

OS PRINCIPAIS AVANÇOS E BARREIRAS DE NOVAS TECNOLOGIAS DE CONCRETO

Eliaquim Imbiriba da Silva¹
Fabíola Tavares Bento²

RESUMO

Inúmeros avanços em todas as áreas da tecnologia de concreto, incluindo materiais, mistura, dimensionamento, reciclagem, projeto estrutural, requisitos de durabilidade, testes e especificações foram feitas. Em todo o mundo, houve algum progresso na utilização dessas inovações, mas em grande parte estas permanecem fora da prática rotineira. Diante dessa diversidade é que se aponta o objetivo deste artigo, em revisar os principais avanços e barreiras de novas tecnologias de concreto, que servirá como uma rica fonte de pesquisa para embasar trabalhos futuros. A pesquisa teve uma abordagem qualitativa de cunho exploratória e quanto aos procedimentos, utilizou-se a pesquisa bibliográfica. O concreto de alto desempenho (CAA) para estruturas de transporte, por exemplo, pontes e pavimentos, está ganhando aceitação mais ampla na prática rotineira. O uso de materiais reciclados na construção é uma questão de grande importância neste século. Utilização de cinzas volantes e em concreto aborda esta questão. a substituição de cimento Portland por cinzas volantes ou escórias granuladas de alto forno (GGBFS) reduz os volumes. O cimento portland usado é um grande benefício. A redução do cimento Portland na produção irá reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂), reduzir o consumo de energia e reduzir a taxa de aquecimento global. Utilização de cinzas volantes e GGBFS geralmente proporciona economia de custos, bem como propriedades aprimoradas de concreto. Os casos discutidos demonstram os usos práticos da suplementação materiais cimentícios - por exemplo, cinzas volantes, GGBFS e sílica ativa - para vários tipos de pontes e pavimentos em condições ambientais abrangentes. O sucesso a utilização de materiais cimentícios suplementares requer uma mistura adequada na dosagem, teste, colocação e cura. A falta de transferência generalizada da nova tecnologia de concreto desenvolvida e disponível é um grande problema na maioria dos países. O envolvimento do engenheiro praticante (usuário) através de estágios de pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologia é uma chave para o sucesso.

Palavras-chave: Tecnologia; Concreto; Benefícios.

ABSTRACT

Numerous advances in all areas of concrete technology including materials, mixing, sizing, recycling, structural design, durability requirements, tests and specifications were made. Throughout the world, there has been some progress in using these innovations, but to a large extent these remain outside routine practice. Facing this diversity is that the aim of this article is to review the main advances and barriers of new concrete technologies, which will serve as a rich source of research to support future work. The research had a qualitative approach of exploratory nature and

¹ Acadêmico de Engenharia Civil, Uninorte Laureate. E-mail: eliaquim.isilva@gmail.com

² Professora da Uninorte Laureate e orientadora do artigo.

regarding the procedures, the bibliographic research was used. High performance concrete (CAA) for transport structures, eg bridges and decks, is gaining wider acceptance in routine practice. The use of recycled materials in construction is a matter of great importance in this century. Use of fly ash and concrete addresses this issue. the replacement of Portland cement by fly ash or blast furnace slag (GGBFS) reduces volumes. The portland cement used is a great benefit. The reduction of Portland cement in production will reduce carbon dioxide (CO₂) emissions, reduce energy consumption and reduce the global warming rate. Use of fly ash and GGBFS generally provides cost savings as well as improved concrete properties. The cases discussed demonstrate the practical uses of supplementary cementitious materials - for example, fly ash, GGBFS and active silica - for various types of bridges and decks under broad environmental conditions. Successful use of supplementary cementitious materials requires adequate mixing in dosing, testing, placement and curing. The lack of widespread transfer of newly developed and available concrete technology is a major problem in most countries. Engaging the practicing (user) engineer through research, development, and technology transfer stages is a key to success.

Keywords: Technology; Concrete; Benefits.

INTRODUÇÃO

Desenvolver e manter a infraestrutura mundial para atender às necessidades futuras de países industrializados e em desenvolvimento é necessário para crescer economicamente e melhorar a qualidade de vida. A qualidade e desempenho do concreto desempenha um papel fundamental para a maioria das infraestruturas, incluindo estrutura comercial, industrial, residencial e militar, represas, usinas e sistemas de transporte.

O concreto é o único e maior material manufaturado do mundo e responde por mais de 6 bilhões toneladas de materiais anualmente. O uso mundial de materiais de concreto é responsável por quase 780 bilhões de dólares em gastos anuais. O mundo industrializado e em desenvolvimento está enfrentando as questões relacionadas à construção, bem como reparação e reabilitação de instalações existentes.

Rápida construção e durabilidade a longo prazo são requisitos na maioria dos projetos. O início e os custos do ciclo de vida desempenham um papel importante no desenvolvimento da infraestrutura atual. Houve vários avanços notáveis feitos na tecnologia de concreto nos últimos cinquenta anos. Alguns desses avanços foram incorporados na rotina práticas. Mas, em geral, o estado da prática ficou muito atrás

do estado da arte. Isto é particularmente verdadeiro para projetos do setor público. Existe uma preocupação crescente Na maior parte do mundo que leva muito tempo indevidamente para uma pesquisa concreta bem-sucedida sobre produtos a serem utilizados na prática. Embora alguns avanços tenham sido feitos em rápida implementação de novas tecnologias concretas, barreiras significativas à inovação e implementação permanecem. A coordenação continuada das atividades em curso e programas de pesquisa e educação são necessários.

Houve avanços rápidos na tecnologia do concreto durante as últimas três décadas. A melhoria na resistência e outras propriedades estruturais alcançadas anteriormente através do uso de reforço de aço são agora aceitas como rotineiras e o concreto reforçado de cimento e concreto pré-esforçado tornaram-se materiais convencionais. Trabalhos posteriores levaram ao desenvolvimento de uma variedade de concretos na forma de, entre outros, concreto reforçado com fibras, concreto polimérico, ferrocimento, concreto sulfuroso, concreto agregado leve, concreto celular autoclavado, concreto de alta densidade, concreto pré-misturado, - concreto compactado, concreto de alta resistência, concreto de alto desempenho, concreto volante de grande volume, concreto autopolimerizado, concreto flutuante e concreto inteligente.

Diante dessa diversidade é que se aponta o objetivo deste artigo, em revisar os principais avanços e barreiras de novas tecnologias de concreto, que servirá como uma rica fonte de pesquisa para embasar trabalhos futuros.

A definição metodológica se faz necessária para que haja o alcance do objetivo que nos propusemos estudar. Sendo assim, como referência teórico-metodológica, tomou-se como ponto de partida a perspectiva crítica dialética. A pesquisa teve uma abordagem qualitativa de cunho exploratória e quanto aos procedimentos, utilizou-se a pesquisa bibliográfica, que nos possibilitou compreender melhor a importância do assunto proposto.

1 O CONCRETO

O concreto é uma pedra artificial feita pelo homem. A palavra "artificial" dá uma ideia que a raça humana criou o concreto, imitando a natureza. Olhar mais de perto a natureza ajuda a ver como a terra cria seu próprio "concreto". Com o tempo, cria-se sedimentos de rochas primárias ou montanhas. Na maioria dos casos, os

sedimentos consistem em materiais granulares, que subsequentemente são fixados por um aglutinante (por exemplo, ácido silícico) ao “concreto” (ISAIA, 2005).

Atualmente, o concreto é bem conhecido como um material compósito composto principalmente de água, agregados e cimento. Aditivos e reforços pode ser usado para melhorar a qualidade do material final. Concreto é bem conhecido e usado em todo o mundo no campo da construção devido às suas propriedades mecânicas, como durabilidade, resistência ao fogo e material moldável.

1.1 BREVE HISTÓRIA DO CONCRETO

É difícil dizer exatamente quando a primeira estrutura de concreto apareceu na história. Concreto como um material que pode ser usado hoje em dia não é algo que as pessoas tinham antes. Como quase tudo na terra de concreto passou por um longo caminho de desenvolvimento. A primeira aparição aconteceu 12 milhões a.C. Israel foi o primeiro lugar onde durante as reações de combustão espontânea entre calcário e óleo o xisto ocorreu para formar um depósito natural de compostos de cimento. Três milhares de anos a.C. os egípcios usavam barro misturado com palha para ligar tijolos secos (MEHTA; MONTEIRO, 2009).

Isaia (2005) destaca que uma das primeiras pessoas que usaram concreto na construção civil são os chineses. A preparação do concreto tem etapas fáceis. Primeiro, uma parte da cal é misturada com duas partes de areia e cascalho ou apenas com areia, detritos e terra. Segundo, a mistura seca combinada com uma pequena quantidade de água que é empilhada em camadas com a espessura de 12 cm entre a fôrma de madeira. Em terceiro lugar, a camada é levemente umedecida com água. Este processo foi repetido até que toda a parede fosse feita.

Aproximadamente, em 500 a.C., o conhecimento da produção de estruturas de concreto gradualmente se espalhou no Mediterrâneo Oriental e atingiu a antiga Grécia. Para a cobertura de paredes, os gregos usaram não apenas alvenaria de entulho, mas também concreto de calcário de granulação fina. Como exemplo, os gregos estavam construindo muros de escombros usados para os desafios militares. O arquiteto e engenheiro Vitruvius descreve vários tipos de paredes semelhantes em seu trabalho (PFEIFER et al., 2001).

Para Carvalho (2008), um uso notável de concreto no território do estado romano começou em torno do final do século IV a.C. e durou cerca de 700 anos. No

entanto, os Romanos avançaram com a construção de estruturas de concreto usando o conhecimento dos gregos. Além disso, a influência grega pode ser vista na arquitetura romana. Eles foram criando com sucesso peças de arte, como o Coliseu, aquedutos de Roma, os Banhos de Diocleciano e os Banhos de Caracala. Algumas dessas criações impressionantes que as pessoas podem ver até hoje em dia.

Para Pfeifer et al. (2001), um nascimento lento e gradual de tecnologias concretas em um edifício romano na prática durou mais de dois séculos. Então a quantidade de construção concreta em todo o Império Romano começou a crescer amplamente por volta de 300 anos. Mais tarde, o concreto não se desenvolveu tão rapidamente, mas foi notavelmente melhorando suas propriedades. Tecnologia de fabricação e novo design para as soluções melhoraram também. Este período durou cerca de 100 anos. Finalmente, no século IV a.C., com a queda do Império Romano, as tecnologias de produção do concreto foram perdidas por muito tempo.

Depois de muito tempo em 1756, o engenheiro britânico John Smeaton fez o primeiro passo para a invenção do cimento Portland, que levou ao renascimento do concreto como as pessoas sabem hoje em dia. Ele projetou o terceiro Farol Eddystone. A parte mais importante deste projeto que afetou o progresso do concreto no futuro é o uso de cal hidráulica (também agregado grosso e tijolo em pó à mistura) em concreto (CARVALHO, 2008).

Um dos próximos passos para o ressurgimento do concreto foi feito por um empresário britânico e fabricante de cimento Joseph Aspdin. De 1817 ele estava experimentando com a fabricação de cimento até 1824, quando ele teve uma Patente Britânica para o método de produção de cimento Portland. Ele também inventou o nome “cimento Portland” (POLIÃO, 2002; PEDROSO, 2009).

O autor supramencionado destaca ainda que uma etapa muito importante na história do concreto ocorreu no ano de 1849, quando um jardineiro francês abriu uma pequena oficina, onde ele poderia trabalhar com projetos de paisagismo. Seu nome era Joseph Monier e ele foi um dos pioneiros que estavam experimentando com reforço. Monier estava trabalhando como jardineiro e não estava satisfeito com os materiais disponíveis para fazer vasos de flores. Ele começou a fazer vasos e tubos de concreto e torná-lo mais forte, ele começou a experimentar com reforço. Mais tarde ele promoveu-o e mostrou-o na Exposição de Paris de 1867.

No mesmo ano, Joseph Monier obteve sua primeira patente. Afinal, esse concreto armado começou a crescer e progredir como tecnologia e a primeira

estrutura de concreto armado foi a ponte e foi construída em 1889 na América. O nome da ponte é a Ponte do Lago Alvord (ISAIA, 2005).

2 AVANÇOS NA TECNOLOGIA DE CONCRETO

Inúmeros avanços em todas as áreas da tecnologia de concreto, incluindo materiais, mistura, dimensionamento, reciclagem, projeto estrutural, requisitos de durabilidade, testes e especificações foram feitas. Mecanismos inovadores de contratação têm sido considerado, explorado e experimentado. Algum progresso foi feito na utilização de algumas dessas inovações tecnológicas.

2.1 MATERIAIS CONCRETOS

O desenvolvimento de aditivos químicos revolucionou a tecnologia do concreto nos últimos cinquenta anos. O uso de misturas de ar, aceleradores, retardadores, redutores de água e inibidores de corrosão são comumente usados para pontes e pavimentos. O uso de concreto auto-consolidado está começando a ser usado principalmente para elementos pré-fabricados. Aditivos redutores de contração raramente são usados para pontes e pavimentos. Materiais cimentícios suplementares, por exemplo, cinzas volantes, escórias granuladas de alto forno (GGBFS) e sílica ativa são rotineiramente utilizadas (NEVILLE, 2013).

2.2 USO DE MATERIAIS RECICLADOS EM CONCRETO

O uso de materiais reciclados gerados a partir de transporte, processo industrial, municipal e processos de mineração em instalações de transporte é uma questão de grande importância. Agregados reciclados de concreto e agregados de escória estão sendo usados quando apropriado. Como as fontes utilizáveis para agregados naturais para concreto são esgotadas, a utilização desses produtos vai aumentar. Utilização de cinzas volantes e GGBFS em endereços concretos além de melhorar as propriedades do concreto irá ser mais utilizada. A substituição de cimento portland por cinzas volantes ou GGBFS reduz os volumes de cimento utilizados, que é um grande benefício, uma vez que a fabricação de cimento é uma fonte significativa de emissões de dióxido de carbono em todo o mundo. A sílica

ativa é um produto comparativamente caro e é adicionado em quantidades menores na mistura de concreto e não como substituto do cimento (PEDROZO, 2014; SOUZA, 2006; BUTLER, 2005).

2.3 MISTURA DE CONCRETO PROPORCIONADO

A gradação contínua e a consideração da trabalhabilidade durante os testes de laboratório vão lentamente ganhando aceitação na prática. A utilização de laboratório, bem como de lotes experimentais de escala são usados em grandes projetos (NEVILLE, 2013).

2.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

Concreto de maior resistência para pontes é comumente usado para colunas e vigas. Concreto de maior resistência geralmente oferece maior resistência à abrasão e isso é considerado apropriado nos projetos do convés da ponte e do pavimento (BOTELHO; MARCHETTI, 2010).

2.5 PROPRIEDADES DE DURABILIDADE EM CONCRETO

Os requisitos de durabilidade do concreto são especificados na maioria dos projetos das pontes e pavimentos principais. Normalmente, os requisitos baseiam-se no “Teste Rápido de Permeabilidade ao Cloreto”. Este é um procedimento substituto que mede o fluxo de corrente elétrica. A falta de melhores testes laboratoriais e de campo tem dificultado o progresso nessa área (SILVA, 2006).

2.6 TESTES EM CONCRETOS

A utilização de procedimentos de teste avançados, por exemplo, vários testes de encolhimento, analisador e testes não destrutivos tornaram-se difundidos. O teste não-destrutivo incluindo teste de maturidade estão ganhando maior aceitabilidade. Teste de trabalhabilidade para rigidez nas misturas de concreto estão sendo avaliadas por várias organizações (DALLABRIDA; VEIGAS, 2014).

2.7 CONTROLE DE CONSTRUÇÃO DE CONCRETO

Testes de concreto *in situ*, práticas de cura eficazes e utilização de software de computador para monitorar o desenvolvimento de resistência de concreto, bem como minimizar rachaduras potencial são utilizados em grandes projetos de transporte (DALLABRIDA; VEIGAS, 2014).

2.8 ESPECIFICAÇÕES

Especificações relacionadas ao desempenho, em vez de especificações prescritivas para o concreto foram desenvolvidos mas não amplamente utilizados. O uso de cláusulas de incentivo / desincentivo nas especificações tendem a melhorar a qualidade do concreto (NEVILLE, 2013).

3 AVANÇOS NA APLICAÇÃO DA NOVA TECNOLOGIA DE CONCRETO

Os avanços na aplicação de novas tecnologias de concreto são numerosos. A seguir, apontar-se os principais.

3.1 CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA

Diferentes tipos de fibras minerais, orgânicas e metálicas têm sido utilizadas. Entre as fibras minerais, o uso de amianto na produção de produtos de fibrocimento é bem conhecido. Como a absorção de água da fibra de amianto é alta, seu uso em concreto aumenta a necessidade de água. Conseqüentemente, há redução na resistência do concreto. Fibras orgânicas como coco, juta, rayon e poliéster são atacadas pela condição altamente alcalina do concreto. Como resultado, o concreto contendo essas fibras perde força com o tempo. Outras fibras orgânicas, nomeadamente nylon, polipropileno e polietileno, são resistentes aos álcalis. Mas, devido ao seu menor módulo de elasticidade, a incorporação dessas fibras não aumenta a força (SALVADOR; FIGUEIREDO, 2012; LUCENA, 2017).

O concreto contendo fibras de nylon ou polipropileno, no entanto, é relatado como desenvolvendo maior resistência ao impacto. Fibras de Polipropileno Virgem

de graus estruturais, tais como Forta Ferro, estão sendo extensivamente utilizados em todo o mundo para a construção de pavimentos / rodovias / pista de decolagem, construção de túneis de fibra, trabalhos de reparação e reabilitação e construção de pontes rolantes. Entre todas as fibras, o uso de fibras de aço no concreto recebeu uma atenção muito maior, no passado, mas devido ao problema de corrosão, o polipropileno de grau estrutural e outras fibras de sintetizador estão assumindo agora destaque (SALVADOR; FIGUEIREDO, 2012).

A resistência à compressão, a resistência à tração, a força fatídica, o módulo de elasticidade, a resistência à abrasão, a resistência à derrapagem e a condutividade térmica do concreto reforçado com fibras de aço mostraram-se ligeiramente superiores ao correspondente ao concreto comum. Embora a fluência e o encolhimento sejam mais ou menos inalterados, há mais de 100% de aumento na resistência à flexão e resistência ao impacto do concreto comum quando reforçado com fibra de aço, 2% em volume. Com o mesmo teor de fibras, o uso de uma mistura de fibras com proporções diferentes, em vez de fibra com proporção única, proporciona maiores benefícios estruturais. Verificou-se também que é mais benéfico e econômico o uso de fibras de aço apenas na zona de tração do elemento de flexão. Ao contrário do concreto simples, o aço, o concreto reforçado com fibras não é frágil e oferece uma resistência muito maior à quebra. As fibras atuam como detentores de trincas e restringem o crescimento de falhas no concreto, desde a ampliação sob tensão até fissuras visíveis. A falha final é alcançada apenas quando algumas fibras são retiradas da matriz. Em comparação com o concreto simples, a resistência do concreto reforçado com fibras de aço ao choque térmico e à quebra de calor também é muito superior (LUCENA, 2017).

As principais aplicações do concreto reforçado com fibras de aço são em pavimentos (para novas construções e coberturas), pré-moldados, reatores de concreto, estruturas resistentes a explosões, fundações de máquinas, revestimentos de túneis e estruturas que exigem resistência a choques térmicos, como revestimentos refratários (SALVADOR; FIGUEIREDO, 2012; LUCENA, 2017).

3.2 CONCRETO POLÍMERO

Segundo Palhares, Brasil e Costa (2015), dependendo do método de incorporação de monômero no concreto, o concreto polímero é denominado como:

- Concreto impregnado de polímero, quando o concreto pré-impregnado é impregnado com monômero e polimerizado *in situ*;
- Concreto de cimento polimérico, quando cimento, agregado, água e monômero são misturados e polimerizados após a colocação e;
- Concreto polimérico, quando o agregado e o monômero são misturados e polimerizados após a colocação.

Um número de fatores tais como a distância a ser penetrada, grau de secagem, porosidade total e tamanho de poro no concreto, viscosidade do monômero, se o vácuo e / ou pressão são aplicados, influenciam a extensão do enchimento de monômero em concreto impregnado com polímero. Os monômeros largamente utilizados são metacrilato, estireno, acrilonitrilo e cloroestireno. A polimerização monomérica é feita por processo catalítico térmico ou por radiação (MATTAR; VIANA, 2012).

Conforme Riboli (2012), em comparação com o concreto simples, a resistência e outras propriedades do concreto polimérico são consideravelmente maiores. A 6 por cento de carga de polímero, as propriedades mecânicas do concreto impregnado com concreto polímero vis-à-vis correspondente foram as seguintes:

- Resistência à compressão, 2 a 4 vezes maior;
- Resistência à tração, cerca de 4 vezes maior;
- Módulo ou Elasticidade, cerca de 4 vezes maior;
- Rastreamento e Permeabilidade, Quase Nulo.

Com permeabilidade quase nula, o concreto impregnado com polímero tem resistência muito maior ao ataque de águas ácidas e / ou sulfatadas.

Se a economia permitir, as aplicações de concreto polímero com bom escopo são: fabricação de tubos de concreto, estacas de concreto, telhas de concreto, suportes e revestimentos de túneis, decks de concreto pré-moldado, unidades de concreto pré-fabricadas para uso em condições agressivas, estruturas de dessalinização, construções de concreto leve e superfície proteção para moldar concreto *in situ* (MATTAR; VIANA, 2012; RIBOLI, 2012).

3.3 FERROCIMENTO

O ferrocimento é um tipo de concreto armado no qual a matriz é argamassa de cimento, microconcreto e o reforço é na forma de camadas de tela de arame ou malha de aço de pequeno diâmetro similar intimamente ligadas para produzir uma forma estrutural rígida. As proporções da mistura da argamassa de cimento são geralmente: 1 parte de cimento, 1,5 a 2,5 partes de areia e 0,35 a 0,5 partes de água, em peso. Adições são adicionadas na mistura para melhorar as propriedades (NEVILLE, 2013).

O tamanho máximo dos grãos de areia depende da abertura da malha e do sistema de reforço para garantir a penetração adequada. Diferentes tipos de telas metálicas, tais como malha de arame hexagonal (comumente conhecido como malha de arame de galinha), malha de arame soldado, malha tecida, malha de metal expandido, são usados. O uso de malha hexagonal não é preferível devido à sua baixa resistência a cargas (COHEN et al., 2006).

O comportamento mecânico do ferrocimento é muito influenciado pelas propriedades de tipo, quantidade, orientação e resistência da malha. A espessura dos elementos de ferrocimento varia de 2 a 3 cm com tampa externa de 2 a 3 mm. Quando força adicional é necessária, uma ou mais camadas de barras de aço são inseridas entre as camadas internas da malha. O uso de fibras aleatórias curtas em elementos de ferrocimento no mesmo teor de aço foi encontrado para aumentar grandemente o módulo de elasticidade e força. A impregnação de polímero dos elementos de ferrocimento, com e sem fibras aleatórias curtas, é relatada para melhorar consideravelmente estas propriedades (HEGGER; VOSS, 2008).

Ferrocimento tem uma variedade de aplicações. Entre elas, destacam-se: construção de embarcações de pesca e carga, caixas de armazenagem de grãos, tanques de armazenamento de água, biogás e digestores, tanques de fermentação, coberturas pré-fabricadas e paredes, torres de resfriamento, calhas de esgoto, fossas sépticas, canais de irrigação, painéis de secagem de produtos agrícolas, persianas e cofragens para uso em construções de concreto, revestimentos para túneis e minas, e tratamento impermeabilizante sobre coberturas, revestimento de superfície de tanques ou piscinas. O Ferrocimento foi usado com sucesso na Índia pelo Grupo de Ciência de Materiais da SERC (G) para a construção de cúpulas, tanques grandes, tampas de bueiros, unidades de drenagem e para a reparação e

reabilitação de estruturas. As novas técnicas e aplicações desenvolvidas por este grupo estão sendo usadas em larga escala em bases comerciais (NEVILLE, 2013).

3.4 CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR)

A produção de CAR exige um controle rigoroso sobre a qualidade dos materiais utilizados. Agregados grosseiros produzidos a partir de armadilha, quartzito ou granito dão maior resistência e são mais adequados do que cascalho arredondado para uso na fabricação de CAR, particularmente quando o desejado a resistência do concreto é de 70 N / mm² ou mais. Estudos sobre o efeito do tamanho do agregado graúdo na resistência do concreto mostraram que o tamanho menor produziu maior resistência. Um tamanho máximo de agregado grosso de 10 mm é considerado adequado para uso em CAR. O uso de misturas minerais, tais como cinzas volantes, sílica ativa, aumenta muito a impermeabilidade, durabilidade e resistência (CERUTTI, 2014).

O uso de CAR na construção oferece as vantagens, segundo Neville (2013) de:

- redução no tamanho dos membros de concreto com conseqüente redução no peso próprio;
- maior rigidez;
- descascamento precoce de cofragem e;
- redução do custo de construção devido à redução no tamanho do membro de concreto e peso próprio.

Por isso, tem sido amplamente utilizado na construção de edifícios altos e pontes em muitos países, incluindo a Índia. Um concreto super de alta resistência, chamado concreto em pó reativo (CPR) é produzido pela eliminação do uso de agregado grosso. A matriz de concreto consiste em cimento, areia finamente moída com granulometria próxima à do cimento, sílica ativa e fibras curtas de aço. A relação água / cimento é mantida muito baixa, em torno de 0,15. A trabalhabilidade desejada é obtida usando quantidades maiores de super plastificantes. O CPR não requer barras de reforço. É adequado para o uso na construção de estruturas muito finas, atendendo a diferentes necessidades arquitetônicas (CERUTTI, 2014).

3.5 CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

Concreto de alto desempenho é definido como o concreto que atende aos requisitos especiais de desempenho e durabilidade em termos de propriedades mecânicas, estabilidade de volume e vida mais longa em condições ambientais severas às quais o concreto é exposto durante sua vida útil. O alto desempenho do concreto está geralmente ligado à resistência do concreto; maior a força, melhor o desempenho. Portanto, em primeiro lugar, o concreto de alto desempenho tem que ser um concreto de alta resistência. Além da alta resistência, a baixa permeabilidade do concreto é um requisito essencial para evitar a entrada de águas corrosivas contendo cloretos, sulfatos e / ou outros sais deletérios (SILVA, 2006).

A baixa permeabilidade é obtida pelo uso de maior teor de cimento, misturas minerais como cinza volante, sílica, metacaolina ou escória granulada de alto forno, mantendo a relação água / cimento baixa a 0,35 ou menos. Quantidades mais altas de super plastificantes são usadas para obter a trabalhabilidade desejada na matriz de concreto. O acabamento deve ser excelente para garantir a compactação total e a cobertura adequada do concreto sobre o reforço de aço embutido. Todos estes e a posterior cura adequada do concreto após a colocação e manutenção regular da construção de concreto garantem alto desempenho (NEVILLE, 2013).

3.6 CONCRETO DE ALTO VOLUME DE CINZAS VOLANTES

A tecnologia de concreto de alto volume de cinzas volantes foi desenvolvida no Centro Canadense de Tecnologia Mineral e de Energia (CANMET), em Ottawa, Canadá, na década de 1980. Ele permite minimizar a quantidade de cimento necessária para produzir concreto de alta qualidade para diferentes tipos de aplicações, incorporando até 50 a 60% de cinzas volantes na mistura de concreto (WITZKE, 2018).

O concreto é preparado usando uma baixa relação água / cimento de 0,30, e a trabalhabilidade desejada é obtida usando super plastificantes. Enquanto o concreto volumoso com alto volume de cinzas foi inicialmente desenvolvido para a construção em massa de concreto onde o baixo calor de hidratação e resistência inicial suficiente foram necessários, o trabalho posterior mostrou que este concreto desenvolveu excelentes propriedades estruturais a longo prazo, a saber: resistência

à compressão, resistência à flexão, e o módulo de elasticidade de Young (BECK, 2009; WITZKE, 2018).

Sua durabilidade medida em termos de sua baixa permeabilidade à água, resistência à carbonatação, reações de agregado-agregado e penetração de cloretos e sulfatos, também foi encontrada como excelente. Em vista disso, o concreto com alto teor de cinzas volantes é eminentemente adequado para aplicações estruturais, além de seu uso na construção de estradas e pavimentos (WITZKE, 2018).

3.7 CONCRETO AUTO-COMPACTÁVEL

Um concreto que é compactado isoladamente cobrindo totalmente o reforço na fôrma é chamado de concreto auto-adensável (CAA). É altamente fluível, autonivelante, auto-espumante e coeso e pode ser manuseado sem segregação. Como qualquer outro concreto super plastificado, os ingredientes da mistura CAA consistem em cimento, agregados grosseiros e finos, aditivos minerais e químicos. Um valor limite de agregado graúdo como 50% do volume sólido do concreto e de agregado fino como 40% do volume sólido da fração de argamassa na proporção de mistura CAA é sugerido para alcançar uma boa capacidade de auto-compactação (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2011; GOMES; BARROS, 2009).

Aditivos minerais comumente utilizados são cinza volante, sílica ativa, escória de alto-forno moída. Aditivos químicos consistem em um super plastificante e uma mistura modificadora da viscosidade. A utilização de uma ou mais misturas minerais com diferentes morfologias e distribuição granulométrica melhora a deformabilidade, a capacidade de auto-compactação e a estabilidade do CAA. Enquanto o super plastificante ajuda a alcançar um alto grau de capacidade de fluxo com baixa proporção água / material de cimentação, a mistura modificadora da viscosidade aumenta a viscosidade da matriz de concreto fresco e reduz o sangramento (GOMES; BARROS, 2009; FERNEDA, 2014).

O CAA tem as vantagens de fácil colocação em elementos de paredes finas, estrutura de concreto densamente reforçada, qualidade, durabilidade e confiabilidade das estruturas de concreto, construção mais rápida e custo de construção reduzido (FERNEDA, 2014).

3.8 CONCRETO INTELIGENTE

Concreto inteligente é um concreto que pode cuidar de suas próprias deficiências ou que pode atuar como um sensor para ajudar a detectar falhas internas. É produzido incorporando algumas mudanças nos ingredientes da mistura de concreto. Por exemplo, segundo Witzke (2018) e Ferneda (2014):

- Devido à sua alta densidade, o concreto de alta resistência não permite que os vapores de água saiam durante o incêndio, levando à fragmentação da cobertura de concreto e danos aos membros de concreto. A adição de fibras de polipropileno de 2kg por m³ de mistura de concreto de alta resistência aumenta a resistência ao fogo. A altas temperaturas durante o fogo, estas fibras derretem e deixam os poros para que os vapores de água escapem da superfície do concreto, evitando assim a fragmentação e danos;
 - A incorporação de 0,5% de fibras de carbono especialmente tratadas na mistura de concreto aumenta a condutividade elétrica do concreto. Sob carga, a condutividade diminui, mas retorna ao original na remoção da carga. O concreto poderia, assim, agir para medir o número, a velocidade e o peso dos veículos que se movem em estradas de concreto e detectar falhas minúsculas em relação à condição interna da construção de concreto após um terremoto;
 - O uso do agregado de carbono poroso, disponível na forma de coque na usina siderúrgica, na mistura de concreto confere boa condutividade elétrica que pode ajudar no aquecimento da sala, derretimento de gelo na rodovia e pistas de concreto passando corrente de baixa tensão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como outras áreas de pesquisa e desenvolvimento, a tecnologia de concreto tem sido um processo contínuo, diferentes tipos de concretos, como descrito acima, têm sido desenvolvidos de tempos em tempos, para atender às necessidades da indústria da construção. Tecnologias para auto-cura e concreto inteligente ainda

estão em fase de desenvolvimento, mas espera-se que sejam totalmente desenvolvidas em breve e disponíveis para uso em construções.

Percebeu-se que avanços significativos foram feitos na tecnologia de concreto durante os últimos cinquenta anos. Muitas das inovações foram incorporadas na prática rotineira.

As principais barreiras na aplicação de novas tecnologias de concreto permanecem.

- Transferência de tecnologia não é fácil.

- A contribuição do profissional para a formação e condução do projeto de é fundamental para a transição para a prática.

- A participação do usuário desde o estágio inicial do projeto resulta em implementação de produtos em projeto e construção de concreto de rotina prática. Os praticantes se tornam "campeões de tecnologia" até os primeiros e envolvimento contínuo no projeto.

- Pesquisadores, implementadores e usuários devem ser uma equipe coesa para convencer os outros a experimentar novas tecnologias.

- Múltiplas estratégias incluindo disseminação de informação, treinamento, workshops, projetos de demonstração de campo, treinamento prático, empréstimo de equipamentos, suporte técnico e cursos educacionais devem ser considerados para implementação de novas tecnologias.

Sugere-se, assim, que mais estudos possam ser desenvolvidos com a presente temática com intuito de fomentar discussões e de apresentar novos e mais variados acerca dessas novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

ALVES, J.D. **Manual de Tecnologia do Concreto**. 12 ed. Goiânia, Editora UFG, 2013.

BECK, S. M . **Efeitos nas Propriedades Mecânicas, Elásticas e de Deformação em Concretos com Altos Teores de Escória e Cinza Volante**. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Centro de Tecnologia. Santa Maria. 2009.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O. **Concreto Armado, eu te amo**. 6. ed. São Paulo, 2010.

BUTLLER, A. M. **Agregados reciclados na produção de artefatos de concreto.** Revista do Concreto – IBRACON, 2005.

CARVALHO, J. C. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto.** Revista Tecnológica, v. 17, p. 19-28, 2008.

CERUTTI, R. M. B. **Uma análise do comportamento do concreto de alta resistência na flexão composta com base na NBR 6118:201** Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2014.

COHEN, Z.; PELED, A.; PASDER, Y.; ROYE, A.; GRIES, T. Effects of warp knitted fabrics made from multifilament in cement-based composites. **First International RILEM Symposium on Textile Reinforced Concrete**, n. c, p. 23–32, 2006

DALLABRIDA, A. P.; VEIGAS, C. **Avaliação da resistência à compressão do concreto usinado: comparação entre o método de moldagem remota e moldagem in loco.** 2014. 59 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso Superior de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Pato Branco, 2014.

FERNEDA, M. C. **Estudo do desenvolvimento de concreto auto-adensável com areia artificial em pré-fabricados.** 2014. 116. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato branco, 2014.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto auto-adensável.** São Paulo: PINI, 2009.

HEGGER, J.; VOSS, S. **Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete.** v. 30, p. 2050–2056, 2008.

ISAIA C. G. **Concreto: Ensino , pesquisa e Realizações.** Vol.1 - Retrospectiva do Concreto no Brasil. Ed.Geraldo Cechella Isaia- São Paulo: IBRACON, 2005. 1v.

LUCENA, J. C. T. **Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil(Engenharia de Estruturas) e Área de Concentração em Estruturas -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

MATTAR, D. C.; VIANA, E. Utilização de resíduos poliméricos da indústria de reciclagem de plástico em blocos de concreto. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v(8), nº 8, p. 1722-1733, SET-DEZ, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo. PINI, 2009.

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto.** 2. Ed. São Paulo: Bookman, 2013.

PALHARES; R. A.; BRASIL; L. H. COSTA, A. G. Tecnologia do concreto contendo polímeros. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, CONTECC**, 2015.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. São Paulo, Instituto Brasileiro de Concreto: IBRACON. 2009.

PREDOZO, G. D. **Avaliação do uso de agregado miúdo obtido através da Reciclagem De Entulhos em Concreto de Cimento Portland**. 70p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijuí, Ijuí, 2014.

PFEIFER, G. et al. **Masonry construction manual**. Basel, Switzerland: 2001.

POLIÃO, M. V. **Da Arquitetura**. São Paulo: Editora Hucitec Ltda 2002.

RIBOLI, L. E. **Resistência mecânica e durabilidade de concretos modificados com polímeros**. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2012.

SALVADOR, R. P.; FIGUEIREDO, A. D. Comparative evaluation of the mechanical behavior of synthetic and steel fiber-reinforced concrete. **Matéria** (Rio de Janeiro). 18. 1273-1285. 10.1590/S1517-70762013000200003.

SILVA, F. G. **Estudo de concreto de alto desempenho frente à ação de cloretos**. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais, USP, São Carlos – SP, 2006.

SOUZA, C. A. de. **Utilização de Resíduo de Concreto como Agregado Miúdo para Argamassa de Concretos Estruturais Convencionais**. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2006.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Comparativo das Propriedades do Concreto Auto-adensável utilizando areia fina e cinza volante. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**. v. 4, n. 2, p. 247–276, 2011.

WITZKE, F. B. **Propriedades de concretos estruturais contendo cinza volante em substituição parcial ao cimento portland**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2018.