

## **Sistemas Estruturais de Edifícios Industriais Pré-Fabricados em Betão**

**Pedro Miguel dos Reis Lagartixo**

(Licenciado em Ciências da Engenharia Civil)

Dissertação para obtenção do Grau de  
Mestre em Engenharia Civil – Ramo de Construção  
pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa

Orientador: Professor Doutor Válder José da Guia Lúcio

### **Júri**

Presidente: Professor Doutor Corneliu Cismasiu

Vogal: Professor Doutor Fernando Pinho

Janeiro de 2011



---

## **Agradecimentos**

Quero desde já agradecer a todos os que de uma forma ou de outra, tornaram possível a realização deste trabalho.

Ao Professor Válter Lúcio, o meu orientador, pelo incentivo, apoio e disponibilidade prestada para me esclarecer e orientar sempre que necessário.

Aos Engenheiros Romeu Reguengos, Anisabel Moreira e João Oliveira e às empresas Concremat – Pré-fabricação e Obras Gerais, S.A., Luso Alemã – Construções e Pré-Fabricados, S.A. e Secil Prébetão – Pré-Fabricados de Betão, S.A. pelos conhecimentos, informação e material cedidos nas reuniões que tivemos.

Finalmente agradeço à minha família e amigos todo o incentivo, apoio, paciência e dedicação que demonstraram durante todo o tempo de realização desta dissertação.

---

## Resumo

A indústria da construção de edifícios industriais baseia-se em estruturas pré-fabricadas em betão, metálicas ou mistas. Actualmente, a nível nacional estima-se que 70% destes edifícios sejam de estruturas metálicas e os restantes 30% em betão pré-fabricado.

A construção em pré-fabricação tem inúmeras vantagens, entre as quais se destacam a diminuição da mão-de-obra empregue na construção e o seu tempo de construção, que conseqüentemente leva à diminuição dos custos globais de obra. A informação sobre a pré-fabricação em betão é muito generalizada, existindo pouca documentação específica sobre estes tipos de edifícios.

A realização deste trabalho advém da necessidade de reunir num só documento uma síntese dos sistemas, não só estruturais mas também construtivos relativos à pré-fabricação em betão destes edifícios, tendo requerido uma grande componente de pesquisa bibliográfica e de contactos com empresas do sector de pré-fabricação, para a compilação da informação existente.

O presente trabalho apresenta uma síntese das tipificações actualmente utilizadas relativamente aos sistemas, elementos e ligações estruturais envolvidos na concepção de edifícios industriais pré-fabricados em betão, referindo-se também algumas condicionantes importantes da sua concepção.

Segue-se uma descrição das soluções de revestimento de coberturas e fachadas comercializadas em Portugal, abordando-se ainda algumas das principais exigências de segurança e habitabilidade a que estes edifícios estão sujeitos.

Por fim faz-se uma análise respeitante aos custos envolvidos na concepção destes edifícios procurando esclarecer as despesas mais relevantes.

Palavras-Chave: pré-fabricação em betão; edifícios industriais; sistemas estruturais; elementos estruturais; sistemas construtivos.

---

## Abstract

The industry of industrial building construction is based on precast structures, which may either be steel or concrete. Currently, at national level, it is estimated that 70% of these buildings are of steel structures and the remaining 30% of concrete.

The usage of precast elements in construction has many advantages among which the main ones are the reduction in construction time and the possibility to use fewer workers at site, which consequently leads to lower total cost of work. Information on concrete precast elements is very widespread and specific documentation for these industrial buildings is almost inexistent.

This work stems from the need to assemble in a single document a summary of factors, not only structural but also constructive on the precast of concrete buildings. This was made on a wide component of literature review and contacts with business precast professionals, for the compilation of the vast existing information.

This work presents a summary of the variations on existing systems and the structural elements involved in the design of precast concrete industrial buildings, as well as some important restrictions in the their design.

Hereby is a description of methods of roof covering and facade marketed in Portugal, focusing some of the main requirements of safety and serviceability that in these buildings are subjected.

Finally the main costs in the design of these buildings are analyzed and the most significant important expenses are clarified.

Key-words: precast concrete; industrial buildings; structural systems; structural elements; constructions systems.

---

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	1
1.1	Objectivo .....	2
1.2	Organização da dissertação .....	2
<b>2</b>	<b>Pré-Fabricação em Betão</b> .....	5
2.1	Solução Pré-Fabricada .....	6
2.2	Tipos de Betão Pré-Fabricado .....	11
<b>3</b>	<b>Sistemas Estruturais em Betão Pré-fabricado</b> .....	13
3.1	Sistemas Estruturais de Edifícios Industriais .....	13
<b>4</b>	<b>Elementos Estruturais Pré-fabricados em Betão</b> .....	19
4.1	Fundações .....	19
4.2	Pilares .....	20
4.3	Vigas .....	21
4.4	Lajes .....	25
4.5	Pavimentos Têrreos .....	28
<b>5</b>	<b>Ligações Estruturais</b> .....	33
5.1	Exigências Funcionais .....	33
5.2	Tipificação de ligações .....	33
<b>6</b>	<b>Revestimentos de coberturas e de fachadas</b> .....	43
6.1	Revestimentos de coberturas .....	43
6.2	Revestimentos de fachadas .....	47
6.3	Acessórios metálicos .....	51
<b>7</b>	<b>Exigências de Segurança</b> .....	53
7.1	Normas e Regulamentos .....	53
7.2	Acções – Generalidades .....	53
7.3	Acções Variáveis: Acção do vento .....	55
7.4	Acções Temporárias: Acção dos sismos .....	56
7.5	Outras Exigências de Segurança .....	58
<b>8</b>	<b>Exigências de Habitabilidade</b> .....	61

---

8.1	Drenagem de Águas Pluviais .....	61
8.2	Conforto Térmico .....	63
8.3	Conforto Acústico.....	64
8.4	Iluminação.....	66
<b>9</b>	<b>Análise de Custos.....</b>	<b>71</b>
9.1	Caracterização dos edifícios.....	71
9.2	Cálculos .....	73
9.3	Análise de resultados.....	79
<b>10</b>	<b>Conclusões e Futuras linhas de investigação .....</b>	<b>81</b>
<b>11</b>	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>83</b>

---

## Índice de Figuras

Figura 2.1 – Zona de carpintaria da fábrica da Luso Alemã.....	7
Figura 2.2 – Zona de serralharia da fábrica da Luso Alemã .....	7
Figura 2.3 – Área de armazenamento dos constituintes do betão, para posterior recolha e mistura na fábrica da Luso Alemã .....	7
Figura 2.4 – Silos de armazenamento da fábrica da Luso Alemã.....	8
Figura 2.5 – Contentor para transporte de betão da fábrica da Luso Alemã .....	8
Figura 2.6 – Laboratório para realização de ensaios em amostras de betão da fábrica da Luso Alemã	8
Figura 2.7 – Mesas de fabrico de vigotas e de madres pré-esforçadas na fábrica da Secil Prébetão...	9
Figura 2.8 – Molde de fabrico de pilares na fábrica da Concremat.....	9
Figura 2.9 – Molde para execução de um pórtico pré-fabricado na empresa Luso Alemã.....	9
Figura 2.10 – Molde para execução de painéis pré-fabricados na empresa Luso Alemã .....	9
Figura 2.11 – Transporte especial para elemento pré-fabricado de grandes dimensões.....	10
Figura 2.12 – Transporte especial para painéis pré-fabricados com alturas significativas.....	10
Figura 2.13 – Elevação de pilar .....	11
Figura 2.14 – Posicionamento e estabilização numa ligação pilar - fundação.....	11
Figura 3.1 – Sistema pré-fabricado reticulado.....	13
Figura 3.2 – Exemplo de alternativa a solução viga/pilar .....	14
Figura 3.3 – Edifício industrial pré-fabricado em betão .....	15
Figura 3.4 – Exemplos de sistemas de edifícios industriais pré-fabricados em betão.....	15
Figura 3.5 – Aplicação de madres para suportar os revestimentos de cobertura.....	16
Figura 3.6 – Aplicação de vigas longitudinais primárias.....	16
Figura 3.7 – Elemento de cobertura especial.....	16
Figura 3.8 – Edifício industrial misto.....	17
Figura 3.9 – Distância entre vãos .....	18
Figura 4.1 – Sapata pré-fabricada em cálice.....	20
Figura 4.2 – Sapata betonada “in-situ” .....	20
Figura 4.3 – Exemplos de pilares com faces laterais rasgadas para encaixe de painéis.....	21
Figura 4.4 – Pilares de secção rectangular .....	21

---

Figura 4.5 – Dimensões de viga de cobertura.....	22
Figura 4.6 – Viga de cobertura com lanternim .....	22
Figura 4.7 – Vigas de cobertura pré-esforçadas com altura variável.....	22
Figura 4.8 – Madres pré-fabricadas pré-esforçadas .....	23
Figura 4.9 – Exemplos de secções de vigas direitas .....	23
Figura 4.10 – Viga rectangular com extremidade reentrante .....	24
Figura 4.11 – Vigas caleira com platibanda .....	24
Figura 4.12 – Vigas para beirais.....	24
Figura 4.13 – Viga de piso com armaduras para betonagem posterior da laje em obra .....	25
Figura 4.14 – Exemplos de vigas com abas laterais .....	25
Figura 4.15 – Laje alveolar .....	26
Figura 4.16 – Laje “LIVIA” da Prefabricados Castelo .....	26
Figura 4.17 – Solução de chapa colaborante comercializada pela PERFITEC .....	27
Figura 4.18 – Ilustração de solicitações actuantes em pavimentos industriais.....	28
Figura 4.19 – Piso de betão com armadura superior .....	29
Figura 4.20 – Piso de betão com armaduras superior e inferior .....	29
Figura 4.21 – Piso de betão maciço reforçado com fibras sintéticas .....	29
Figura 4.22 – Piso de betão pré-esforçado .....	30
Figura 5.1 – Exemplos de ligação pilar – fundação.....	34
Figura 5.2 – Exemplos de ligações viga - pilar sem transmissão de momentos.....	35
Figura 5.3 – Exemplos de ligações de vigas em consolas curtas.....	36
Figura 5.4 – Ligação húmida .....	36
Figura 5.5 – Ligação seca .....	36
Figura 5.6 – Ligação de continuidade entre vigas através de chapa metálica.....	37
Figura 5.7 – Ligação asna-madre: (a) Ligação com ferrolhos; (b) ligação com chapas metálicas .....	37
Figura 5.8 – Ligação de apoio simples em viga com abas laterais.....	38
Figura 5.9 – Ligação de lajes alveolares: (a) viga rectangular; (b) viga com abas laterais .....	39
Figura 5.10 – Abertura em painéis alveolares.....	39
Figura 5.11 – Ligação laje com uma viga adjacente ao vão .....	40
Figura 5.12 – Exemplo de ligação viga - pilar – laje.....	40

---

Figura 5.13 – Ligação com lâmina complementar: (a) laje alveolar; (b) laje nervurada; .....	41
Figura 6.1 – Chapa metálica: (a) chapa perfilada trapezoidal; (b) chapa perfilada ondulada; (c) chapa perfilada autoportante .....	44
Figura 6.2 – Soluções de cobertura simples de chapa metálica ondulada e trapezoidal, comercializados pela empresa ArcelorMittal .....	44
Figura 6.3 – Exemplo de aplicação de chapas translúcidas em coberturas .....	45
Figura 6.4 – Painel resistente para cobertura com impermeabilização comercializado pela empresa Arcelormittal .....	45
Figura 6.5 – Perfis ómega comercializados pela empresa BLOCOTELHA .....	46
Figura 6.6 – Exemplo de aplicação de perfis ómega em coberturas industriais .....	46
Figura 6.7 – Painel sandwich ROOFTEC com cinco nervuras.....	46
Figura 6.8 - Pormenor de ligação entre painéis sandwich da empresa PERFITEC .....	47
Figura 6.9 – Painel sandwich de superfície lisa para fachada .....	48
Figura 6.10 – Aplicação de painel sandwich WALLTEC .....	48
Figura 6.11 – Pormenor de ligação macho – fêmea entre painéis pré-fabricadas .....	49
Figura 6.12 – Painéis de betão arquitectónicos comercializados pela Concremat.....	49
Figura 6.13 – Soluções de painéis de betão .....	50
Figura 6.14 – Exemplo de aplicação de painéis GRC comercializados pela PRÉGAIA.....	50
Figura 7.1 – Classificação de acções mais importantes num edifício industrial .....	54
Figura 7.2 – Ponte rolante na fábrica da Secil Pré-betão.....	55
Figura 7.3 – “Capacity design” .....	57
Figura 7.4 – Pórtico deformável e pórtico contraventado.....	60
Figura 8.1 – Peças constituintes do sistema de drenagem de águas pluviais: A - caleira; B – Ângulo Exterior; C – União com descarga; D – Curva 90°; E – Abraçadeira; F – Tubo de queda.....	61
Figura 8.2 – Ligação directa ao tubo de queda .....	62
Figura 8.3 – Ralo de pinha metálica .....	62
Figura 8.4 – Efeito chaminé, entrada e saída de ar .....	64
Figura 8.5 – Exemplos de sistemas de iluminação industriais da empresa Schreder .....	67
Figura 8.6 – Exemplo de cobertura SHED em edifícios industriais.....	68
Figura 8.7 – Exemplos de coberturas com clarabóias e chapas translúcidas .....	69

---

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Tipos de betão pré-fabricado.....	12
Tabela 3.1 – Dimensões de vãos e alturas de edifícios industriais.....	17
Tabela 4.1 – Dimensões usuais em vigas de cobertura de secção variável “I” .....	22
Tabela 4.2 – Exemplos de tipos de lajes utilizadas em edifícios industriais .....	27
Tabela 6.1 – Exemplos de acessórios metálicos para coberturas .....	51
Tabela 8.1 – Risco e níveis de segurança com diferentes níveis sonoros contínuos ( $L_{eq}$ ).....	65
Tabela 8.2 – Tipos de lâmpadas .....	66
Tabela 9.1 – Custos por grupo de actividade de trabalhos .....	78



# 1 Introdução

O sector da construção civil é muitas vezes visto como uma indústria dispendiosa, e apresenta geralmente lacunas no controlo de qualidade e no cumprimento dos prazos de execução. A indústria da pré-fabricação parece ser a solução mais viável para a resolução deste problema uma vez que possui alternativas práticas para as lacunas existentes, assumindo-se desta forma como uma área de grande versatilidade ao nível da capacidade estrutural, da durabilidade, da execução e consequentemente menores custos em relação aos meios utilizados em obra [19].

Os sistemas estruturais pré-fabricados foram introduzidos pela primeira vez em construções industriais de grandes dimensões. O desenvolvimento e a utilização destes mesmos sistemas estruturais surgiram após a Segunda Guerra Mundial, devido à destruição da maioria das cidades. Por este motivo, houve necessidade de tornar a construção industrializada, isto é, construir em grandes quantidades e num curto espaço de tempo, transformando a pré-fabricação na solução de recurso mais viável [19].

Em Portugal a utilização de estruturas pré-fabricadas em betão armado data dos finais dos anos 40, sendo de referir a produção de asnas e de vigas triangulares. Somente nos anos 50 surgiram construções mais significativas, incluindo a execução de edifícios industriais totalmente pré-fabricados [19]. Actualmente, o recurso à prefabricação em Portugal, abrange maioritariamente a construção no campo das pontes e viadutos, assim como de outras estruturas especiais (reservatórios, recintos desportivos, etc.). São ainda utilizados elementos pré-fabricados nos edifícios de habitação, tais como pavimentos de vigotas e blocos aligeirados e também de painéis de fachada.

A pré-fabricação é uma actividade que consiste na produção de elementos fabricados que são posteriormente montados e interligados em obra, obtendo-se desta forma a estrutura final. Reconhecem-se cinco etapas na realização de uma construção pré-fabricada: concepção, produção, transporte, montagem e ligação dos elementos.

Os edifícios industriais são, salvo raras excepções, naves de grandes vãos com apenas um piso, sendo frequentemente executados em estruturas pré-fabricadas de betão armado. Todos os projectos de edifícios industriais requerem uma funcionalidade elevada abrangendo exigências como: circulação de veículos de carga e de distribuição; existência de grandes espaços para serviços; e ainda, em alguns casos, comportar outras actividades “especiais”, tornando-se um desafio para os projectistas conceber um projecto que consiga reunir todas estas condições.

O aspecto exterior destes edifícios também não pode ser deixado de parte, sendo a estética uma componente importante na sua concepção, tornando-se vantajosa para manter boas relações com os

clientes. Os sistemas de betão pré-fabricado são uma solução viável capaz de satisfazer estas e outras necessidades, tornando-se uma alternativa que pode ser vantajosa em relação a outras soluções. O presente trabalho pretende dar a conhecer algumas soluções destes edifícios, assim como algumas particularidades do seu projecto e construção.

## **1.1 Objectivo**

Esta dissertação tem como principal objectivo a elaboração de um levantamento das soluções de sistemas estruturais e construtivos existentes para edifícios industriais em estrutura pré-fabricada de betão armado.

Pretende-se ilustrar e dar a conhecer os tipos de elementos estruturais e de revestimento utilizados nestes edifícios, assim como os tipos de ligações entre estes, mencionando algumas das suas particularidades. Para além destes aspectos é finalidade desta dissertação abordar alguns aspectos singulares destes edifícios no que respeita a exigências de habitabilidade e de segurança.

Este trabalho visa também analisar os custos envolvidos no processo de construção de edifícios industriais pré-fabricados em betão.

## **1.2 Organização da dissertação**

Esta dissertação encontra-se dividida em dez capítulos incluindo a introdução e as conclusões que constituem respectivamente o primeiro e ultimo capítulo.

No segundo capítulo apresentam-se as particularidades e características de estruturas pré-fabricadas em betão, mencionando algumas das vantagens da pré-fabricação.

O terceiro capítulo é dedicado à concepção estrutural em edifícios industriais pré-fabricados, descrevendo-se as soluções mais utilizadas e respectivas dimensões.

No quarto capítulo são descritos todos os aspectos relativos aos elementos estruturais utilizados nestes edifícios, desde a sua geometria, dimensões e pormenores específicos de algumas peças pré-fabricadas.

No quinto capítulo propõe-se a tipificação das ligações estruturais nestes edifícios em função do tipo de elemento a ligar e do processo construtivo adoptado e a definição de algumas exigências funcionais das ligações.

No sexto capítulo são apresentados alguns dos sistemas de revestimento de coberturas e de fachadas mais utilizados, existentes no mercado nacional, sendo analisadas as suas características de impermeabilidade e comportamento térmico.

No sétimo capítulo analisa-se a regulamentação vigente e definem-se algumas exigências de segurança para algumas acções condicionantes nestes edifícios.

No oitavo capítulo define-se um conjunto de exigências de habitabilidade consideradas fundamentais para os edifícios industriais, referenciando os aspectos de maior importância.

No nono capítulo é realizada uma análise económica relativamente aos custos de edifícios industriais pré-fabricados em betão.

Finalmente no décimo capítulo enunciam-se as principais conclusões do presente trabalho.



## 2 Pré-Fabricação em Betão

As estruturas pré-fabricadas distinguem-se das estruturas monolíticas (betonadas “in-situ”) pelo facto da produção dos seus elementos ser realizada num local diferente do qual se destina a obra. Estas estruturas pré-fabricadas são normalmente produzidas em fábricas ao contrário da produção das estruturas monolíticas que ocorre no local da construção, ou seja no estaleiro de obra.

Nas estruturas pré-fabricadas as ligações entre os elementos individuais são efectuadas em obra de modo a restituir, ainda que por vezes parcialmente, o grau de monolitismo comumente apresentado pelas estruturas moldadas no local [38].

Aspectos como a qualidade e a rapidez de execução são garantidos numa construção com elementos pré-fabricados. A pré-fabricação apresenta inúmeras vantagens que contribuem inegavelmente para o seu sucesso, realçando-se [19]:

- **Controlo** – na produção dos elementos pré-fabricados, seja de matérias-primas, armaduras, betão, moldes ou produto final;
- **Qualidade do betão** – garante que as peças sejam compostas por classes superiores de betões com elevadas resistências iniciais;
- **Durabilidade** – conseguida com o fabrico de betões de qualidade, controlando o recobrimento das armaduras e pela garantia de compactação (devido à possibilidade de utilizar vibração na cofragem durante a betonagem);
- **Resistência ao fogo** – garantida pelo recobrimento das armaduras e principalmente pela densidade das peças;
- **Bom isolamento térmico e acústico** – pela densidade das peças, pelo correcto posicionamento de elementos incorporados e pela execução perfeita das juntas entre elementos;
- **Controlo dimensional** – o fabrico é realizado geralmente em moldes metálicos, sendo estes praticamente indeformáveis e sujeitos a um controlo regular;
- **Superfícies** – apresentam-se cuidadas, com arestas tratadas e com bom aspecto, próprio do sistema de fabrico;
- **Carácter evolutivo** – a composição de estruturas modulares permite uma infinidade de soluções, adaptando-se às mais variadas situações de mercado;
- **Economia** – necessidade de menor quantidade de mão-de-obra e de utilização de elementos auxiliares (andaimos, estruturas provisórias, escoramentos, cofragens ou taipais), comparativamente com a construção tradicional;
- **Maior flexibilidade** – nos métodos construtivos, função da estrutura a executar e dos elementos a montar;

- **Adaptabilidade** – às circunstâncias do meio urbano permitindo que se obtenha várias soluções estruturais compatíveis com as necessidades;
- **Disponibilidade das peças pré-fabricadas** – a resistência dos betões num período de 24h/48h é idêntica às da construção tradicional aos 28 dias;
- **Prazo de execução** – reduzido, já que em obra apenas se procede à execução das fundações e à montagem dos elementos pré-fabricados, sendo a sua produção independente das condições atmosféricas.

## 2.1 Solução Pré-Fabricada

A construção de uma estrutura pré-fabricada em betão pode ser definida em 4 fases distintas: concepção; produção; transporte, processos de montagem e ligação dos elementos. Durante a execução de edifícios, processos como a produção, o transporte e a montagem, são por vezes negligenciados, o que tem repercussões directas no processo construtivo, podendo aumentar os custos e prazos de obra [19,29].

A fase da **concepção** da estrutura é de extrema importância e engloba duas fases: uma fase de projecto muito detalhada e sem espaço para imprevistos; e outra fase de planeamento rigoroso, que assegure a coordenação entre as diferentes fases e garanta a eficiência do projecto, conseguindo desta forma reduzir prazos e custos de construção [19,29].

A **produção** de um sistema pré-fabricado pode ser dividida entre os trabalhos preparatórios executados no local da obra (execução de escavações e fundações para posterior montagem e ligação com os elementos pré-fabricados) e a produção dos elementos estruturais na fábrica [19,29].

De modo a garantir uma produção eficaz devem assegurar-se vários aspectos como: a auto-suficiência das centrais de betonagem; ser prevista a optimização dos moldes dos diferentes elementos; e garantir o controlo regular dos produtos, assim como a sua identificação e registo de inspecção [19,29].

As fábricas de pré-fabricação possuem diferentes áreas correspondendo estas aos vários processos de produção até à conclusão do elemento pré-fabricado. Podem distinguir-se 4 áreas de pré-fabricação: serralharia e carpintaria; fabrico e controlo de betão; produção; e armazenamento.

A zona de serralharia e carpintaria ilustradas na figura 2.1 e figura 2.2, é o espaço onde se localizam todos os materiais e maquinaria necessários para a execução dos moldes, das armaduras e de todos os acessórios necessários para a execução das peças pré-fabricadas.



**Figura 2.1 – Zona de carpintaria da fábrica da Luso Alemã**



**Figura 2.2 – Zona de serralharia da fábrica da Luso Alemã**

A área de fabrico e controlo de betão é um espaço onde são armazenados os constituintes do betão (agregados – figura 2.3, cimento – figura 2.4, e outros) e realizada a mistura dos constituintes do betão e onde se executam os ensaios das amostras de betão garantindo que satisfazem as exigências de segurança e bom funcionamento da estrutura.

Normalmente a produção do betão é efectuada através de controlo manual da maquinaria, no entanto temos o exemplo da empresa Luso Alemã S.A., que instalou um sistema automático que permite ao engenheiro responsável introduzir os valores da percentagem dos constituintes do betão.



**Figura 2.3 - Área de armazenamento dos constituintes do betão para posterior recolha e mistura da fábrica da Luso Alemã**

Após a mistura dos constituintes, o betão é utilizado na betonagem de peças. Como ilustra a figura 2.5, o betão é transportado através de contentores que se deslocam em carris ou por tapetes transportadores até ao local onde se encontram os moldes para a betonagem da peça.



**Figura 2.4 – Silos de armazenamento da fábrica da Luso Alemã**



**Figura 2.5 – Contentor para transporte de betão da fábrica da Luso Alemã**

Para garantir todas as exigências estruturais existem laboratórios na fábrica para efectuar os ensaios necessários, como ilustra a figura 2.6.



**Figura 2.6 – Laboratório para realização de ensaios em amostras de betão da fábrica da Luso Alemã**

A zona de produção é o espaço onde se executa a betonagem das peças pré-fabricadas. A produção possui recursos tecnológicos como: moldes metálicos; mesas vibradoras e sistemas de vibração à cofragem; cura por vapor ou com pavimentos radiantes; e utilização de acessórios incorporados que garantem elevado controlo e qualidade.

Como ilustram as figuras 2.7, 2.8, 2.9 e 2.10, existem vários moldes para fabrico de peças pré-fabricadas. Algumas empresas trabalham com moldes standard como é o caso da Secil Prébetão e da Concremat. No caso da Luso Alemã esta não possui moldes standards, exceptuando o molde de “acordeão” para painéis pré-fabricados, fabricando moldes de acordo com o pretendido pelo cliente.



Figura 2.7 – Mesas de fabrico de vigotas e de madres pré-esforçadas na fábrica da Secil Prébetão



Figura 2.8 – Molde de fabrico de pilares na fábrica da Concremat



Figura 2.9 – Molde para execução de um pórtico pré-fabricado na empresa Luso Alemã



Figura 2.10 – Molde para execução de painéis pré-fabricados na empresa Luso Alemã

Após fase de betonagem e cura das peças pré-fabricadas, estas são transportadas para a zona de armazenamento das fábricas, na maioria dos casos por meio de pontes rolantes, donde são finalmente transportadas para o local de obra.

O **transporte** é uma etapa fundamental no processo de construção de estruturas pré-fabricadas, uma vez que garante a junção entre a fase de produção e fase de montagem dos elementos estruturais em obra.

Os meios para efectuar o transporte requerem cuidados especiais de modo a garantir a segurança dos elementos estruturais. Para evitar danos nos elementos pré-fabricados devem ser previstos e estudados métodos de elevação e posicionamento, para realizar este processo de modo eficaz. [19,29].

Para o transporte dos elementos até à obra existem várias alternativas de veículos como ilustram as figuras 2.11 e 2.12. Os transportes correntes permitem transportar peças até 2,5 m de largura, 25 de

comprimento e 25 toneladas, enquanto que para elementos com maiores dimensões ou peso são necessários transportes especiais [29].



Figura 2.11 - Transporte especial para elemento pré-fabricado de grandes dimensões (extraída de [28])



Figura 2.12 – Transporte especial para painéis pré-fabricados com alturas significativas

A etapa final do processo de construção da estrutura pré-fabricada é a **montagem** das peças estruturais. Esta fase engloba 5 processos: elevação; posicionamento; estabilização; execução das ligações; e betonagens em obra.

Para um processo de montagem eficaz é importante existir uma boa coordenação de entrega e de armazenamento em obra dos elementos pré-fabricados. É de extrema importância que os elementos sejam montados e ligados o mais rapidamente, de modo a evitar o armazenamento em excesso no local de obra e eventuais acidentes [19,29].

A fase de elevação é feita geralmente por meio de guas móveis. Esta etapa requer uma análise prévia cuidada de modo a definir os pontos de suspensão garantindo que as correspondentes forças, não introduzam fendilhação excessiva nos elementos ou provoquem o seu colapso e acidentes que coloquem em risco a segurança dos trabalhadores, dos equipamentos e da própria estrutura [37].



Figura 2.13 – Elevação de pilar (extraída de [28])

A figura 2.13 ilustra as fases de posicionamento e estabilização dos elementos. Estas exigem cuidados que assegurem a eficácia e a estabilidade dos apoios, sejam estes provisórios ou definitivos, de forma a minimizar riscos de possíveis danos e de comportamentos inadequados [37].



Figura 2.14 – Posicionamento e estabilização numa ligação pilar - fundação (extraída de [28])

Finalmente realiza-se a fase do *fecho das ligações* como demonstra a figura 2.14. A realização das ligações deve ser simples, económica e envolver um número reduzido de operações e de diferentes especialidades, dando-se preferência a ligações como o encaixe, aparafusamento e betonagens em que não sejam necessárias cofragens complexas.

## 2.2 Tipos de Betão Pré-Fabricado

O betão pré-fabricado é normalmente produzido em instalações fabris independentes do local de obra, no entanto, pode ser produzido em estaleiro, em instalações provisórias criadas para produzir em série um determinado tipo de elementos [29].

As peças pré-fabricadas podem ser classificadas de acordo com: o local de pré-moldagem; a secção transversal; o peso dos elementos; e/ou pela sua função como representa a tabela 2.1.

**Tabela 2.1 - Tipos de betão pré-fabricado**

	<b>Local de pré-moldagem</b>	<b>Secção transversal</b>	<b>Peso dos elementos</b>	<b>Função</b>
<b>Tipos de betão pré-fabricado</b>	Estaleiro/Obra	Completa	Pesado	Estrutural
	Fábrica	Parcial	Leve	Arquitectónica

Quanto à secção utilizada, o elemento pré-fabricado com secção completa é executado de modo que a sua secção resistente seja totalmente executada em fábrica. Na aplicação deste tipo de pré-fabricado pode ocorrer também a utilização de betão moldado no local, em ligações ou regularização, não ampliando a secção resistente. No caso do elemento pré-fabricado com secção parcial apenas parte da secção resistente final é moldada em fábrica, sendo posteriormente completa na posição de utilização definitiva com betão moldado no local. Com a utilização deste tipo de elementos, há maior facilidade na realização das ligações, além da betonagem no local proporcionar um certo grau de monolitismo à estrutura [12].

Relativamente à categoria do peso do elemento, a distinção entre pré-fabricação “leve” e “pesada” é subjectiva e circunstancial, ou seja, o elemento pré-fabricado “pesado” é um elemento que necessita de equipamentos especiais para o transporte e montagem ao contrário do pré-fabricado “leve” [12].

A função dos elementos pré-fabricados pode ser estrutural ou arquitectónica, em que no estrutural não existem grandes preocupações estéticas, ao contrário dos elementos arquitectónicos em que se dá importância à aparência, possuindo acabamentos especiais ou padronizados no que se refere a cores, formas e texturas. Estes tipos de acabamentos podem ser de maior grau (aplicação de agregados expostos, polimentos, corantes, tijolos cerâmicos, pedra, etc.) ou menor grau aplicando-se apenas cuidados especiais na cofragem e na qualidade dos betões para evitar falhas superficiais [12].

O tipo de utilização dos elementos (estruturais ou arquitectónicos) vai influenciar na qualidade dos betões usados na sua fabricação, alterando significativamente os níveis de resistência dos elementos. Por exemplo, são usados para elementos estruturais betões de classe C30/37 no caso de betões armados e de classe C40/50 para betão pré-esforçado. Quando a finalidade do betão é para elementos arquitectónicos onde se exigem outros tipos de acabamentos, existem soluções de betões coloridos.

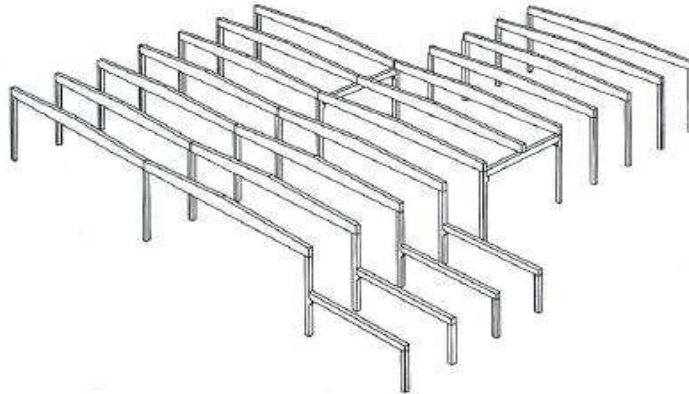
### 3 Sistemas Estruturais em Betão Pré-fabricado

A concepção das estruturas pré-fabricadas de edifícios tem como base alguns sistemas estruturais simples. Estes sistemas podem ser combinados de diferentes formas de modo a obter uma solução eficiente que cumpra as necessidades específicas do edifício. Os sistemas mais comuns são [17]:

- Sistemas reticulados (elementos de viga, elementos de pilar, ligações)
- Sistemas de pavimento e de cobertura (elementos de piso, elementos de cobertura, ligações)
- Sistemas de paredes resistentes (elementos de parede, ligações)
- Sistemas de parede de fachada (painéis de fachada, ligações)
- Sistemas de estruturas celulares (elementos em caixão)

#### 3.1 Sistemas Estruturais de Edifícios Industriais

Os edifícios industriais são projectados e construídos usando sistemas reticulados, como demonstra a figura 3.1, incluindo, por vezes, elementos pré-fabricados na cobertura (madres), elementos de pavimento quando existem pisos intermédios, e painéis de fachada.



**Figura 3.1 - Sistema pré-fabricado reticulado (extraída de [17])**

Os edifícios industriais são edifícios onde as acções gravíticas são geralmente reduzidas, sendo o vento a acção mais condicionante no dimensionamento da estrutura [29]. No entanto, na fase de projecto é importante considerar alguns aspectos particulares em relação ao comportamento da estrutura, dos painéis de fachada e de algumas ligações estruturais em relação à acção sísmica.

Na indústria da pré-fabricação a concepção dos sistemas estruturais está normalmente associada directamente ao fabricante. As empresas possuem os seus próprios sistemas e elementos estruturais

como forma de protecção da sua marca comercial e procuram ganhar vantagem competitiva em relação à concorrência [46].

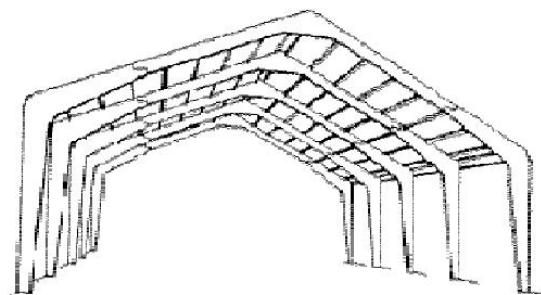
Na realidade, apesar de existirem várias marcas comerciais de estruturas pré-fabricadas, as soluções são idênticas. Os tipos de edifícios industriais podem resumir-se a:

- Edifícios de um só piso
- Edifícios de 2 a 3 pisos mistos

Segundo Lúcio (2000) [29], as ligações aplicadas neste tipo de estruturas são:

- Ligação pilar-fundação – ligação com encastramento total do pilar na fundação, uma vez que o esforço principal na ligação é o momento devido à acção do vento nas fachadas e devido à acção dos sismos;
- Ligações de continuidade entre as vigas longitudinais e os pilares – dimensionadas para pequenos esforços de flexão e normalmente executada com betonagem em obra da extremidade superior do pilar;
- Ligação entre a asna e o pilar – sem capacidade de transmissão de momentos, constituída por aparafusamento de ferrolhos salientes da cabeça do pilar ou por betonagem de armaduras salientes da cabeça do pilar e das extremidades da asna;
- Ligação das madres às asnas, usualmente com chapas metálicas aparafusadas à asna.

Apesar de serem pouco utilizados, existem outros sistemas em que é dada continuidade na ligação da asna ao pilar. Estes sistemas são formados por pórticos transversais com um maior grau de hiperstata do conjunto e reduzindo os esforços na base dos pilares como demonstra a Figura 3.2.



**Figura 3.2 - Exemplo de alternativa a solução viga/pilar (extraída de [20])**

### 3.1.1 Edifícios Industriais de um só piso

Estes edifícios apresentam apenas 1 piso, o piso térreo como ilustra a figura 3.3. A estrutura pré-fabricada de um edifício industrial é normalmente composta por vários pórticos. Estes pórticos são geralmente compostos por dois pilares encastrados na base e uma viga de cobertura (asna) simplesmente apoiada nos pilares. Na maioria dos casos o edifício é estabilizado através do encastramento dos pilares nas fundações. As cargas horizontais que actuam nas fachadas são distribuídas pelos pilares através da cobertura ou pavimentos, os quais funcionam como diafragma.



Figura 3.3 – Edifício industrial pré-fabricado em betão

A distância entre os pórticos varia em função do vão da cobertura. No caso de distâncias entre pórticos até 5 ou 6 m, os elementos de revestimento da cobertura podem ser suportados directamente nas vigas, dispensando o uso de vigas de cobertura secundárias (madres) [20]. As vigas de cobertura são normalmente de secção variável (triangulares).

Como ilustra a figura 3.4, existem vários sistemas de vãos em edifícios pré-fabricados em betão.

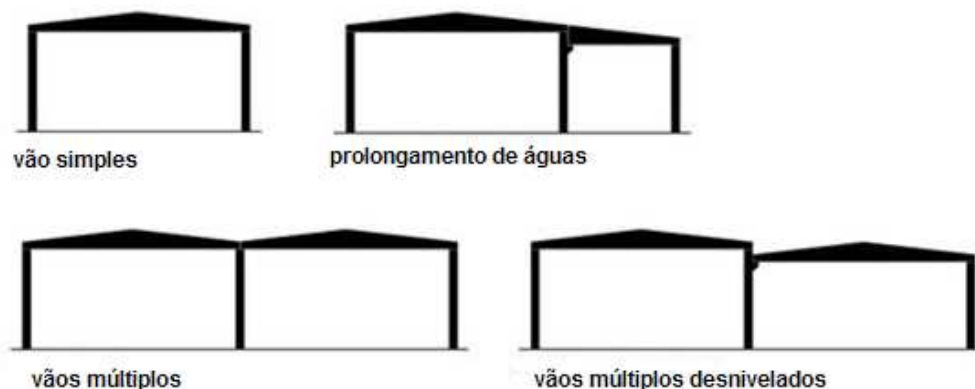
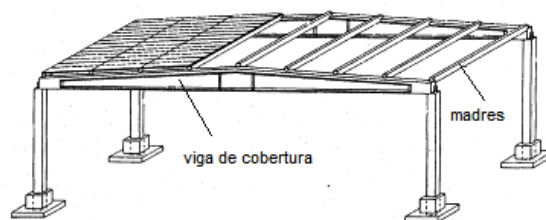
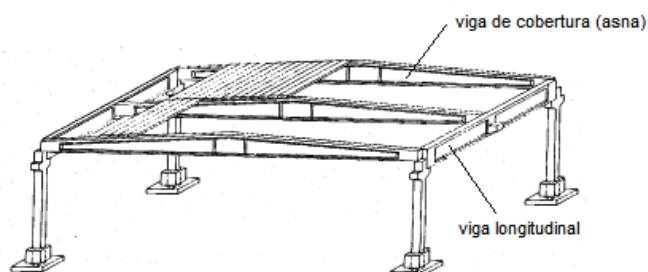


Figura 3.4 – Exemplos de sistemas de edifícios industriais pré-fabricados em betão [extraída de 29]



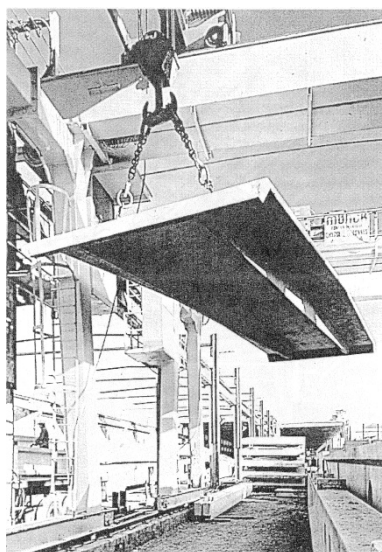
**Figura 3.5 – Aplicação de madres para suportar os revestimentos de cobertura (adaptada de [20])**

Normalmente são usadas madres apoiadas nas vigas principais para suportar o revestimento da cobertura, como ilustra a figura 3.5. Em casos especiais de vãos grandes entre pórticos, podem ser usadas vigas longitudinais primárias que apoiam nos pilares das fachadas e suportam as vigas principais da cobertura, como representa a figura 3.6.



**Figura 3.6 – Aplicação de vigas longitudinais primárias (adaptada de [20])**

Embora o uso deste tipo de elementos não seja muito corrente hoje em dia em Portugal podem ser utilizados elementos de cobertura especiais, como ilustra a Figura 3.7.



**Figura 3.7 - Elemento de cobertura especial (extraída de [20])**

A Tabela 3.1 apresenta alguns valores em relação às dimensões dos vãos e da altura dos edifícios industriais pré-fabricados em betão.

**Tabela 3.1 - Dimensões de vãos e alturas de edifícios industriais (adaptada de [20])**

	Vão (m)			Altura (m)
	Viga de Cobertura (asna)	Viga de Cobertura Secundária (madre)	Viga de cobertura de empena	Pilar
<b>Mínimo</b>	12	4	6	4
<b>Ótimo</b>	18 - 32	7 - 12	12	8
<b>Máximo</b>	40	12	24	20

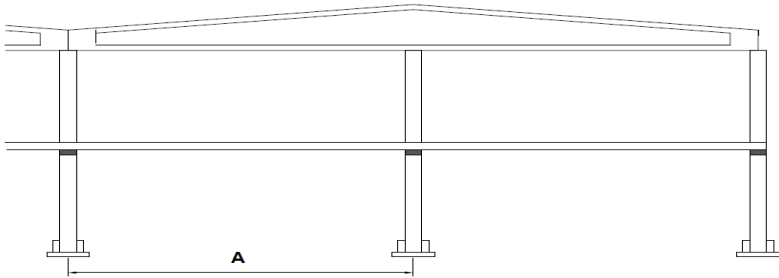
### 3.1.2 Edifícios Industriais mistos de 2 a 3 pisos

Os edifícios industriais são construídos normalmente como estruturas de piso único, exceptuando casos em que são necessárias zonas para escritórios, sendo executados pisos intermédios na totalidade ou em parte do edifício resultando edifícios com 2 a 3 pisos como ilustra a figura 3.8.



**Figura 3.8 – Edifício industrial misto (extraída de [63])**

Estes sistemas estruturais são idênticos aos anteriores, assistindo-se a uma diminuição dos vãos e ao aumento das secções dos elementos estruturais para fazer face às cargas gravíticas actuates nos pavimentos e às acções sísmicas [42]. A distância entre pilares (ver a dimensão A na figura 3.9) varia normalmente entre 4 a 20 m, dependendo das cargas actuates e do tipo de laje adoptado [20].



**Figura 3.9 – Distância entre vãos**

## 4 Elementos Estruturais Pré-fabricados em Betão

Actualmente as soluções de elementos pré-fabricados em betão são variadas e adaptáveis a diversos tipos de necessidades. Nas últimas duas décadas as soluções estruturais têm evoluído para soluções mais complexas, procurando a optimização de todas as componentes do edifício com a finalidade de as tornar mais eficientes e económicas [2].

De uma forma geral a concepção de edifícios pré-fabricados pode ser feita utilizando:

- **Elementos standard** – são elementos com secções e formas de utilização repetida, sendo fabricados segundo técnicas e moldes já existentes;
- **Elementos não-standard** – são elementos únicos desenhados e produzidos especificamente para projectos específicos.

### 4.1 Fundações

As sapatas, estacas e vigas de fundação são as soluções disponíveis para a concepção de elementos de fundação pré-fabricados. Em Portugal, apesar de existirem soluções de fundação pré-fabricadas os elementos de fundação adoptados são muitas vezes betonados “in-situ” e posteriormente ligados aos pilares.

A escolha das fundações betonadas “in-situ” deve-se a vários factores dos quais é importante realçar: a menor qualidade do betão normalmente exigido para as fundações em relação ao betão usado nos elementos pré-fabricados; ao peso elevado dos elementos de fundação, que dificultam os processos de transporte e montagem; e às vantagens que existe em ter, na fase inicial da obra, duas frentes de trabalho, a frente da obra com as escavações e as fundações, enquanto que na fábrica se produzem os elementos pré-fabricados.

As fundações em sapata pré-fabricada podem apresentar formas variadas, sendo a solução mais corrente um pedestal saliente na face superior da fundação, em forma de caixa, destinado a acomodar a extremidade inferior do pilar. Noutras situações a sapata é constituída por um bloco que incorpora a cavidade para alojamento do pilar como ilustra a Figura 4.1 [46].



**Figura 4.1 - Sapata pré-fabricada em cálice (extraída de [11])**

No caso de serem executadas “in situ”, as sapatas podem ser realizadas numa só fase deixando um negativo para o encastramento posterior dos pilares, ou em duas fases realizando-se uma pré-sapata com um aro metálico chumbado ao qual são fixados os pilares, sendo de seguida betonada a restante sapata. A figura 4.2 exemplifica uma sapata betonada “in-situ” [44].

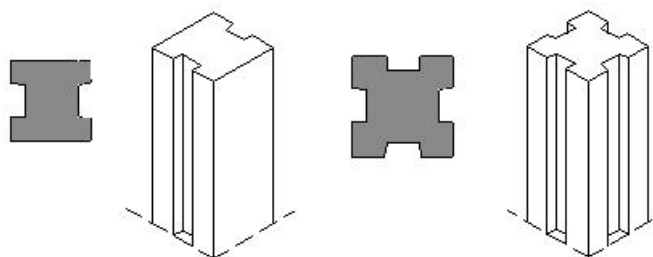


**Figura 4.2 – Sapata betonada “in-situ” (extraída de [41])**

## **4.2 Pilares**

Os pilares pré-fabricados utilizados em edifícios industriais apresentam normalmente secções transversais rectangulares, podendo variar consoante o fabricante ou o projecto. O comprimento dos pilares vai normalmente até 12 m de altura, variando de acordo com o projecto de arquitectura e de engenharia, e também consoante os processos de transporte e de montagem [16,44].

As secções transversais dos pilares requerem normalmente uma dimensão mínima de 300 mm, de modo a que a ligação viga/pilar seja possível [20]. Ao longo do seu comprimento os pilares podem acomodar consolas curtas em qualquer posição, para a colocação de pontes rolantes por exemplo, muito usuais neste tipo de edifícios. As faces laterais podem ser lisas ou com rasgos verticais, como mostra a figura 4.3, para permitir o encaixe de painéis de parede [44].



**Figura 4.3 – Exemplos de pilares com faces laterais rasgadas para encaixe de painéis (adaptada de [68])**

No topo dos pilares ou das consolas curtas existem ferrolhos roscados, ou outros tipos de acessórios adequados, para a ligação com outros elementos estruturais. A posição destes acessórios é variada para garantir qualquer tipo de ligação [44]. A zona inferior dos pilares, como ilustra a figura 4.4, pode ter um acabamento rugoso de modo a melhorar a aderência entre o pilar e as paredes do negativo da sapata.



**Figura 4.4 – Pilares de seção retangular**

### 4.3 Vigas

Existe uma vasta gama de vigas pré-fabricadas para edifícios industriais, apresentando vários tipos de aplicações, secções e dimensões. Em termos funcionais as vigas podem distinguir-se em:

- Vigas principais de cobertura
- Vigas secundárias de cobertura ou madres
- Vigas direitas para fins múltiplos
- Vigas de piso
- Vigas caleira
- Vigas platibanda

As **vigas principais de cobertura** são normalmente de secção em “I” e destinam-se a receber as madres. Possuem altura e/ou inércia variável com inclinações entre 5 a 12%, como mostra a figura 4.5 [46].

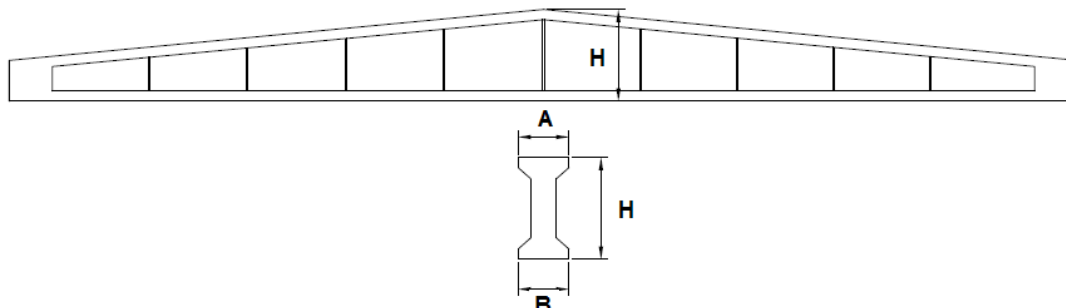


Figura 4.5 – Dimensões de viga de cobertura

A tabela 4.1 indica as dimensões de largura e altura em função do vão.

Tabela 4.1- Dimensões usuais em vigas de cobertura de secção variável “I” (extraída de [20])

Vão (m)	A (mm)	B (mm)	H (mm)
10 - 25	250 - 300	250 - 400	800 – 1400
15 - 30	300 - 400	300 - 500	1200 – 2000
25 - 40	300 - 500	400 - 600	1300 – 2500

Para vãos superiores a 25 metros algumas empresas transportam até à obra as vigas em 2 partes separadas, sendo aí ligadas com pós-esforço antes de se proceder à montagem. Até aos 25 metros as vigas são geralmente pré-esforçadas por pré-tensão, como mostra a figura 4.7.

As vigas de cobertura podem incorporar uma estrutura no vértice superior para melhoramento estético, de ventilação ou de iluminação, tipo lanternim, como demonstra a figura 4.6 [44].



Figura 4.6 – Viga de cobertura com lanternim (extraída de [41])



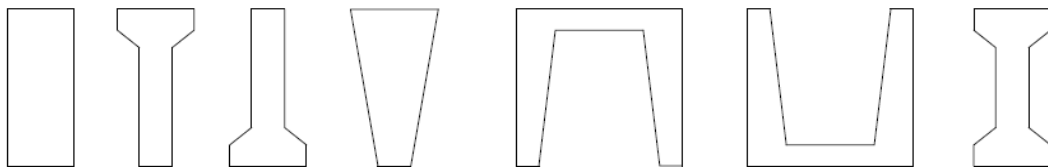
Figura 4.7 – Vigas de cobertura pré-esforçadas com altura variável

As **vigas secundárias de cobertura** ou madres como ilustra a figura 4.8, têm comprimentos de 2,5 a 14 metros e a altura da secção transversal, pode variar de 120 a 500 milímetros, sendo normalmente pré-esforçadas por pré-tensão.



**Figura 4.8 – Madrões pré-fabricados pré-esforçados**

As **vigas direitas para fins múltiplos** como representa a figura 4.9, são utilizadas para suporte de coberturas e como elementos de travamento, podendo também ser aplicadas em grandes vãos (entre 10 a 35 m), em pavimentos com cargas elevadas ou em casos em que seja necessário suportar pontes rolantes [20].



**Figura 4.9 – Exemplos de secções de vigas direitas**

As vigas de secção rectangular são as mais comuns, e como se verifica na figura 4.10 podem apresentar uma extremidade reentrante formando um dente, para facilitar o apoio nas consolas curtas dos pilares. São utilizadas em vãos de 4 a 14 m [46].



**Figura 4.10 – Viga rectangular com extremidade reentrante**

Em alguns casos são usadas vigas caleira, vigas platibanda e também vigas destinadas a beirais na construção de sistemas de coberturas, como exemplificam as figuras 4.11 e 4.12 [16,65].



**Figura 4.11 – Vigas caleira com platibanda  
(extraída de [44])**



**Figura 4.12 – Vigas para beirais  
(extraída de [44])**

As **vigas de pisos**, figura 4.13, são utilizadas para servirem de apoio às lajes dos pisos intermédios, podendo funcionar simultaneamente como elementos de travamento das estruturas. Este tipo de vigas apoia-se directamente sobre pilares ou indirectamente, através de consolas curtas.



Figura 4.13 – Viga de piso com armaduras para betonagem posterior da laje em obra (extraída de [44])

Existem vigas de secção transversal rectangular, em I, L, ou T invertido e soluções variadas de vigas largas com abas laterais para apoio dos painéis da laje, como ilustra a figura 4.14. Estas vigas permitem vencer vãos de 4 m a 20 m e a sua secção transversal varia em função do fabricante, da dimensão dos vãos, das cargas associadas e dos elementos de ligação [46].

A utilização de vigas com abas laterais é vantajosa quando existe limitação na altura dos pavimentos, sendo no entanto uma solução mais difícil de fabricar devido às saliências, reentrâncias e arestas vivas. É também uma solução menos económica do que a tradicional viga rectangular para fins múltiplos.

A largura da viga também depende da existência de pré-esforço por pós-tensão, pois pode ser necessário incluir na sua largura as cabeças de ancoragem [46].

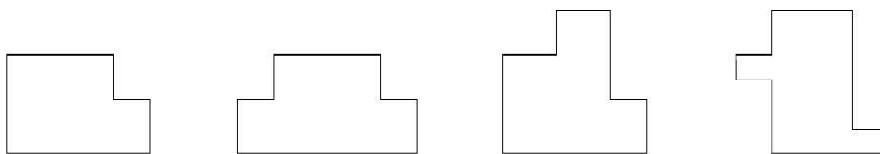


Figura 4.14 – Exemplos de vigas com abas laterais

## 4.4 Lajes

A principal função estrutural das lajes é resistir às cargas gravíticas e funcionar como diafragma transmitindo aos pilares e às vigas as cargas horizontais (acção do vento e do sismo). As lajes pré-fabricadas necessitam, geralmente, de uma camada de betão complementar, não apenas para resistir à flexão, mas também para criar o diafragma ao nível do piso. A superfície superior das lajes pré-fabricadas deve ser rugosa de modo a garantir uma boa aderência à camada de betão complementar [40].

A escolha da solução de laje pré-fabricada será em função das cargas, do vão a vencer e do escoramento a utilizar ou não, durante a fase da betonagem [29]. As lajes mais comuns utilizadas nos edifícios industriais no mercado são as lajes alveolares pré-esforçadas e as lajes nervuradas.

Os **pavimentos de lajes alveolares pré-esforçadas** são compostos por painéis alveolares pré-fabricados pré-tensionados longitudinalmente dispostos lado a lado. Estas pranchas têm geralmente largura constante (1.20 m) e comprimento igual ao vão a vencer. As lajes alveolares vencem vãos até 20 m e as espessuras das pranchas podem variar entre 0,12 m a 0,8 m [31].

A existência dos alvéolos corresponde a uma redução do peso próprio e melhora o seu isolamento térmico. Estas lajes são autoportantes, não necessitam de escoramento, traduzindo-se numa maior velocidade de execução dos pavimentos [2,31].

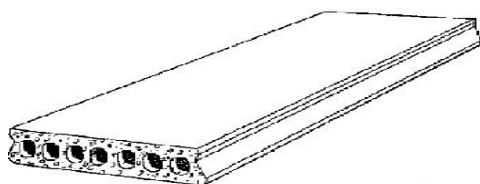
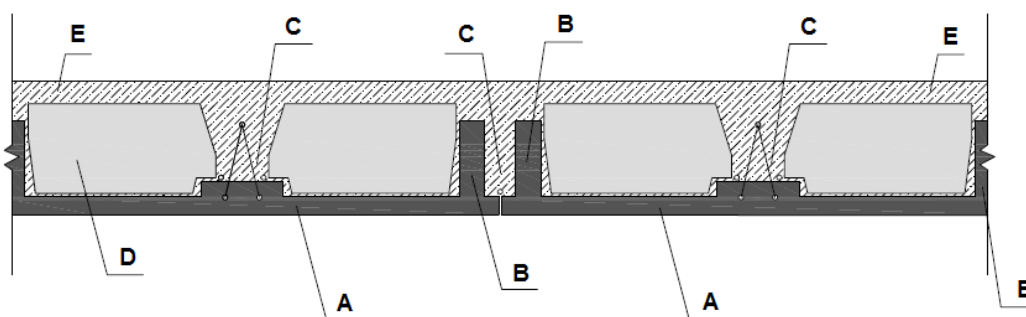


Figura 4.15 – Laje alveolar ([extraída de 44])

As **lajes nervuradas “LIVIA”** são fabricadas em Portugal pela empresa Prefabricados Castelo. São pranchas pré-fabricadas pré-esforçadas que são comercializadas com larguras de 1.20 ou de 0.90 m. Possuem três nervuras espaçadas de 0,60 m entre si. As nervuras laterais têm uma altura de 0.22 m, variando a altura do aligeiramento em função da espessura da laje. Esta laje pode atingir vãos superiores a 10 m e é autoportante, dispensando escoramentos.





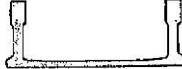



A – Banzo inferior  
B – Nervura lateral

C – Nervo central com armadura de ligação ou reforço  
D – Aligeiramento em poliestireno expandido  
E – Betão complementar betonado em obra

Figura 4.16 - Laje “LIVIA” da Prefabricados Castelo

A Tabela 4.2 ilustra outros tipos de elementos pré-fabricados para lajes utilizadas em edifícios industriais e as suas dimensões.

Tabela 4.2 - Exemplos de tipos de lajes utilizadas em edifícios industriais (adaptada de [20])

Tipo de Pavimento		Vão máximo (m)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Peso unitário (kN/m <sup>2</sup> )
Nervurado		≤ 24 (30)	200 - 800	1200 - 2400	2.1 - 5.0
		≤ 9	150 - 300	600	1.45 - 3.5
		≤ 20	200 - 700	1200	1.75 - 6.9
		≤ 30	600 - 1200	1500 - 5000	3.0 - 3.6
Maciço		≤ 7.2	100 - 200	600 - 2400	2.4 - 4.8
Laje de vigotas		≤ 7.2	150 - 350	600 - 2400	1.0 - 3.0

Para a construção de **pisos intermédios** existem soluções de chapas colaborantes que podem substituir os sistemas tradicionais de lajes alveolares ou pré-lajes utilizadas nestes edifícios. Estas chapas são comercializadas pela **PERFITEC** e apresentam um perfil trapezoidal de aço galvanizado, ideais para lajes mistas e cofragens em betão.

As chapas colaborantes não são normalmente utilizadas na construção destes edifícios, uma vez que estes são praticamente constituídos por betão pré-fabricado. Não é coerente aplicar-se um elemento totalmente metálico, existindo na gama de produtos pré-fabricados em betão outras soluções mais viáveis. No entanto é possível utilizar esta solução numa construção em betão pré-fabricado, embora só seja aplicado por norma em estruturas totalmente metálicas.



Figura 4.17 – Solução de chapa colaborante comercializada pela PERFITEC (adaptada de [65])

## 4.5 Pavimentos Têrreos

Os pavimentos assumem uma importância significativa nos sistemas construtivos industriais, uma vez que toda a produção, comercialização e movimentação é desenvolvida sobre estes, estando sujeitos a esforços estáticos, esforços dinâmicos, a acções químicas e lavagens frequentes, daí a sua importância extrema. [46]

Comparativamente às exigências existentes em outros tipos de edifícios, como por exemplo edifícios de habitação, os pavimentos industriais possuem factores aos quais é dada uma atenção relevante, como por exemplo aspectos relacionados com resistências químicas e mecânicas, ou até mesmo com a sua durabilidade. É importante salientar que a estética neste tipo de pavimentos não é indispensável, enquanto noutros tipos de edifícios é de extrema importância. [46]

Desta forma, como demonstra a figura 4.18, a escolha de um pavimento industrial deve obedecer a determinados critérios entre eles a adequabilidade ao uso e às solicitações a que este estará envolvido.

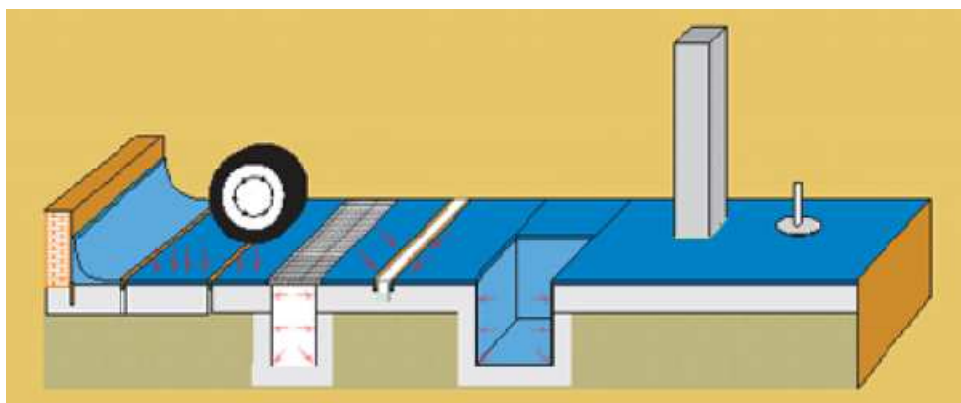


Figura 4.18 – Ilustração de solicitações actuantes em pavimentos industriais (extraída de [46])

Podem-se diferenciar quatro tipos de soluções para pisos têrreos: pisos de betão com armadura superior; pisos de betão com armadura superior e inferior; pisos de betão pré-esforçado; e pisos de betão com fibras.

O **piso de betão com armadura superior** é constituído por uma armadura posicionada no terço superior da laje de betão. A principal função desta armadura é suportar solicitações devido a retracções do betão [66].

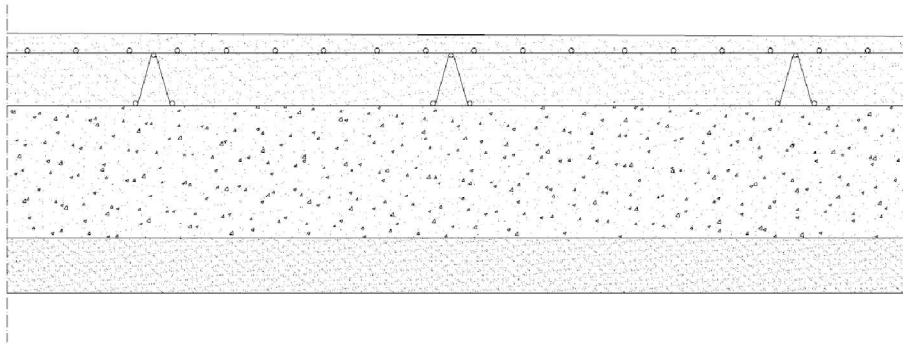


Figura 4.19 – Piso de betão com armadura superior (adaptada de [66])

O **piso de betão com armaduras superior e inferior** tem como vantagem o facto de a armadura inferior absorver os esforços criados pelas cargas. Estes pisos são utilizados geralmente em áreas de cargas elevadas e possibilitam a execução de pavimentos sem juntas de dilatação [66].

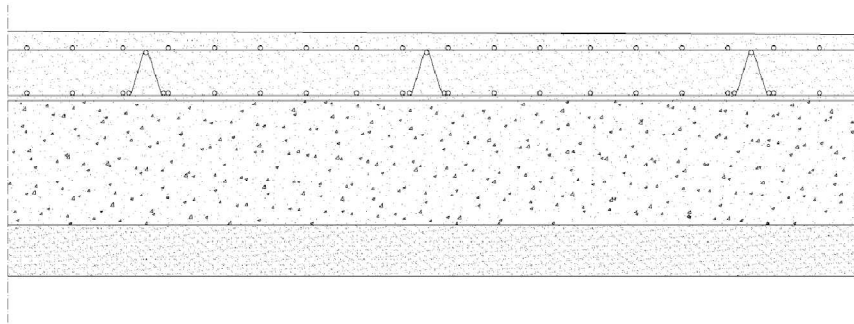


Figura 4.20 – Piso de betão com armaduras superior e inferior (adaptada de [66])

O recurso a **pisos de betão maciço** é dos mais utilizados na área da construção industrial uma vez que estes são complementados na maioria das vezes por endurecedores de superfície, fibras sintéticas, entre outros, o que conseqüentemente torna estes pavimentos bastante mais resistentes e capazes de suportar maiores cargas, e também mais económicos [66].

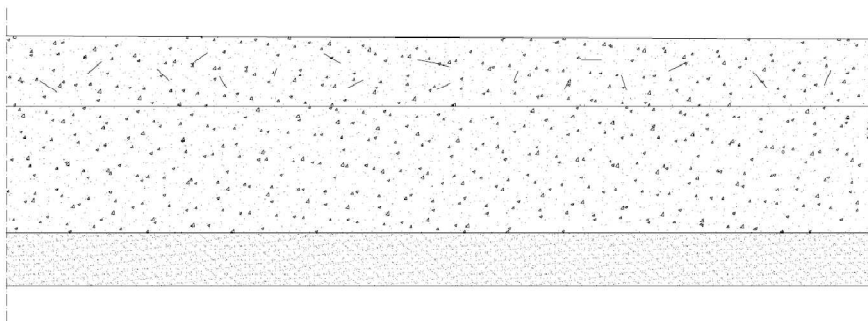
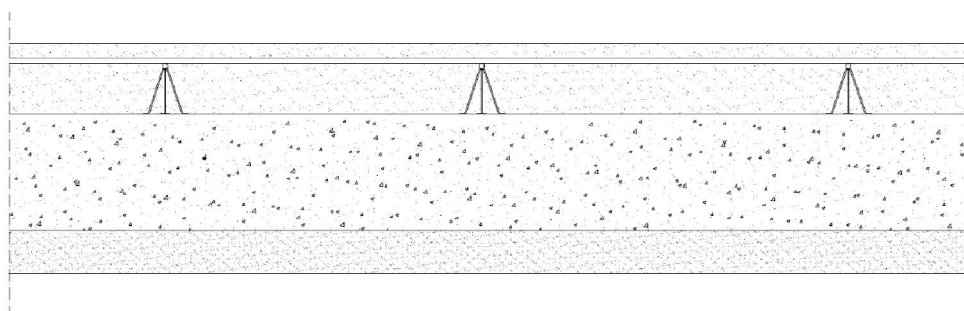


Figura 4.21 – Piso de betão maciço reforçado com fibras sintéticas (adaptada de [66])

A solução de **pisos de betão pré-esforçado** tem como objectivo introduzir no pavimento uma força de compressão que contrarie as forças de tracção. A laje de betão está sujeita constantemente a este

tipo de acções seja pelos carregamentos, pelas dilatações térmicas ou dilatações higrométricas que provocam o aparecimento de fissuras. [66] O sistema de pré-esforço consiste na instalação de cabos de pré-esforço longitudinal e/ou transversal, formando uma malha regular. Nas extremidades dos cabos são fixadas as ancoragens que permitem a fixação do cabo esticado e transmitem os esforços de compressão ao betão. [66]

Esta alternativa possibilita a execução de pavimentos com lajes de betão de grandes dimensões e com pequenas quantidades de juntas. Na prática podem existir algumas limitações, como em casos em que o pré-esforço é apenas efectuado por um lado dos cabos. [66]



**Figura 4.22 – Piso de betão pré-esforçado (adaptada de [66])**

Para uma melhoria das características de durabilidade e performance dos pavimentos industriais, existem alguns produtos complementares como **endurecedores de superfície**, **fibras sintéticas**, **fibras metálicas** e **produtos de cura**.

Estes produtos melhoram o desempenho mecânico, aumentando assim a sua resistência ao choque, à tracção ou à abrasão (no caso dos endurecedores de superfície, fibras metálicas e sintéticas). No caso dos produtos de cura é provocada uma diminuição do tempo de secagem, permitindo uma hidratação homogénea da superfície do betão. Em relação às fibras sintéticas estas visam reduzir a formação de fissuras de retracção e de assentamentos na fase plástica.

Apesar dos pisos industriais serem normalmente em **betão**, que funciona como endurecedor de superfície, existe actualmente uma tendência cada vez mais generalizada para a utilização de massas **auto-nivelantes** e de revestimentos com **resinas sintéticas**.

A solução de **betão com endurecedores de superfície** consoante o tipo de aplicação pode apresentar composições e características diversificadas. Esta alternativa apresenta normalmente uma relação custo/qualidade adequada para situações de baixa ou média exigência dos utilizadores.

Os pavimentos **auto-nivelantes** são sintéticos, de base cimentícia ou de diversas resinas sintéticas, como epoxi ou poliuretano. É importante referir que a sua execução é relativamente simples, podendo ser utilizados como camada de nivelamento para outros tipos de revestimentos de piso ou como revestimento final. Em termos de acabamentos, é possível obter uma grande variedade, no que respeita ao brilho, textura e cor, sendo possível em muitas situações ajustar a cor de acordo com o pretendido.

Estes tipos de pavimentos apresentam algumas vantagens, sendo a principal a capacidade de se auto nivelar, aliada a um período de secagem curto, tornando desta forma a sua aplicação particularmente fácil como referido anteriormente. Após acabamento, apesar da sua espessura relativamente fina este tipo de pavimento apresenta uma elevada resistência ao desgaste, assim como também uma grande resistência superficial e à flexão, o que lhe permite suportar cargas elevadas, conferindo-lhe alguma durabilidade. São uma boa alternativa à betonilha normal, devido à sua reduzida espessura e peso, e à sua boa aderência em pavimentos com base em cimento.

A resistência dos pavimentos auto-nivelantes aos químicos e o seu comportamento relativamente à humidade, faz com que estes pavimentos sejam adequados para espaços amplos e de grande necessidade de limpeza e descontaminação, uma vez que o facto de poderem ser impermeáveis permite a sua fácil manutenção.

Finalmente, as **resinas sintéticas** à base de poliuretano, metacrilatos, éoxidos, entre outros componentes, são alternativas possíveis para o revestimento de pisos. Estas representam actualmente uma solução em crescente desenvolvimento, sobretudo por aliarem elevadas resistências a cargas e agentes quimicamente agressivos, a efeitos estéticos diferenciadores das restantes soluções.



## 5 Ligações Estruturais

O sucesso e a competitividade das estruturas pré-fabricadas dependem em grande parte dos tipos de ligação entre os elementos estruturais, pois regra geral, os elementos pré-fabricados são basicamente semelhantes aos moldados in-situ excluindo as ligações [40].

### 5.1 Exigências Funcionais

A concepção das ligações é uma das etapas mais importantes no projecto de estruturas pré-fabricadas de betão, estando directamente relacionadas com o seu sucesso e consequente capacidade competitiva. De modo a assegurar uma transmissão de esforços eficaz é necessário que o sistema estrutural seja estaticamente equilibrado, compatível e capaz de resistir às acções para que foi projectado [46].

A escolha do tipo de ligação depende em grande parte dos processos construtivos e dos condicionamentos do transporte e da montagem. Assim, é importante conceber um processo construtivo rápido, eficaz e seguro.

Uma boa ligação deve resultar de uma combinação dos seguintes factores [46]: segurança estrutural; facilidade de execução; durabilidade; resistência ao fogo; estética; e economia.

### 5.2 Tipificação de ligações

Os **sistemas reticulados** são compostos por pilares e vigas, sendo as vigas de cobertura as mais utilizadas em edifícios industriais. Em relação aos pilares, estes são normalmente da altura do edifício, e podem incluir mais de um piso [17]. As principais ligações nestes sistemas são:

- Pilar – fundação
- Pilar – viga
- Viga – viga
- Laje – viga
- Laje - laje

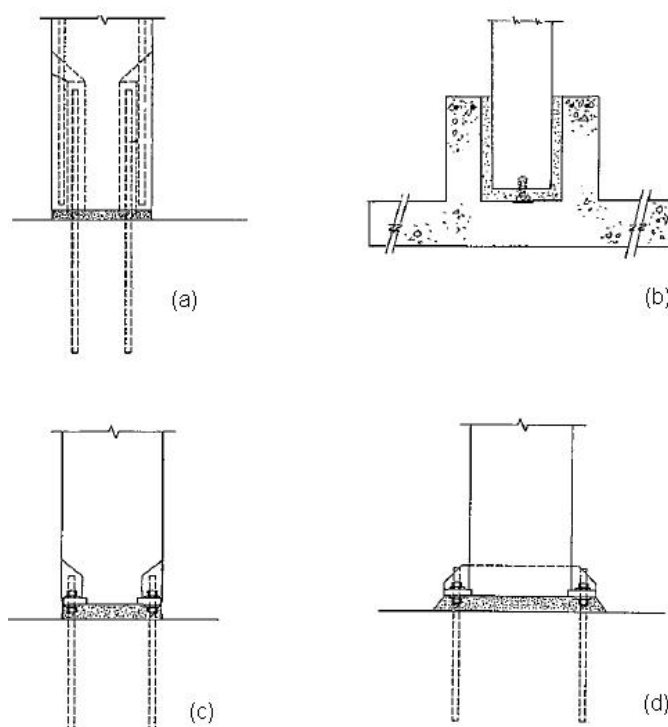
#### 5.2.1 Ligações Pilar - Fundação

As ligações pilar - fundação mais correntes estão esquematizados na Figura 5.1. O primeiro caso, (a), é uma ligação onde existem armaduras salientes no pilar ou na fundação, ou vice-versa. Estas

armaduras salientes são introduzidas em aberturas e posteriormente seladas por injeção de uma argamassa ou calda apropriada [29].

No segundo exemplo (b), os pilares são encastrados numa cavidade executada na fundação (sapata ou maciço de encabeçamento de estacas) sendo posteriormente betonado o espaço livre entre a superfície interior da cavidade e as faces laterais do pilar [29].

O terceiro e quarto exemplos, (c) e (d), correspondem a uma ligação constituída por ferrolhos salientes da fundação que são aparafusados a uma chapa, a qual vem soldada às armaduras na base do pilar [29]. A única diferença entre estes dois exemplos é que no caso (c), o pilar tem encaixe de cantos conseguindo assim uma betonagem posterior protegendo as chapas metálicas contra a corrosão.



**Figura 5.1 – Exemplos de ligação pilar – fundação (adaptada de [20])**

As ligações pilar – fundação têm um papel fundamental na resistência à acção dos sismos. A solução de ligação com cavidade para encastramento do pilar tem provado ser bastante eficiente relativamente à resistência à acção sísmica, e também uma solução económica e rápida de realizar em obra.

## 5.2.2 Ligações Pilar - Viga

As ligações pilar – viga, esquematizadas na figura 5.2, têm especial responsabilidade na concepção/funcionamento de estruturas pré-fabricadas de betão. Esta responsabilidade agrava-se especialmente em zonas sísmicas pois também pode depender delas a capacidade de dissipar energia nos sistemas porticados. Estas ligações podem ser classificadas em ligações com ou sem transmissão de momentos entre a viga e o pilar [46]. Quando a ligação não tem capacidade de transmissão de momentos, o seu papel na resistência ao sismo é reduzido.

As **ligações sem transmissão de momentos** devem ser dimensionadas para as seguintes acções: corte no apoio; tracção; rotação por torção; e perda de suporte na fase construtiva, na fase de serviço e sob a acção de sismos [46].

A viga pode apoiar simplesmente na extremidade do pilar ou sobre a consola curta com encaixe de ferrolhos embebidos no pilar que se introduzem nas furações existentes na viga, sendo estabelecida a ligação por aparafusamento da extremidade do ferrolho contra a chapa existente na face superior da viga e/ou com enchimento do furo com argamassa.

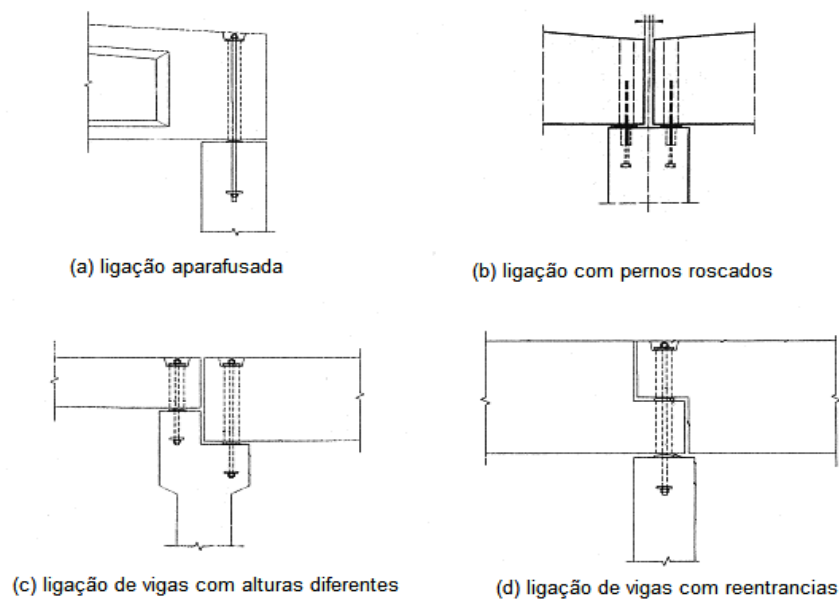
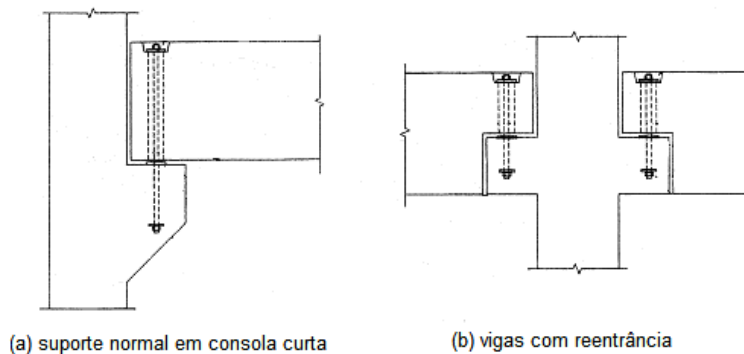


Figura 5.2 – Exemplos de ligações viga - pilar sem transmissão de momentos (adaptada de [20])

No caso de a viga assentar sobre o pilar ou sobre a consola curta, deve ser utilizada uma base de argamassa de modo a uniformizar as tensões de compressão nas zonas de contacto. Em alternativa, esta pode ser posicionada sobre um aparelho de neoprene simples ou reforçado com chapas metálicas, para permitir pequenos deslocamentos devido nomeadamente à retracção, à fluência e às variações de temperatura. A transmissão de forças horizontais é garantida por atrito entre as superfícies no apoio e por ferrolhos verticais que atravessam a junta de ligação, através de furos

concordantes existentes nos elementos a ligar. Embora a resistência por atrito seja, por vezes, suficiente para absorver as acções horizontais, é conveniente que a ligação seja complementada por uma “ligação mecânica” para impedir grandes deslocamentos horizontais da viga em relação ao pilar [29,43].



**Figura 5.3 – Exemplos de ligações de vigas em consolas curtas (adaptada de [20])**

A projecção das ligações deve ter os mesmos critérios tanto para ligações com transmissão como para sem transmissão de momentos. No caso da estrutura se localizar em zona com acções sísmicas relevantes, e esta condicionar o dimensionamento da ligação, a ligação deve ser dimensionada segundo um dos três critérios: sistema emulativo; ligação sobredimensionada; ou sistema dissipativo [29].

Como exemplificam as figuras 5.4 e 5.5, existem basicamente dois tipos de ligações de continuidade: a ligação húmida, que é executada com a betonagem em obra do nó; e as ligações secas, em que, no caso de existir betonagem em obra, esta resume-se à camada de betão complementar da laje, que corresponde ao banzo superior e onde se situam as armaduras superiores da viga [29].



**Figura 5.4 – Ligação húmida (adaptada de [30])**



**Figura 5.5 – Ligação seca (extraída de [30])**

### 5.2.3 Ligações Viga - Viga

Nas ligações viga - viga podemos considerar dois tipos de situações distintas, consoante a posição dos respectivos eixos longitudinais [46]: ligação entre vigas com o mesmo eixo (coaxiais); ou apoios de vigas secundárias em vigas principais.

Os processos construtivos para estabelecer a ligação entre duas vigas, quer sejam coaxiais ou não, são semelhantes aos processos das ligações entre vigas e pilares, existindo pequenas diferenças originadas pela geometria da ligação e pelo nível de cargas transmitindo pela ligação [46].

Como ilustra a figura 5.6, a ligação entre vigas coaxiais aplica-se nos nós viga – pilar – viga, e é executada por chapas de continuidade que visam unir as vigas na face superior.

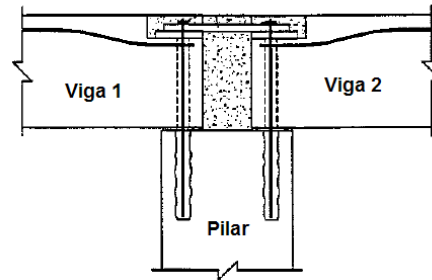


Figura 5.6 – Ligação de continuidade entre vigas através de chapa metálica (adaptada de [46])

A ligação entre asnas e madres é das mais prevalentes em edifícios industriais. Este tipo de ligação varia muito em função do fabricante, estando os sistemas de ligação normalmente utilizados ilustrados na Figura 5.7.

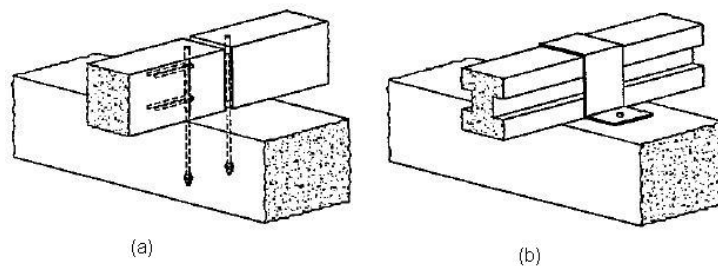


Figura 5.7 – Ligação asna-madre: (a) Ligação com ferrolhos; (b) ligação com chapas metálicas (adaptada de [46])

### 5.2.4 Ligações Laje - Viga e Laje - Laje

A ligação entre lajes e vigas pré-fabricadas depende não só do processo construtivo destes elementos como também da continuidade estrutural desejada na viga de apoio. No caso de zonas

sísmicas são aconselháveis soluções que envolvam betonagem da ligação, de modo a garantir maior monolitismo à estrutura [2,65].

Devido à impossibilidade de separação entre as ligações laje – viga e as ligações laje-laje, analisam-se as seguintes ligações mais comuns [46].

Lajes pré-fabricadas:

- Apoio simples da laje na viga;
- Ligação com betonagem da zona superior da viga;
- Apoio com soldadura de elementos metálicos salientes;

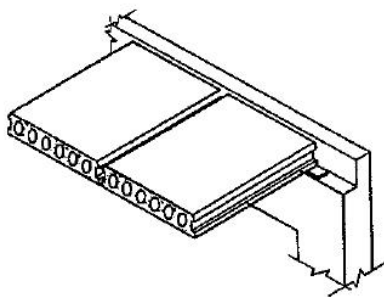
Lajes mistas:

- Ligação com betonagem de uma lâmina complementar da laje em simultâneo com a zona superior da viga;

De uma forma geral os edifícios industriais apresentam para lajes pré-fabricadas ligações com betonagem na zona superior da viga e no caso de aplicação de lajes mistas, ligações com betonagem de uma lâmina complementar da laje em simultâneo com a zona superior da viga.

### **5.2.4.1 Ligação de apoio simples da laje na viga**

Na **ligação de apoio simples da laje na viga**, como ilustra a Figura 5.8, a laje encontra-se posicionada sobre uma viga pré-fabricada de betão que poderá ser de secção rectangular ou ter abas laterais. Esta laje maciça, vazada ou nervurada, é assente sobre uma camada de apoio de argamassa ou neoprene, de forma a obter uma uniformização de tensões de contacto e permitindo desta forma que a estrutura suporte pequenos deslocamentos causados devido à retracção, fluência e variações de temperatura [46].



**Figura 5.8 – Ligação de apoio simples em viga com abas laterais (adaptada de [46])**

As juntas longitudinais e transversais entre os painéis são preenchidas com argamassa, não incluindo normalmente armadura [46].

#### 5.2.4.2 Ligação com betonagem da zona superior da viga

Este tipo de ligação é muito utilizado na ligação de painéis de lajes alveoladas, devido à relativa facilidade de execução e ao bom comportamento estrutural [46]. Como mostra a Figura 5.9, a viga é parcialmente pré-fabricada com os estribos na face superior à vista, sendo os painéis de laje posicionados sobre a viga e de forma a evitar congestionamentos de armadura. Posteriormente efectua-se a colocação das armaduras nas juntas longitudinais entre painéis e na face superior da viga, seguindo-se a betonagem do conjunto.

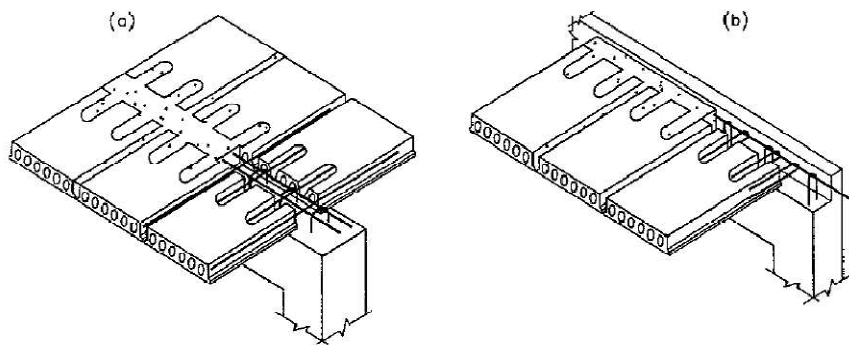


Figura 5.9 – Ligação de lajes alveolares: (a) viga rectangular; (b) viga com abas laterais (adaptada de [46])

As aberturas, como ilustra a figura 5.10, que permitem a colocação das armaduras e posterior betonagem do alvéolo devem ser reduzidas ao mínimo de modo a evitar diminuições de resistência locais no que respeita ao painel pré-fabricado.

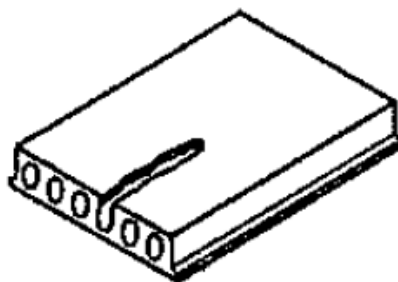


Figura 5.10 – Abertura em painéis alveolares (adaptada de [46])

No caso de a laje se apoiar na viga lateral paralela ao vão, a ligação que se estabelece é realizada, como demonstra a Figura 5.11, com a betonagem local de uma faixa maciça de laje sendo a ligação à viga pela armadura saliente. Neste caso é necessária cofragem sob a faixa maciça da laje betonada no local [46].

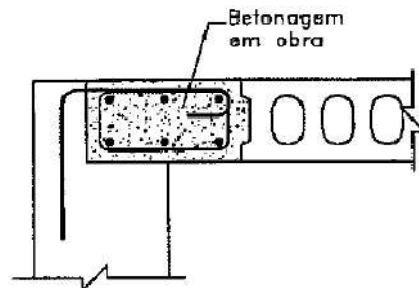


Figura 5.11 – Ligação laje com uma viga adjacente ao vão (adaptada de [46])

Existe ainda a possibilidade de dispensar a cofragem e o escoramento do painel neste tipo de ligações laje – viga, podendo esta constituir uma pré-laje na zona de apoio, a qual será completada com betão, em obra, ligando simultaneamente a viga.

Conforme ilustrado na figura 5.13, nas ligações junto aos pilares as lajes não têm continuidade e, no caso de os pilares apresentarem larguras superiores a 100 mm, é aconselhável que a prancha alveolada se apoie numa consola curta com a largura do pilar.

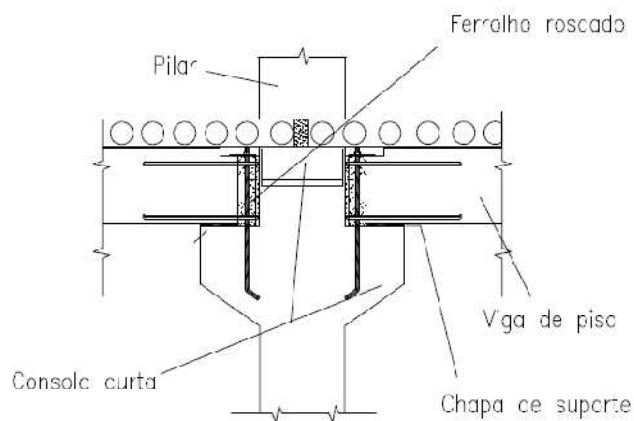
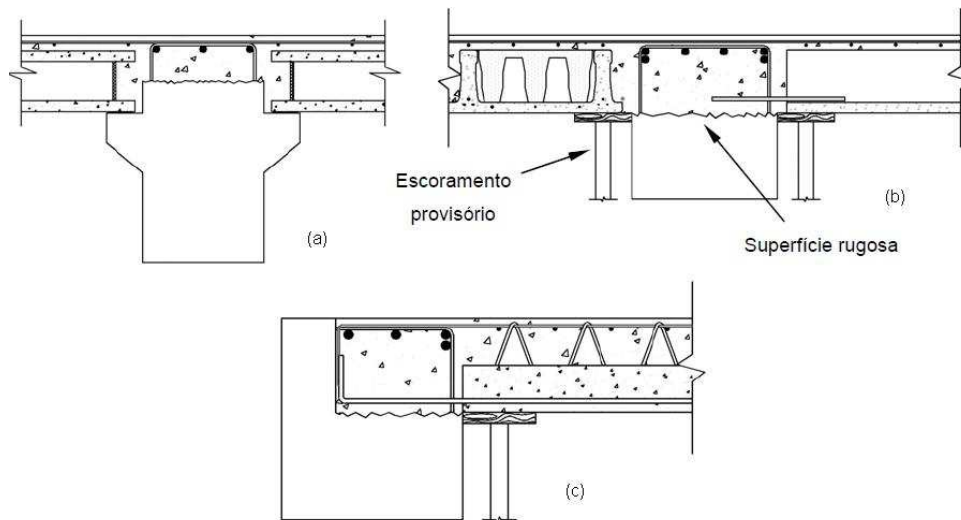


Figura 5.12 – Exemplo de ligação viga - pilar – laje (adaptada de [20])

#### 5.2.4.3 Ligação com betão de uma lâmina complementar da laje

Nas ligações com lajes mistas, a superfície entre os três elementos (pré-laje, pré-viga e betão complementar) deve ser muito rugosa. Esta rugosidade vai garantir uma ligação eficaz entre todos os elementos. A Figura 5.14 ilustra algumas ligações típicas entre estes elementos.



**Figura 5.13 – Ligação com lâmina complementar: (a) laje alveolar; (b) laje nervurada; (c) pré-laje maciça (adaptada de [2])**

As armaduras salientes da pré-viga, em forma de treliça, para além de servirem para içar os painéis, garantem também a resistência ao esforço transversal e a resistência ao corte na junta entre a viga pré-fabricada e o betão complementar. No processo de fabrico, estas armaduras visam ainda garantir a resistência da pré-laje na betonagem e a sua robustez no transporte e montagem, sendo uma mais-valia deste tipo de ligação [2].

Para evitar escoramentos geralmente recorre-se à utilização de consolas pequenas para suportar as pré-lajes durante a fase construtiva, devendo-se, no entanto, considerar sempre a solução mais económica e estética [2].

A capacidade de optimização do desempenho estrutural e a relativa facilidade do processo construtivo deste tipo de ligação confere alguma vantagem na utilização de pavimentos mistos. Esta ligação apresenta como principais objectivos: diminuição da secção transversal das vigas; continuidade estrutural entre os elementos; e conferir ao pavimento um comportamento de diafragma rígido e assim um maior monolitismo [2].



## 6 Revestimentos de coberturas e de fachadas

Os revestimentos para além de uma função estética, também desempenham um papel crucial na qualidade e no conforto do ambiente interior do edifício. Actualmente, são comercializadas várias soluções para revestimentos de edifícios industriais, sendo a escolha do tipo de revestimento em função das características e exigências de cada edifício.

### 6.1 Revestimentos de coberturas

Relativamente à cobertura, esta é o elemento envolvente exterior do edifício responsável pela vedação superior do espaço habitável.

A resistência mecânica, estanqueidade ao ar, impermeabilidade à água, isolamento térmico e acústico são as suas principais exigências. Estas exigências funcionais e de segurança podem ser asseguradas por um ou mais elementos de revestimento [25].

#### 6.1.1 Tipificação de soluções

Nas coberturas de grandes vãos, o sistema estrutural de suporte é bastante complexo assim como toda a cobertura em geral, especialmente quando existem níveis de exigências elevados relativamente a isolamentos e estanquidade, como os casos de edifícios industriais mistos que englobam escritórios [25].

Na maioria dos casos, as soluções de cobertura em edifícios industriais são efectuadas com revestimentos leves à base de chapas metálicas (aço, alumínio, cobre, zinco, etc.), chapas de policarbonatos e poliéster, e painéis sandwich. É ainda comercializada outra solução menos utilizada de perfis metálicos resistentes para coberturas impermeabilizadas.

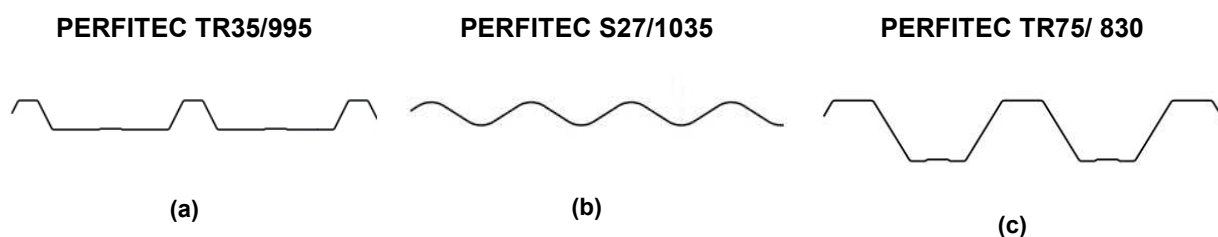
As empresas **PERFITEC – Revestimentos Metálicos**, a **ArcelorMittal - Construção Portugal** e a **BLOCOTELHA – Construções metálicas e autoportantes, Lda.**, são exemplos de empresas nacionais que produzem e comercializam soluções de chapas metálicas e painéis sandwich.

As coberturas metálicas devem ser inclinadas e devem possuir pendentes mínimas de modo a evitar a entrada de águas pluviais devido à acção do vento.

### 6.1.1.1 Chapas metálica e de policarbonatos e poliéster

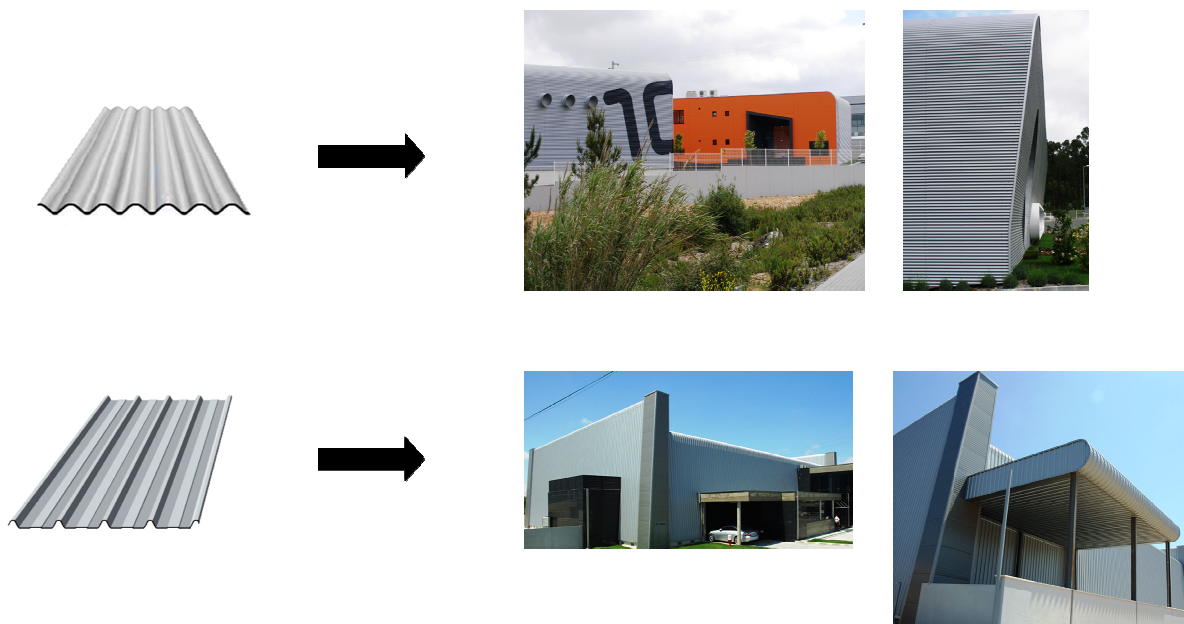
As soluções de cobertura simples de chapas metálicas, são um recurso de grande versatilidade e de fácil montagem, daí a sua grande utilização no sector industrial. Estas chapas podem apresentar perfis trapezoidais ou ondulados, com acabamentos variados, e possuem normalmente espessuras entre 0,5 a 0,8 mm.

A solução de chapa perfilada da **PERFITEC**, ilustrada na figura 6.1, está disponível em vários perfis - PERFITEC TR35/995, PERFITEC S27/1035 (920) e PERFITEC TR75/ 830.



**Figura 6.1 – Chapa metálica: (a) chapa perfilada trapezoidal; (b) chapa perfilada ondulada; (c) chapa perfilada autoportante**

No caso da empresa **ArcelorMittal**, esta comercializa dois tipos de perfis para cobertura simples – o **Perfil 4.250.35 T** e o **Perfil 13.76.18 T**, um trapezoidal e o outro ondulado, representados na figura 6.2.



**Figura 6.2 - Soluções de cobertura simples de chapa metálica ondulada e trapezoidal, comercializados pela empresa ArcelorMittal (extraídas de [5])**

A **Onduline Groups** é um dos exemplos de empresas que comercializa placas translúcidas e opacas de policarbonatos e de poliéster. Estas placas de poliéster possuem boa resistência mecânica, estabilidade química e térmica, permitindo ainda garantir uma elevada transmissão de luz natural para o interior do edifício. Estas placas podem ser aplicadas em coberturas inclinadas.



Figura 6.3 – Exemplo de aplicação de chapas translúcidas em coberturas (extraídas de [41])

Os painéis resistentes para impermeabilização comercializados pela **ArcelorMittal** são o **Perfil 4.262,5.30 S e SC** e o **Perfil 4.225.54 S e SC**. Estes perfis resistentes são usados para suporte de sistemas de impermeabilização de coberturas, permitindo também múltiplas possibilidades em termos de vão e de tratamento acústico pelo interior.

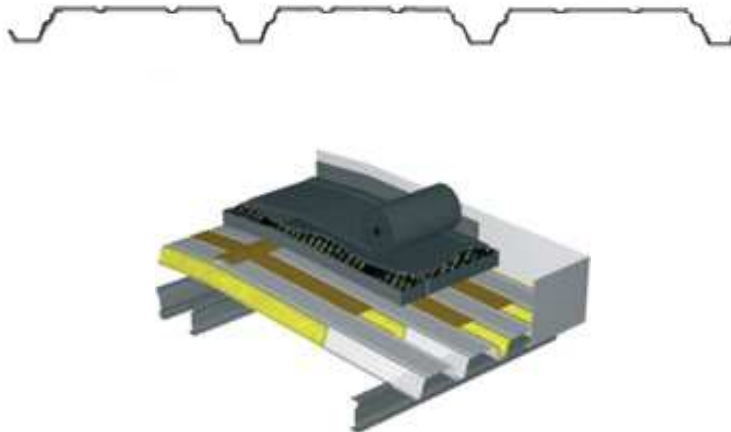


Figura 6.4 – Painel resistente para cobertura com impermeabilização comercializado pela empresa Arcelormittal (adaptada de [5])

A **BLOCOTELHA – Construções metálicas e autoportantes** comercializa uma alternativa de chapa metálica de perfil ómega. Este tipo de solução apresenta um perfil único e é adequado para coberturas autoportantes de grande vão, podendo estas chegar a vãos de 30 m. Os produtos disponíveis nesta empresa são o Ómega BNTP 700/ BNTA 700 e o Ómega BTP 900/BTC 900.



Figura 6.5 – Perfis ómega comercializados pela empresa BLOCOTELHA (adaptada de [42])



Figura 6.6 – Exemplo de aplicação de perfis ómega em coberturas industriais (extraída de [42])

#### 6.1.1.2 Painéis sandwich

Como alternativa às soluções de cobertura simples, e sempre que seja necessário um maior isolamento térmico e acústico recomenda-se a utilização de coberturas com painéis sandwich. Estes painéis possuem materiais isolantes como a lã mineral, o poliuretano, etc., dependendo do fabricante entre duas chapas metálicas. Este sistema melhora significativamente o conforto térmico, reduzindo desta forma os consumos de energia e minimizando a transmissão de vibrações e ruídos [42].

Os **painéis sandwich ROOFTEC** comercializados pela PERFITEC são autoportantes e estão indicados para coberturas inclinadas com uma pendente mínima de 6%. Esta empresa produz dois tipos de acabamentos interiores, nervurado e a ponta de diamante, podendo a face exterior deste tipo de painéis apresentar 3 ou 5 nervuras.

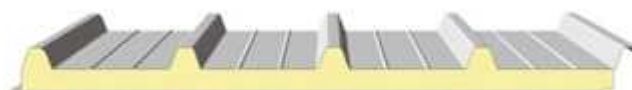


Figura 6.7 – Painel sandwich ROOFTEC com cinco nervuras (adaptada de [65])

A solução de painéis sandwich da **ArcelorMittal** é semelhante ao painel sandwich da PERFITEC, mas ao contrário deste que tem espessuras entre 30 a 100 mm, este apresenta apenas espessuras entre 30 a 50 mm.

### 6.1.2 Impermeabilizações

As soluções utilizadas no revestimento de coberturas são normalmente chapas metálicas, e estas apresentam características impermeáveis devido aos vários tipos de pinturas e acabamentos exteriores, conferindo uma elevada resistência à corrosão e à oxidação.

O principal cuidado a ter neste tipo de revestimento é nas juntas entre os painéis, ou seja nas ligações entre estes, uma vez que estes são os únicos pontos que permitem entrada de água. As especificações de fechamento para as ligações entre painéis varia de empresa para empresa consoante o produto comercializado.

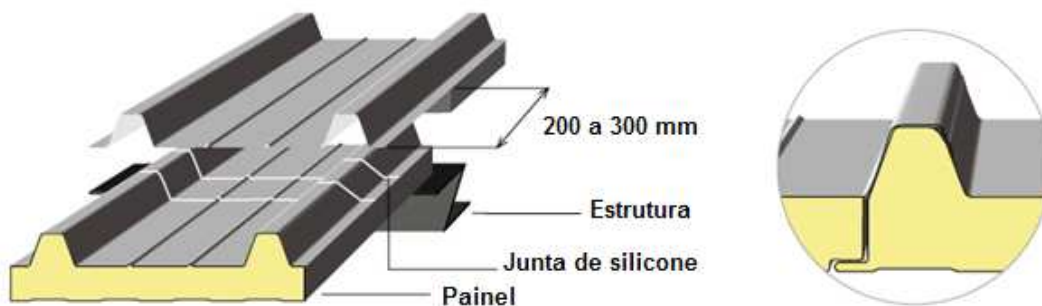


Figura 6.8 - Pormenor de ligação entre painéis sandwich da empresa PERFITEC (adaptada de [65])

No caso de utilização de vigas caleira pré-fabricadas em betão para a drenagem de águas, é necessário tratamento de impermeabilização, seja com pinturas ou telas impermeabilizantes.

## 6.2 Revestimentos de fachadas

A escolha do revestimento de fachada deve estar de acordo com as necessidades do edifício. O tipo de utilização, o isolamento térmico e acústico ou a resistência ao fogo são características que se deve ter em conta. Para além destas características, a estética pode também assumir um papel importante em alguns edifícios industriais.

### 6.2.1 Tipificação de soluções

Existem diversos tipos de revestimentos para as fachadas disponíveis no mercado. Entre as principais soluções nesta área, destacam-se as fachadas ligeiras, como os painéis sandwich e os

painéis de chapa simples, também utilizados em coberturas, e ainda as fachadas pesadas compostas por painéis de betão ou as paredes em alvenaria de blocos de betão ou de tijolo.

#### 6.2.1.1 *Fachadas Ligeiras*

As soluções para fachada com painéis simples assemelham-se às utilizadas nas coberturas, no entanto por não necessitarem de uma resistência mecânica tão elevada, podem apresentar um perfil com inércia inferior aos das chapas de coberturas, sendo estes geralmente de superfície lisa, ondulada ou nervurada.

As Figura 6.9 e 6.10 ilustram as soluções WALLTEC comercializadas pela empresa PERFITEC.



Figura 6.9 – Painel sandwich de superfície lisa para fachada (adaptada de [65])



Figura 6.10 – Aplicação de painel sandwich WALLTEC (extraída de [65])

#### 6.2.1.2 *Fachadas pesadas*

As soluções com painéis de betão pré-fabricado podem ser usadas como painéis de revestimento ou como painéis de fachada autoportantes. Estas podem ser painéis pré-fabricados em betão, painéis sandwich e painéis de betão reforçado com fibra de vidro (GRC).

Os painéis de betão existentes no mercado caracterizam-se como sendo, **maciços armados** ou **pré-esforçados**, **alveolares pré-esforçados** ou não, **térmicos** e **arquitectónicos**. Na maior parte das empresas portuguesas, como mostra a figura 6.11, as ligações entre estes painéis dá-se por encaixes do tipo macho-fêmea, permitindo assim uma eficiente estanquidade e transmissão de esforços.

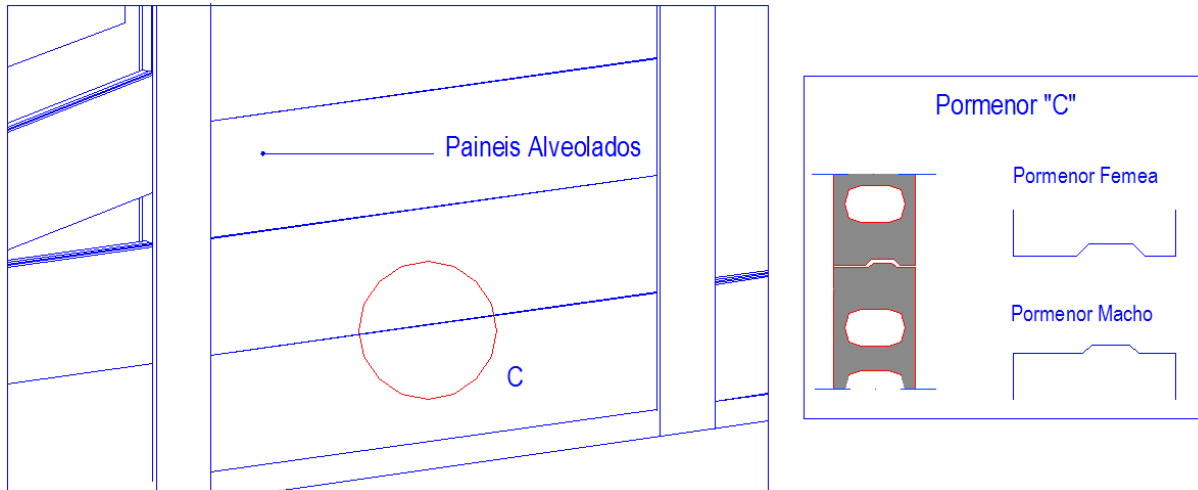


Figura 6.11 – Pormenor de ligação macho – fêmea entre painéis pré-fabricadas



Figura 6.12 – Painéis de betão arquitectónicos comercializados pela Concremat

Um exemplo de painéis alveolares é o fabricado pela empresa **SECIL Prebetão – Prefabricados de Betão, S.A.** Este painéis **alveolares pré-esforçados** são fabricados em pistas contínuas através de máquinas móveis extrusoras. Estes possuem comprimento variável, nunca superior a 10 m, e largura constante de 1,20 m com 0,15 m de espessura ou de 0,16 m no caso de terem acabamento numa das faces. As faces destes painéis podem ter acabamentos variados com diferentes cores e texturas.

A **PRECORE – Prefabricação, Construção e Reparação, S.A.**, oferece várias soluções de painéis de betão, desde painéis de betão maciço pré-esforçado, alveolares e maciço armado, térmico a arquitectónico, todos estes com espessuras variáveis entre os 0,12 e 0,25 m e vãos até 10 m.

A Figura 6.13 ilustra as soluções de painéis de betão disponíveis pela empresa **Prefabricados Castelo**.

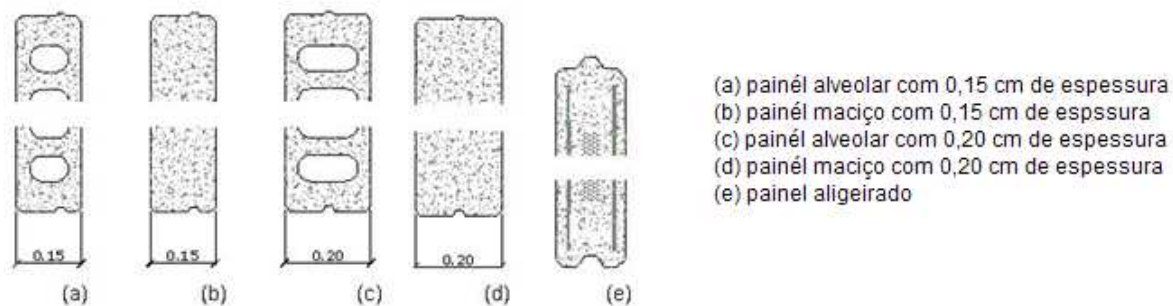


Figura 6.13 – Soluções de painéis de betão (adaptada de [68])

Como alternativa aos painéis de betão tradicional, existe ainda outra solução de fachadas com **painéis de betão reforçados com fibra de vidro (GRC)**. Estes tipos de painéis são mais leves que os de betão tradicional e são constituídos por um compósito de betão reforçado com fibras de vidro. Estes painéis podem ser personalizados conforme os requisitos do cliente, existindo assim uma grande variedade de texturas, cores e acabamentos disponíveis para escolha [21].

As principais vantagens destes painéis são: possibilidade de criar formas totalmente personalizadas e de grande interesse arquitectónico; leveza; transporte e montagem simplificada; durabilidade; e economia dos custos finais [64].



Figura 6.14 - Exemplo de aplicação de painéis GRC comercializados pela PRÉGAIA (extraída de [69])

Os principais produtores de painéis em GRC no mercado nacional são as empresas Prégaia, Pavicentro e Maprel.

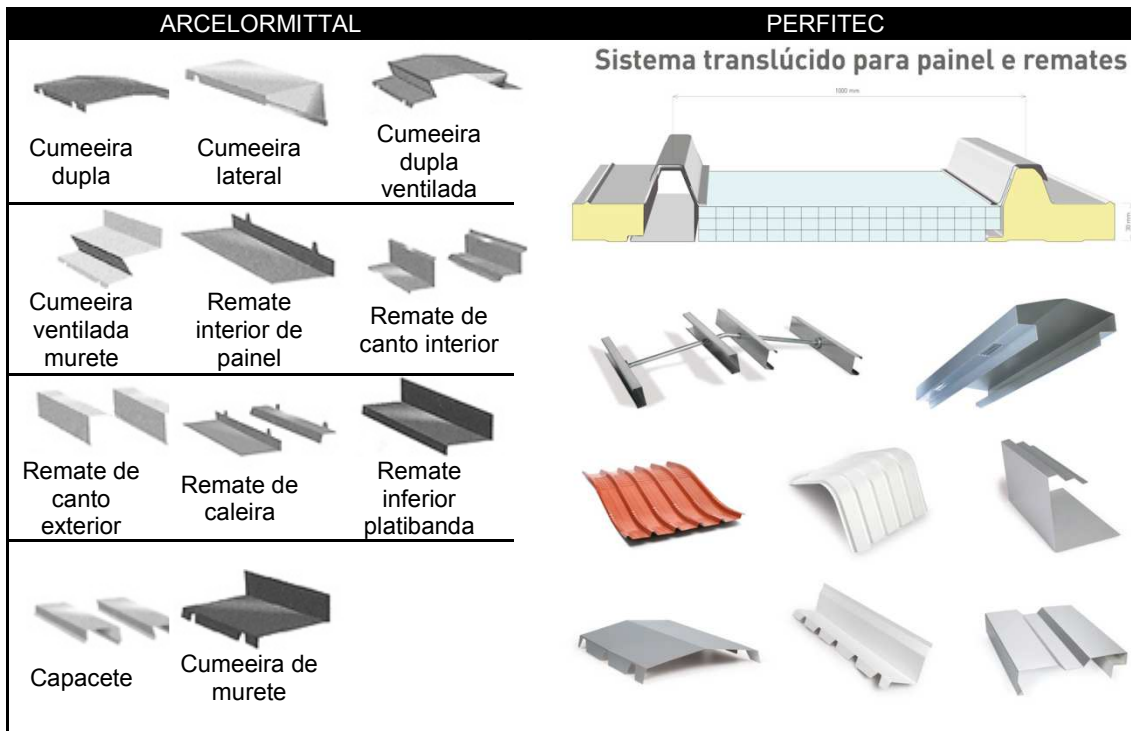
## 6.2.2 Impermeabilizações

Como referido anteriormente no capítulo 6.1.2, tanto para as fachadas leves como para as pesadas, deve-se prestar-se especial atenção às ligações e às juntas existentes entre os painéis para evitar infiltrações de água pluviais.

### 6.3 Acessórios metálicos

Como complemento de coberturas e fachadas existe uma variada gama de acessórios metálicos, entre eles, caleiras, cumeeiras duplas, cumeeiras laterais, remates de canto interior e exterior, e remates de caleira. Estes acessórios são fundamentais para o acabamento eficaz das soluções utilizadas. A Tabela 6.1 ilustra alguns exemplos destes acessórios para coberturas, das empresas **ARCELORMITTAL** e **PERFITEC**.

Tabela 6.1 - Exemplos de acessórios metálicos para coberturas (adaptada de [5] e [65])





## 7 Exigências de Segurança

A segurança constitui uma preocupação dominante no projecto de qualquer edifício. Não menosprezando outras exigências, é extremamente importante dar-se atenção às medidas de segurança, uma vez que estas em caso de falha provocam maiores danos no edifício e nos seus utentes. As exigências de segurança estrutural são objecto de regulamentação apropriada [3].

A segurança das estruturas pré-fabricadas depende, de entre outros aspectos, da segurança dos elementos e suas ligações estruturais, apresentando estas ligações particularidades de comportamento específicas no que diz respeito à resistência, deformabilidade e fendilhação [46].

### 7.1 Normas e Regulamentos

Existem diversas normas e recomendações relativas a estruturas pré-fabricadas em betão dos quais se destacam: Eurocódigo 0 [52]; Eurocódigo 1 [13]; Eurocódigo 2 [14]; Eurocódigo 8 [15]; The International Federation for Structural Concrete (fib - fédération internationale du béton) e Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI); os regulamentos nacionais - Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP) [70], o Regulamento de Segurança e Acções (RSA) [71] e o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU); e diversos documentos de homologação do LNEC 2,41].

No dimensionamento de estruturas de betão armado é necessário considerar o EC2 (NP EN1992 -1-1: Regras gerais e regras de edifícios), para projectos de betão armado e o EC8 (NP EN 1998-1: Regras Gerais, acções sísmicas e regras para edifícios), relativo a projectos sísmo-resistentes. Mais detalhadamente, o EC2 refere questões específicas de resistência de elementos de betão armado e dedica uma secção à pré-fabricação (secção 10), enquanto o EC8 define a acção sísmica e as regras de dimensionamento e pormenorização para zonas sísmicas (secção 5).

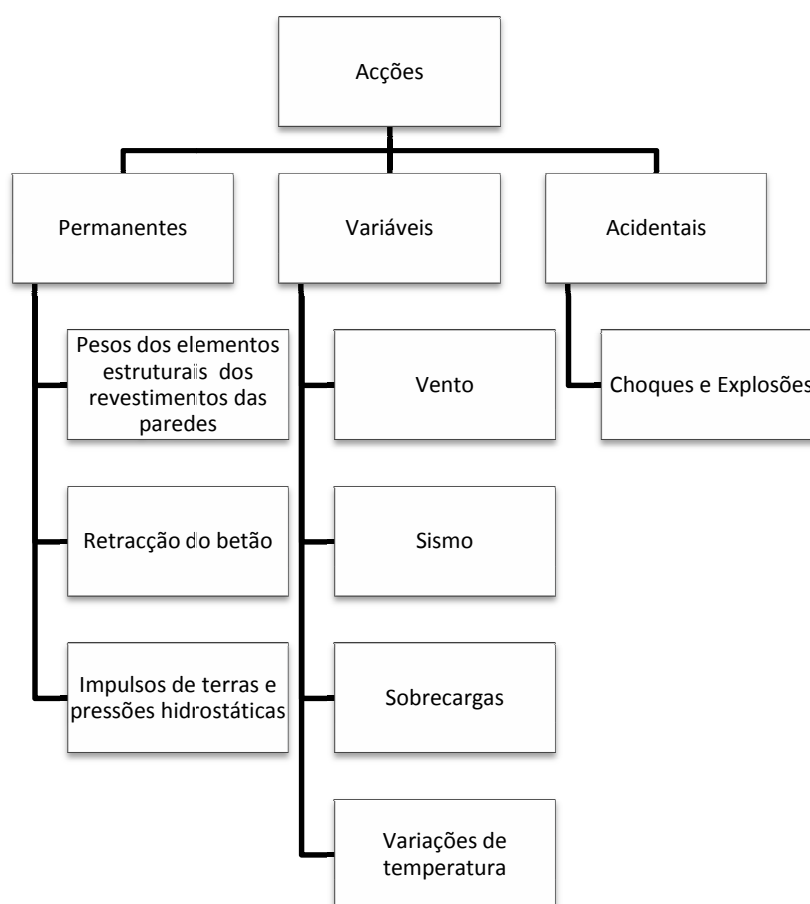
A regulamentação nacional (REBAP e RSA) não refere especificamente questões relacionadas com estruturas pré-fabricadas em betão armado. O REBAP não distingue as estruturas moldadas no local das estruturas pré-fabricadas, e o RSA define as acções, incluindo a acção sísmica [32].

### 7.2 Acções – Generalidades

Durante o período de vida da estrutura, as ligações estão constantemente sujeitas a esforços resultantes de uma variada gama de acções, sendo as mais manifestas as cargas permanentes, sobrecargas, o vento, o sismo, os impulsos de terras e pressões hidrostáticas, referidos na figura 7.1. No entanto, existem ainda outras acções menos comuns, mas que também provocam esforços

consideráveis nas ligações, como é o caso das deformações resultantes das variações de temperatura, retracção e fluência. Neste grupo pode-se ainda acrescentar os assentamentos diferenciais de fundações e instabilidade originada pela excentricidade das cargas gravíticas quando a estrutura sofre de deslocamentos em regime plástico.

As acções de acidente devem ser consideradas de acordo com a sua probabilidade de ocorrência. Assim, choques e explosões causam normalmente danos severos nas estruturas pré-fabricadas, devendo estas ser hiperstáticas para permitir a redistribuição de esforços e a existência de caminhos alternativos para a transferência de cargas. As ligações com parte essencial do sistema estrutural devem facilitar este tipo de comportamento.



**Figura 7.1 - Classificação de acções mais importantes num edifício industrial**

É importante referir a acção das pontes rolantes, sendo estas bastante utilizadas em edifícios industriais, conforme ilustrado na figura 7.2. A acção destas pontes é mencionada no EC1 [13] na secção 5. É relevante salientar, que esta acção é transmitida aos apoios nos pórticos através de uma força vertical e forças horizontais nas direcções transversal e longitudinal, devido às acções dinâmicas (forças de travagem, acelerações, etc.). As forças verticais e horizontais na direcção transversal são transmitidas directamente aos pórticos; as forças horizontais longitudinais podem ser absorvidas pelos sistemas de contraventamento longitudinal da estrutura [16].



Figura 7.2 – Ponte rolante na fábrica da Secil Pré-betão

### 7.3 Acções Variáveis: Acção do vento

A acção do vento é de grande importância no dimensionamento de edifícios industriais, dado que a maioria dos acidentes devidos a esta acção ocorre em edifícios leves e de grandes vãos livres [36]. Em Portugal, a quantificação da acção do vento é regida de acordo com o RSA (Regulamento de Segurança e Acções) e, mais recentemente, pelo novo Eurocódigo 1 [13].

No projecto de estruturas construídas na totalidade por elementos pré-fabricados, é preocupação essencial verificar a deformabilidade da estrutura sob a acção do vento. É assim fundamental garantir a estabilidade, utilizando e combinando sistemas adequados, entre os quais contraventamentos ou lajes e coberturas que funcionem como diafragma. Estes têm como função principal transferir os esforços resultantes da acção do vento aos elementos de estabilização verticais, ou seja, os pilares [1].

As ligações dos revestimentos das fachadas aos suportes são também um aspecto importante, não só por razões de segurança mas também por razões funcionais e estéticas. De forma a evitar acidentes é exigido também resistência adequada nas ligações entre as diferentes camadas que eventualmente constituam o revestimento [36].

As principais causas de acidente devido ao vento são: falta de ancoragem de madres; contraventamento insuficiente de estruturas de cobertura; fundações inadequadas; paredes inadequadas; e deformabilidade excessiva no edifício [36].

A **NP EN 1991-1-4: 2010** apresenta linhas de orientação para a determinação das acções naturais do vento para o projecto estrutural de edifícios e de obras de engenharia civil. Tal inclui a totalidade, partes da estrutura ou elementos ligados à estrutura, como por exemplo os componentes, os elementos de revestimento e as respectivas ligações.

De uma forma geral a tabela da secção 5, da NP EN 1991 -1-4 resume os procedimentos de cálculo de dimensionamento para acções do vento.

#### 7.4 Acções Variáveis: Acção dos sismos

O Eurocódigo 8 apresenta as regras gerais para a concepção sismo-resistente de edifícios e actualiza, relativamente ao RSA, a acção sísmica a considerar em projecto.

De acordo com o EC8, o objectivo do projecto sismo-resistente na eventualidade de ocorrência de sismos é proteger as vidas humanas, limitar as perdas económicas e assegurar o funcionamento das instalações de protecção civil importantes [15].

As estruturas em zonas sísmicas devem ser projectadas e construídas de modo a que duas exigências fundamentais sejam cumpridas: a **exigência de não colapso**, em que sob a acção de um evento sísmico a estrutura não deve colapsar (esta exigência destina-se essencialmente a proteger as vidas humanas dos efeitos de colapsos globais ou parciais); e a **existência de limitação de danos**, em que sob a acção de um evento sísmico, os danos nas construções devem ser limitados (esta exigência destina-se essencialmente a reduzir as perdas económicas e está-lhe subjacente o objectivo de evitar os danos estruturais e de limitar os danos não estruturais a situações economicamente reparáveis) [15].

No EC8 existem, para além de todos os parágrafos e cláusulas directamente relacionadas, algumas secções que merecem destaque. A secção 4.2 que se refere às características de edifícios resistentes a sismos revela alguns requisitos que devem ser tomados em consideração. A cláusula 4.2.1 (Princípios básicos de concepção) menciona uma série de princípios que permitem a construção dum sistema estrutural que satisfaz os requisitos fundamentais já especificados anteriormente (exigência de não colapso e exigência de limitação de danos).

Os princípios que asseguram estes requisitos estruturais são [29]:

- **Regularidade em planta**, evitando geometrias com o centro de rigidez distante do centro de massa, garantindo uma ligação eficiente entre corpos ou utilizando juntas para dividir a estrutura em corpos consistentes;
- **Regularidade em altura**, evitando variações bruscas de rigidez em altura e garantindo a continuidade dos elementos verticais, pilares e paredes resistentes, até às fundações;
- **Evitar o “soft floor”** - piso com maior pé-direito e/ou sem paredes divisórias, que conduz a um mecanismo de rotura constituído por rótulas plásticas exclusivamente nos pilares desse piso, conforme ilustra a Figura 7.3;



Figura 7.3 – “Capacity design” (extraída de [29])

- **Evitar pilares curtos** - na base dos edifícios como forma de os elevar do nível térreo, na intersecção das rampas de acesso de veículos em auto-silos, nas zonas dos patins intermédios das escadas, etc. Em caso de sismo estes pilares têm rotura frágil por esforço transverso;
- **Promover a redundância estrutural**, isto é, proporcionar mais do que um sistema sismo-resistente evitando a dependência a um único sistema, como por exemplo: paredes resistentes e pórticos viga -pilar, que no conjunto se possam complementar e transferir os esforços por redistribuição plástica aquando da acção sísmica;
- **Proporcionar diafragmas nos pisos** que possam distribuir as forças pelos vários elementos verticais resistentes;
- **Conferir à estrutura capacidade de dissipar a energia** desenvolvida pelo sismo, através da deformação plástica em flexão, sem perda substancial da resistência;
- Como ilustra a Figura 7.3, as rótulas plásticas devem-se desenvolver em todos os pisos e preferencialmente nas vigas e não nos elementos verticais, excepto na base destes - “capacity design”.

Para além dos requisitos referidos acima, as estruturas pré-fabricadas têm algumas particularidades em relação aos critérios de concepção, como [29]:

- Devido a uma maior preocupação de uniformização das peças pré-fabricadas, as estruturas pré-fabricadas são, em geral, mais regulares, quer em planta, quer em altura;
- Nos edifícios de um piso a redundância é incipiente e resume-se à (reduzida) função de diafragma da cobertura e ao funcionamento, nem sempre eficaz, dos pórticos longitudinais. Nestes edifícios a acção do sismo não é, em geral, importante, pelo que a concepção adoptada é suficiente para as acções a que está sujeito.
- Os pavimentos pré-fabricados devem ser eficientemente ligados às vigas e às paredes resistentes, e possuírem capacidade para transferirem as forças entre os elementos verticais

sem deformação considerável no seu plano. É fundamental que estes pavimentos possuam uma camada de betão complementar betonada em obra e sejam convenientemente armados para exercerem eficazmente as funções de diafragma;

- Quanto ao comportamento dos pilares, se estes forem executados num único elemento pré-fabricado para toda a altura do edifício, o que é possível para edifícios até 25m de altura, como é o caso dos edifícios industriais, estes são mais eficientes que os pilares betonados em obra. Os pilares betonados em obra têm juntas de betonagem exactamente nos nós de ligação às vigas, por vezes pouco cuidadas, congestionamentos de armaduras com deficiência de cintagem, exactamente nas zonas críticas de formação de rótulas plásticas sob a acção do sismo. Nos pilares pré-fabricados estes problemas podem ser facilmente evitados.

## 7.5 Outras Exigências de Segurança

### 7.5.1 Pré-Esforço

O pré-esforço é a aplicação de esforços em elementos de betão, antes do início da sua utilização, que contrariam os efeitos das acções a que estas vão estar sujeitas. O efeito de pré-compressão das secções transversais da peça é obtido à custa da utilização de aço de alta resistência ancorado a uma das extremidades da peça e tensionado na outra. O pré-esforço pode ser aplicado por meio de cabos, fios ou barras tensionados contra a própria peça de betão [37,39].

Podem ser aplicados dois tipos de pré-esforço [39]: pré-esforço por pós-tensão ou por pré-tensão.

- **Pré-esforço por pós-tensão**, o aço de pré-esforço é tensionado depois da betonagem da peça, quando o betão adquiriu a resistência necessária. A transferência é realizada quer nas extremidades, através de dispositivos mecânicos de fixação das armaduras (ancoragens), quer ao longo das armaduras.
- **Pré-esforço por pré-tensão**, o aço de pré-esforço é tensionado antes da betonagem da peça de betão, sendo o pré-esforço transferido ao betão após a cura do mesmo. É o sistema utilizado correntemente em fábrica para a pré-fabricação de madres, lajes alveoladas e de asnas para edifícios industriais. O pré-esforço é transferido do aço para o betão por aderência entre os dois materiais.

É necessário ter cuidado especial com os materiais de pré-esforço como, por exemplo o aço, bainhas ou dispositivos de ancoragem, que são sensíveis à corrosão, devendo estes estar protegidos de influências prejudiciais durante o processo de transporte, armazenamento e também enquanto estiverem colocados na estrutura antes da protecção definitiva [37].

Os edifícios industriais são estruturas normalmente de grandes vãos, existindo a necessidade do uso frequente de elementos pré-esforçados, devido às limitações de comportamento do betão armado, que o tornam desaconselhável ou mesmo inviável a partir de certas dimensões de vãos.

O REBAP e mais recentemente o Eurocódigo 2 são as normas actualmente existentes que abordam o tema da acção de pré-esforço. Apesar de existirem algumas diferenças, pode afirmar-se que uma estrutura bem concebida e estruturada pelo REBAP estará também bem dimensionada de acordo com o EC2.

### 7.5.2 Resistência ao Fogo

Actualmente, as estruturas de betão são as soluções mais utilizadas na construção de edifícios, isto provavelmente, por tratar-se de um material bastante versátil, e as estruturas poderem ser projectadas para fornecer a protecção desejada, podendo este ser moldado em várias formas e simultaneamente resistir aos esforços estáticos e dinâmicos. Para além destas vantagens, o betão apresenta ainda um bom desempenho perante o fogo [19].

O betão é um material não combustível, não produz fumo e não emite vapores tóxicos, e devido aos seus materiais constituintes, o betão é um mau condutor térmico, permitindo-o ser uma eficiente barreira de protecção contra o fogo [23].

Os edifícios industriais são muito susceptíveis a explosões ou incêndios devido ao tipo de actividades que normalmente abrigam (contendo máquinas, produtos inflamáveis, etc.), exigindo-se desta forma aos elementos estruturais uma resistência eficiente ao fogo. Assim, estes no caso de incêndio devem garantir [23]: capacidade de suporte (estável ao fogo); protecção às pessoas das chamas e gases (estanquidade às chamas e gases); protecção às pessoas do calor (isolamento térmico).

As regulamentações existentes utilizadas para o cálculo estrutural são:

- **NP EN 1991-1-2** – Acções em Estruturas Sujeitas a Incêndio, onde se faz a caracterização das acções térmicas;
- **NP EN 1992-1-2** – Cálculo Estrutural ao Fogo, onde se estabelecem regras para o cálculo da capacidade resistente de estruturas de betão armado e pré-esforçado em situação de incêndio e se definem as propriedades térmicas e mecânicas do betão e das armaduras em função da temperatura.

### 7.5.3 Contraventamento

O contraventamento é um sistema estrutural auxiliar com o objectivo de aumentar a rigidez da construção e permitir que esta resista e absorva forças excepcionais, por exemplo, acções do vento ou sísmicas. [5]

Nos edifícios industriais, estes sistemas podem ser bastante importantes, dado que existem grandes áreas que são apenas cobertas por uma estrutura esbelta, devido ao reduzido valor das cargas permanentes. [5]

Os sistemas de contraventamento são solicitados por acções que são aplicadas ao nível da cobertura e transversalmente aos pórticos. A pressão do vento exerce-se contra as fachadas que se apoiam lateralmente contra as lajes, enquanto nas acções sísmicas, as massas que geram as forças dinâmicas estão essencialmente concentradas ao nível das lajes de piso. Estas forças horizontais são transmitidas aos elementos de contraventamento pelas lajes, funcionando como vigas paredes ou membranas horizontais, em cada nível. [5] No caso dos edifícios industriais com apenas 1 piso as forças horizontais são transmitidas através da cobertura que funciona como diafragma.

Simplificando, o que se pretende com o contraventamento de uma estrutura é conduzir uma situação de equilíbrio instável para estável, com todos os efeitos benéficos para a sua segurança (Figura 7.4). [5]

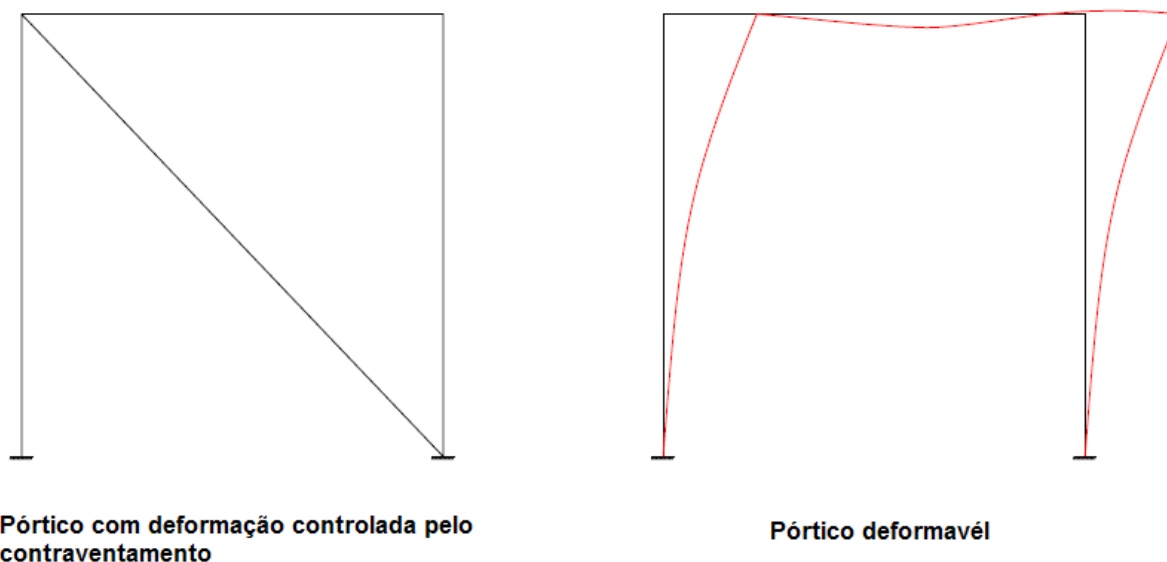


Figura 7.4 – Pórtico deformável e pórtico contraventado

## 8 Exigências de Habitabilidade

As exigências de utilização são, fundamentalmente, aquelas que nos edifícios são consideradas exigências de habitabilidade, ou seja as que estão directamente relacionadas com as funções específicas da construção. Neste capítulo, é feito referência apenas a alguns aspectos de exigências de utilização considerados de maior importância na concepção de edifícios industriais.

### 8.1 Drenagem de Águas Pluviais

A protecção das águas da chuva é uma das principais necessidades de qualquer edifício, sendo a solução mais básica a construção de uma cobertura durável e impermeável, com pendentes capazes de conduzir as águas até aos pontos mais baixos de modo a efectuar uma drenagem de águas eficiente.

Os sistemas de drenagem de coberturas são constituídos por dois processos de escoamento, o horizontal e vertical, funcionando ambos por gravidade, constando os seus elementos principais na Figura 8.1.

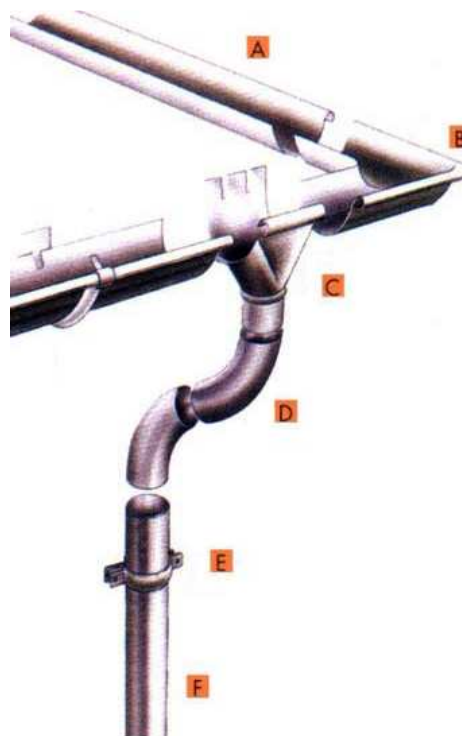


Figura 8.1 – Peças constituintes do sistema de drenagem de águas pluviais: A - caleira; B - Ângulo Exterior; C - União com descarga; D - Curva 90°; E - Abraçadeira; F - Tubo de queda (adaptada de [26])

O processo de drenagem horizontal é constituído normalmente por caleiras e algerozes que recebem a água proveniente da cobertura devido à inclinação das pendentes, conduzindo-a para as saídas universais, e direccionando-a posteriormente em para o sistema de drenagem vertical. Como foi referido anteriormente, são comercializadas vigas caleira pré-fabricadas em betão por algumas empresas nacionais, podendo em alguns casos dispensar por si só estes sistemas de drenagem metálicos horizontais. As saídas universais são o local onde acaba o processo de drenagem horizontal e começa o vertical, estando algumas situações ilustradas na Figura 8.2 e Figura 8.3.



**Figura 8.2 – Ligação directa ao tubo de queda**

De forma a garantir o bom funcionamento destes canais de drenagem e torná-los eficientes existem elementos próprios que evitam que detritos ou objectos obstruam os canais evitando problemas de drenagem, como é o caso do ralo de pinha metálica e em PVC.



**Figura 8.3 – Ralo de pinha metálica (extraída de [26])**

Por fim, o processo de drenagem vertical é constituído por tubos de queda, juntos por encaixe, que evacuam a água para as redes de saneamento. A ligação à saída universal é normalmente efectuada por um tubo de queda ou por elemento curvo. Os troços dos tubos de queda no caso de serem constituídos de plástico ou cobre são frequentemente protegidos, sendo envolvidos por outro tubo de ferro de secção maior.

## 8.2 Conforto Térmico

O conforto térmico define-se como o equilíbrio entre o calor produzido e o calor pedido pelo corpo, dependendo de vários factores como, por exemplo, a temperatura, pressão, vento, humidade, actividade e vestuário [6].

O conforto térmico não é propriamente uma exigência prioritária no sector de construção industrial, não estando deste modo sujeito ao cumprimento dos regulamentos de certificação energética de edifícios nacionais como, o Regulamento das Características de Comportamento térmico de Edifícios (RCCTE), o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE) [41]. Os edifícios industriais na sua maioria devem garantir conforto térmico mínimo, até por razões de eficiência dos ocupantes/trabalhadores, mesmo não estando sujeitos a qualquer tipo regulamentação.

A ventilação nas edificações tem como objectivo principal criar um ambiente interno confortável e saudável, preservando a qualidade do ar interior. Um dos principais sistemas de renovação de ar, e praticamente a única opção economicamente viável, utilizado no projecto de ambientes industriais é a ventilação natural, existindo como alternativa ou usada em simultâneo, sistemas de ventilação mecânica [6]. A **ventilação natural** no interior das edificações proporciona condições favoráveis de conforto térmico e da melhoria da qualidade de ar interno. A ventilação natural permite projectos espaçosos e iluminados, uma redução significativa do custo energético do edifício e ainda um clima interno agradável, o que consequentemente origina um maior rendimento do trabalho executado pelos ocupantes no interior da edificação [6].

Quando se recorre a ventilação natural como estratégia de climatização é necessário ter especial atenção a aspectos como: a forma e a orientação do edifício; projectar espaços amplos; facilitar a ventilação vertical (lanternins); e ainda utilizar elementos para direccionar o fluxo de ar para o interior [34]. Durante os períodos com temperaturas baixas é necessário controlar as aberturas e os fluxos de ar, de modo a evitar que o ambiente interior do edifício se torne demasiado frio.

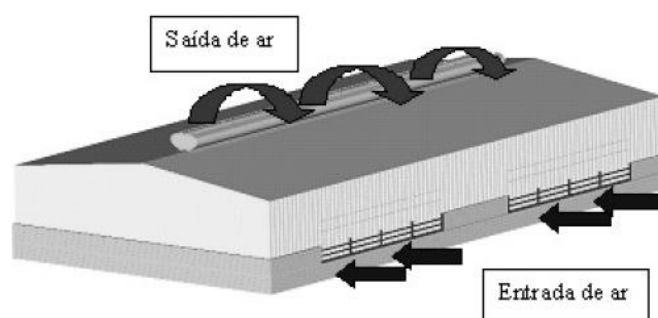


Figura 8.4 – Efeito chaminé<sup>1</sup>, entrada e saída de ar. (extraída de [6])

A **ventilação mecânica** é outro método de controlo térmico nos edifícios industriais, ao contrário da ventilação natural, esta apresenta como desvantagem o facto de consumir energia, originando custos acrescidos.

A ventilação mecânica inclui inúmeros sistemas de entrada e saída de ar com os quais é possível obter uma solução à medida de cada situação específica. Os sistemas de ventilação industriais são relativamente simples. São colocados aspiradores de ar de elevada potência nas coberturas, que tratam da eliminação do calor, enquanto sistemas de admissão de ar permitem a renovação de ar no interior do edifício [42].

Para além da ventilação nos edifícios, como já foi referido em capítulos anteriores, existem também soluções de revestimento para fachadas e coberturas que contêm materiais isolantes de modo a responder às necessidades térmicas dos edifícios.

### 8.3 Conforto Acústico

O ruído é uma das formas de poluição encontradas com maior frequência no sector industrial, afectando as pessoas no plano físico, psicológico e social, podendo causar lesões nos órgãos auditivos, perturbar a comunicação, provocar irritação e fadiga, e também diminuir o rendimento de trabalho [22]. Os edifícios industriais estão sujeitos ao cumprimento do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [72], sendo este o principal regulamento relevante sobre conforto acústico.

Segundo Gândara (2006) [22], diferentes níveis sonoros contínuos ( $L_{eq}^2$ ) provocam diferentes efeitos no corpo humano. O homem sofre reacções: psíquicas para  $L_{eq} > 30$  dB (A); reacções fisiológicas

<sup>1</sup> Efeito chaminé - processo da convecção natural ou efeito de tiragem natural, para qualquer pequeno diferencial de temperatura, que provoca um diferencial de pressão, o efeito chaminé torna-se perceptível.

<sup>2</sup>  $L_{eq}$  - Representa o nível sonoro contínuo equivalente em decibéis (dB).

para  $L_{eq} > 65$  dB (A); reacções auditivas com  $L_{eq} > 85$  dB (A); e lesões irreversíveis no sistema auditivo para  $L_{eq} > 120$  dB (A).

**Tabela 8.1 - Risco e níveis de segurança com diferentes níveis sonoros contínuos ( $L_{eq}$ ) (adaptada de [22])**

$L_{eq}$ (8 h)	Risco	Nível
80 dB(A)	Nulo	Segurança
85 dB(A)	Reduzido	Alerta
90 dB(A)	Considerável	Alarme
115 dB(A)	Elevado	Crítico

Os edifícios industriais devem ser concebidos e executados de forma a proporcionar aos ocupantes condições satisfatórias de conforto acústico, tendo em conta a sua utilização e respectivas condições de vizinhança. Deve conseguir-se o mesmo conforto em relação aos ruídos produzidos no interior do próprio edifício.

De forma a reduzir os níveis de ruído pode actuar-se na fonte produtora deste ou por outro lado actuar sobre as vias de propagação de ruído, quando não é possível ou é insuficiente o controlo do ruído na fonte.

Alguns exemplos de métodos de aplicação na fonte produtora de ruído:

- Utilização de materiais amortecedores de choques e vibrações;
- Utilização de silenciadores nas saídas de jactos de ar ou gases;
- Substituição e ajustamento de partes do equipamento soltas ou desequilibradas.

Métodos de aplicação sobre as vias de propagação de ruído:

- **Isolamento anti-vibrátil** – consiste na diminuição da transmissão das vibrações produzidas por uma máquina através de elementos sólidos adjacentes à fonte de ruído e na utilização de suportes adequados (borracha, cortiça, resinas sintéticas) que permitem a redução dos níveis de ruído em locais mais ou menos afastados;
- **Encapsulamento** - confere um bom isolamento (através de materiais densos e compactos) e uma boa absorção sonora (através de materiais porosos e pouco densos);
- **Painéis anti-ruído** - permitem o controlo da propagação do ruído numa determinada direcção e estes devem ser construídos por materiais isolantes revestidos por materiais absorventes do lado em que se encontra a fonte de ruído;
- **Tratamento acústico das superfícies** - as superfícies lisas e duras que reflectem o ruído devem ser evitadas, e quando existem devem ser revestidas por placas de material absorvente. Este método não é eficaz quando os trabalhadores se encontram próximos das fontes de ruído, porém permite a redução da reverberação no interior de um local de trabalho.

## 8.4 Iluminação

A iluminação é uma exigência com importância significativa no sector industrial, devido às características dos trabalhos e à necessidade de uma iluminação eficaz nestes edifícios. As instalações de iluminação (indústria, serviços e sector doméstico) consomem 25% da energia global do país e 5 a 7% numa instalação eléctrica industrial, sendo fundamental considerar a relação iluminação / consumo eléctrico [33]. Considerando estes factos, a eficiência energética de um edifício é na actualidade uma necessidade de grande relevância, devendo-se sempre que possível recorrer a alternativas com menores consumos de energia, tornando o edifício mais económico.

A iluminação em edifícios industriais pode obter-se através de dois métodos principais de iluminação: **iluminação natural** e **iluminação artificial**. Sendo a indústria um dos sectores de maior consumo de energia, a energia artificial apesar de não se poder abdicar dela na totalidade, pode e deve ser substituída, em grande parte pela iluminação natural proveniente da luz solar.

Tabela 8.2 – Tipos de lâmpadas (extraída de [33])

Lâmpadas de Descarga		Características principais	Aplicações
Lâmpadas de vapor de mercúrio			
Fluorescentes		→ Boa eficiência luminosa → Excelente reprodução de cor → Vida útil elevada	→ Iluminação comercial → Iluminação doméstica → Iluminação industrial
Alta pressão	Vapor de mercúrio	→ Média eficiência luminosa → Má restituição de cor → Custo médio → Vida útil elevada	→ Iluminação pública → Iluminação industrial a altura elevada → Iluminação de fachadas
	Luz mista	→ Média eficiência luminosa → Boa reprodução de cor → Vida útil elevada	→ Usos domésticos → Expositores
	Halogéneos metálicos	→ Boa eficiência luminosa → Média restituição de cor → Vida útil razoável	→ Iluminação desportiva → Iluminação interior → Iluminação comercial → Iluminação industrial a altura elevada
Lâmpadas de vapor de sódio			
Baixa pressão		→ Elevada eficiência luminosa → Restituição de cor nula → Radiação monocromática → Elevado custo → Vida útil elevada	→ Iluminação pública → Iluminação de segurança → Locais de necessidade de reprodução de cor
Alta pressão		→ Boa eficiência luminosa → Má restituição de cor → Elevado custo → Vida útil elevada	→ Iluminação pública → Iluminação industrial a altura elevada

Os **sistemas de iluminação artificial** comercializados pelas empresas nacionais são normalmente luminárias de corpos de alumínio com lâmpadas de multi-vapores metálicos (sódio ou mercúrio) de potência máxima entre 150 e 600 W. [33] Como alternativa a estas lâmpadas, surge actualmente uma

solução de **lâmpada LED**, capaz de reduzir até 30% a energia utilizada para iluminação. Ao longo do seu ciclo estas lâmpadas precisam de menos de 2% do seu consumo de energia para o seu fabrico, sendo assim mais de 98% são utilizadas para iluminação. Num futuro próximo, combinando estas LED's com outras inovações técnicas prevê-se poder poupar-se mais 30% de energia. [33] A Figura 8.8 ilustra alguns exemplos de aplicação de iluminação artificial em edifícios industriais.



**Figura 8.5 – Exemplos de sistemas de iluminação industriais da empresa Schreder (extraídas de [72])**

A **luz natural** é a luz proveniente do sol directa ou dispersamente através de nuvens. Como já foi mencionado anteriormente, devido à dependência das condições externas, a luz natural não é suficiente para todo o tempo diário de iluminação, além de em dias nublados e chuvosos a quantidade de luz diminuir consideravelmente, tendo de se recorrer à iluminação artificial. [64]

A iluminação de um edifício pode fazer-se através da **iluminação lateral**, em que a luz penetra no edifício através das aberturas da fachada ou através de **iluminação zenital** entrando através de aberturas na cobertura do edifício.

A **iluminação lateral** é conseguida através de janelas, paredes translúcidas, entre outras alternativas. No entanto para uma iluminação lateral eficaz tem de ser ter em conta alguns aspectos importantes como: a diminuição rápida da distribuição de luz com o aumento da distância das janelas; iluminação eficaz associada a um posicionamento adequado das janelas; as áreas envidraçadas devem ser distribuídas homoganeamente na fachada em locais de trabalho; e as zonas abaixo do plano de trabalho não contribuem para a iluminação. [24]

A **iluminação zenital** é bastante eficaz em locais profundos e grandes espaços contínuos, oferecendo maior uniformidade e iluminância média sobre a área de trabalho do que uma superfície iluminante lateral. A área iluminante zenital não deve ser superior a 10% da área de cobertura, caso contrário pode implicar problemas térmicos no edifício, devido à concentração de calor. Este desconforto térmico pode ser evitado através de uma boa orientação solar e boa circulação de ar

(efeito chaminé). [24] Além desta área não poder superar 10% da área de cobertura e precisar de elementos redireccionadores e sombreadores de luz, são o seu elevado custo inicial e a necessidade de manutenção adequada (devido a acumulação de sujidade) as suas principais desvantagens. [24].

A distribuição de luz no interior de um edifício iluminado zenitalmente depende da forma dos elementos zenitais adoptados. As principais tipologias para iluminação zenital são:

- Coberturas SHED
- Coberturas com lanternins
- Coberturas com clarabóias
- Coberturas com chapas translúcidas

As **coberturas SHED**, conforme ilustra a figura 8.8, são uma solução bastante viável quando não é possível obter luz lateral ou o edifício ser bastante largo. Estas coberturas caracterizam-se por telhados de dupla inclinação (uma face de pouca inclinação alternada com uma face quase vertical), sendo as faces quase verticais envidraçadas. A estruturação destas coberturas é relativamente elaborada, pois para proporcionar uma iluminação e ventilação adequada, é preciso possuir elementos que possibilitem estas mesmas funções, impedindo desta forma a penetração de chuva. Para um desempenho eficiente, estas coberturas devem ter as faces envidraçadas orientadas a sul.



Figura 8.6 – Exemplo de cobertura SHED em edifícios industriais (extraída de [6])

As **coberturas com clarabóias e chapas translúcidas** requerem maior manutenção devido à posição mais horizontal da superfície iluminante que favorece a acumulação de sujidade. Esta solução requer especial atenção em relação à variação de temperatura, que pode gerar sobreaquecimento, provocando um desconforto térmico.



**Figura 8.7 – Exemplos de coberturas com clarabóias e chapas translúcidas (extraída de [24])**



## 9 Análise de Custos

Como qualquer actividade que queira competir no mercado actual, também a indústria de pré-fabricação tem que apresentar nos seus produtos uma boa relação custo/desempenho. Neste capítulo é realizada uma análise respeitante aos custos na construção de edifícios industriais pré-fabricados em betão.

### 9.1 Caracterização dos edifícios

Foram analisados cinco orçamentos de diferentes empresas de pré-fabricação em betão, destacando-se no processo construtivo os grupos de actividades de trabalhos com maiores custos envolvidos por área do edifício, nomeadamente: as fundações; os pavimentos; a estrutura pré-fabricada; os revestimentos das coberturas e fachadas inclusive estrutura de suporte; e os processos de transporte e montagem.

O **edifício 1** é constituído por apenas um piso e possui uma área rectangular em planta de 2243,52 m<sup>2</sup>, com um comprimento de 68,40 m e largura de 32,80 m. Este é formado por nove pórticos sendo o espaçamento entre estes de 8,50 m e um pé-direito de 7 m, correspondente à altura dos pilares.

Em relação à estrutura pré-fabricada em betão, esta é composta por pilares quadrangulares com um cachorro no nível superior, sendo a cobertura constituída por vigas caleiras, e asnas triangulares e madres de perfil em I pré-esforçadas. As fundações são formadas por sapatas com 2,50 m x 2,50 m x 1,50 m, e o pavimento térreo é formado por tout-venant, areia e pó de pedra. No **ANEXO I**, apresenta-se a planta de estrutura da cobertura e um corte transversal.

O **edifício 2** possui apenas um piso e tem uma área rectangular de 325 m<sup>2</sup>, com um comprimento de 25 m e largura de 13 m. O espaçamento entre pórticos é de 7,80 m sendo o pé-direito de 5,50 m.

Relativamente à estrutura esta é constituída por pilares pré-fabricados em betão com 0,40 m x 0,40 m. A cobertura, por sua vez é composta por asnas triangulares de secção em I variável pré-esforçadas, madres de perfil em I constante e vigas caleira com platibanda, sendo esta ainda revestida por painéis metálicos sandwich. É importante referir, que não são conhecidas as características das fundações e pavimentos térreos, daí não serem contabilizadas. O **ANEXO 2** ilustra a planta de estrutura da cobertura.

O **edifício 3** é constituído por 3 pisos, sendo um dos pisos apenas parcial. Possui uma área total de 3332,74 m<sup>2</sup> (área da cave: 1431,14 + área do piso 1: 1406,79 + área do piso 2: 494,81).

A estrutura é constituída por peças pré-fabricadas em betão armado pré-esforçado e pós-esforçado. É composta por pilares, vigas de secção variável, vigas caleira platibanda, vigas platibanda, vigas caleira, vigas de laje, lajes alveolares e madres. As fundações são formadas por sapatas em betão armado betonadas “in situ”, contra o terreno natural.

As fachadas são revestidas por painéis exteriores pré-fabricados em betão armado num total de 300 m<sup>2</sup>, com espessura de 0,12 m, com acabamento areado fino na face interior e acabamento liso em betão de cimento cinzento na face exterior e acima destes por chapas metálicas simples verticais. A cobertura possui uma área de 1247,00 m<sup>2</sup> que é revestida por painéis sandwich, com isolamento em poliuretano no seu interior com 30 mm de espessura.

O pavimento do piso da cave é constituído por uma camada de 0,20 m de tout-venant, seguido de um filme plástico e aplicação de 0,15 m de betão C20/25 com fibras metálicas e endurecedor de superfície. As plantas, cortes e alçados do edifício são ilustrados no ANEXO III.

Os **edifícios 4 e 5** não possuem estrutura pré-fabricada de betão, recorrendo-se apenas a painéis pré-fabricados para revestimento de fachadas. Não são conhecidas as áreas de construção nem o número de pisos.

Para o **edifício 4** foram requisitados painéis pré-fabricados em betão armado, para revestir 675 m<sup>2</sup> de fachada, com comprimento aproximado de 6 m, 2,50 m de altura e espessura de 0,10 m. O acabamento destes painéis é riscado numa face e em inerte de calcário à vista, tipo “bago de arroz” em betão de cimento cinzento na outra face.

Como alternativa foram disponibilizados os mesmos painéis mas com acabamento riscado numa face e acabamento em inerte de granito à vista, tipo “bago de arroz” em betão de cimento cinzento na outra face, ou ainda com acabamento riscado numa face e acabamento em inerte de calcário à vista, tipo “bago de arroz” em betão de cimento branco na outra face.

Não são conhecidas as características e os custos dos restantes grupos de actividades de trabalhos, daí não serem contabilizadas.

O **edifício 5** possui 200 m<sup>2</sup> de fachada revestida por painéis pré-fabricados de betão armado com dimensões: 5,00/5,35 m de comprimento; 1,95 m de altura; 0,12 m de espessura. O acabamento dos painéis é composto por um areado fino na face interior e liso para pintar na face exterior, em betão de cimento cinzento.

Não são conhecidas as características e os custos dos restantes grupos de actividades de trabalhos, daí não serem contabilizadas.

## 9.2 Cálculos

Para esta análise foram utilizadas 3 fórmulas:

$$n = 2010 - \text{Ano de construção do edifício} \quad (1)$$

$$\text{valor de inflação} = (1 + 0,02)^n \quad (2)$$

$$\text{Custo da actividade (€/m}^2\text{)} = \frac{(\text{Custo da actividade} \times \text{valor de inflação})}{\text{Área total de construção}} \quad (3)$$

### Análise do Orçamento 1

Dados:

Ano de construção: 2005

Área de construção:  $\pm 2243,50 \text{ m}^2$

Recorrendo às formulas (1) e (2):

$$n = 2010 - 2005 = 5$$

$$\text{valor de inflação} = (1 + 0,02)^5 = 1,10$$

Recorrendo à fórmula (3), calculam-se os custos de cada grupo de actividade de trabalho por  $\text{m}^2$ .

$$\text{Fundações} = \frac{(25740,00 \times 1,10)}{2243,50} = 12,6 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Pavimentos} = \frac{(44870,40 \times 1,10)}{2243,50} = 22,0 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Estrutura pré - fabricada} = \frac{(49732,97 \times 1,10)}{2243,50} = 24,4 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Transporte e montagem} = \frac{((20200,00 + 3541,75) \times 1,10)}{2243,50} = 11,6 \text{ €/m}^2$$

Os custos do transporte e montagem são 3541,8 € e 20200,0 €, respectivamente.

### **Análise do Orçamento 2**

Dados:

*Ano de construção:* 2009

*Área de construção:* ±325,00 m<sup>2</sup>

Recorrendo às formulas (1) e (2):

$$n = 2010 - 2009 = 1$$

$$\text{valor de inflação} = (1 + 0,02)^1 = 1,02$$

Recorrendo à fórmula (3), calculam-se os custos de cada grupo de actividade de trabalho por m<sup>2</sup>.

$$\text{Coberturas} = \frac{(11959,60 \times 1,02)}{325,00} = 37,5 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Estrutura pré – fabricada} = \frac{(10398,90 \times 1,02)}{325,00} = 32,6 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Transporte e montagem} = \frac{(4973,50 \times 1,02)}{325,00} = 15,6 \text{ €/m}^2$$

### **Análise do Orçamento 3**

Dados:

*Ano de construção:* 2008

*Área da planta da cave:* ±1431,14 m<sup>2</sup>

*Área da planta do piso 0:* ±1406,79 m<sup>2</sup>

*Área da planta do piso 1:* ±494,81 m<sup>2</sup>

*Área total de construção:* 3332,74 m<sup>2</sup>

Recorrendo às formulas (1) e (2):

$$n = 2010 - 2008 = 2$$

$$\text{valor de inflação} = (1 + 0,02)^2 = 1,0404$$

Recorrendo à fórmula (3), calculam-se os custos de cada grupo de actividade de trabalho por m<sup>2</sup>.

Devido ao facto de se tratar de um edifício com 3 pisos, é considerada para as actividades que envolvem trabalhos de fundações, estrutura pré-fabricada e de transporte e montagem, a área total do edifício, ou seja a área total de construção (3332,74 m<sup>2</sup>). Nos restantes grupos de actividades de trabalho, excepto as áreas de revestimentos de fachada e das lajes alveolares, é considerada a área da planta geral do edifício, neste caso a área da planta da cave (±1431,14 m<sup>2</sup>).

$$\text{Fundações} = \frac{(39950,00 \times 1,0404)}{3332,74} = 12,5 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Pavimentos} = \frac{(40040,00 \times 1,0404)}{1431,14} = 29,1 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Fornecimento e montagem da cobertura em painél sandwich} = \frac{(38900,00 \times 1,0404)}{1431,14} = 28,3 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Estrutura pré - fabricada} = \frac{((40540,00 + 48160,00 + 76500,00) \times 1,0404)}{3332,74} = 51,6 \text{ €/m}^2$$

Os trabalhos de transporte e montagem da estrutura pré-fabricada incluem a estrutura de cobertura (15300 € e 2260 €), os pilares (1420 € e 8500 €), as vigas de laje (11000 € e 2050 €). Opta-se por retirar os custos das lajes alveolares, pois neste caso o valor da actividade será bastante mais caro que o anterior devido à existência de um piso de lajes pré-fabricadas, sendo o valor destas aproximadamente metade da parcela desta actividade. Sendo assim, o custo de transporte e montagem dos pisos pré-fabricados será incluído na parcela das lajes alveolares.

$$\text{Transporte e montagem} = \frac{((15300 + 2260 + 1420 + 8500 + 11000 + 2050) \times 1,0404)}{3332,74} = 12,7 \text{ €/m}^2$$

As lajes são aplicadas no piso 0 e piso 1 sendo considerada então uma área total de 1901,60 m<sup>2</sup>, correspondente a área de execução das lajes do tecto da cave (±1406,79 m<sup>2</sup>) e do tecto do piso (±494,81 m<sup>2</sup>). Os valores para os painéis alveolares é de 56880,00 € e para a betonagem complementar das lajes de 36950,00 €. O custo do transporte e montagem das lajes alveolares é de 24500 € e 4420 €

$$\text{Lajes alveolares} = \frac{((56880,00 + 36950,00 + 24500 + 4420) \times 1,0404)}{1901,60} = 67,2 \text{ €/m}^2$$

As fachadas são revestidas por painéis pré-fabricados de betão armado (300 m<sup>2</sup>) e por chapas simples metálicas (1247 m<sup>2</sup>). Os custos totais são dados pelo custo dos painéis (16700,00 €) e da

execução de juntas (820,00 €), estando ainda incluídos nestes valores os trabalhos de transporte, montagem e estrutura de suporte no caso das chapas simples metálicas.

$$\text{Painéis pré – fabricados de betão armado} = \frac{((16700,00 + 820,00) \times 1,0404)}{300,00} = 60,8 \text{ €/m}^2$$

$$\text{Chapa simples metálica} = \frac{(29600,00 \times 1,0404)}{1247,00} = 24,7 \text{ €/m}^2$$

#### **Análise do Orçamento 4**

Dados:

*Ano de construção:* 2008

*Área de revestimento:* ±675,00 m<sup>2</sup>

Recorrendo às formulas (1) e (2):

$$n = 2010 - 2008 = 1$$

$$\text{valor de inflação} = (1 + 0,02)^1 = 1,02$$

Recorrendo à fórmula (3), calculam-se os custos de cada grupo de actividade de trabalho por m<sup>2</sup>.

Como descrito anteriormente, foi feito um orçamento onde foram apresentadas três alternativas de painéis pré-fabricados de betão armado com diferentes acabamentos para o revestimento das fachadas. Estão incluídos nestes valores os trabalhos de transporte e montagem.

$$\begin{aligned} \text{Painéis em inerte de calcário ou granito em betão de cimento cizento} &= \frac{(24637,50 \times 1,02)}{675,00} \\ &= 37,2 \text{ €/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Painéis em inerte de calcário em betão de cimento branco} = \frac{(26662,50 \times 1,02)}{675,00} = 40,3 \text{ €/m}^2$$

#### **Orçamento 5**

Dados:

*Ano de construção:* 2008

*Área de revestimento:* ±200,00 m<sup>2</sup>

Recorrendo às formulas (1) e (2):

$$n = 2010 - 2008 = 1$$

$$\text{valor de inflação} = (1 + 0,02)^1 = 1,02$$

Recorrendo à fórmula (3), calculam-se os custos de cada grupo de actividade de trabalho por m<sup>2</sup>.

$$\text{Painéis lisos em betão de cimento cizento} = \frac{(10539,00 \times 1,02)}{200,00} = 53.8 \text{ €/m}^2$$

A Tabela 9.1 apresenta os valores obtidos para os custos de cada grupo de actividade de trabalhos.

**Tabela 9.1 – Custos por grupo de actividade de trabalhos**

		Custos por área (€/m2)						
		Orçamento 1 (1 piso)	Orçamento 2 (1 piso)	Orçamento 3 (3 pisos)	Orçamento 4		Orçamento 5	MÉDIA
<b>Fundações</b>	Sapatas	12,6	-	12,5	-		-	<b>12,5</b>
<b>Pavimentos</b>	Toutvenant/Pó de pedra/areia e Toutvenant / C20/25 com fibras metálicas e-endurecedor de superfície	22,0	-	29,1	-		-	<b>25,6</b>
<b>Estrutura Pré-fabricada</b>	Asnas, madres, vigas, pilares e acessórios complementares	24,4	32,6	51,6	-		-	<b>36,2</b>
	Lajes alveolares e betonagem de lajes	-	-	51,3	-		-	<b>51,3</b>
<b>Coberturas</b>	Painel metálico sandwich com isolamento	-	37,5	28,3	-		-	<b>32,9</b>
<b>Fachadas</b>	Fornecimento, transporte e montagem de painéis pré-fabricados em betão com selagem de juntas	-	-	60,8	37,2	40,3	53,7	<b>45,9</b>
	Chapa simples incluindo estrutura de suporte	-	-	24,7	-		-	<b>24,7</b>
<b>Transporte e Montagem</b>		11,6	15,6	21,7	-		-	<b>16,3</b>

### 9.3 Análise de resultados

Apesar do reduzido número de orçamentos é possível tirar-se algumas conclusões a partir destes resultados. Serão analisados apenas dois grupos de actividade de trabalho, entendendo-se serem os mais significativos neste tipo de construções.

Os valores obtidos para a estrutura pré-fabricada em betão são bastante semelhantes, diferindo ligeiramente devido principalmente à quantidade de tipos de elementos utilizados em cada obra e consoante a dimensão do edifício. Como se pode verificar, o edifício 1 usa 4 tipos de elementos (asnas, madres, pilares e vigas caleira), o edifício 2 utiliza 5 tipos de elementos (asnas, madres, pilares, vigas caleira, vigas caleira platibanda) e o edifício 3 utiliza 7 tipos (asnas, madres, pilares, vigas caleira, vigas caleira platibanda, vigas platibanda e vigas de piso).

A demonstração disso é que na divisão do custo/m<sup>2</sup> da estrutura pré-fabricada pela quantidade de elementos utilizados deduz-se que os valores dos 3 orçamentos rondam os valores de 6 a 7 €/m<sup>2</sup>.

**Orçamento 1** → 24,38 €/m<sup>2</sup>

Custo por elemento estrutural →  $24,38 / 4 = \underline{6,095 \text{ €/m}^2}$

**Orçamento 2** → 32,64 €/m<sup>2</sup>

Custo por elemento estrutural →  $32,64 / 5 = \underline{6,528 \text{ €/m}^2}$

**Orçamento 3** → 51,57 €/m<sup>2</sup>

Custo por elemento estrutural →  $51,57 / 7 = \underline{7,367 \text{ €/m}^2}$

Também é possível relacionar estes custos através da dimensão das áreas. Como se pode verificar o edifício 2 tem uma área menor que o edifício 1, existindo à partida alguns custos fixos que possuem um peso relativo maior. O edifício 3 tem pisos em lajes pré-fabricadas, tornando assim a estrutura mais dispendiosa, tendo a estrutura que resistir a cargas muito superiores às cargas das coberturas.

Em relação aos painéis pré-fabricados de betão estas diferenças de valores representam principalmente a diferença entre a distância da fábrica e o local de obra e o tipo de acabamento e de produtos utilizados na sua concepção.

Como demonstram os resultados obtidos anteriormente, mesmo sendo reduzida a quantidade de valores conseguidos para comparação, os custos referentes a cada grupo de actividades de trabalhos não variam muito de edifício para edifício, independentemente de estes apresentarem características

bastante diferentes. Pode então concluir-se que existem factores que conseguem alterar ligeiramente o custo de alguns grupos de actividades de trabalhos, nomeadamente:

- Distância entre a fábrica de pré-fabricação e o local de obra;
- Tipo de produtos e acabamentos utilizados;
- Quantidade dos tipos de elementos pré-fabricados utilizados;
- Existência ou não de pisos no edifício.

Outros aspectos que devem ser referidos e que não são mencionados na análise anterior são os custos das fundações, as quais dependem do tipo de solo do local da obra, e os trabalhos de escavação e contenção (no caso de existirem caves ou muros de suporte de terras).

## 10 Conclusões e Futuras Linhas de Investigação

Actualmente, com a sinergia entre projectistas, empresas de pré-fabricação e empreiteiros, e tirando partido das vantagens da pré-fabricação, é possível realizar soluções com elevado valor estético, construtivamente económicas e eficientes do ponto de vista estrutural e funcional para edifícios industriais.

O recurso a soluções pré-fabricadas veio possibilitar um rigor superior, resultando numa maior qualidade e durabilidade das construções. Estas características das construções pré-fabricadas são também originadas pelas classes de resistência dos betões utilizados no fabrico das peças pré-fabricadas. Ao mesmo tempo devido ao aumento do custo de mão-de-obra e da diminuição dos prazos de construção a que as empresas estão sujeitas, a pré-fabricação terá tendência a afirmar-se no mercado nacional.

No presente trabalho fez-se uma síntese das soluções disponíveis para a implementação da pré-fabricação na construção de edifícios industriais, que se acredita devido principalmente às características mencionadas anteriormente e à capacidade de resistência ao fogo do betão face às estruturas metálicas, possa vir a ser a tendência no nosso país. Apresentaram-se as soluções para fundações, lajes, pavimentos, vigas, pilares e inclusive painéis pré-fabricados para fachadas. Das inúmeras soluções possíveis para as ligações foram descritas e pormenorizadas algumas.

Actualmente, as soluções em betão pré-fabricado são inúmeras, conseguindo responder aos desafios de concepção propostos aos projectistas. Os painéis arquitectónicos pré-fabricados conseguem formar fachadas atractivas e de elevada durabilidade, sendo fabricados com coloração textura e acabamentos variados, adequando-se a todo o tipo de necessidades.

A criação de espaços amplos e espaçosos é possível através da utilização de painéis alveolares ou em “duplo T”, sendo estes capazes de suportar grandes vãos. Desta forma, consegue-se obter áreas amplas e livres de pilares de suporte, permitindo instalações e armazenamento de vários equipamentos/produtos.

A eficiência energética e a criação de alternativas de suporte de equipamentos são garantidas através da construção pré-fabricada em betão. Existem painéis pré-fabricados que suportam as cargas do sistema estrutural da cobertura, reduzindo assim custos e acelerando o processo de construção. Estes painéis estruturais podem ainda ser usados para a instalação de equipamento mecânico. Os painéis sandwich pré-fabricados, por sua vez, garantem um isolamento térmico eficiente nas fachadas, controlando a climatização do edifício e diminuindo os custos de climatização mecânica.

Os elementos pré-fabricados são transportados para o local de obra apenas no dia de montagem e a sua fabricação é realizada fora desta. Este processo vai garantir a redução de tráfego e consequente aglomeração de elementos armazenados, isto é, diminui o risco de congestionamento de material e o risco de acidente no local de obra e nas proximidades desta.

As ligações estruturais entre elementos pré-fabricados têm eficácia comprovada quando sujeitas a acções sísmicas, permitindo desta forma a sua utilização em todas as áreas sísmicas. A construção total com sistemas pré-fabricados em betão reduz o número de elementos utilizados combinando características estruturais e arquitectónicas numa única peça. A produção dos elementos pode iniciar-se assim que o projecto é terminado, garantindo que a montagem dos elementos comece assim que o local de obra está preparado, e permitindo assim um retorno rápido dos custos de investimento.

Pode assim, concluir-se que a concepção de sistemas de estruturas pré-fabricadas deve ser pensada no sentido de se tirar o maior proveito das vantagens existentes nesta técnica, uma vez que este tipo de construção é fiável e viável. Estes sistemas pré-fabricados em betão devem ser bem estruturados e planeados e serem o mais simples possível, de modo a facilitar a execução das ligações entre os elementos pré-fabricados e conseguir uma maior eficiência em todo o processo construtivo.

Este trabalho apresenta uma grande vertente de pesquisa e de compilação de informação, sendo que, a generalidade do tema tratado não permitiu aprofundar certas questões até um nível que se considera desejável.

É possível e agora mais fácil, tendo por base este estudo, iniciar a preparação de estudos menos genéricos no âmbito das exigências funcionais que devem ser asseguradas e respectivas regras de qualidade. Era interessante que futuros trabalhos relacionassem os tipos de utilização destes edifícios com as soluções estruturais (elementos e materiais) e construtivas (revestimentos, iluminação, etc.), e ainda interligar estas questões com o grau de conforto sentido e com a qualidade de trabalho executado.

Por motivos de falta de documentação, pois trata-se de informação que as empresas preferem não divulgar por razões de concorrência de mercado, não foi possível formular uma análise de custos mais aprofundada. Sugere-se assim a realização num futuro próximo de um inquérito dirigido às empresas de pré-fabricação em betão, de forma a conseguir acrescentar e corrigir valores a esta análise, e obter uma ideia mais esclarecedora dos custos envolvidos na execução destes edifícios.

## 11 Referências Bibliográficas

- [1] Acker, A. (Agosto de 2007). Torres pré-moldadas. (R. Faria, Entrevistador). Revista Técnica
- [2] Albarran, E. (2008). Construção com Elementos Pré-fabricados em Betão. Lisboa: IST.
- [3] Appleton, J. (1982). Edifícios Industriais e Agrícolas. Seminário 278 . Lisboa: LNEC.
- [4] BCSD Portugal – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. (2005). Manual de boas práticas de eficiência energética. Implementar o desenvolvimento sustentável nas empresas . Lisboa.
- [5] Carneiro, F., Martins, J. (2008). Contraventamento de Edifícios. Universidade Fernando Pessoa.
- [6] Chiarello, J. (2006). Ventilação Natural por Efeito Chaminé - Estudo em Modelo Reduzido de Pavilhões Industriais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [7] Couto, A., Couto, J. (2007). Relatório. Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-fabricação. Universidade do Minho.
- [8] Cunha, E. (2005). A cobertura nos edifícios de grandes vãos: uma proposta de ferramenta de apoio. Tese de doutoramento. Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [9] Delgado, J., Marchão, C., Neves, L. (2008). Acção sísmica segundo o EC8. Segurança e Dimensionamento – Ano Lectivo 2008/2009 : FCT-UNL, Monte de Caparica
- [10] Dow Portugal, S.A. (2005). Guião Técnico - Isolamento térmico de pavimentos.
- [11] Ebeling, E., El Debs, M., Lúcio, V., (2008) Estudo sobre o punçoamento em ligações pilar-fundação por meio de cálice em estruturas de betão pré-fabricado; 2º Congresso Nacional da Prefabricação em Betão; LNEC, Lisboa.
- [12] El Debs, M. (2000). Concreto pré-moldado: Fundamentos e Aplicações. São Carlos: Projeto REENGE - Escola de Engenharia de São Carlos - São Paulo, Brasil.
- [13] NP EN 1991-1-4:2010. Eurocódigo 1: Acções em estruturas - Parte 1: Acções Gerais – Acções do vento. IPQ.
- [14] NP EN 1992-1-1:2010. Eurocódigo 2: Projecto de estruturas em betão – Parte 1: Regras gerais e regras para edifícios. IPQ.
- [15] NP EN 1998-1:2010. Eurocódigo 8: Projecto de estruturas para resistência aos sismos Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios. IPQ.

- [16] Estruturas Metálicas II.(2005). Concepção e Dimensionamento de Edifícios Industriais em Estrutura Metálica. DEC – Universidade de Coimbra.
- [17] Fédération International du béton. (2008). Structural connections for precast concrete buildings. Bulletin No. 43 .fib.
- [18] Ferreira, C. (2009). Pré-Fabricação - Que mais valia para a segurança? Aveiro: Grupo PAVICENTRO.
- [19] Ferreira, E. (2001). Passadiços Prefabricados de betão - Concepção e Projecto. Universidade do Minho: Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia de Estruturas, Geotecnia e Fundações.
- [20] Fédération Internationale de la Précontrainte. (2004). Planning and Design Handbook on Precast Building Structures. FIP.
- [21] Freitas, V. P. (2002). Selecção exigencial de painéis pré-fabricados em betão da PRÉGAIA para aplicação em fachadas. Porto: PRÉGAIA, S.A.
- [22] Gândara, J. (2005). Ruído. Higiene e Segurança Industrial - Engenharia Alimentar . Escola Superior Agrária de Coimbra, Coimbra.
- [23] Gonçalves, T. (2008). Resistência ao Fogo de Estruturas de Betão - Comportamento Global de Estruturas em Situação de Incêndio.Tese de Mestrado. IST, Lisboa.
- [24] Vianna, N., Gonçalves, J. (2007). Iluminação e Arquitetura.editora: Geros.São Paulo.
- [25] Appleton, J.. (1976). Cobertura de Edifícios. CPP 516 . LNEC, Lisboa.
- [26] Lobo, S. (2002). Sistema de Drenagem de Águas Pluviais de Coberturas Inclinadas, Construlink. Monografia. Tecnologias da Construção. IST, Lisboa.
- [27] Lúcio, V. (2001). Concepção de Estruturas Pré-Moldadas. Pré-fabricação em betão FCT-UNL, Monte de Caparica.
- [28] Lúcio, V. (2001). Introdução às Estruturas Pré-Moldadas. Pré-fabricação em betão FCT-UNL, Monte de Caparica.
- [29] Lúcio, V. (2000). Ligações em estruturas pré-fabricadas. Curso de Pré-Fabricação. IST, Lisboa.
- [30] Lúcio, V. (2001). Ligações entre Elementos Pré-Moldados. Pré-fabricação em betão. FCT-UNL, Monte de Caparica.
- [31] Lúcio, V. (2006). Projecto de Pavimentos de Lajes Alveoladas. Seminário Especializado sobre Estruturas Pré-Fabricadas de Betão. IST, Lisboa.

- [32] Marreiros, R., Lúcio, V. (2008). Comportamento de edifícios altos construídos com estrutura parede pré-fabricada. 2º Congresso Nacional da Pré-Fabricação em Betão, ANIBP . Lisboa.
- [33] Martins, J. (2009). Sebenta - Instalações Eléctricas. MIECC . FCT-UNL, Monte de Caparica.
- [34] Mazon, A., Silva, R., Souza, H. (2006). Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas. Escola de Minas vol. 59 . Ouro Preto, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil.
- [35] Neves, L., Marchão, C. (2009). Sebenta. Acção do vento segundo o EC1. FCT-UNL, Monte de Caparica.
- [36] Nunes, P. (2008). Acção do vento em coberturas metálicas - Modelação de uma estrutura do tipo "sombreador". Tese de mestrado. FCT-UNL, Monte de Caparica.
- [37] Pereira, H., Martins, J. (2008). Sebenta de Materiais de Construção II. Execução de Estruturas de Betão . IST, Lisboa.
- [38] Proença, J. (1997). Comportamento sísmico de estruturas pré-fabricadas - Desenvolvimento de um sistema reticulado Contínuo. Tese de doutoramento IST, Lisboa.
- [39] Ramos, A. (2006). Estruturas de Betão Armando II. Sebenta. FCT-UNL, Monte de Caparica.
- [40] Reis, P. (2001). Ligação Contínua Viga-Pilar em Estruturas Pré-moldadas de betão. Tese de mestrado. IST, Lisboa.
- [41] Santos, P. (1983). Comportamento de Ligações de Estruturas Pré-fabricadas de Betão. Tese de especialista. LNEC, Lisboa.
- [42] Saraiva, F. (2006). Estruturas de Edifícios com Pré-Fabricação. Seminário Especializado em Estruturas Pré-fabricadas de Betão. IST, Lisboa
- [43] Saraiva, F. (2009). Pré-Fabricação - Que mais valia para a segurança? Relatório técnico. PAVICENTRO, Porto.
- [44] SECIL prebetão. (2009). Estruturas. Catálogo. Montijo.
- [45] Serra, S., Ferreira, M., Pigozzo, B. (2005). Evolução dos Pré-fabricados de Concreto. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado. Universidade Federal de São Carlos, Brasil.
- [46] Silva, A. (1998). Ligações entre elementos Pré-fabricados de Betão. Tese de mestrado. IST, Lisboa.
- [47] Silva, G. (2007). Reabilitação de Pavimentos Comerciais e Industriais. Seminário de investigação. IST, Lisboa.

[48] Silva, N., Lobo, M. (2007). Palestra sobre Gestão de Energia. Eficiência Energética nos Edifícios. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.

[49] Escola Superior de Tecnologia. (2007). Pré-Fabricação. Construção e Processos. Sebenta. Sebenta. Universidade do Algarve.

[50] Viero, L. (2008). Industrialização da Construção Civil - Pré-fabricados em Concreto. Tese para obtenção do grau de Engenheiro Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Brasil.

[51] Vitro Chaves. (2007). Publicação da empresa Vitro Chaves. Catálogo técnico. infoGLASS .

[52] NP EN 1990:2009. Eurocódigo 0: Bases para o projecto de estruturas. IPQ

[53] REBAP. (2010). Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado. LNEC, Lisboa

[54] RSA. (2010). Regulamento de Segurança e Acções para estruturas de edifícios e pontes. LNEC, Lisboa.

[55] RRAE. (2008). Regulamento dos Requisitos Acusticos dos Edifícios. LNEC, Lisboa.

#### **WEBGRAFIA:**

[56] Agência para a Energia, A. (2009). Certificação Energética de Edifícios - Perguntas & Respostas. Obtido em Janeiro de 2010, de <http://www.adene.pt>

[57] ArcelorMittal Construção Portugal. (2010). Obtido de <http://www.arcelormittal-construction.com.pt/>

[58] Blocotelha. (2010). Blocotelha, Construções metálicas e Autoportantes. Obtido de <http://www.blocotelha.pt>

[59] Colt Portugal, S.A. (2009). Colt Portugal - Arquitectura e assistência técnica para edifícios novos, Protecção solar no exterior, Tecnologia de controlo climático, Controlo de Fumos e RWA. Obtido de <http://www.colt-portugal.pt>

[60] Construlink. (2009). Construlink.com - Portal de Arquitectura, Engenharia e Construção. Obtido de <http://www.construlink.com>

[61] Garcia, J, de Brito, J. (2006). Anomalias em pavimentos industriais com revestimentos epóxicos e sua reparação. Obtido em 2009, de Maxit: <http://www.maxit.pt>

[62] Garcia, J., de Brito, J. (2006). Exigências Funcionais e Requisitos dos Revestimentos de Piso Industriais. Obtido em 2010, de Maxit: <http://www.maxit.pt>

[63] Gomes & Taveira, S.A. (2010). Tecnipor. Obtido de <http://www.tecnipor.com.pt>

[64] Pavicentro. (2010). Catálogo. Pavicentro - Pré-Fabricação, S.A. Obtido de <http://www.pavicentro.pt>

[65] Perfitec. (2010). Perfitec - Revestimentos metálicos. Obtido de <http://www.perfitec.pt>

[66] Pisos Industriais. (2010). Portal Pisos Industriais. Revista Técnica. Obtido em 2010, de <http://www.pisosindustriais.com.br>

[67] Precore, S.A. (2010). Catálogo. Precore . Prefabricação, Construção e Reparação, S.A. Obtido em 2009, de <http://www.precore.pt>

[68] Prefabricados Castelo. (2010). Catálogo. Obtido de Web site de Prefabricados Castelo: <http://www.castelo.org>

[69] Prégaia. (2010).Catálogo. Obtido de <http://www.pregaia.com>

[70] Qualimetal. (2009). Catálogo. Qualimetal, Edifícios Industriais. Obtido de <http://www.cualimetal.com/pt>

[71] Raposo, S. (2003). Coberturas Planas de Edifícios, de Construlink : <http://www.construlink.com>

[72] Schréder Iluminação, S.A. (2010).Catálogo. Obtido de <http://www.schreder.com>

[73] Vigobloco. (2009). Vigobloco Pré-fabricados, S.A. Catálogo. Obtido de <http://www.vigobloco.pt>