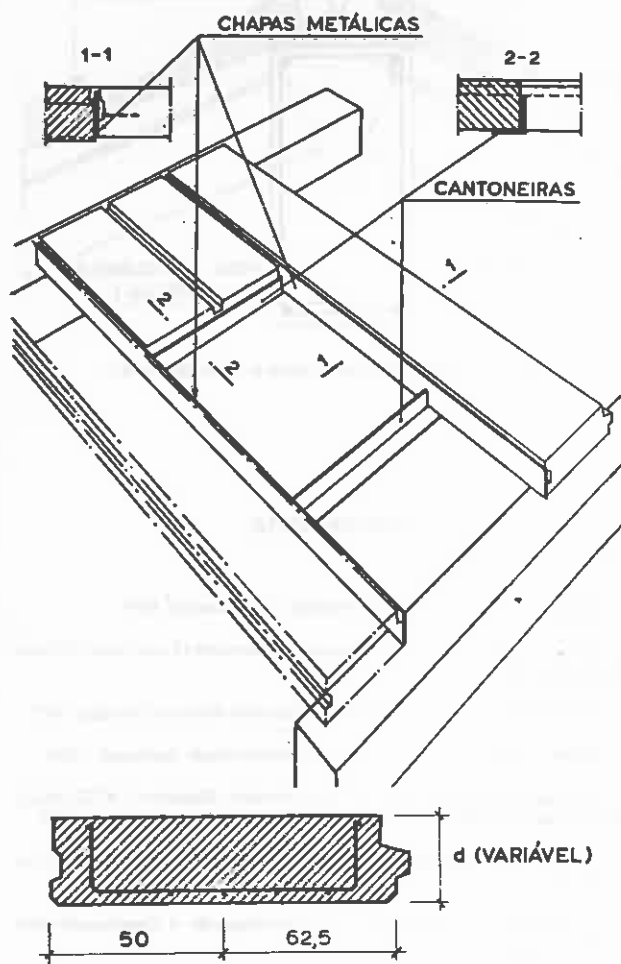


Fig. 64 — Pranchas de betão leve: pormenores (13)

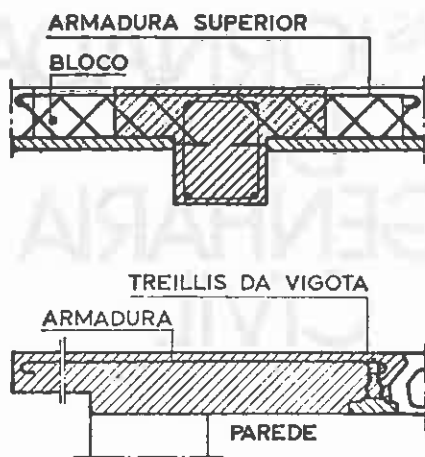


Fig. 65 — Vigotas de betão armado: pormenores de apoio

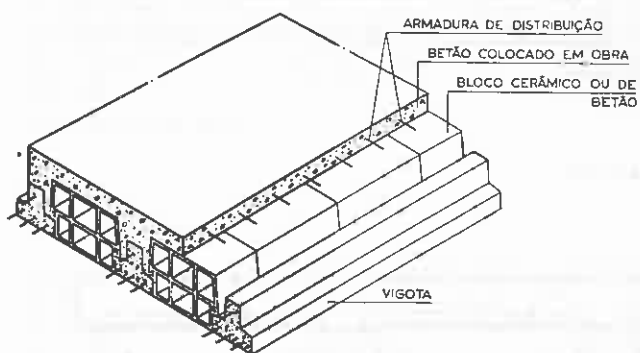


Fig. 66 — Vigotas de betão pré-esforçado (14)

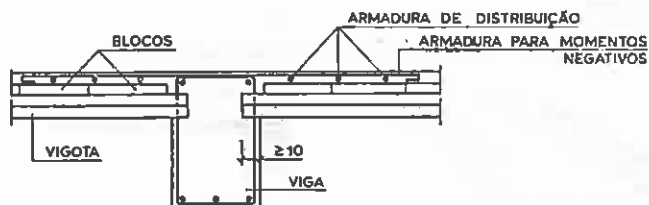


Fig. 67 — Vigotas pré-esforçadas: pormenor de apoio

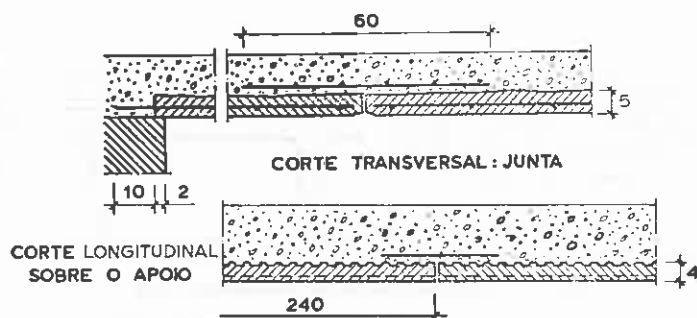


Fig. 68 — Prelajes: pormenores (16)

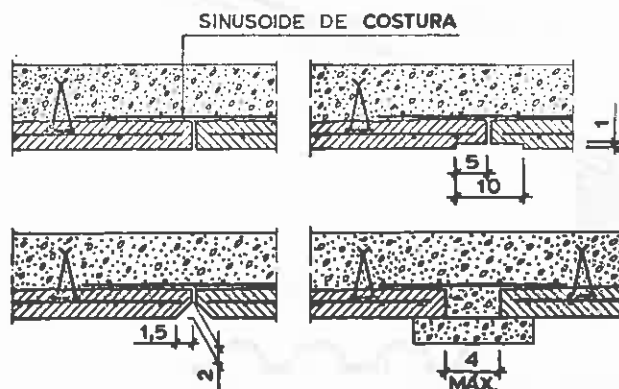


Fig. 69 — Prelajes: exemplos de juntas (16)

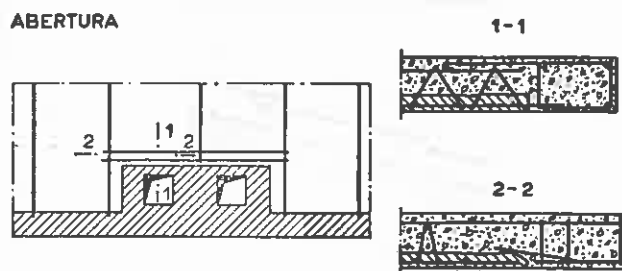
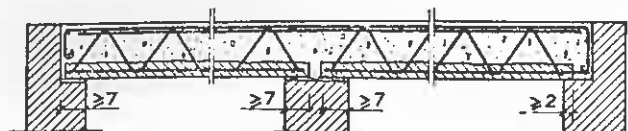
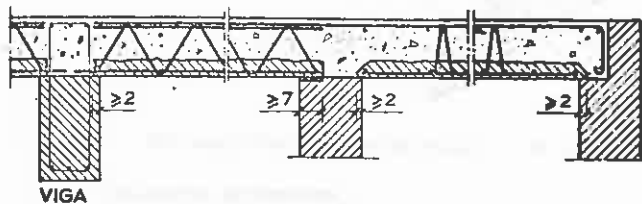


Fig. 70 — Prelajes: pormenor de abertura (16)

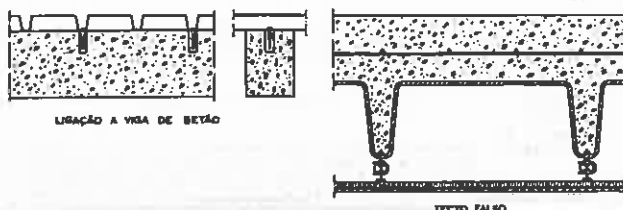


APOIOS



VIGA

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



LIGAÇÃO A VIGA DE BETÃO

TETO FALSO

Fig. 72 — Pranchas metálicas: pormenores (17)

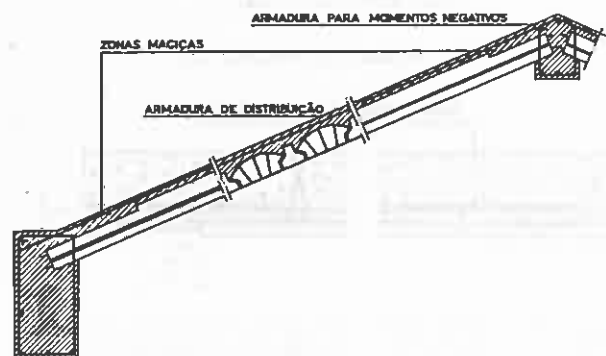


Fig. 73 — Cobertura com laje aligeirada e telha assente sobre esta

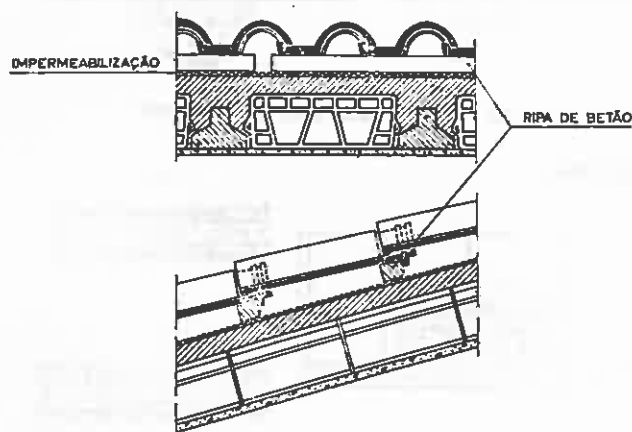


Fig. 74 — Telha sobre laje inclinada com ripado de betão (19)

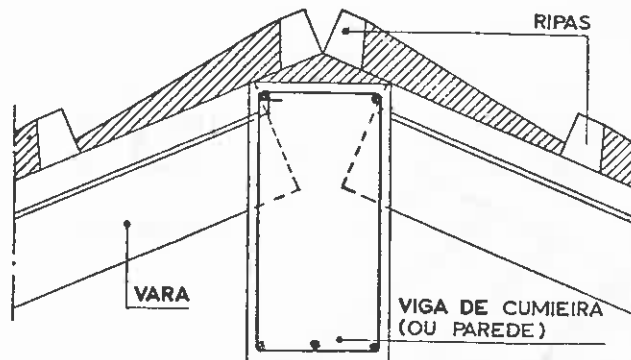


Fig. 75 — Cobertura em varas e ripas de betão

## 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
- 9 — 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