

# Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-fabricação

Armanda Bastos Couto\*, João Pedro Couto\*\*

\* Eng<sup>a</sup> Civil, Mestre em Engenharia Municipal

Doutoranda na Universidade do Minho

Campus de Azurém – Guimarães

Telf: +351 253685511; fax: +351 253685511; e-mail: [amcouto@sapo.pt](mailto:amcouto@sapo.pt)

\*\* Departamento de Engenharia Civil

Universidade do Minho

Campus de Azurém - Guimarães

Telf: +351 253510200; fax: +351 510217; e-mail: [jpc@civil.uminho.pt](mailto:jpc@civil.uminho.pt)

**Resumo** — O ritmo a as exigências cada vez maiores da indústria da construção obrigam ao desenvolvimento e implementação de novas soluções construtivas, que permitam uma maior rapidez de execução e conduzam a uma maior economia, melhorando simultaneamente as condições de segurança dos seus executantes e utilizadores e minimizando os impactos ambientais. A prefabricação de estruturas de betão é uma solução que responde, cada vez mais, a estes desafios. Neste trabalho procura-se explanar essas evidências e contribuir para uma maior consciencialização dos agentes.

## 1. Introdução

Após uma fase de expansão económica, o sector da construção enfrenta agora um momento menos positivo, de desafios e de necessidade de reafirmação. Este ambiente que envolve as empresas de construção civil tem estimulado, pelos menos as mais competitivas, a implementarem acções que conduzam à melhoria contínua da sua produtividade, por forma a manterem os seus níveis de competitividade, face a um mercado caracterizado por uma oferta significativamente superior à procura e pelas crescentes exigências dos clientes quanto à qualidade da obra e do serviço pós-construção.

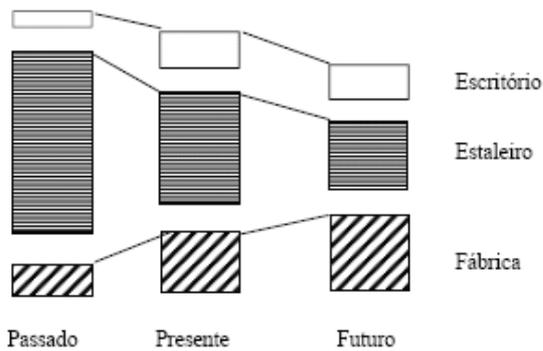
Por outro lado, as modificações ocorridas na década de noventa, em especial na área da tecnologia, provocaram grande impacto e impulsionaram o desenvolvimento de vários sectores da economia. Essas modificações ocorreram devido a alguns factores directamente ligados à globalização e ao avanço da informática e das telecomunicações, tais como o incremento do desenvolvimento tecnológico, a maior velocidade das informações e a criação de sistemas de gestão da qualidade. Todos esses factores aumentaram a eficiência dos processos de produção e incrementaram a qualidade dos produtos finais, o que fez aumentar a oferta e a competitividade de diversos sectores do mercado. O sector da construção também tem vindo a passar ou a procurar

introduzir, ainda que paulatinamente, essas modificações tecnológicas, talvez não tão intensas quanto as dos sectores da informática e telecomunicações, mas não menos importantes. Assim, as empresas construtoras procuram diminuir os seus custos e, simultaneamente, aumentar a eficiência de processos de produção e a qualidade do produto final.

O êxito das acções que conduzem à diminuição dos custos, ao aumento da produtividade e ao incremento da qualidade nos processos de produção e no produto final depende da evolução das actividades construtivas, ou seja, do incremento dos seus níveis de industrialização. Evoluir no sentido de aperfeiçoar-se como indústria é um caminho natural do sector da construção civil. A industrialização é um método baseado essencialmente em processos organizados de natureza repetitiva, nos quais a variabilidade incontável e casual de cada fase de trabalho, que caracteriza as acções artesanais, é substituída por graus pré-determinados de uniformidade e continuidade executiva, característica das modalidades operacionais ou totalmente mecanizadas.

Resumindo, o conceito de industrialização voltada para a construção civil pressupõe organização, planeamento, continuidade executiva, repetição e eficiência no processo de produção, tudo dentro de uma visão global das várias interfaces que compõem a execução de um edifício. A sua principal ferramenta é a racionalização construtiva. Define-se racionalização construtiva como «um processo composto pelo conjunto de todas as acções que tenham por objectivo optimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases» (Sabbatini, 1989) [1].

Pode-se, portanto, afirmar que ao nível dos processos construtivos e tecnologias é expectável que ocorra uma industrialização crescente do sector, com o aumento das tarefas a realizar em fábrica e diminuição das tarefas em obra ou estaleiro (figura 1).



**Fig.1. Repartição dos tempos e tarefas na construção**

Num momento em que as exigências relativamente aos prazos são cada vez maiores e determinantes para a competitividade do sector, o recurso à construção industrializada e conseqüente racionalização do processo de aprendizagem trará neste campo evidentes vantagens para os intervenientes no sector. Por outro lado, as questões ambientais e energéticas constituem um desafio ao qual o sector da construção não poderá ficar alheio e para o qual a pré-fabricação face às suas vantagens poderá ter um papel determinante. É sobretudo sobre estas duas vertentes de importância crescente que se apresentam neste trabalho as principais conclusões de um estudo baseado na pesquisa bibliográfica e junto dos intervenientes com vista a sensibilizar os interessados para as evidentes vantagens que a pré-fabricação constitui naqueles domínios. Estabelecem-se também as bases de partida necessárias para avançar dentro em breve com um projecto de âmbito nacional visando estudar e caracterizar as barreiras e resistências à implementação da pré-fabricação.

## 2. Benefícios da Pré-fabricação

A pré-fabricação é, portanto, o caminho para a industrialização do sector da construção civil. Contudo, embora seja uma tecnologia com todas as vantagens inerentes a esse processo tem ainda inconvenientes que por ventura estão na base de ainda se continuar a preferir em Portugal (na maior parte das situações) a tecnologia tradicional à pré-fabricação.

Em seguida são apresentados os aspectos que caracterizam as grandes vantagens da pré-fabricação e os desafios e barreiras à sua implementação [2] [3].

### A. Principais vantagens

- Produção em unidades industriais vocacionadas especificamente para esse fim, com rotinas de produção e pessoal especializado que possibilitam e facilitam um controle de qualidade eficiente ao longo de todo o ciclo produtivo, desde as matérias primas aos ensaios do produto final;
- Rapidez de execução das estruturas em obra, fruto da capacidade de armazenamento dos produtos em fábrica e dos elevados ritmos de montagem conseguidos com o planeamento e sistematização das operações a realizar em obra. O ritmo de

execução de estruturas torna-se ainda menos dependente das condições atmosféricas, sendo por isso mais fácil cumprir prazos e controlar os programas estabelecidos;

- Possibilidade de vencer grandes vãos com elementos auto-portantes que melhoram a funcionalidade dos espaços, eliminando pilares e fundações, sem perturbar outras actividades devido à ausência de escoramentos. Nos projectos onde é implementada a padronização podem-se conceber soluções estruturais em que os pilares são lançados com toda a sua altura conforme documenta a figura 2 [2];



**Fig.2. Estrutura de um edifício de vários pisos**

- Redução da necessidade de cimbres e andaimes que, pelas grandes dimensões que muitas vezes as estruturas alcançam, implicam um custo muito elevado;
- Potencialização das condições de segurança segundo duas vertentes: segurança estrutural e a segurança de acidentes de trabalho;
- A segurança estrutural pode traduzir-se na possibilidade de usar ensaios não destrutivos de uma peça. A pré-fabricação permite ensaiar as peças antes da sua aplicação o que permitirá corrigir eventuais defeitos. Ensaios com ultrasons, ensaios de carga com leitura directa (fissuras e deformações), ou com leitura indirecta (instrumentação das peças com ex-tensómetros tanto nas armaduras como no betão), são alguns exemplos [3].
- Redução da probabilidade de acidentes que está directamente relacionada com o número de horas de trabalho em estaleiro, que no caso da pré-fabricação é muito inferior, com o nível de profissionalismo e com a eficácia do equipamento. Com a conjugação destes três factores estabelecem-se as condições necessárias para a diminuição da probabilidade de ocorrer acidentes em obra. O uso de equipamento de transporte, elevação e montagem estritamente adequado a par de um menor recurso a equipamento e materiais auxiliares como por exemplo escoramentos e cofragens, são factores determinantes, assim como a mão-de-obra de montagem utilizada geralmente mais qualificada,

mais eficiente e com outro tipo de comportamento;

- Reaproveitamento, em fábrica das cofragens, pela grande quantidade de elementos iguais que se fabricam;
- Possibilidade de conceber pensando no processo destrutivo e consequente reaproveitamento;
- Significativa redução da área de estaleiro;
- Redução da produção de resíduos e ruído em obra e diminuição dos gastos em energia;
- Redução dos custos de fiscalização;
- Redução dos custos de manutenção;
- Oferece a oportunidade de uma crescente qualidade e eficiência, no processo construtivo, uma vez que a experiência que se vai adquirindo permite aperfeiçoar a segurança das operações, mesmo sendo estas levadas a cabo por pessoas eventualmente menos preparadas e qualificadas;
- Alternativa segura à crescente escassez de mão-de-obra habilitada e experiente em obra.

### *B. Desafios e barreiras*

Pelo exposto, conclui-se que a pré-fabricação é competitiva, fornece maior qualidade, maior durabilidade, maior fiabilidade, maior segurança e possibilita uma gestão mais fácil e eficiente.

Contudo, quando comparada com a produção em obra ainda enfrenta algumas dificuldades que têm vindo a ser consideradas por alguns agentes do sector como grandes entraves mas que devem sobretudo ser encaradas como desafios a ultrapassar. Dentre as quais se destacam as seguintes [3]:

- Necessidade, na maioria dos casos, de recorrer a elementos de ligação adicionais (p. ex. parafusos, cantoneiras);
- Necessidade de grande rigor e controlo nas ligações;
- Maior exactidão no estudo do projecto e pormenorização;
- Maior necessidade de controlo de fabricação; muito rigor nas formas e pormenores, armaduras;
- Necessidade de recorrer quase exclusivamente a mão-de-obra especializada.

## **3. Efeito de Aprendizagem**

### *A. Importância do efeito de aprendizagem para a indústria de construção*

Hoje em dia, é habitual referir-se o ambiente de competitividade, o decréscimo por ciclo e a rapidez de colocação do produto no mercado como chaves do sucesso e de sobrevivência de muitas empresas industriais. A par de outros factores, o processo produtivo assume, neste âmbito, especial importância, desempenhando a aprendizagem dos intervenientes um papel decisivo [4]. De facto, nos últimos anos, grandes empresas industriais criaram e desenvolveram processos produtivos que facilitam o efeito de aprendizagem. Verifica-se que este é tanto mais sensível quanto maior for o empenho dos

gestores de produção e das equipas de trabalho, a eficiência do processo global de produção e o suporte assegurado pelo resto da empresa, a adequação dos sistemas de organização, entre outros factores [5]. O sector da construção insere-se, naturalmente, cada vez mais, nesta lógica, e é por isso importante que as empresas de construção tirem partido do efeito de aprendizagem com vista à melhoria da produtividade, factor essencial no actual ambiente de competitividade.

Na verdade, a competitividade e a sociedade estão a forçar a indústria da construção a actualizar-se constantemente, melhorando a sua eficiência e as condições de trabalho através do desenvolvimento e inovação tecnológica, de novos sistemas e processos construtivos. A forma mais efectiva de industrializar o sector da construção civil é transferir o trabalho realizado nos estaleiros para locais de fabrico permanente e modernizados. Desta forma, a automação e o recurso à modelação e à standarização têm vindo a ser implementados afirmando-se como factores de extrema relevância no processo de pré-fabricação. A sua implementação possibilita a repetição e consequentemente potencia a aprendizagem o que se reflectirá numa execução mais rápida e económica.

Os fabricantes de pré-fabricados têm vindo a desenvolver manuais com rotinas de projecto para auxiliar os projectistas na elaboração e organização dos projectos. A standarização de sistemas construtivos, componentes, ligações, etc., não significa apenas a industrialização da produção de componentes; a repetição de tarefas também significa evitar erros e experiências negativas. Desta forma, a standarização constitui também um factor económico importante no processo de pré-fabricação na medida o fabrico em série e a redução de trabalho por unidade produzida propiciam um processo industrializado com alta produtividade.

### *B. Conceito da curva de aprendizagem*

É normalmente admitido que executando sucessivamente e nas mesmas condições determinada tarefa, o seu tempo de execução vai diminuindo nas repetições, pelo menos, até certo ponto. Este fenómeno manifesta-se em muitas actividades de construção de projectos com características repetitivas, e é conhecido como aprendizagem ou efeito da experiência. A representação gráfica do tempo, custo ou número de horas-Homem de execução de cada unidade de construção repetitiva permite obter a chamada curva de aprendizagem [6] que tem subjacente um decréscimo daqueles parâmetros em cada repetição de acordo com a taxa de aprendizagem previsível. A primeira abordagem conhecida à curva de aprendizagem foi feita em 1936 por T. P. Wright [7], que concluiu que o número de horas-Homem necessárias à montagem de componentes de aviões, apresentava um decréscimo de 20% cada vez que o número de unidades produzidas duplicava [8]. Diz-se então que a taxa de aprendizagem desta actividade é de 80%. Naturalmente, quanto maior for a taxa de aprendizagem na execução de uma unidade de produção menor será o acréscimo de produtividade nas unidades subsequentes. Assim, uma taxa de aprendizagem de 100% significa nenhum acréscimo de produtividade [9].

Graficamente, a curva de aprendizagem pode ser representada por uma recta num sistema de eixos logarítmicos ( $\log x$ ,  $\log y$ ) em que  $x$  é a quantidade produzida acumulada e  $y$  o tempo de produção correspondente. A taxa de aprendizagem é igual a  $2^{-n}$  em que  $n$  é o declive da curva de aprendizagem. Teoricamente, uma curva de aprendizagem pode ser dividida em 3 partes, de acordo com a representação na figura 3 [10]. Na parte inicial, poder-se-á considerar que a experiência anterior permite um modesto melhoramento de produtividade. Porém, à medida que os trabalhadores se vão familiarizando com os processos construtivos, materiais e envolvente, a curva de aprendizagem sofre um agravamento de declive, representando desta forma uma melhoria da produtividade. A esta fase segue-se um patamar que traduz a impossibilidade de qualquer melhoria adicional. Uma vez atingida esta fase, a melhoria da produtividade só se poderia conseguir com a introdução de processos produtivos mais eficientes [11] [9].



**Fig.3. Curva de aprendizagem teórica com coordenadas logarítmicas**

Nos últimos anos, têm sido propostos vários modelos matemáticos de curvas de aprendizagem que procuram traduzir a esperada redução de custos, rendimentos e tempos de execução por efeito da aprendizagem na construção. Alguns desses modelos foram incorporados em metodologias de planeamento da construção repetitiva, onde mais se pode tirar partido desse efeito. Em resultado, obtêm-se planos de trabalhos e de custos teoricamente mais precisos, com as vantagens daí decorrentes. Porém, a avaliação do efeito de aprendizagem não é fácil, porque decorre da conjugação de diversos factores que são complexos, e mutuamente relacionáveis [12]. Os principais factores são:

- A eficiência do trabalho, que resulta de um desempenho mais eficaz dos trabalhadores à medida que repetem uma determinada tarefa;
- A organização do trabalho, com incidência no adequado dimensionamento das equipas, dos trabalhadores e dos equipamentos;
- Os novos processos de produção, com grande importância na taxa de aprendizagem;

- A semelhança e permanência das condições de repetição das tarefas, com consequências directas no efeito de aprendizagem.

#### 4. Aspectos Ambientais

A preservação do meio ambiente é actualmente um desafio global e determinante. O sector da construção ocupa uma posição central nesse esforço. Mas, a maioria das actividades de construção continua a produzir um impacto muito desfavorável sobre o meio ambiente em termos de consumo de energia, utilização irracional de recursos naturais, poluição, ruído e desperdício durante a produção.

Também neste campo vários estudos [13] apontam a pré-fabricação como uma solução adequada e competitiva.

A nível Europeu, a pré-fabricação tem sido mesmo encarada como tendo um papel determinante no sentido de tornar as actividades de construção mais sustentáveis. No âmbito do programa PREPARE (Preventative Environmental Protection Approaches) [14] um grupo de trabalho que se dedica a analisar a construção e tem a tarefa específica de considerar tecnologias eficientes no pré-fabrico avançou com os seguintes potenciais benefícios:

- Redução de 50% na quantidade de água utilizada para construir uma casa típica;
- Redução de 50% no uso de materiais oriundos de uma pedreira;
- Redução de pelo menos 50% no consumo de energia.

Naturalmente que ao reduzirem-se os períodos de construção o impacto da actividade de construção no ambiente local será significativamente diminuída.

Outro factor importante associado às técnicas de pré-fabricação é a redução significativa de resíduos associados à actividade de construção.

Por outro lado a pré-fabricação satisfaz os requisitos da desconstrução de um edifício enquanto processo que se caracteriza pelo seu desmantelamento cuidadoso, de modo a possibilitar a recuperação de materiais e componentes da construção, promovendo a sua reutilização e reciclagem. Com efeito, é necessário, a par da promoção da regulamentação ambiental, desenvolver e implementar técnicas e processos construtivos, designadamente a pré-fabricação, que potenciem a implementabilidade da desconstrução e ainda melhorar o conhecimento e sensibilização para a importância da desconstrução junto dos intervenientes na actividade da construção, em especial, donos de obra, projectistas e empreiteiros [15].

#### 5. Conclusões

A pré-fabricação pode constituir uma oportunidade para lidar com problemas que vão desde a necessidade de implementar processos de construção mais eficientes e alternativos aos padrões tradicionais da construção até a escassez acentuada de mão-de-obra qualificada e capaz

para trabalhar em obra. A produção numa fábrica possibilita processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas, controle de qualidade, etc.

Perante as actuais exigências produtivas e questões ambientais e energéticas que o sector da construção enfrenta, o recurso à construção industrializada e consequente racionalização do processo de aprendizagem trará naqueles domínios evidentes vantagens para os intervenientes no sector.

O pré-fabrico é muito mais do que apenas um conceito ou moda; ele oferece de facto ao sector da construção a possibilidade de se redefinir e afirmar enquanto indústria de produção e representa uma das mais positivas saídas para enfrentar os principais desafios e exigências com que o sector se depara.

Ainda assim a pré-fabricação enfrenta algumas dificuldades de implementação cuja análise e evolução tecnológica deverá procurar resolver como as ligações e outras que se deverão procurar desmistificar como o estigma social da baixa qualidade e o condicionalismo e restrição à criatividade conceptual.

## Referências

- [1] Sabbatini, Fernando Henrique, "Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia". Tese de Doutoramento, USP-PCC, São Paulo (1989), 336p.
- [2] Premag: A pré-fabricação de elementos estruturais. Disponível em [www.premag.com.br](http://www.premag.com.br). Visitado em Março de 2007.
- [3] Estruturas de Betão Pré-fabricado. Elementos de apoio da disciplina de Materiais e Processos de Construção II, Instituto Politécnico de Tomar.
- [4] Couto, João Pedro e Teixeira, José Cardoso, "O efeito da aprendizagem no planeamento da construção", *Revista Internacional CONSTRULINK – Estruturas e Construção*, Vol. 1, Nº 4, pp. 38-44, Outubro 2003.
- [5] Duarte, Deborah e Snyder, Nancy, "From Experience, Facilitating Global Organizational Learning in Product Development at Whirlpool Corporation", *The Journal of Product Innovation Management*, Vol. 14, Nº 1, pp. 48-55, Janeiro 1997.
- [6] Everett, John G. e Farghal, Sherif, "Learning Curve Predictors for Construction Field Operations", *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 120, Setembro, 1994, pp. 603-616.
- [7] Wright, J. P., "Factors Affecting the Cost of Airplanes", *Journal of Aeronautical Science*, pp. 124-125, Fevereiro 1936.
- [8] Carlson, J., "Cubic Learning Curves: Precision Tool for Labor Estimating", *Manufacturing Engineering and Management*, Vol. 67, Nº 11, pp. 22-25, Novembro 1993.
- [9] Lutz, James David; Halpin, Daniel W. e Wilson, James R., "Simulation of Learning Development in Repetitive Construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 120, Nº 4, pp. 753-773, Dezembro 1994.
- [10] Thomas, H. Randolph; Mathews, Cody T. e Ward, James G., "Learning Curve Models of Construction Productivity", *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 112, Nº 2, pp. 245-257, Junho 1986.
- [11] Cunningham, J., "Using the Learning Curve as a Management Tool", *IEEE Spectrum*, pp. 45-48, 1980.
- [12] McNamee, Patrick, "Tools and Techniques for Strategic Management", University of Ulster, U. K., PERGAMON PRESS, 1985.
- [13] Waskett, Paul, Current Practice and Potential Uses of Prefabrication, BRE (Building Research Establishment): DTI (Department of Trade and Industry), project report nº 203032, Watford, 2003.
- [14] European Sustainability Group "Programme PREPARE (Preventative Environmental Protection Approaches)". Disponível em [www.prepare-net.org](http://www.prepare-net.org).
- [15] Couto, João e Couto, Armanda, "Reasons to Consider the Deconstruction Process as an Important Practice to Sustainable Construction" in Proc. *Portugal SB' 07: Sustainable Construction and Practices. Challenge of the construction for the New Millennium, 12-14 September, 2007, Lisboa, Portugal*, Vol. 1, pp. 76-81.