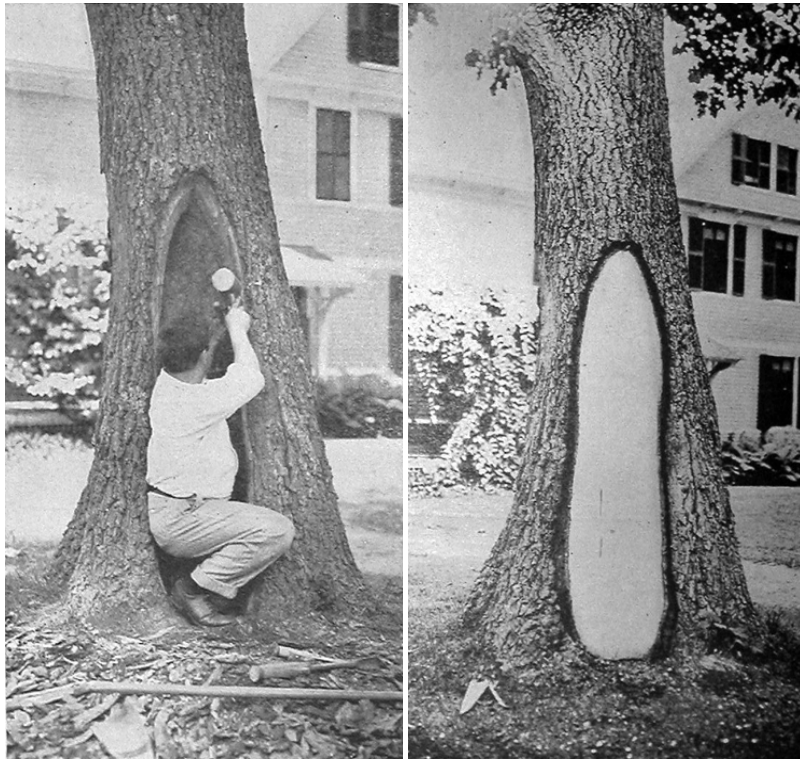


CAPÍTULO 2

BETÃO ARMADO E A SUA EXPERIMENTAÇÃO INICIAL



Figs. 2.1 e 2.2. Exemplos da utilização do betão como “curativo” de árvores (in Atlas, 1909a: 152).

A tecnologia do betão armado na indústria da construção reporta-se à primeira metade do século XIX, de uma forma sistemática e ainda ao fim do século XVIII de forma pontual e experimental. No entanto as primeiras estruturas totalmente em betão armado, em construção edificada, datam do fim do século XIX e são aplicadas normalmente a unidades industriais ou fábricas. Esta nova tecnologia aplicada à totalidade estrutural de um edifício, embora baseada num princípio histórico sobre materiais aglomerantes em construções de raiz tradicional (baseadas no peso próprio dos elementos estruturais), dos quais farão parte por exemplo as construções em alvenarias, desenvolveu-se, a par de uma organização verdadeiramente científica da indústria, à luz dos melhores modelos de gestão mais tarde expostos por Frederick Winslow Taylor (Taylor, [1911], 1998). Todo o princípio da cientifização da nova indústria do betão assenta na sistemática homogeneização dos seus procedimentos e suas matérias primas bem como do seu produto final. A evolução dos processos inerentes à tecnologia construtiva do betão, acompanham o processo de industrialização que alastrava na Europa e sobretudo nos Estados Unidos, sendo que neste último se assiste à estandardização das várias operações industrializadas (Slaton, 2001).

Na indústria da construção, a tecnologia do betão armado especializa os seus processos, as suas estruturas finais garantem capacidades de resistência, de carga e suporte a temperaturas altíssimas, afinal características químicas dos materiais de base como o cimento. A aceitação destes standards comportamentais do material aliadas a factores económicos e de gestão da obra acabam por validar a materialidade do betão enquanto acabamento final, superfície de contacto. Ao contrário dos construtores europeus, como Hennebique ou Contancin, que não estandardizaram completamente a operação industrial da construção, os construtores americanos encaram o processo de estandardização como uma afirmação formal do material de construção, relegando quaisquer outro tipo de actividades em obra que não sejam necessariamente complementares à construção do sistema em betão armado. Esta verdade do material e da obra responde de uma forma directa às visões de uma arquitectura funcionalista que Horatio Greenough evocara, em 1852, como o futuro expressivo da construção nativa norte-americana (Greenough, [1853?], 1947: 51-68).

A fábrica, tipologia edificada que expressa paradigmaticamente as potencialidades do betão armado no princípio do século XX, acrescenta a possibilidade da flexibilidade organizativa, da integração dos sistemas que surgiram complementares à performance dos edifícios, bem como da possibilidade de desenhar um novo território e uma nova paisagem.

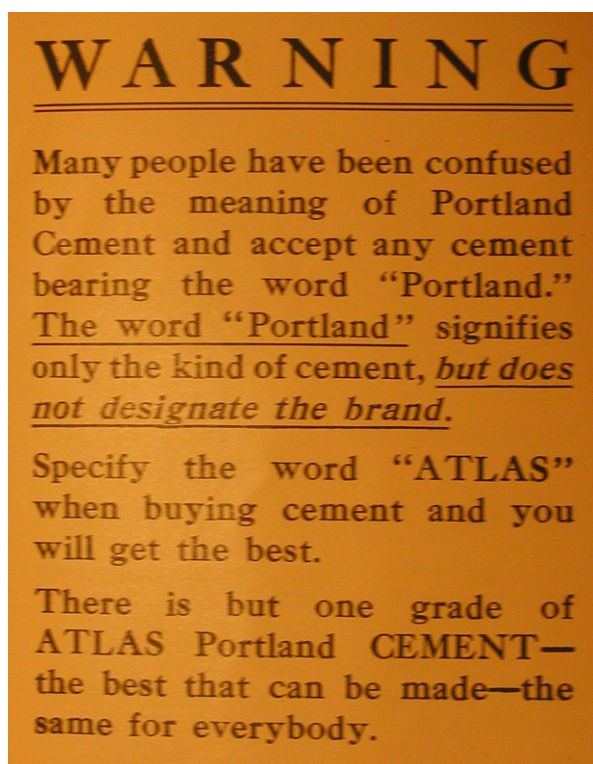


Fig. 2.3 (in Atlas, 1909a).

2.1 CIMENTOS.

Cimento vem do latim *Caementum*, termo que identifica um material com propriedades hidráulicas, isto é, um "ligante" que misturado com água endurece, tanto ao ar como na água.

(Secil, 2003).

O uso de materiais aglomerantes foi sempre usado nas construções através da mistura de areias diversas. Os aglomerantes à base de pedras calcárias terão sido desenvolvidos pelos romanos, que se baseavam numa mistura à base de hidróxido de cálcio (cal),

poeiras de pedra vulcânica, areias e inertes de pedra partida (Atlas, 1909a). O uso de pedras vulcânicas, nomeadamente da zona de Nápoles, nos arredores de Pozzuoli, permite-lhes obter um cimento natural de qualidade superior, que haveria de ser empregue nas obras maiores da cultura romana e que durarão até ao presente. Na idade média esse conhecimento ter-se-á perdido, talvez pela ausência da pedra "pozolana". Na era moderna o cimento foi reintroduzido por John Smeaton em 1756, com a descoberta da mistura entre sílicas, cal e barro como matéria agregadora (Saurbrey, 1912:19), para a construção do farol de Eddystone (Giedion, [1941], 1982: 323). O cimento natural descoberto por Smeaton permitia a presa em ambientes húmidos e molhados, mesmo em contacto directo e permanente com a água. Em 1796 é patenteado em Inglaterra o Roman Cement de Parker, sob o número 2120 (Saurbrey, 1912:19). Também conhecido por cal hidráulica, é constituído maioritariamente por silicatos e aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio. Obtém-se pela cozedura de calcário argiloso (vulgo marga), seguida de moagem e adição de sulfato de cálcio para regularização da presa.

Em 1818 Vicat, engenheiro na escola de Ponts et Chaussées⁴³ define a fórmula de cal hidráulica artificial, descobrindo um procedimento de eliminação da variabilidade dos materiais arenosos que entravam na constituição base da argamassa de cimento. Este conhecimento baseou-se num levantamento exaustivo de todas as pedreiras calcárias de França, obtendo um mapa geológico bastante rigoroso de todo o país. A cal que era extraída e formava a base da argamassa de cimento era “cozida” num forno, produzindo-se, no entanto, quantidades irregulares de massa dependendo do método artesanal que era empregue (Simonnet, 1992a: 7). Em 1824 Joseph Aspdin desenvolve o processo de Vicat, patenteando-o em 1830 em Leeds sob o número 5022 (Saubrey, 1912: 19), obtendo o célebre cimento portland⁴⁴, sendo este processo introduzido em França em Boulogne-sur-Mer, tendo-se alargado a outros locais a partir de 1850 (Simonnet, 1992a: 7). O processo baseava-se na mistura artificial entre calcário e argila, diferentemente do cimento natural em que a mistura entre estes dois componentes se encontrava nas pedras argilo-calcárias.⁴⁵ A combinação das proporções entre estes dois elementos, e a obtenção de capacidades mecânicas muito mais fortes do que as obtidas pelo método “natural” da cal hidráulica, permitem uma forte proliferação e aceitação deste novo aglomerante.⁴⁶ Só em 1844, são estabelecidas as normas

43 Todos os engenheiros em França envolvidos no desenvolvimento do material de cimento, betão e, mais tarde do betão armado, leccionavam ou tinham sido alunos da escola Ponts et Chaussées em Paris (Simonnet, 1992b).

44 Passar-se-ia a chamar de cimento portland, pela semelhança física e de cor com uma pedra local de Portland, distrito urbano no sul Inglaterra.

45 Hoje em dia o processo de fabricação da cal hidráulica é basicamente o seguinte:

As pedras de marga são retiradas da pedreira e são partidas em bocados paralelepípedicos com cerca de 10cm ou 15 cm de lado. De seguida são cozidas num forno vertical misturadas directamente com o material combustível, carvão, até o carvão ser completamente consumido. Para cerca de 6 a oito toneladas de material, em que 30 a 40% é carvão, a combustão demora cerca de 2,5 horas e atinge temperaturas da ordem dos 900°C. A pedra cozida que sai dos fornos sofreu uma transformação química durante o processo de cozedura. Ao resultado da cozedura, pedra cozida adiciona-se uma certa quantidade minoritária de marga em estado cru (vulgo cru) bem como gesso, para efeitos correctivos químicos da mistura final. A mistura de materiais passa por uma série de moinhos, normalmente de martelos, em que o material é batido de cima para baixo e esmagado contra uma base rígida, e de bolas, constituído por um cilindro rotativo com um lastro de bolas de chumbo que reduz ainda mais a finura do material batido à entrada deste último. A finura final situa-se normalmente entre os 90 e os 200 micron.

A constituição química final varia consoante os fabricantes e a origem das matérias primas, mas de acordo com as normas qualitativas produzidas para a estandardização deste produto, a mistura final deverá ter cal livre numa percentagem igual ou ligeiramente superior a 3%, os sulfatos (SO₃) não deverão exceder os 3% e a água livre não poderá exceder os 2% do total da mistura obtida. A presa do material uma vez aplicado inicia-se após a primeira hora da aplicação não excedendo as 15 horas. Aos 7 dias os valores de compressão cifram-se pelos dois mega pascais (2MPa) e passados 28 dias esse valor atinge os 5MPa.

Hoje a cal hidráulica usa-se como aditivo ao cimento para a obtenção de cimentos mais fortes e de maiores finuras, como em obras no domínio da reabilitação urbana, no fabrico de artefactos de cimento, como matéria prima para argamassas fabris, tratamento dos solos e pavimentos betuminosos.

(Secil, 2003).

46 O processo de fabricação do cimento é basicamente o seguinte:

O material cru é constituído de pedras de calcário e argila. Esta proporção poderá variar conforme a forma que a argila assumia na mistura, por exemplo, poder-se-á usar marga e calcário. Neste caso a proporção será à volta de 50%/50%, podendo reservar-se, no entanto, uma percentagem pequena para aditivos correctivos. Estas proporções e matérias primas poderão variar uma vez que o que se pretende obter é uma mistura final com as características químicas e físicas adequadas. No caso, por exemplo, do cimento produzido na fábrica do Outão, as proporções são de 50% de marga, 40% de calcário e 10% de aditivos correctivos que são areia e óxido de ferro. As

científicas para a produção de cimento por intermédio de I.C. Johnson. Embora já existissem cerca de três ou quatro fábricas de cimento em Inglaterra pelo menos desde 1847, o facto é que o uso e produção deste material foi sempre limitado até haverem métodos definitivos de determinar o seu valor comercial. De entre os engenheiros que se destacam neste trabalho de acreditação do material cimento na indústria da construção, refira-se John Grant, ou o General C.W. Pasley, cujo livro sobre Limes and Calcareous Cements, cuja primeira edição é de 1838, havendo uma segunda edição datada de 1847. Este livro acabou por ser uma referência importante na indústria da construção em Inglaterra (Saubrey, 1912: 19).

Apenas em 1850 se assegurou o sucesso comercial do cimento portland, uma vez comprovada a sua resistência e capacidades construtivas. Nesta altura os franceses e alemães tinham desenvolvido de uma forma bastante mais científica a fabricação do cimento portland pelo que este material já era mais usado nestes países do que em Inglaterra. Em 1856 o cimento portland é introduzido nos EUA, sendo aí fabricado a partir de 1872, mas apenas em 1896 é que a produção de cimento portland atinge quantidades que permitem a sua comercialização generalizada. Tendo-se estabelecido em 1892, a Atlas Portland Cement Company era em 1909 a maior produtora mundial de cimento portland e já em 1906 tinha seis unidades de produção nos EUA. O cimento da Atlas era garantido sempre como uniforme independentemente da fábrica de onde era originário. Os testes e especificações eram garantidas pela American Society for Testing Materials, pelos The American Institute of Architects, The American Engineering and Maintenance of Way Association e pela Association Portland Cement Manufacturers (Atlas, 1909a).

pedras após retiradas das pedreiras são homogeneizadas de forma a darem entrada nos fornos de cozedura onde se atingem temperaturas da ordem dos 1500°C. Estes fornos são horizontais e o material desloca-se através da rotação do forno e da sua ligeira inclinação no sentido do deslocamento. Obtém-se no final, e após o arrefecimento do material, o clínquer, produto fruto uma reacção química complexa que se dá no interior dos fornos e que concede ao material, quando misturado com água e depois de hidratar, características de presa e de resistência à compressão absolutamente notáveis. A este material e variando com as suas características físico-químicas, poderão ser adicionados aditivos e gesso antes da moagem. Os aditivos poderão ser escórias, pozolana natural, cinzas volantes, filler ou outros constituintes em percentagens minoritárias. A moagem dá-se em moinhos de martelos e de bolas, à semelhança da cal hidráulica, sendo que a sua finura deverá ser da ordem dos 90 micron.

A composição da mistura final varia consoante o tipo de cimento portland que se fabrica, resultante das seus coeficientes de resistência que poderão variar entre os 30 e os 55 mega pascais. Hoje em dia os cimentos portland são classificados consoante a sua resistência à compressão, sendo o de classe I o mais resistente (variando entre os 42,5 e os 52,5 mega pascais) o de classe II o de resistência intermédia (variando entre os 32,5 e os 42,5 mega pascais) e os de classes III e IV situam-se nos 32,5 mega pascais. As suas aplicações recomendam-se para obras, partes de obras ou elementos da construção de características diferentes. No caso dos cimentos mais fortes, haverá menos aditivos e materiais minoritários na mistura, mas por outro lado, os cimentos fortes têm problemas de fissuração maiores devido ao seu comportamento menos flexível às diferenças de temperatura e de humidade. Os valores da resistência à compressão são, por norma, medidos aos 28 dias da cura, altura em que se considera que o comportamento físico-químico do cimento estabilizou. (Secil, 2003).

Na Europa é com a revolução industrial, e com a industrialização dos processos de fabrico da argamassa de cimento, que este material se torna importante como uma nova tecnologia de construção a partir de 1880 (Simonnet, 1992a:7-8).

Tanto para a cal hidráulica como para o cimento portland, a selecção das matérias primas obedece a critérios de qualidade que passam não só pelo reconhecimento da fórmula química de cada componente, pela sua correcta dosagem, mas também pela homogeneização das matérias antes de serem transformadas. Esta homogeneização e selecção estabelece uma forte pendente de standardização do material cimento independentemente da sua proveniência ou dos seus elementos constituintes. De facto as diversas "receitas" que se aplicam aos diversos produtores de cimento, apontam para um produto final que se quer standardizado. Para tal durante a produção dos cimentos, à saída das variadas unidades de produção para cada fase produtiva, são retiradas amostras e efectuados controlos horários para despistagem de imperfeições, dosagens homogéneas, erros nas misturas, etc., num processo laboratorial de rigoroso controlo qualitativo do material. Embora hoje em dia a indústria dos cimentos e dos betões tenha evoluído consideravelmente desde o princípio do século XX, nomeadamente nas áreas ambientais, em que o consumo energético e a emissão de poluentes são factores de avaliação qualitativa essenciais a qualquer indústria contemporânea, o facto é que o método produtivo na sua essência não mudou consideravelmente desde essa altura. Haverá que ressaltar a alteração da via húmida para a via seca na fabricação dos cimentos portland, que por altura da crise do petróleo nos anos setenta obriga esta indústria a considerar os seus custos em energia e a repensar a cozedura do cru.⁴⁷

Sendo que os cimentos são a base aglomerante do betão, que é constituído por outros materiais menos "artificiais", a sua forma final apresenta-se envolvida por um processo de investigação e de controlo técnico que ultrapassa a tradicional indústria da construção bem como da sua concepção. Os engenheiros químicos que desenvolvem, estudam e controlam o processo de fabrico dos cimentos, especializam os seus saberes numa área de "trabalho concreto" (Tafari, 1990: 14).

⁴⁷ No método da via húmida a água era um dos elementos que davam entrada no forno. Para aquecer estes fornos havia um enorme dispêndio de energia, porque a água tinha de evaporar completamente até ao clínquer estar totalmente hidratado.

2.2 O MATERIAL BETÃO.

Em arquitectura o material é entendido contemporaneamente como veículo físico da construção e, por assim dizer, a sua função essencial revela-se a partir daquilo que o encontro entre utilidade e arte poderá produzir. (Simonnet, 1992a: 6)

Ao contrário de outros materiais construtivos como a pedra ou a madeira, o betão armado não reside na sabedoria de um "saber fazer," mas de uma fórmula física e química que caracteriza as misturas bases da argamassa do betão, e sobre as quais as quantidades e proporções das matérias primas que a compõem, variam com a consistência e densidade requeridas.

O betão assenta na forte presa do cimento como aglutinador de inertes ou agregados, normalmente constituídos por britas, godos e areias (de pedras diversas consoante a localização da central de betão). A água é o terceiro componente do betão, uma vez que o seu processo de endurecimento e presa assenta num processo de hidratação. Já os romanos utilizavam o betão nas suas construções usando agregados que poderiam ser de estatuárias fruto de conquistas de cidades até elementos das armaduras e armamento dos seus inimigos. O betão acaba por ser a construção de uma pedra artificial usando um agregador, cimento, que deriva da ínfima fragmentação de uma pedra natural. Qualquer elemento compacto e duro tem características de inerte, inclusive o próprio betão uma vez reciclado. Esta técnica fora empregue de uma forma artesanal ao longo dos séculos, constituindo-se as paredes de taipa ou de terra como paredes portantes de construções simples de um ou dois pisos de altura como variantes de uma espécie de betão. O betão enquanto tecnologia reencontra na matéria prima cimento uma modernização das antigas técnicas construtivas mais artesanais, para ser reintroduzido como uma tecnologia construtiva de ponta. Com a revolução industrial e a reorganização e cientifização do mundo do trabalho, o betão teve forte impulso e desenvolvimento durante o século XIX, para no início do século XX se apresentar como o material da promessa da modernidade. A sua solidez, compacticidade e homogeneidade concedem características mecânicas e físicas ao material que permitem inúmeras aplicações construtivas. Se o betão começou como um material, cedo se traduz numa tecnologia construtiva, com a introdução das armaduras metálicas dentro do betão, para mais tarde ainda ser redescoberto novamente como um material construtivo pelos arquitectos do movimento moderno. Estes últimos lêem nas suas enormes e inovadoras possibilidades construtivas a possibilidade de construir um mundo artificial que respondesse às aspirações revolucionárias de uma ordem moderna.

Em França, nos anos cinquenta do século XIX, a casa comercial Coignet começa a promover o betão. Esta promoção comercial do betão acontece pela primeira vez sem o envolvimento directo dos seus prescritores ou engenheiros especialistas.⁴⁸ Desta forma, Coignet não tinha limites à promoção do betão industrial para aplicação na construção. O único constrangimento era o da produção e da sua capacidade de resposta. Coignet comercializava “betão aglomerado”, material de síntese que não representando em certa medida nenhuma alternativa pobre ao cimento, constituía a essência indefinidamente adaptável da solidez e a dureza próprias do que se procurava no material representando uma verdadeira “revolução económica” (Simonnet, 1992b: 17). Em 1851, atraída pelo mercado Parisiense a casa Coignet constrói uma sucursal em Saint-Denis. Esta sucursal é um “manifesto de inovação técnica” e construtiva, sendo descoberta a técnica do betão aglomerado (Simonnet, 1992b: 17). O betão aglomerado baseava-se na antiga técnica “lionesa” das construções em terra compactada, mas substituía a terra por um almofariz de cinzas, constituído por cal, cinzas e escórias. A partir da mistura de cal e cinza e um pouco de água de forma a tornar homogénea a sua mistura final e batendo-a fortemente, obtinha-se um betão compacto, aglomerado, duro como pedra. Tanto a mistura em terra compactada como o almofariz de carvão (ou cinzas) eram técnicas conhecidas, mas pela primeira vez um industrial junta as duas por forma a constituir uma outra técnica distinta e mais compacta, constituindo o primeiro brevet para “betão económico” em 1854. A partir desta data até 1859 seriam licenciados outros brevets à casa Coignet, como os dos betões hidráulicos, betões plásticos ou pedras factícias, dependendo do tipo de obras a que seriam destinados (Simonnet, 1992b: 17-8).

O arquitecto Lavezari, conhecedor dos métodos Coignet, contestará com vivacidade nas colunas da *Revue Générale de l'Architecture* esta propensão de se patentear práticas correntemente observadas no meio da construção. No entanto os Coignet não eram homens do meio da construção, nem arquitectos nem engenheiros, mas industriais que se limitavam a defender o conteúdo da sua indústria, neste caso através do registo de patentes (brevets em França). Um dos reflexos do capitalismo liberal consiste em quebrar a concorrência para melhor captar os mercados. Coignet introduziu a possibilidade do brevet como um meio eficiente de garantir a protecção industrial (Simonnet, 1992b: 18).

⁴⁸ O betão é “descoberto fortuitamente pelo jardineiro Joseph Monnier” em 1849 (Tostões, 2002: 44).

Embora tenha sido o ferro o material de construção que dominou tecnologicamente o século XIX, o certo é que com o desenvolvimento industrial do betão armado na Europa, a partir de 1890, em que cimento e ferro comungavam esforços aparentemente antagónicos na consolidação de um novo sistema construtivo, o betão ganha enorme importância e pujança como método construtivo não só alternativo, mas, sobretudo complementar aos sistemas metálicos existentes.

A consagração, por volta de 1900, do betão armado como material, e já não apenas como sistema construtivo, encontra na Exposição Mundial de Paris um reconhecimento “solene e definitivo”, afirmando-se em torno dos profissionais da construção – arquitectos, construtores, cientistas –, criando condições para uma crescente concorrência pelo domínio da sua aplicação em áreas cada vez mais diversificada como as fundações, estacas, obras de engenharia civil em geral, etc (Delhumeau, 1992b: 33).

2.3 BETÃO ARMADO: SISTEMAS E PATENTES

O betão armado como é conhecido surge das seguintes invenções, condições ou combinações entre elas: 1) uma combinação de um material plástico moldado para endurecer com um elemento de reforço metálico; 2) dessa combinação resulta que o material plástico resiste à compressão e o material de reforço à tensão; 3) um outro elemento que os agregue de forma a funcionarem em conjunto e não separadamente tem de ser considerado; 4) considerando ainda que além dos reforços principais longitudinais, haverá sempre esforços transversais que deverão ser considerados com elementos ou varões metálicos adicionais; 5) que qualquer elemento em compressão tem de ter reforços num ou nos dois sentidos (longitudinal e transversal); 6) que este material composto permite uma multifuncionalidade de usos, cada um com uma especificidade que requererá uma combinação especial.

Em 1861 a casa Coignet estabelece uma filial específica na exploração do “betão aglomerado”. Publica *Bétons agglomérés appliqués à l’art de construire* onde de uma forma “messiânica” se enuncia o betão como o material revolucionário do panorama da construção futura na Europa, partindo de dois princípios que se haveriam de demonstrar universais a todas as estruturas de betão: a sua economia construtiva e a manutenção higiénica da sua estrutura (Simonnet, 1992b: 18). O procedimento de Coignet baseava-se em revestir de betão as vigotas dos pavimentos preconizando ainda o reforço nas junções dos elementos metálicos que se dispunham em grelha. Desta forma Coignet obtinha um betão monolítico em que o pavimento era uma estrutura rígida, eliminando-se os elementos que normalmente faziam parte de uma estrutura “clássica”, bem como da hierarquização desses mesmos elementos ou da forma de os integrar em obra. Esta alteração de uma escola construtiva por elementos para uma outra em que se baseava numa estrutura tensa e monolítica, permite uma abstracção do material bem como da forma da construção. As exigências construtivas específicas à estrutura de base do(s) edifício(s), para além do programa, são agora determinadas através do cálculo estático da resistência, solicitações internas, questões de massa e de peso de um objecto único e monolítico.

Este princípio de solidez assenta, contudo, nos tirantes metálicos que garantem que as unidades de pavimento entre vigotas metálicas (unidades ou ladrilhos em betão) se mantenham rígidas e compactas entre elas. Para além disso na escolha precisa e meticulosa na escolha, selecção e mistura química dos componentes do cimento de base. Desta forma as características físicas, de

resistência e de aspecto da estrutura monolítica do betão, residiam em aspectos microscópicos do conhecimento científico, que, pela primeira vez na indústria da construção, extravasava a esfera do conhecimento do arquitecto projectista.

Embora já existissem ensaios teóricos sobre a mistura e a presa possível entre betão e ferro, o “primeiro autêntico tratado sobre este argumento” data de 1877 publicado por Thaddeus Hyatt nos EUA: *An Account of some Experiments with Portland-Cement-Concrete Combined with Iron as a Building Material*, (Simonnet, 1992a: 11), que acabará por ser patenteado no ano seguinte com um método teórico de cálculo e desenho em betão armado que cobre praticamente toda a aplicação possível de construções em betão armado (Saubrey, 1912: 33) e na “qual se justifica a complementaridade mecânica dos dois materiais” (Simonnet, 1992a: 11).

Entre 1887 e 1912, por toda a Europa e EUA, surgiram publicações sobre o tema betão armado, que repercutiam este material de construção como inovador e adequado às mais variadas condições de uso, tornando desta forma a divulgação e marketing de um produto como uma acção chave do seu processo de produção (11).

No fim do século XIX, a revista do industrial de betão armado francês François Hennebique, *Le Béton Armé*, tem uma tiragem entre seis mil e dez mil exemplares por ano e é distribuída em toda a Europa, Buenos Aires, Indochina e Nova Iorque. A revista alemã, *Beton und Eisen*, mais discreta e menos agressiva comercialmente do que a de Hennebique, apresentava-se como uma revista científica por fascículos, dissecando casos sobre e a partir da construção em betão armado ou com materiais como o cimento como case studies, casos esses de aplicação mais alargada e não restringidos apenas ao sistema construtivo da Wayss & Freytag (12), sua editora e casa construtora e especializada em betão armado na Alemanha.

Em Paris na l’Ecole des Ponts et Chaussées, o engenheiro Rabut inaugura a primeira aula sobre betão armado em 1897. A partir desta data as publicações académicas sobre betão armado multiplicam-se e em 1903 funda-se o sindicato dos construtores em betão armado de França (12).

Este interesse dos engenheiros, construtores e empreendedores por esta nova tecnologia da construção, induz um certo afastamento do arquitecto da esfera do controlo da obra. Este afastamento é também ditado pela competitividade que entretanto surge entre os industriais de cimento e betão, na Europa e nos EUA, com o comércio das patentes. O desenvolvimento da indústria do betão armado baseia-se muito no crescimento exponencial de novas patentes ou brevets, que sob a forma de especificações, normas ou regras construtivas, se tornavam ferramentas de controlo

construtivo e comercial do betão armado (10). O surgimento de inúmeras patentes que haveriam de definir o material e sistema construtivo do betão armado cobre um período de cerca de 1850 a 1890, incluindo combinações de lajes/vigas que combinavam outros materiais como folhas de aço quinadas, denominadas como lajes colaborantes, em 1873, ou combinando folhas de amianto (Saubrey, 1912: 19-47).

Em 1886, Francois Hennebique patenteia em Bruxelas um primeiro sistema construtivo em ferro e betão, orientado sobretudo para o mercado das lajes e pavimentos, que consistia em elementos pré-fabricados tubulares em betão, com armaduras em barras circulares. Lançado que estava um sistema de construção concorrencial ao das lajes metálicas, Hennebique procurou difundir-lo, destacando as suas vantagens e princípios construtivos, em comparação com outros. A habitação era um mercado preferencial, e a construção em ferro não era muito comum na Bélgica (Delhumeau, 1999: 46).

Outra inovação foi a aplicação das lajes colaborantes onde uma chapa perfilada constitui a base da laje, respondendo à tracção, sendo preenchida com betão, mais resistente à compressão (49-50). A argumentação de Hennebique, em defesa deste sistema, estruturava-se em três pontos fundamentais: 1) a questão do aprovisionamento e da gestão dos materiais necessários à obra, mais flexível e menos dependente de elementos com medidas pré-definidas e nem sempre disponíveis no estaleiro; 2) a economia de custos, que através de comparações exaustivas e detalhadas entre as diversas componentes do seu sistema com outras soluções, que se traduzia numa redução de 27 a 29% na Bélgica e de 40 a 47% em França; 3) e a redução de peso da estrutura monolítica e rígida das lajes de betão para apenas um terço das lajes metálicas, possibilitando uma melhor ligação e uma menor solicitação aos restantes elementos portantes da construção (50-2).

O estudo mais sistemático que Hennebique dedica ao comportamento de elementos isolados, como as vigas e as suas armaduras, indicia uma direcção particular de investigação que culminaria em 1892 com a patente de uma peça metálica de reforço na base da viga, em que esta se passará a destacar como o elemento essencial e mais original da sua invenção (49).

A patente de 8 de Agosto de 1892 de Hennebique, registada em França, relegou para segundo plano a utilização da chapa metálica na execução das lajes. O essencial do melhoramento técnico consistia na colocação de uma barra na base das nervuras trapezoidais, que permitia a absorção dos esforços de tracção, para além da colocação espaçada de "agrafes" ou "estribos" em posição transversal, a ligar os dois lados da nervura, que melhoram significativamente a resistência

aos esforços transversos. Este simples elemento, de colocação fácil, teve um papel fundamental na resistência estática e na economia do sistema, tornando-se rapidamente num símbolo da sua eficácia, como do próprio sucesso industrial do seu promotor (55-7). Um dos desenhos da patente mostra uma laje de grandes dimensões, onde se cruzam nervuras principais com vigas secundárias, e que viria a ser a solução tipo de Hennebique para a utilização em edifícios de programa mais utilitário ou industrial (57).

Entre 1891 e 1894, Edwards em Inglaterra patenteia as primeiras lajes com vigas num sistema de unidade similar ao Visintini⁴⁹. Na Alemanha os primeiros métodos de cálculo racional para estruturas em betão são apresentadas em 1886 e em 14 de Maio de 1902 genericamente aceites através da sua apresentação e discussão pública em *Centralblatt der Bauverwaltung* por M. Koenen, sendo a partir desta data o método utilizado na Alemanha. Em França, embora a patente de Monnier fosse registada desde 1867,⁵⁰ com base no conhecimento da patente de Lambot de 1855, apenas com Hennebique e Coignet a construção em betão armado terá sucesso, cada um introduzindo as suas patentes a partir de 1892 (Saurbrey, 1912: 27-8). No entanto Monier, no ano de 1877, produz a primeira especificação sobre o papel resistente do ferro na mistura do betão. O seu sistema baseava-se num método circular de moldar o betão, negociando posteriormente o seu licenciamento noutros países que não a França, como sejam a Bélgica, Holanda, Áustria e Alemanha. Seria nesta última que faria com o engenheiro G.-A. Wayss uma aliança comercial, o qual associando-se com a empresa C. Freytag em 1894, fundaria a Wayss & Freytag que se haveria de dedicar à investigação, fabrico e comercialização do betão armado e seus derivados na Alemanha (Simonnet, 1992a: 10-1). No ano anterior, Hennebique havia publicado o seu brevet em França. Estas duas empresas, a de Hennebique e a Wayss & Freytag dominaram a construção em betão armado na Europa na primeira década do século XX (15).

De referir que por volta de 1899-900 François Hennebique acabará por defender a utilização de um betão com maior mistura de água e gravilha, em relação à areia. Embora o resultado seja menos cuidadoso, permite uma redução de custos associados à cofragem e, conseqüentemente, fazer face à concorrência e ao abaixamento de preços do mercado (Delhumeau 1999, 72). O betão resultante da mistura molhada era já recomendado nas patentes iniciais de Coignet (1869), mas só a

⁴⁹ Este sistema era baseado na pré-moldagem de unidades da construção (em obra ou fora dela), sendo montados e unidos entre si in situ.

⁵⁰ Ver Tostões, 2002: 44.

partir desta altura se generalizou na Europa, através de Hennebique e nos EUA, através de Ernest Ransome (Ransome, 1912: 16-7). A importância da mistura molhada permitiu uma generalização do uso do betão moldado in situ, bem como a sua expressão material e formal. Esta última característica, bem como a fluidez alcançável no manuseamento deste material em obra, será de enorme importância na caracterização de uma prática europeia face à norte-americana.

Nos Estados Unidos a primeira patente para um elemento em betão armado data de 1844. Desde esta altura muitos são os elementos patenteados, desde paredes, vigas, pavimentos, fundações, etc., incluindo a célebre patente de T. Hyatt, já mencionada. Uma cópia da publicação de Hyatt estava depositada na biblioteca do registo central das patentes dos EUA (Patent Office), correspondendo à patente nº 206112. Nos anos que se seguiram foram muitas as patentes que elaboravam sobre os princípios de Hyatt, melhorando-os ou adaptando-os à realidade das necessidades construtivas. Em 1898 as patentes de Hennebique são registadas nos EUA, com os nºs 611907, 611908 ou a 611909. Entre elas a primeira consistia na possibilidade dos varões de ferro continuarem para além do espaço físico da viga a betonar de forma a poderem ser incorporados no reforço do elemento adjacente a betonar. Este método de arranjo do reforço metálico em vigas e lajes permitia que a estrutura tivesse sempre uma continuidade independentemente das suas várias fases de cofragem no plano horizontal (ver fig. 2.4). A primeira patente dos Kahn nos EUA seria a nº 736602 de 1903 (fig. 2.5), tendo-se-lhe seguido muitas outras. (Saubrey, 1912: 19-47).

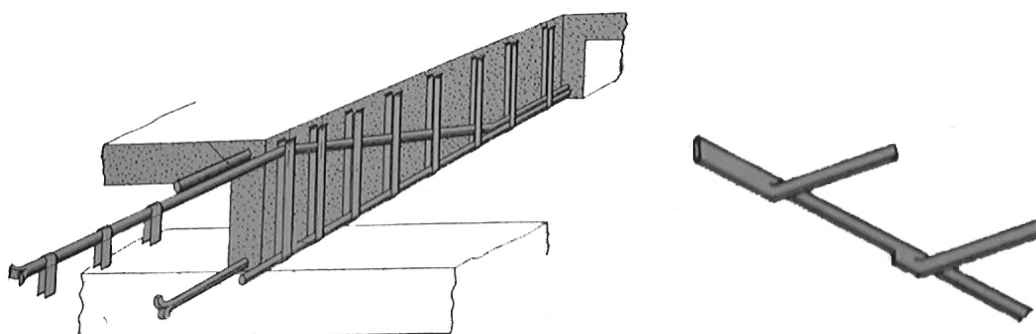


Fig. 2.4. Patente Hennebique 611907 (in Saubrey, 1912: 42). Fig. 2.5. Patente Kahn 736602 (in Saubrey, 1912: 45).

Com a integração de ferro no betão, e as novas patentes constituindo autênticos sistemas construtivos, o material betão, outrora material da construção de uma enorme densidade e resistência mecânica (compressão), aglutina a esta característica estrutural a resistência à tracção, o que o

determina como um sistema construtivo industrializado alternativo à construção metálica, bem como aos sistemas construtivos tradicionais, baseados na mão-de-obra artesanal. Desta forma garantia-se uma autonomia da capacidade produtiva da indústria da construção da disponibilidade da mão-de-obra, uma vez que a mão-de-obra necessária era operária e não baseada no "saber fazer" do canteiro ou do mestre maçom (Simonnet, 1992a: 9).

Esta integração entre ferro e betão nasce ainda da necessidade de protecção das estruturas metálicas contra o fogo. O estudo de diversos sistemas construtivos em revistas da especialidade, a que François Hennebique dedicou grande atenção antes da sua invenção, constituiu uma base argumentativa valiosa para a promoção e defesa técnica do sistema de betão armado. O caso específico do nascimento do sistema de Hennebique dá-se com a publicação de uma brochura com o sugestivo título de "Pus d'incendies désastreux", em que se elabora sobre as vantagens e possibilidades construtivas de uma laje nervurada a partir de ábacos de cálculo, que aumentava a flexibilidade e a abrangência de potenciais utilizadores (Delhumeau 1999, 58), a qual viria a dar origem à patente Hennebique (patente de 1892). A defesa por via da segurança, de uma nova tecnologia de construção, acaba por justificar o uso de estruturas metálicas protegidas. O betão armado acabará por se tornar autónomo e concorrencial à construção metálica, oferecendo ainda motivos expressivos e plásticos bastante diferentes do aço, os quais serão centrais na elaboração conceptual de uma nova arquitectura para o século XX.

Os sistemas de betão armado, armados com os seus bureau d'études próprios, como o de Hennebique ou de Conttacin, que elaboravam sobre as possibilidades de juntar o ferro e o cimento por forma a responder a problemas de resistência e durabilidade, considerando para tal as catástrofes naturais (terramotos ou inundações) e artificiais (fogos), eram limitados a dimensões máximas e mínimas possíveis para certos trabalhos do betão, fossem à compressão ou à tracção, dependendo por isso da quantidade e geometria do binómio betão e ferro. Os apoios, onde estes eram colocados em relação aos mais próximos, as espessuras das lajes, dos cutelos dos elementos vigas, secções dos pilares, recobrimento ao ferro, eram critérios variáveis com os vários sistemas propostos mas que remetiam para uma definição através de uma quantificação dimensional em desfavor da proporção.

Estes sistemas são descritos sobre a forma de tratados que elaboram sobre a aplicabilidade do betão, descrevendo não só o sistema mas das suas possibilidades de adaptação a novas tipologias construtivas e dessa forma a edifícios com novas funções. Em todo o mundo os "inventores", construtores e/ou industriais do betão armado, deste Hennebique a Ransome, passando por Monier ou

Wünsch, tiveram de licenciar as suas invenções sob a forma de patentes⁵¹, investindo assim sob a forma do comércio do conhecimento toda a dedicação e experimentação que consumiram na elaboração das suas novas normas científicas. Paralelamente, surge uma nova categoria de profissionais ligados à construção, relacionados com o processo industrial e destinados a controlá-lo e a desenhá-lo. Uma nova classe de construtores destes sistemas em betão armado, de “segunda geração”, surge como resposta a este mercado em crescimento. São os executores dos brevets, aqueles que os justificam e que investem. São profissões de “identidade híbrida: engenheiro filho do empreendedor, diplomata do Politécnico imobiliário, empreendedor de obras públicas...produtos da imprensa, da categoria de engenheiro ou derivados do ambiente industrial”, acabam por influir na criação dos gabinetes conhecidos em França como os bureau d’études techniques (Simonnet, 1992a: 10). “Em França o bureau d’études representa a cintura de transmissão activa do material em bruto ao seu pronto emprego em obra” (9). O bureau d’études consiste na institucionalização de um corpo de consultores, normalmente engenheiros e/ou fabricantes de cimento ou betão armado, a partir da teorização da pré-preparação do betão, sua mistura, qualidade dos seus subprodutos, forma das armaduras, modo de emprego e manuseamento de uma forma que ultrapassa o conhecimento do arquitecto ou engenheiro projectistas bem como as suas especificações de projecto. Estas constituíam em si, normas, ou regras concretas aplicáveis à sistemática industrialização do betão na Europa.

⁵¹ A patente consiste numa publicação sobre as regras da fabricação e aplicação das variadas fórmulas e elementos que definiam uma estrutura em betão armado, publicando-se oficiosamente os sistemas correntes de betão armado, protegendo-os ao mesmo tempo da cópia por terceiros e fazendo beneficiar a quem os preparou com direitos comerciais sobre quem os usa. Na Europa o uso do brevet (ou patente) é licenciado a partir de 1884 com a entrada em vigor da “Convenção Internacional da Protecção para a propriedade Industrial” (Simonnet, 1992a: 10).

2.4 SOBRE A PRÁTICA DO BETÃO ARMADO.

A obtenção de um material novo, homogéneo no seu aspecto, textura, características químicas e mecânicas, como o cimento, permite um controlo da sua fabricação e aplicação baseado na técnica. Esta era obtida através da cientifização dos seus processos de fabrico e de aplicação pelas novas profissões emergentes do progresso decorrido no século XIX. Estas novas profissões constituem novos costumes de trabalho que tendem a internacionalizar-se no mundo ocidental, como sendo as boas práticas, decorrendo daí um produto também internacional e regularizado a todos os mercados internacionais. Essa regularização garante qualidade e controlo, bem como a natural substituição dos métodos mais artesanais e artísticos da construção por outros mais tecnológicos.

O betão armado assume então esta condição de tecnologia construtiva, do ponto de vista da sua estrutura e capacidades espaciais, substituindo formas de construção tradicional que não se adequavam à rapidez, segurança e eficiência com que as novas construções em betão armado eram executadas e mantidas. No entanto, o segredo da sua fabricação reside numa linguagem concreta e científica, acessível a especialistas académicos que as tornam legíveis e aplicáveis através de publicações e especificações que controlam comercialmente essa técnica construtiva. Construção, neste caso a do betão armado, passará a ser sinónimo de mais valia financeira, de controlo comercial e de sentido de produção.

Finalmente, associada a esta nova realidade produtiva da prática, emerge uma outra que estigmatiza o mestre artesão (ou artista) face ao novo especialista ou técnico projectista das estruturas de betão armado.