



TEMA: RESILIÊNCIA NA CONSTRUÇÃO (F)

TECNOLOGIAS PARA A CONSTRUÇÃO DO HABITAT SOCIAL: O MICROCONCRETO DE ALTO DESEMPENHO PARA O DESENVOLVIMENTO DA PRÉ- FABRICAÇÃO LEVE



Paulo Eduardo Fonseca de Campos

(Professor Associado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo - pfonseca@usp.br)

Resumo:

O presente artigo procura demonstrar como as inovações tecnológicas para produção do habitat social, a serem empregadas tanto na construção como na recuperação de áreas degradadas das cidades, podem ser desenvolvidas a partir de conhecimentos técnicos avançados, empregando materiais classificados, atualmente, como de alto desempenho.

A visão apresentada aborda, inicialmente, os limites habitualmente atribuídos às normas técnicas e urbanísticas em vigor em diversos países, estabelecidas segundo os padrões admissíveis para a cidade formal ou legal, os quais

ignoram a realidade existente nos bairros periféricos e inibem o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias apropriadas e inovadoras nos campos da habitação e do urbanismo.

Contrariando esta tendência, algumas soluções construtivas vêm sendo desenvolvidas há várias décadas na América Latina, aliando economia ao uso intensivo de tecnologia. Observa-se neste contexto da produção do habitat o uso recorrente da tecnologia da pré-fabricação à base de elementos leves, aplicando-a em obras de infraestrutura e edificações.

A busca da pequena espessura, atributo indissociável no projeto de estruturas pré-fabricadas delgadas, implica obrigatoriamente, nos dias atuais, no desenvolvimento de parâmetros para aplicação do concreto de alto desempenho, uma condição sem a qual não é possível manter os pequenos cobrimentos de armadura e, ao mesmo tempo, garantir a durabilidade.

O microconcreto de alto desempenho, dentro desta ótica, apresenta entre suas propriedades potenciais um campo de aplicação associado às estruturas de elementos delgados, onde a pequena espessura (20 a 30mm em média) é sua característica mais evidente, a qual lhe confere a pequena massa. Por causa disso, o material é extremamente adequado aos sistemas construtivos pré-fabricados leves.

Com isso acredita-se ser possível vislumbrar inúmeras possibilidades de aplicação oferecidas pelo microconcreto de alto desempenho no desenvolvimento da pré-fabricação leve e de outros campos, particularmente voltados para a infraestrutura urbana e a habitação social.

No caso particular da tecnologia apresentada nesse artigo, preveem-se também contribuições técnicas, econômicas, sociais e ambientais decorrentes de sua utilização.

Em relação às contribuições técnicas pode-se citar a consolidação de métodos e processos construtivos pré-fabricados leves, a introdução de técnicas construtivas industrializadas inovadoras que aumentem a produtividade e a qualidade das construções, e a difusão de um conjunto de recomendações que permita a transferência de tecnologia, segundo as boas práticas consolidadas. Quanto às contribuições econômicas, toma-se como premissa o fato da tecnologia do concreto armado ser praticamente a mesma em qualquer país, não dependendo de variáveis locais que inviabilizem a transferência dos conhecimentos aqui preconizados. Esse fator contribui significativamente para diminuir os investimentos iniciais na implementação da tecnologia do microconcreto de alto desempenho entre as empresas produtoras de sistemas e componentes construtivos pré-fabricados.

As repercussões mais relevantes, no entanto, talvez sejam nas áreas social e ambiental, na medida em que a tecnologia de pré-fabricação apresentada, cujas principais características são velocidade e facilidade de execução, podem levar a políticas públicas para responder, a um só tempo, ao desafio de construir com rapidez infraestrutura urbana e habitação social, e reduzir o desperdício por meio da modernização dos processos e do aumento da durabilidade das construções.

Palavras-chave: tecnologia da arquitetura e urbanismo - habitação - industrialização da construção - pré-fabricação leve - microconcreto de alto desempenho

1. Introdução

Segundo o Atlas do Saneamento 2011, publicado pelo IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [1], apesar das melhoras observadas nas condições de saneamento entre 2000 e 2008, menos da metade dos domicílios brasileiros (45,7%) tinham acesso a rede de esgoto à época.

De acordo com a mesma publicação “se a universalização da rede de abastecimento de água, coleta de esgoto e de manejo de resíduos sólidos constitui parâmetro mundial de qualidade de vida já alcançado em grande parte dos países mais ricos, no Brasil, a desigualdade verificada no acesso da população a esses serviços ainda constitui o grande desafio posto ao Estado e à sociedade em geral”, considera o IBGE ao apresentar o Atlas.

Portanto, ao se introduzir a questão das tecnologias para a construção do habitat social no contexto brasileiro, é preciso ter claro o tamanho do desafio que um país como o Brasil tem nessa área e a conseqüente necessidade de políticas efetivas de saneamento básico. As tipologias físicas preexistentes em áreas ocupadas pela população de baixa renda —mais especificamente em favelas— são, via de regra, extremamente desfavoráveis, configurando situações dramáticas se levados em conta os riscos de vida, as péssimas condições de saneamento e aspectos ligados à saúde pública, tais como a contaminação das águas e do solo, o adoecimento da população, deslizamentos e inundações.

Boa parte desses domicílios, ainda que se concentrem em pequenos municípios de até 50.000 habitantes, estão localizados no meio urbano, onde a conquista do direito à habitação equivale à garantia da cidadania e do acesso aos serviços públicos.

Este artigo, mais do que simplesmente narrar experiências bem sucedidas ou descrever tecnologias passíveis de transferência e utilização no campo da habitação social, tem como preocupação fundamental discutir as maneiras mediante as quais se pode assegurar às populações marginalizadas condições de vida saudáveis e dignas, considerando, todavia, a necessidade de racionalização na aplicação dos recursos públicos que são destinados à habitação de interesse social.

As normas técnicas e urbanísticas em vigor, entretanto, permanecem baseadas nos métodos tradicionais de gestão, seguindo critérios e padrões admissíveis em modelos convencionais para a cidade legal, ignorando a realidade dos bairros periféricos e inibindo o desenvolvimento/aplicação de soluções físicas inovadoras para melhorias habitacionais e urbanas.

No Brasil, quanto mais avança e se intensifica o processo de urbanização, tanto mais é possível enxergar nitidamente a dicotomia entre duas cidades. A primeira, a cidade legal dos planos urbanísticos, onde existem regras a serem observadas, o lugar onde as classes mais favorecidas delimitam claramente o território sob seu domínio, assim como o seu uso e ocupação. A segunda, a cidade ilegal ou clandestina, onde predomina a desordem do ponto de vista formal, implantada em condições infra-humanas, em localizações físicas adversas e não atendidas adequadamente pelos serviços públicos.

É Benevolo quem propõe em “O último capítulo da arquitetura moderna” [2] a seguinte questão: “... trata-se então de reivindicar a ideia de controle urbano e de construção desenvolvida nos países industrializados ou de contestar todo o aparelho normativo vigente para enxertar a investigação arquitetônica na espontaneidade da autoconstrução, tal como o tentou fazer Turner?”.

É oportuno lembrar o arquiteto inglês John Turner [3], que trabalhou no Peru entre 1957 e 1965, a serviço de organismos locais de planejamento, implantando algumas das experiências precursoras de assistência técnica à autoconstrução e ao desenvolvimento das comunidades. O modelo tecnológico proposto por Turner

representou naquele momento, ademais, um contraponto às soluções massivas inspiradas no período de reconstrução do Segundo Pós-guerra europeu, fundamentado na pré-fabricação pesada à base de grandes painéis de concreto.

Claro está que a história da construção do habitat popular nas cidades brasileiras e latino-americanas é bem outra. Pode-se afirmar que diante da incapacidade dos governos em gerar alternativas massivas reais, com base nas normas e critérios da cidade legal [4], a população tomou para si a tarefa de produzir seus próprios bairros e lugares, fazendo da autogestão, com frequência, uma bandeira de luta pelo reconhecimento de seu direito à cidade [5].

As formas mais conservadoras de gestão da cidade, por sua vez, possuem uma correspondente análoga no campo dos materiais e das técnicas construtivas. Raramente são desenvolvidas tecnologias dirigidas especificamente ao consumo coletivo de bens e serviços públicos para os habitantes das periferias urbanas.

Os recursos que são destinados às obras de infraestrutura e habitação, em geral, seguem sendo aplicados segundo critérios baseados em técnicas convencionais, consoantes com os interesses privados que, frequentemente, orientam as ações do poder público. Ou seja, a forma de produção e distribuição desses bens e serviços, para uso e consumo das populações de baixa renda, pouco difere dos mecanismos convencionais de mercado.

No processo de decisão do “o quê” e “para quem”, raramente são levadas em conta as reais necessidades da população a ser atendida, optando-se pelo convencional —ainda que inadequado— muitas vezes por conveniência das construtoras que atuam em obras públicas. Sendo assim, a natureza do produto tecnológico e sua qualidade tendem a perpetuar-se em decorrência do “hábito”.

2. Da argamassa armada ao microconcreto de alto desempenho

O desenvolvimento de sistemas e componentes construtivos mais leves, buscando conferir uma maior densidade tecnológica aos produtos, é hoje uma tendência dominante para o futuro do segmento de pré-fabricados de concreto. Neste sentido, o desenvolvimento de parâmetros para aplicação do concreto de alto desempenho nesta área da construção civil, visando aumentar a diversificação dos produtos oferecidos para os mercados habitacional, industrial e comercial, pode representar um importante fator de ganho de competitividade para o setor.

Segundo dados de 2013 do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), a produção do setor de pré-fabricados de concreto representa atualmente no Brasil, aproximadamente, modestos 2,1% do consumo global do cimento produzido no País [6].

Por sua vez, o desenvolvimento de estruturas de elementos pré-fabricados delgados de concreto armado no cenário brasileiro, após o advento das grandes fábricas de sistemas e componentes construtivos empregando a argamassa armada nas décadas de 1980 e 1990, sob a liderança do arquiteto João Filgueiras Lima (1932 - 2014), o Lelé, significou uma das experiências mais notáveis e reconhecidas no campo da industrialização da construção no País e no mundo, quase única em termos internacionais.

A argamassa armada apresenta entre suas propriedades potenciais um campo de aplicação associado às estruturas de elementos delgados, onde a tecnologia do concreto armado foi levada aos limites das estruturas metálicas ou de madeira. A pequena espessura —20 a 30 mm, em média— é a característica mais evidente de um componente pré-fabricado de argamassa armada, a qual lhe confere uma pequena

massa. Por causa disso, o material é extremamente adequado aos sistemas construtivos pré-fabricados leves.

Nesse artigo apresentam-se, inicialmente, os fundamentos tecnológicos que permitiram à argamassa armada desenvolvida no Brasil ao longo de quase seis décadas, converter-se em um microconcreto de alto desempenho nos últimos 15 anos, seja por suas propriedades de elevada resistência mecânica à compressão e baixa porosidade, seja pela possibilidade econômica de sua aplicação, particularmente na construção civil habitacional.

Por meio da análise dos resultados de ensaios realizados no Laboratório de Concreto do IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, entre os anos de 1997 e 2002, foi possível comprovar a estreita ligação existente entre o que hoje se convencionou chamar de concreto de alto desempenho e a argamassa armada.

Estudos de dosagem, ensaios de resistência mecânica à compressão e estudos de durabilidade, tomando como base a análise petrográfica, foram realizados no âmbito do projeto de pesquisa de doutorado do autor, concluído em 2002 [7]. Em que pese ser a pesquisa em referência um trabalho datado, passados quase 15 anos é possível afirmar que os avanços e comprovações alcançados à época de sua conclusão permitiram validar na prática —por meio da aplicação dessa tecnologia em inúmeras obras no Brasil e na América Latina, e até mesmo no hemisfério norte— as possibilidades oferecidas pelo microconcreto para a pré-fabricação leve e, mais especificamente, para a construção civil habitacional. Neste artigo são apresentadas algumas dessas aplicações.

A tecnologia à base de componentes pré-fabricados leves vem sendo desenvolvida no Brasil desde o início da década de 1960. Foi a partir das experiências iniciais com o *ferrocemento* do engenheiro de estruturas italiano Pier Luigi Nervi, que a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) deu origem à sua trajetória como centro de excelência nacional nesta tecnologia.

Buscando adaptar o material às condições locais, foram realizados os primeiros ensaios com perfis pré-fabricados. Empregando taxas de armadura compreendidas entre 250kg/m³ e 300kg/m³ e um consumo de cimento de aproximadamente 700kg/m³, ao invés dos 500kg/m³ e 1000kg/m³ de Nervi, respectivamente, o Grupo de São Carlos, como se tornou conhecido, empreendeu passos decisivos para a otimização da tecnologia e sua consequente consolidação [8].

Portanto, já não se tratava da configuração original do ferrocimento concebido por Nervi, embora os materiais constituintes fossem os mesmos, os sistemas estruturais fossem equivalentes e os comportamentos em situação de serviço, semelhantes. A argamassa armada desenvolvida pelo Grupo de São Carlos já não podia ser considerada, por conceito, o mesmo material que Nervi havia desenvolvido na década de 1950. Enquanto o *ferrocemento* era considerado um material composto, sinérgico, a argamassa armada foi classificada como um tipo especial de concreto armado, material associado.

Por outro lado, falar a respeito do estágio alcançado pela tecnologia da argamassa armada para a pré-fabricação de componentes e sistemas construtivos industrializados no Brasil, obriga a um estudo detido da obra do arquiteto João Filgueiras Lima. Em busca de uma alternativa tecnológica para viabilizar projetos de urbanização de favelas em Salvador na Bahia, no ano de 1979, Filgueiras Lima, com a cooperação nos projetos estruturais de Frederico Schiel, professor da EESC-USP, estabeleceu os primeiros parâmetros para industrialização da argamassa armada. Após esse primeiro passo, o arquiteto assimilou o material e tornou-se o seu maior divulgador no Brasil, em função da propriedade como o empregou em seus conhecidos projetos de escolas e hospitais, entre outros.

No presente artigo, no entanto, interessa apresentar, sobretudo, os avanços e fundamentos tecnológicos que permitiram à argamassa armada desenvolvida no Brasil

ao longo de quase seis décadas, converter-se em um microconcreto de alto desempenho nos últimos 15 anos, buscando contribuir para o esclarecimento científico à luz do qual foi possível estabelecer as bases para sua recente evolução no Brasil e na América Latina, conforme exposto, em sua parte essencial, a seguir.

2.1 Estudos de dosagem e ensaios de resistência mecânica

As características potenciais de elevado desempenho da argamassa armada quando aplicada segundo a configuração prescrita na norma brasileira ABNT NBR 11173:1990 de “Projeto e execução de argamassa armada” [9], podem ser associadas, por um lado, ao seu baixo fator água/cimento limitado a 0,45. Para um concreto usual com uma relação água/cimento de 0,60, uma profundidade de carbonatação de 15mm é atingida após 15 anos, ao passo que com uma relação 0,45 a mesma profundidade só é alcançada após 100 anos [10].

Por sua vez, segundo Aïtcin [11], um concreto de alto desempenho pode ser definido essencialmente como um concreto tendo uma baixa relação água/aglomerante —com a adição de sílica ativa ou outro material cimentício suplementar, a designação fator água/cimento é substituída com vantagem pela expressão fator água/aglomerante, considerando-se aglomerante o cimento mais a adição em pó—, aditivos, geralmente líquidos e adicionados à mistura em pequenas proporções, os quais não devem ser confundidos com adições, geralmente apresentadas em pó, em proporções consideráveis.

Um valor de aproximadamente 0,40 é sugerido como a fronteira entre concretos usuais e os concretos de alto desempenho. Logicamente, esse não é o único parâmetro a se considerar, mas o fato é que a matriz cimentícia, na configuração em que esta se apresenta na ABNT NBR 11173:1990, já previa um fator água/cimento máximo de 0,45.

Partindo-se da proporção dos materiais considerada usual para a matriz do microconcreto (1:2 em massa), definiu-se para os ensaios uma família de três traços (rico, médio e pobre) variando segundo as seguintes proporções agregado/cimento (a):

- Traço rico – $a = 2 - 0,5 = 1,5$
- Traço médio – $a = 2$ (dosagem de referência)
- Traço pobre – $a = 2 + 0,5 = 2,5$

A dosagem de referência equivale ao traço médio apresentado na Tabela 1, habitualmente utilizada, ainda hoje, em plantas de produção segundo as prescrições da ABNT NBR 11173:1990. O consumo dos materiais por m^3 de microconcreto é calculado pela condição expressa na Eq. (1) a seguir:

$$c = \frac{\gamma}{1 + a + x} \quad (1)$$

Onde:

- γ = massa específica do microconcreto em kg/m^3 (2400 kg/m^3)
- c = consumo de cimento em kg/m^3 de microconcreto
- a = teor agregado miúdo/cimento do traço
- x = relação água/aglomerante efetiva do traço

Para verificação da resistência à compressão simples optou-se, inicialmente, por utilizar um método experimental com as características do Método de Dosagem IPT

(Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) devido aos objetivos a serem alcançados na pesquisa à época, no que se refere ao desenvolvimento de traços para um microconcreto de alto desempenho, que proporcionassem, além de elevadas resistência e durabilidade, a consistência mais adequada exigida pelos processos normalmente empregados na produção de pré-fabricados leves.

Para realização dos ensaios de compressão foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm x 10 cm, que após cura úmida, foram quando foram rompidos nas idades previstas de 3, 7, 28, 63, 91 e 182 dias.

Nos microconcretos de alto desempenho, assim como nos concretos de alto desempenho em geral, os capeamentos dos corpos-de-prova não podem ser executados com o composto de enxofre utilizado para os corpos-de-prova de concretos usuais, já que sua resistência é insuficiente para suportar os carregamentos durante o ensaio à compressão, levando a que a ruptura ocorra em primeiro lugar no capeamento e não no concreto que se está ensaiando.

Tabela 1: Dosagens para argamassa armada

Dosagens de referência		
Consumo de cimento	Areia (massa)	Fator a/aglomerante
Traço rico	1,5	0,39
Traço médio	2,0	0,43
Traço pobre	2,5	0,50

Observações: cimento – ARI (alta resistência inicial), areia - média / zona 4 e índice de consistência de 270 mm medido pelo método de determinação da consistência pelo espalhamento do tronco de cone (antiga ABNT NBR-9606:1992, atualmente cancelada) [9]

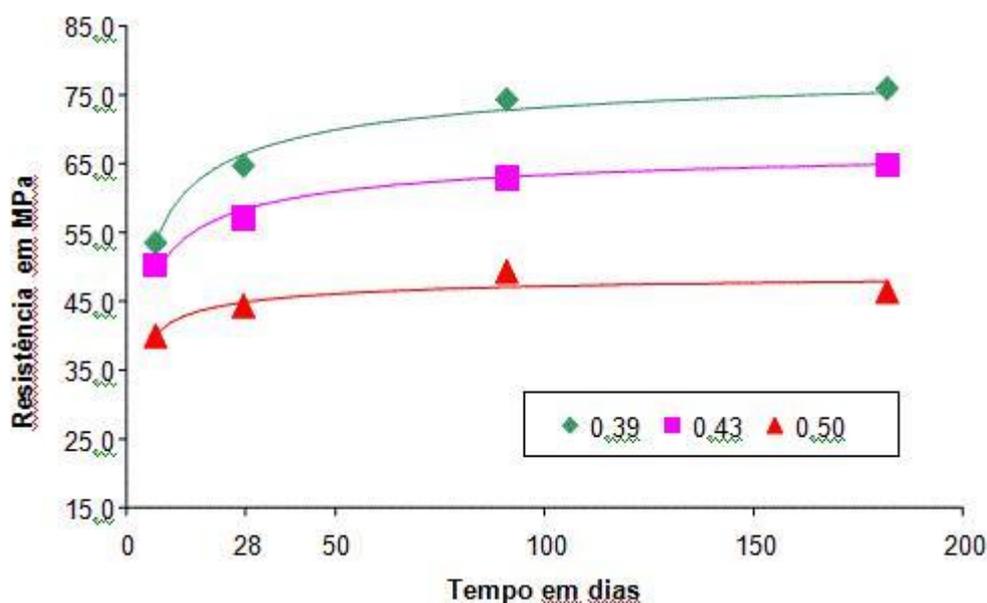


Fig. 1 - Resistência à compressão em função do tempo por relação água/aglomerante - método IPT de Dosagem de Concretos

No gráfico apresentado na Figura 1 é possível observar que a dosagem de referência, equivalente ao traço médio apresentado na Tabela 1, alcançou uma resistência à compressão aos 28 dias de 57 MPa, para um fator água/aglomerante de 0,43,

podendo ser classificado, a princípio, como um concreto de alto desempenho Classe I (resistência à compressão entre 50 e 75 MPa), conforme a Tabela 2 sugerida por Aïtcin [11]. A classificação completa, em cinco categorias, apresentada por Aïtcin, atribui tais ordens de grandeza em função da experiência acumulada e do estado da arte do concreto de alto desempenho à época da publicação.

Tabela 2: Classificação para concreto de alto desempenho

Classe de concreto de alto desempenho	I	II	III	IV	V
Resistência à compressão (MPa)	50	75	100	125	150

Fonte: AÏTCIN, Pierre-Claude. "High-performance concrete" (London, New York, E. & F. N. Spon, 1998)

2.2 Microestrutura e considerações sobre a durabilidade

A durabilidade do microconcreto, assim como a do concreto convencional, pode ser definida como sendo a sua capacidade de oferecer um comportamento adequado ao longo da vida útil do elemento estrutural a que constitui.

Embora o concreto também possa ser afetado por agentes internos, as considerações aqui expostas sobre a durabilidade do microconcreto de alto desempenho referem-se somente aos agentes agressivos externos, mais especificamente, ao transporte de fluidos através da matriz.

Cabe ressaltar que são três os fluidos mais importantes que podem afetar a durabilidade do concreto: água (pura ou com íons agressivos), dióxido de carbono e oxigênio. A penetração no concreto pode ocorrer através do escoamento do líquido ou do gás no interior da matriz cimentícia, o que caracteriza a permeabilidade propriamente dita, mas também por difusão e adsorção. Apesar disso, todo deslocamento depende basicamente da estrutura da pasta de cimento hidratado [10].

Sendo assim, para que um microconcreto resista a agentes químicos agressivos é necessário reduzir sua porosidade e permeabilidade de modo a eliminar, ou pelo menos diminuir, a velocidade dos efeitos deletérios daí provenientes [11]. Obter uma matriz o mais compacta e impermeável possível é, portanto, uma meta a ser perseguida obstinadamente, já que um concreto com alta resistência mecânica não significa necessariamente um concreto durável.

Manter uma baixa relação água/aglomerante para se chegar a um microconcreto de alto desempenho, neste caso, tem como objetivo primordial não uma elevada resistência mecânica à compressão, mas sim o controle da sua permeabilidade e, conseqüentemente, da sua durabilidade.

Nas palavras de Aïtcin: "Se a relação água/aglomerante necessária para atingir o nível de impermeabilidade desejado leva a uma alta resistência à compressão, é responsabilidade do projetista usar essa resistência adicional da maneira mais eficiente possível. No futuro, o concreto de alto desempenho será usado não tanto por sua alta resistência à compressão, mas sim pela sua maior durabilidade" [11].

Sabe-se que a permeabilidade à água do concreto usual, por exemplo, diminui à medida que a relação água/aglomerante decresce, até que essa relação aproxime-se de 0,40. Porém ao se atingir essa relação água/aglomerante, normalmente, passa a ser uma tarefa difícil registrar qualquer fluxo significativo de água através de uma amostra de concreto, mesmo aplicando-se uma alta pressão.

Isso não significa que não existam mais capilares interligados dentro do concreto, mas sim que a água não pode se mover através deles, devido à sua finura. A lei de Darcy passa a não ter a mesma validade e as forças elétricas e capilares desenvolvidas dentro dessa rede de finos poros são fortes o bastante para se contraporem às grandezas usuais de pressão usadas quando se mede a permeabilidade à água [11].

Como a maioria dos concretos de alto desempenho tem uma relação água/aglomerante inferior a 0,40, não é possível avaliar o grau de interconexão da rede de poros existente, tentando forçar a água a fluir através deles. Entretanto, seria impróprio afirmar que os concretos de alto desempenho são impermeáveis, pois mesmo que a água não possa percolar nessa rede interligada, íons agressivos o podem, visto que pressões osmóticas conseguem ser fortes o bastante para fazer esses íons se moverem através do concreto de alto desempenho. Assim, a resposta para uma avaliação completa da permeabilidade pode ser também a técnica já usada na tecnologia do concreto, contida na norma AASHTO-American Association of State Highway and Transportation Officials, denominada T 277 - *Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete* [12] ou Determinação rápida da permeabilidade do concreto aos cloretos, ou sua equivalente na ASTM-American Society for Testing and Materials, denominada C 1202-97 - *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete Ability to Resist Chloride Ion Penetration* [13] ou Método de ensaio para a indicação elétrica da capacidade do concreto para resistir à penetração de íons cloreto.

Embora esse ensaio seja aparentemente simples de ser realizado, acredita-se que o aparato requerido para se medir simultaneamente a permeabilidade aos íons cloreto em multicélulas, em pelos menos quatro a oito amostras de uma vez, deve estar obrigatoriamente associado a um sistema automático e informatizado de aquisição de dados.

Devido a essas condições não poderem ser rigorosamente atendidas nos níveis quantitativos e qualitativos ideais para a realização dos ensaios, no âmbito da pesquisa de doutorado deste autor à época [7], optou-se então pela petrografia para uma melhor e mais expedita forma de caracterizar a durabilidade das matrizes obtidas. Em suma, buscou-se aquilo que poderia se chamar, grosso modo, de "a imagem da durabilidade", através de um estudo visual comparativo das características da microestrutura dos traços de microconcreto desenvolvidos.

A petrografia é uma técnica normalmente utilizada no estudo de rochas, consistindo na sua descrição (exame e avaliação da composição e estrutura) e classificação, de modo a possibilitar a avaliação de seu desempenho ou a previsão do seu comportamento quando colocada em serviço [14].

Pouco tem sido publicado a respeito da utilização da análise petrográfica no estudo de argamassas e microconcretos no Brasil, o que evidencia um determinado grau de originalidade na incorporação deste tipo análise em investigações dessa natureza.

A opção pelos estudos petrográficos, à época em que foi desenvolvida a pesquisa em referência, levou a uma melhor compreensão e fundamentação dos aspectos favoráveis relacionados à durabilidade de microconcretos obtidos, cujas resistências à compressão já apresentavam resultados inicialmente positivos.

A baixa porosidade já comentada do microconcreto de alto desempenho, também designado atualmente pelo acrônimo MicroCAD, é uma característica que incide tanto em suas propriedades resistentes como de permeabilidade. Tal característica se deve à baixa quantidade de água livre na mistura [11], possibilitada, principalmente, por meio do aumento no uso de aditivos superplastificantes (5-15%), o que permite uma redução entre 45-75 kg/m³ de água livre [10].

Claro está, portanto, que além da utilização de materiais de qualidade (cimento, agregados selecionados, etc.), o uso de aditivos e a eventual incorporação de materiais cimentícios suplementares jogam um papel fundamental nos microconcretos de alto desempenho, nos quais já é possível reduzir muito abaixo de 0,40 a relação água/cimento, superando a barreira proposta no passado por importantes autores, como Powers [11] e permitindo se chegar a uma microestrutura mais fechada e menos suscetível a ataques por agentes agressivos externos.

Os recentes avanços na área da nanotecnologia e sua aplicação no campo da tecnologia do concreto foi o que permitiu superar as limitações observadas nas décadas de 1970 e 1980, onde uma relação água/cimento, da ordem de 0,40 ou menos, impedia de se chegar a um MicroCAD com propriedades reológicas adequadas (viscosidade e coesão) sem fazer uso de meios mecânicos para vibração e compactação.

A produção de peças pré-fabricadas leves de MicroCAD, há 25 anos, demandava o uso de misturadores forçados de eixo horizontal, para se garantir uma mistura homogênea da matriz cimentícia, além de potentes motovibradores (3500 a 5000 rpm) que auxiliassem no lançamento e adensamento da matriz dentro dos moldes [7].

Atualmente pode-se superar facilmente essas limitações por meio de uma dosagem adequada da mescla, fazendo uso de aditivos superplastificantes de última geração e com a eventual incorporação de nanoadições, que podem desempenhar funções de preenchimento da microestrutura (nanofiller) e/ou incremento das propriedades reativas da mistura, como materiais cimentícios suplementares (sílica ativa, metacaulim etc.) [17].

2.3 Aspectos funcionais, tecnológicos e estruturais do MicroCAD

Conforme comentado anteriormente, um microconcreto, à semelhança de um concreto de alto desempenho pode ser definido como um concreto com uma baixa relação água/aglomerante (cimento mais adições em pó de sílica ativa ou metacaulim, por exemplo), possível graças ao emprego de superplastificantes que atuam como aditivos redutores de água. A diminuição no consumo de cimento, a melhora na consistência e o incremento da resistência e durabilidade levam a uma economia na produção de componentes produzidos com microconcreto, contribuindo ademais para que sejam buscadas as metas de sustentabilidade requeridas para os produtos à base de cimento.

A incorporação simultânea de aditivo superplastificante e sílica ativa (da ordem de 10% em relação à massa de cimento) não só implicam em melhorias significativas na resistência, mas também levam a uma redução da porosidade, conforme verificado nos estudos realizados por Fernández Luco e Río [15], tornando-os mais adequados frente a fenômenos como a carbonatação ou outros fenômenos de transporte [7].

Apesar da melhoria potencial nas propriedades do microconcreto de alto desempenho, que acarreta a incorporação dos materiais em referência, cabe ressaltar que os cuidados na sua cura são fundamentais, já que os riscos de fissuração por retração hidráulica são consideravelmente maiores.

Com relação aos mecanismos de fissuração devidos a esforços mecânicos, cabe destacar que existem também diferenças importantes entre os concretos usuais e os de alto desempenho, incluindo os microconcretos. Nos concretos usuais, a ruptura se inicia, geralmente, na interface pasta-agregado.

Quando se analisa a microestrutura da matriz de um concreto armado ou do microconcreto armado, pode-se identificar distintos mecanismos que provocam a fissuração, que se propaga a partir de vazios pré-formados, como poros micro e macroscópicos, além de outras imperfeições e descontinuidades da própria matriz. Tais vazios ou falhas microscópicas são características intrínsecas do próprio concreto, devido à água livre incorporada na mistura ou às impurezas e deficiências na interface pasta-agregado.

Percorrendo o caminho de menor demanda energética, as fissuras evoluem no interior da matriz a partir de um determinado nível tensão, provocando a fratura progressiva do material sólido [8].

Em general a fissuração se manifesta inicialmente na interface pasta endurecida-agregado e se propaga através da pasta, fundamentalmente devido à dureza e resistência dos próprios agregados.

Levando em conta esse fenômeno é possível entender a função das armaduras difusas características —malhas de fios muito finos, fibras contínuas ou descontínuas— que se utilizam habitualmente no microconcreto. Assim, pode-se dizer que, para além de resistir aos esforços de tração, as armaduras difusas têm a função primária de limitar a abertura das microfissuras. Essa constatação, em particular, permitiu ao engenheiro italiano Pier Luigi Nervi definir sua solução construtiva com o *ferrocemento* —um microconcreto densamente armado, com malhas de fios muito finos e pouco espaçados entre si— como um material de “grande alongabilidade e infissurável” [8].

Pode-se assim, finalmente, definir o microconcreto armado como um ferrocimento industrializado, resultante da associação de um microconcreto estrutural (cimento, areia e água), com uma armadura de aço, constituída por fios de pequeno diâmetro e pouco espaçadas entre si, com a eventual incorporação de fibras descontínuas. A concepção do material está intrinsecamente ligada à questão de sua adequação tecnológica, ou seja, o microconcreto armado se define muito mais por suas possibilidades práticas de aplicação, do que como material diferenciado da família dos concretos.

3. Pré-fabricação à base de elementos delgados de concreto

No ano de 2007, o Conselho Técnico-Diretivo do Programa Ibero-americano de Cooperação CYTED-Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento, aprovou o Projeto “MicroCAD” - Microconcreto de alto desempenho para o desenvolvimento da pré-fabricação leve (2008 – 2013). O objetivo principal do Projeto “MicroCAD” foi o desenvolvimento de parâmetros para a aplicação do microconcreto de alto desempenho em produtos e sistemas construtivos pré-fabricados leves para infraestrutura urbana e habitação social.

Algumas das experiências registradas ou assessoradas diretamente pelo Projeto “MicroCAD” são apresentadas a seguir, a título de exemplo, para ilustrar de forma precisa o que pode ser o desenvolvimento de tecnologias apropriadas para a construção do habitat social.

3.1 Microconcreto de alto desempenho: a experiência brasileira

A partir da observação de suas propriedades enquanto membro da família dos concretos estruturais, o microconcreto armado desenvolvido no Brasil, ao longo de quase seis décadas, diferentemente da tecnologia assimilada e desenvolvida simultaneamente em outros países, tende a ser um ferrocimento de alto desempenho (*High Performance Ferrocement*), seja pelas características de elevado desempenho estrutural e durabilidade que podem ser alcançadas, seja pela possibilidade econômica de sua aplicação, particularmente para a construção industrializada leve.

Conforme afirma Malhotra [16], os avanços nas investigações em tecnologia do concreto possibilitaram o desenvolvimento de microconcretos especiais de alta resistência, resultantes da incorporação de fibras, adições de pós-reativos (sílica ativa, escória de alto forno, cinzas volantes, cinzas de casca de arroz, etc.) e aditivos superplastificantes. Esses microconcretos podem chegar a uma resistência à compressão de mais de 200 MPa, mantendo uma consistência equivalente à de um

concreto convencional e possibilitando a produção de pré-fabricados de altíssima qualidade.

A utilização da tecnologia de pré-fabricação do microconcreto armado se consolidou no Brasil, sobretudo, na forma de:

- obras de urbanização e saneamento básico, executadas em assentamentos populares precários (Figura 2);
- construção de edifícios para uso social, como hospitais, escolas, creches, etc. (Figura 3);
- equipamentos e mobiliário urbano, como abrigos para paradas de ônibus e passarelas de pedestres.

Independente disso vislumbra-se uma série de outros usos no campo das técnicas industrializadas leves, ou seja, à base de elementos com um baixo peso unitário.

O uso de componentes de microconcreto armado para habitação, por exemplo, despertou o interesse de muitos técnicos da área, que veem nessa tecnologia uma possibilidade concreta para vencer parte da carência de aproximadamente 6 milhões de unidades habitacionais existente no Brasil.



Fig. 2 – Canalização de córregos em favelas (São Paulo, 1990)



Fig. 3 – Posto Avançado da rede Sarah Kubitschek e passarela (Macapá, 2005)

Componentes pré-fabricados leves para infraestrutura foram projetados e utilizados com êxito no passado, para obras de urbanização e saneamento em assentamentos ocupados por populações de baixa renda, em geral vivendo em locais de difícil acesso e mal atendidos por serviços públicos.

Em 1980, na cidade de Salvador (Brasil), os sistemas construtivos projetados e produzidos pelo arquiteto João Filgueiras Lima foram capazes de responder às condições de trabalho mais difíceis, em lugares sem acesso, tanto por sua topografia como por sua alta densidade populacional. Em busca de uma alternativa tecnológica para viabilizar projetos de urbanização de favelas, Filgueiras Lima, com a cooperação nos projetos estruturais de Frederico Schiel, professor da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, estabeleceu, conforme já mencionado, os primeiros parâmetros para a industrialização do microconcreto armado no Brasil [8].

A tecnologia à base de pré-fabricados de microconcreto armado foi a que melhor se adequou às necessidades do projeto, em função da leveza dos componentes construtivos, que se fazia necessária para o transporte e montagem manuais, indispensáveis devido às condições de acesso aos locais. Na unidade de produção onde se fabricavam esses componentes eram utilizados, predominantemente, dispositivos acionados manualmente, considerando-se que o peso máximo de uma peça era igual a 90 kg.

Posteriormente a tecnologia do microconcreto foi aplicada no Rio de Janeiro (1983 – 1987), no desenvolvimento de um sistema construtivo para a construção de edifícios escolares. Da mesma forma que em Salvador, o modelo adotado na produção de escolas se apoiou no uso intensivo de mão de obra, devido às finalidades sociais inerentes ao programa.

O sistema construtivo projetado é um típico exemplo de construção industrializada leve, onde todos os elementos são de microconcreto armado e podem ser montados manualmente ou com o uso de equipamentos de pequeno porte.

A baixa inércia térmica do microconcreto armado, propriedade a ser considerada com atenção em edificações para climas mais quentes, foi compensada no sistema

construtivo em referência por meio dos recursos de projeto empregados, que conferiram ao edifício um nível de conforto adequado, principalmente no período diurno.

O sistema foi desenvolvido de maneira a ser obter, conforme já mencionado, componentes com uma pequena massa (máximo de 80 kg), o que possibilita a montagem manual na maioria das situações. As vigas de cobertura, cujo massa equivale a 300 kg, são os componentes de maiores dimensões no sistema, passíveis de montagem com o uso de equipamentos de baixa capacidade de carga.

As realizações no campo da pré-fabricação leve desenvolvidas por João Filgueiras Lima em Salvador e no Rio de Janeiro tiveram um efeito singular na divulgação da tecnologia do microconcreto armado ou argamassa armada. Posteriormente, com a colaboração de Filgueiras Lima, programas similares foram implantados em outras cidades brasileiras, demonstrando como era possível a instalação de fábricas com uma baixa inversão de capital, adequadas às realidades regionais do País.

Em São Paulo, em 1990, sob a direção da Arq. Mayumi Souza Lima (1934-1994) e deste autor, foi implantado o CEDEC-Centro de Desenvolvimento de Equipamentos Urbanos e Comunitários, um núcleo de investigação e produção de sistemas e componentes construtivos pré-fabricados da EMURB-Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo. O CEDEC buscou atender técnica e materialmente as demandas sociais da maior cidade do Brasil. A escolha da tecnologia do microconcreto armado apoiou-se nas experiências já descritas, onde eram evidentes as vantagens existentes tanto na produção como na montagem em obra.

Em uma etapa mais recente do profícuo trabalho de Lelé, João Filgueiras Lima, em 1994 foi inaugurado o Hospital Sarah de Salvador, na Bahia, o primeiro da rede pública de Hospitais de Reabilitação SARAH. Em função da construção do Sarah – Salvador e de outros hospitais em diversos pontos do Brasil, foi implantado o Centro de Tecnologia da Rede SARAH (CTRS), em área adjacente ao complexo hospitalar de Salvador. Entre outras funções básicas do CTRS, cabia ao centro construir os novos edifícios destinados à expansão da rede e ajustar permanentemente os espaços hospitalares às eventuais modificações de funcionamento provocadas pela introdução de novas tecnologias.

Para atender a essas demandas, a unidade de produção do CTRS implantado em Salvador foi dotada de um conjunto de edifícios destinados a cada um dos seguintes processos:

- a) Metalurgia pesada – para a execução de estruturas;
- b) Metalurgia leve – para a confecção de componentes metálicos leves de edifícios e equipamentos;
- c) Marcenaria – para a confecção de componentes das edificações e mobiliários em geral;
- d) Plásticos – para a manufatura de componentes de equipamentos e equipamentos complementares, tais como ventiladores, luminárias, autofalantes, etc.;
- e) Modelagem em fibra de vidro; e
- f) Usina de produção de componentes pré-fabricados de microconcreto armado – para a moldagem de componentes pré-fabricados leves para a construção dos edifícios hospitalares, tais como painéis para fechamento interno e externo, peças para lajes de entrepiso, galerias técnicas, peças estruturais, etc.(Figuras 4 e 5).

Cada hospital da Rede Sarah foi concebido como uma construção modular e ampliável (evolutiva). O sistema construtivo obedece aos mais elevados padrões de industrialização e eficiência energética, como pode ser facilmente constatado nas soluções de projeto desenvolvidas para as coberturas do tipo *shed*, constituídas de telhas metálicas de chapa pré-pintadas e apoiadas sobre estrutura metálica. O isolamento térmico e acústico é garantido por um colchão de ar, formado entre a estrutura e as telhas.



Fig. 4 – Produção de pré-fabricados de microconcreto no CTRS (Salvador, 2008)



Fig. 5 – Produção de pré-fabricados de microconcreto no CTRS (Salvador, 2008)

A experiência brasileira com a tecnologia do microconcreto de alto desempenho, pode-se dizer, foi e continua sendo uma atividade essencialmente colaborativa, como habitualmente se espera na área de desenvolvimento científico e tecnológico, fruto da

cooperação e do trabalho comum e incessante entre muitos indivíduos, pessoas que direta ou indiretamente influenciaram decisivamente no processo de obtenção desse produto final.

Nesse sentido é impossível deixar de reverenciar aqui a esse grande mestre da arquitetura brasileira, João Filgueiras Lima, o Lelé, falecido em maio de 2014, um dos maiores responsáveis pelo desenvolvimento das estruturas de elementos delgados pré-fabricados de concreto na cena brasileira. Lelé implantou e dirigiu, desde os anos 1980 até os 2000, as grandes plantas de produção de componentes e sistemas construtivos que empregaram a chamada tecnologia da argamassa armada ou microconcreto armado, só ou combinada com estruturas metálicas. Os projetos de Lelé representam uma das realizações mais relevantes e reconhecidas no campo da arquitetura industrializada no Brasil, quase única no âmbito internacional.

Às experiências pioneiras de Lelé, por sua vez, seguiram-se outras inovações e tipologias construtivas, às quais se chegou não só no Brasil, como na América Latina, região em que essa alternativa tecnológica passa a ser difundida a partir de meados dos anos 1980, particularmente por meio do Programa Ibero-americano de Cooperação CYTED-Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento, do qual o Brasil toma parte até hoje, tendo como organismo signatário o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

O Projeto “MicroCAD” - Microconcreto de alto desempenho para o desenvolvimento da pré-fabricação leve, desenvolvido no Programa CYTED entre os anos de 2008 e 2013, em sua publicação final intitulada *Microconcreto de alto desempenho: la tecnología del MicroCAD aplicada en la construcción del hábitat social* [17] reuniu uma série de aplicações que foram realizadas por meio das próprias ações implantadas pelo Projeto MicroCAD e seus integrantes.

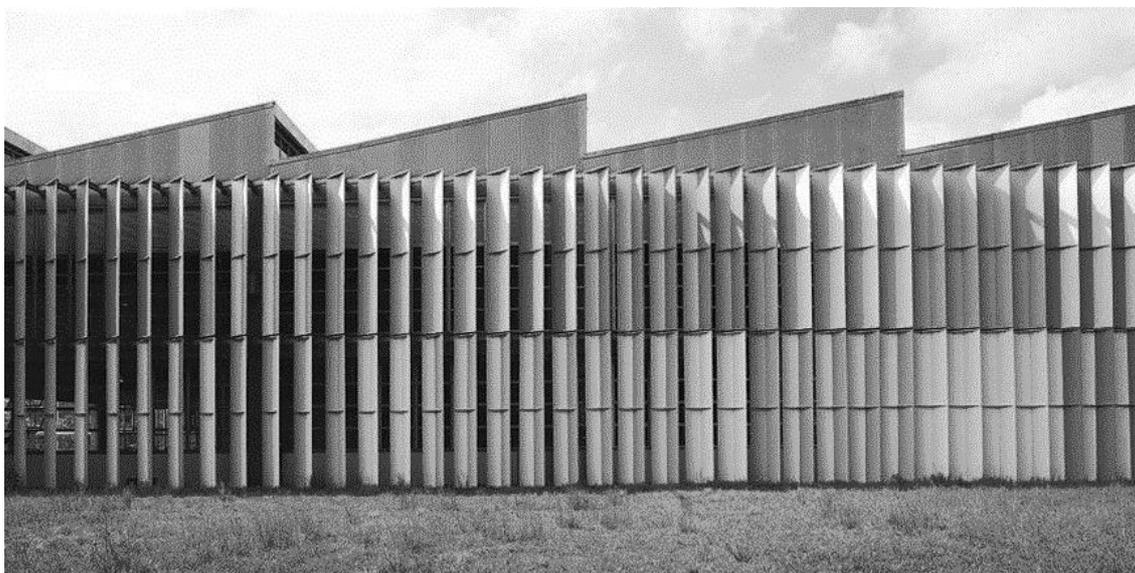


Fig. 6 – Estação Vila Sônia do Metrô (São Paulo, 2011)

No Brasil, além dos projetos já comentados, podem ser citadas ainda as seguintes realizações:

- Metrô de São Paulo (Figura 6) – Elementos de fachada (brise-soleil) projetados por Paulo Eduardo Fonseca de Campos e José Laginha Neto para a Estação Vila Sônia, cujo projeto arquitetônico é de João Walter Toscano (1933-2011) (São Paulo, 2011);

Resiliência na Construção

- Cia. CITROVITA (Figura 7) – Tanque de decantação com 27 m de diâmetro e 4 m de profundidade, paredes de MicroCAD com espessura de 30 mm, projeto de Paulo Eduardo Fonseca de Campos (Araras, 2005); e
- Prefeitura Municipal de São Paulo - Rampas de acessibilidade (Figura 8) utilizadas na reurbanização da Avenida Paulista, projeto de Paulo Eduardo Fonseca de Campos (São Paulo, 2007).



Fig. 7 – Tanque de decantação secundária da Cia. CITROVITA (Araras, 2005)



Fig. 8 – Rampas de acessibilidade para reurbanização da Avenida Paulista (São Paulo, 2007)

3.2 A difusão da tecnologia na América Latina

Conforme já comentado na presente sessão, ao longo de seus quase cinco anos de existência, o Projeto CYTED/“MicroCAD” (2008 – 2013) pôde não só desenvolver parâmetros para a execução do microconcreto, como também transferir e aplicar a tecnologia em escala real em algumas obras emblemáticas, como se pode verificar a seguir.

Na América Latina destacam-se a seguir algumas, entre tantas realizações que empregaram a tecnologia do microconcreto de alto desempenho:

- Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) e Asociación de Vivienda Económica (AVE) - Sistemas e componentes construtivos diversos para habitação social (Córdoba - Argentina);
- Empresa OTIP da Venezuela – Sistema construtivo misto aço-microconcreto (MicroCAD) para habitação projetado por Carmen Yanes e José Adolfo Peña, utilizado na reurbanização do bairro Catuche (Figura 10) (Caracas, 1997);
- Empresa OTIP da Venezuela – Sistema construtivo misto aço-microconcreto (MicroCAD) projetado por Juan Pedro Posani e José Adolfo Peña, utilizado para execução de Centro Cultural Comunitário na Venezuela (Figura 11) (San Sebastián de los Reyes, 2001);e
- Hábitat para La Humanidad América Latina (HPH) - Componentes construtivos de microconcreto para habitação e infraestrutura viária (Haiti pré-terremoto de 2010).

4. Conclusões

O desenvolvimento do microconcreto de alto desempenho, um sucedâneo da argamassa armada, baseado no incremento da qualidade da matriz cimentícia, permite vislumbrar diversas contribuições técnicas, econômicas, sociais e ambientais decorrentes de sua utilização.

Em relação às contribuições técnicas pode-se citar a consolidação de métodos e processos construtivos pré-fabricados leves, a introdução de técnicas construtivas industrializadas inovadoras que possam otimizar a produtividade e a qualidade das construções, e a conseqüente difusão de um conjunto de recomendações que possibilita a transferência de tecnologia, segundo as boas práticas consagradas.

Quanto às contribuições econômicas, toma-se como premissa o fato da tecnologia do concreto armado ser praticamente a mesma em qualquer país, não dependendo de variáveis locais que possam inviabilizar a transferência dos conhecimentos aqui preconizados. Esse fator contribui significativamente para diminuir os investimentos iniciais na implementação da tecnologia do microconcreto de alto desempenho entre empresas produtoras de sistemas e componentes construtivos pré-fabricados.

As repercussões mais relevantes, no entanto, talvez estejam nas áreas social e ambiental, na medida em que a tecnologia de pré-fabricação apresentada, cujas principais características são velocidade e facilidade de execução, podem levar a políticas públicas para responder, a um só tempo, ao desafio de construir com rapidez infraestrutura urbana e habitação social, e reduzir o desperdício por meio da modernização dos processos e do aumento da durabilidade das construções.

As investigações e inovações tecnológicas no campo da habitação social permanecem sendo desenvolvidas e aplicadas, ainda que em ritmo mais lento do que caberia supor, frente às demandas brutais pelo direito humano fundamental de um teto para viver. Seguem sendo as universidades e os institutos de investigação os responsáveis por parte considerável do conhecimento produzido, mas há também que considerar as expressivas contribuições de organizações não governamentais, de redes

internacionais de cooperação e, inclusive, de algumas empresas privadas, dispostas a investir seu tempo e recursos no estudo e na implementação de soluções, não somente para as habitações necessárias, senão que também para as cidades e para o habitat.



Fig. 10 – Projeto habitacional no bairro Catuche (Caracas, 1997)



Fig. 11 – Centro Cultural Comunitário na Venezuela (San Sebastián de los Reyes, 2001)

5. Agradecimentos

O autor agradece à FAPESP-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, instituição à qual esteve vinculado como bolsista durante seu doutorado (1997 a 2002), e ao CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo respaldo financeiro ao Projeto MicroCAD - *Microconcreto para el desarrollo de la prefabricación liviana*, desenvolvido entre os anos de 2008 e 2013 no âmbito do Programa CYTED-Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.

Referências Bibliográficas

- [1] IBGE. "Atlas de saneamento", Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011.
- [2] Benevolo, L. "O último capítulo da arquitetura moderna", São Paulo: Livraria Martins Fontes, 1985.
- [3] Turner, J. F. C. and Fichter, R. "Freedom to build: dweller control of the housing process", New York: Macmillan, 1972.
- [4] Fonseca de Campos, P. E. "Mejoras urbanas; alternativas y ciudadanía" in I Seminario Internacional MejorHab, Caracas, 1997.
- [5] Rolnik, R. e. Paz R. "El rol asignado a la Gestión Popular en las Políticas de Vivienda en Brasil 1976/1994" in Hacia Hábitat II; el rol asignado a la participación popular en las políticas de vivienda en América Latina - estudios de casos, El Salvador, Programa CYTED/FUNDASAL, 1995.
- [6] SNIC. "Relatório Anual da Indústria do Cimento," Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), Rio de Janeiro, 2013.
- [7] Fonseca de Campos, P. E. "Da argamassa armada ao microconcreto de alto desempenho: perspectivas de desenvolvimento para a pré-fabricação leve," São Paulo, FAUUSP, 2002 (Tese de doutorado).
- [8] Hanai, J. B. de. "Construções de argamassa armada: fundamentos tecnológicos para projeto e execução", São Paulo: PINI, 1992.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 11173: Projeto e execução de argamassa armada, Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- [10] Neville, A. M. "Propriedades do concreto", São Paulo: PINI, 1997.
- [11] Aïtcin, P-C. "High-performance concrete", London, New York: E. & F. N. Spon, 1998.
- [12] AASHTO T 277- 89. "Standard Method of Test for Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete," AASHTO T 277- 89, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 1989.
- [13] ASTM C 1202-97. "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration," ASTM C 1202-97, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, pp. 639–644, 1997.
- [14] Oliveira, M. C. B. et al. "Microestrutura de argamassas endurecidas: uma contribuição da petrografia" em Anais do Congresso Íbero-Americano de Patologia das Construções, Montevideu, 1997.
- [15] Fernandez Luco, L. et al. "Performance-Based Proposal for precast self compacting concrete (SCC) segments" em Proceedings of the ECCOMAS - Thematic Conference on Computational Methods in Tunnelling (EURO:TUN 2007), Viena, 2007.

- [16] Malhotra, V. M. (trad. Fonseca de Campos, P. E.). “Aplicações inovadoras de superplastificantes para a produção de concreto de alto desempenho” em *Téchne*, nº 36 - setembro, 1998.
- [17] Fonseca de Campos, P. E. (org.). "Microconcreto de Alto Desempenho: La tecnología del MicroCAD aplicada en la construcción del hábitat social", São Paulo: Mandarin, 2013.
- [18] Fonseca de Campos, P. E. “Da argamassa armada ao microconcreto de alto desempenho”. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2014.