

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL**

**ERICO FERREIRA VANDER BROOCK**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE CONCRETO ISENTO DE  
MACRO-DEFEITOS PREPARADO COM CIMENTO PORTLAND  
CP II – F 32**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA  
2013**

ERICO FERREIRA VANDER BROOCK

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE CONCRETO ISENTO DE  
MACRO-DEFEITOS PREPARADO COM CIMENTO PORTLAND  
CP II – F 32**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Mazer

**CURITIBA**

**2013**

---

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE CONCRETO ISENTO DE  
MACRO-DEFEITOS PREPARADO COM CIMENTO PORTLAND  
CP II – F 32**

Por

**ERICO FERREIRA VANDER BROOCK**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 03 de outubro de 2013, pela seguinte banca de avaliação:

---

Prof. Orientador – Wellington Mazer, Dr.  
UTFPR

---

Prof. <sup>a</sup> Elisabeth Penner, Dr. <sup>a</sup>  
UTFPR

---

Prof. Marcelo Queiroz Varisco, Esp.  
UTFPR

À Karina, minha esposa, e aos meus pais, Angela e Enoir, pelo apoio dedicado a mim durante o curso.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida e por me dar conforto e sabedoria para completar este feito.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wellington Mazer, pelo profissionalismo e significativos apontamentos e sugestões em meu trabalho.

À minha esposa, Karina, por estar ao meu lado em todos os momentos, desde o primeiro ano de engenharia.

Aos meus pais pelo apoio.

Aos meus irmãos, pela amizade e carinho, em especial ao meu irmão Edson, que sempre apoiou nos estudos e na carreira profissional.

Aos meus amigos, pelos momentos que passamos juntos.

Aos meus colegas de trabalho, pelo grande aprendizado na área.

## RESUMO

O presente trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo analisar as características físicas – resistência à compressão, resistência à tração pela compressão diametral e absorção – do concreto isento de macro-defeitos. Um composto de cimento, água e um polímero solúvel em água, que por característica própria não possui os pequenos vazios encontrados em concretos convencionais, geralmente ocasionados por ar incorporado. A pesquisa tem por base as comparações feitas por Ekincioğlu *et al* (2008) e Santos (1997), que estudaram o concreto isento de macro-defeitos e sua dependência de resistência quanto a presença de água. Dessa base foi definido que o polímero mais adequado seria o álcool polivinílico com grau de hidrólise em 87%. As moldagens foram manuais em três traços diferentes, constatando um aumento nas características devido à presença de aditivo mesmo com o aumento do fator  $a/c$ , alteração no tipo de ruptura quando alterado a dosagem de polímero e crescimento da resistência à tração dos 7 aos 28 dias. Porém, como afirmado por Santos (1997), não foi possível obter um concreto isento de macro-defeitos manualmente, pois todas as amostras tiveram em seu interior pequenos poros resultantes de ar-incorporado.

**Palavras-chave:** Concreto isento de macro-defeitos. PVA. Álcool Polivinílico.

## ABSTRACT

The present course conclusion work aims to analyze the physical characteristics – compressive strength, tensile strength and absorption – the concrete macro-defect free. A compound of cement, water and a water-soluble polymer, which in characteristic lacks the small voids found in conventional concrete, usually caused by entrained air. The research is based on comparisons made by Ekincioğlu et al (2008) and Santos (1997), who studied the concrete macro-defect free and their dependence of resistance for the presence of water. This base was determined that the polymer was the most suitable polyvinyl alcohol with a degree of hydrolysis of 87%. The moldings were hand in three different traits, realizing an increase in characteristics due to the presence of the additive even with the increase of the factor w/c, change in the kind of breakage when the modified polymer dosage and increase tensile strength of from 7 to 28 days. However, as stated by Santos (1997 ), it was not possible to get a concrete macro-defect free manually because all samples had inside small pores resulting air embedded .

**Keywords:** Concrete macro-defect free. PVA. Polyvinyl alcohol.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Panteão Romano .....	14
<b>Figura 2:</b> Relação entre resistência à compressão (MPa) e porosidade (%) em pasta de cimento compactada com alta pressão .....	15
<b>Figura 3:</b> Estrutura da pasta de cimento em concreto fresco: pasta de cimento (esquerda), pasta de cimento com superplastificante (meio), pasta de cimento com superplastificante e sílica-ativa: DSP (direita) .....	17
<b>Figura 4:</b> Escadas feitas com o produto Ductal® da empresa Densit® com 4,5 cm de espessura ....	17
<b>Figura 5:</b> Passarela de Sherbrooke no Canadá e estrutura tridimensional .....	18
<b>Figura 6:</b> Praça de pedágio em Millau, na França .....	19
<b>Figura 7:</b> Mola de carro fabricada com concreto isento de macro-defeitos .....	21
<b>Figura 8:</b> Esquema da reação do cimento aluminoso com polímero PVA e água .....	22
<b>Figura 9:</b> Queda de resistência (%) em relação à quantidade de alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (%).....	24
<b>Figura 10:</b> PVA .....	27
<b>Figura 11:</b> Solução de PVA misturado à água.....	27
<b>Figura 12:</b> Adicionado o cimento.....	27
<b>Figura 13:</b> Mistura com adição de superplastificante.....	28
<b>Figura 14:</b> Acondicionamento nos moldes .....	28
<b>Figura 15:</b> Poros internos - Traço 1 .....	30
<b>Figura 16:</b> Poros internos - Traço 2 .....	31
<b>Figura 17:</b> Ruptura a compressão axial - Traço 1 .....	31
<b>Figura 18:</b> Ruptura a compressão axial - Traço 2.....	32
<b>Figura 19:</b> Ruptura na compressão diametral - Traço 1 .....	33
<b>Figura 20:</b> Amostra sem fissuras visível partida ao meio - Traço 1 .....	33
<b>Figura 21:</b> Ruptura na compressão diametral - Traço 2 .....	34
<b>Figura 22:</b> Ruptura na compressão axial - Traço 3.....	34
<b>Figura 23:</b> Ruptura na compressão diametral - Traço 3 .....	35



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Comparação das propriedades do concreto isento de macro-defeitos com outros materiais .....	21
<b>Tabela 2:</b> Características dos materiais .....	25
<b>Tabela 3:</b> Traço 1 .....	25
<b>Tabela 4:</b> Traço 2.....	26
<b>Tabela 5:</b> Traço 3.....	26
<b>Tabela 6:</b> Resistência à compressão axial em MPa.....	29
<b>Tabela 7:</b> Resistência à compressão na diametral em MPa .....	29
<b>Tabela 8:</b> Resultados do ensaio de permeabilidade .....	30
<b>Tabela 9:</b> Relação entre tração e compressão (%).....	32

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Resultados de resistência à flexão, corpos de prova secos e úmidos .....	23
<b>Quadro 2:</b> Resultado da dureza Vickers (MPa) .....	24

## LISTA DE SIGLAS

CP I	Cimento Portland Comum
CP II – E	Cimento Portland Composto com Escória
CP II – F 32	Cimento Portland Composto com Fíler
DSP	<i>Densified System with ultra-fines particles</i>
CPR	Concreto de Pós-Reativos
MDF	“Macro Defect-Free”, Concreto Isento de Macro-Defeitos
PVA	Álcool Polivinílico

## LISTA DE ABREVIATURAS

a.C.	Antes de Cristo
a/c	Fator água – cimento
cm	Centímetro
g	Gramma
g/cm <sup>3</sup>	Gramma por centímetro cúbico
GPa	Giga Pascal
J/m <sup>2</sup>	Joule por metro quadrado
kg	Quilo
kg/m <sup>3</sup>	Quilo por metro cúbico
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
s/c	Fator solução – cimento

## LISTA DE SÍMBOLOS

$f_c$	Resistência característica
$\sigma$	Tensão

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
2 OBJETIVOS .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	14
3.1 EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO .....	14
3.2 CONCRETOS DE ULTRA ALTO DESEMPENHO .....	15
3.2.1 Concretos DSP ( <i>Densified System with ultra-fines particles</i> ) .....	16
3.2.2 Concretos de pós-reativos (CPR).....	18
3.2.3 Concreto isento de macro-defeitos.....	19
3.2.3.1 Fraquezas do concreto isento de macro-defeitos.....	21
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	25
4.1 MATERIAIS .....	25
4.2 TRAÇO.....	25
4.3 MOLDAGEM .....	26
4.4 DIFICULDADES ENCONTRADAS.....	28
<b>5 RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	29
5.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL E COMPRESSÃO NA DIAMETRAL.....	29
5.2 ENSAIO DE PERMEABILIDADE .....	30
5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	30
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	36
6.1 CONCLUSÕES .....	36
6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	36
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

Desde 1964, pesquisadores têm desenvolvido concretos com alto desempenho, com resistência acima dos 50 MPa. A descoberta, de que eliminando os espaços vazios entre as partículas presentes no concreto se moldava um material mais resistente, fez com que surgissem novos métodos de dosagem e de aplicação do concreto.

Nos anos 80, iniciaram-se pesquisas acerca do concreto isento de macro-defeitos, objetivando eliminar os vazios maiores presentes na pasta de cimento, desse modo surge, a ideia do nome, “isento de macro-defeitos”, ou no inglês *macro-defect free*, abreviado para MDF. Os resultados das pesquisas iniciais foram de que utilizando um polímero hidrofílico misturado à pasta de cimento poderia se obter um concreto com relação água-cimento de até 0,1 e redução na quantidade de poros, o que confere aumento na resistência física devido à redução de vazios e ao baixo fator água-cimento.

O concreto de ultra alto desempenho conhecido como “isento de macro-defeitos” se caracteriza pela utilização de cimento aluminoso e um polímero que visa preencher as fissuras ou vazios que ocorrem no concreto. O polímero, por ser solúvel em água, possui grande influência nas características do material, reduzindo a resistência quando molhado.

A permeabilidade é a característica que o sólido tem de permitir a percolação de um fluido e é altamente reduzida quando não se possui os vazios capilares existentes devido à fissuração. Também uma permeabilidade reduzida implica em maior durabilidade ao concreto, visto que os fluidos que degradam o concreto têm maior dificuldade para penetrá-lo.

Analisando o breve cenário apresentado, este estudo busca contribuir na área de materiais com dados sobre um concreto que possui um comportamento extremamente variável, quando se escolhe o tipo de cimento e o tipo de polímero. Dessa forma, esta pesquisa visa analisar o concreto isento de macro-defeitos utilizando cimento Portland CP II-F 32 ao invés do cimento aluminoso (que tem acesso restrito no Brasil), para obterem-se dados quanto à resistência e quanto à permeabilidade através de ensaios de absorção. Para tanto, foram tomados como base os estudos de Ekincioğlu *et al* (2008), que descreve várias moldagens utilizando cimento aluminoso de diversos teores de alumina com sete tipos de

polímero PVA, para avaliar a dependência da resistência do concreto isento de macro-defeitos a presença de água; e Santos (1997), que descreve testes com quatro tipos de polímero PVA com solução em silicato de sódio e dois tipos de cimentos, CP I e CP II – E.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é o de analisar as características físicas e mecânicas do concreto isento de macro-defeitos preparado com cimento portland do tipo CP II-F 32.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) verificar a dosagem mais adequada seguindo a literatura existente para o concreto isento de macro-defeitos e usar cimento pozolânico do tipo CP II-F 32;
- b) analisar a permeabilidade do concreto através do ensaio de absorção;
- c) analisar a resistência à compressão axial;
- d) analisar a resistência à tração por compressão diametral.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO

De acordo com Tang (2004), desde o período da antiguidade a humanidade tem procurado meios de construir com a mais alta performance possível. Provavelmente se iniciou com o uso de argila e madeira. Os Minoanos iniciaram o uso de argamassa de cal aproximadamente 2000 a.C., mas como a argamassa de cal se dissolve com a água, as construções não eram resistentes ao clima. Os Gregos utilizaram o mesmo método construtivo, e os Romanos fizeram um grande avanço na técnica adicionando cinza vulcânica na argamassa. A cinza foi obtida da cidade de Pozzuoli, dando o nome de pozolana. Os Romanos fizeram grandes construções, imensos arcos, abóbodas e cúpulas, aquedutos para levar a água das montanhas às cidades. Enquanto uma viga dificilmente ultrapassa 5 metros, um arco facilmente atinge 50 metros. O Panteão, mostrado na figura 1, em Roma, foi erguido aproximadamente em 128 a.C. e possui uma cúpula de 43 metros. A combinação do concreto antigo, composto de cal, areia, pedras e água, com tijolos e blocos permitiram os Romanos a executarem suas obras.



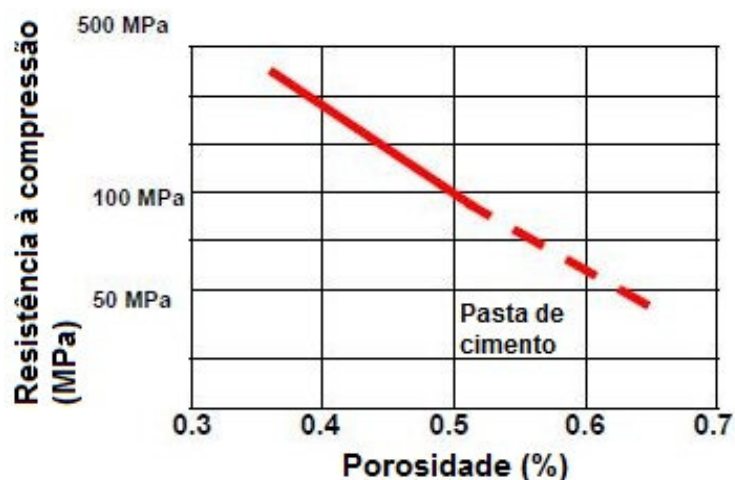
**Figura 1: Panteão Romano**  
**Fonte: Tang (2004).**

O cimento portland foi oficialmente descoberto por Joseph Aspdin em 1824 e em 1854 o conceito de concreto armado foi patenteado por W.B. Wilkinson (TANG, 2004, p. 03). Deu-se início então ao uso do concreto em larga escala nas

construções e as pesquisas para melhoria da tecnologia. Em meados dos anos 50, obter 35 MPa de resistência era considerado ter concreto de alta resistência. Nos anos 70 já era possível obter resistências da ordem de 60 MPa (MENDES, 2002, p. 08).

### 3.2 CONCRETOS DE ULTRA ALTO DESEMPENHO

A primeira ideia de pesquisa para elaborar um concreto de alta resistência mecânica surgiu em 1964, em um laboratório de concretos da Dinamarca. O concreto mais resistente feito atingiu cerca de 80 MPa com fator água-cimento de 0,3 e havia a dúvida de que era possível obter um concreto mais denso e se isso resultaria em mais resistência. Segundo Buitellar (2004), na época a Associação de Cimento Portland lançou resultados obtidos em amostras de pasta de cimento compactadas a alta pressão com resistências de 280 MPa, o que indicou a possibilidade de melhorar o empacotamento das partículas de cimento e obter maior resistência. Foram feitos concretos com fator a/c entre 0,2 e 0,3, compactados com vibro-prensa em baixa pressão para não ter o risco de romper os agregados durante a moldagem, mas as conclusões não foram um concreto mais resistente, apenas deram indicações de que um melhor empacotamento das partículas era possível. Na figura 2 está representada a queda da resistência da pasta de cimento quando aumenta a porcentagem de teor de porosidade.



**Figura 2: Relação entre resistência à compressão (MPa) e porosidade (%) em pasta de cimento compactada com alta pressão**  
 Fonte: Bache, (1970 *apud* BUITELLAR, 2004).



Entre os anos de 1967 e 1972, foram feitas mais pesquisas sobre o processo de vibro compactação do concreto que obtiveram resistências entre 100 MPa e 130 MPa, pois foi descoberto que a resistência do concreto seria maior se os poros e as fissuras fossem reduzidas em quantidade sendo preenchidas com um material que reforçaria o concreto, mesmo o material não sendo altamente resistente (BUITELAAR, 2004, p. 03).

Em meados de 1970, Stephen A. Brunauer, da Associação de Cimento Portland, desenvolveu um cimento especial com substâncias adicionadas que eliminavam a força de atração superficial entre partículas de cimento e água, nesta mesma época surgiu o superplastificante (BUITELAAR, 2004, p. 04).

### 3.2.1 Concretos DSP (*Densified System with ultra-fines particles*)

Com o desenvolvimento dos superplastificantes, tornou-se possível dispersar partículas ultra-finas muito melhor em soluções aquosas. De início, Bache utilizou um cimento com 30% de partículas ultra-finas para estabelecer um bom empacotamento, porém, durante um seminário em Stockholm, teve contado com a sílica-ativa que já vinha sendo estudada e usada no âmbito da engenharia civil, desde os anos 50 e por várias razões usá-la seria melhor que usar um cimento mais fino (BUITELLAR, 2004, p. 04).

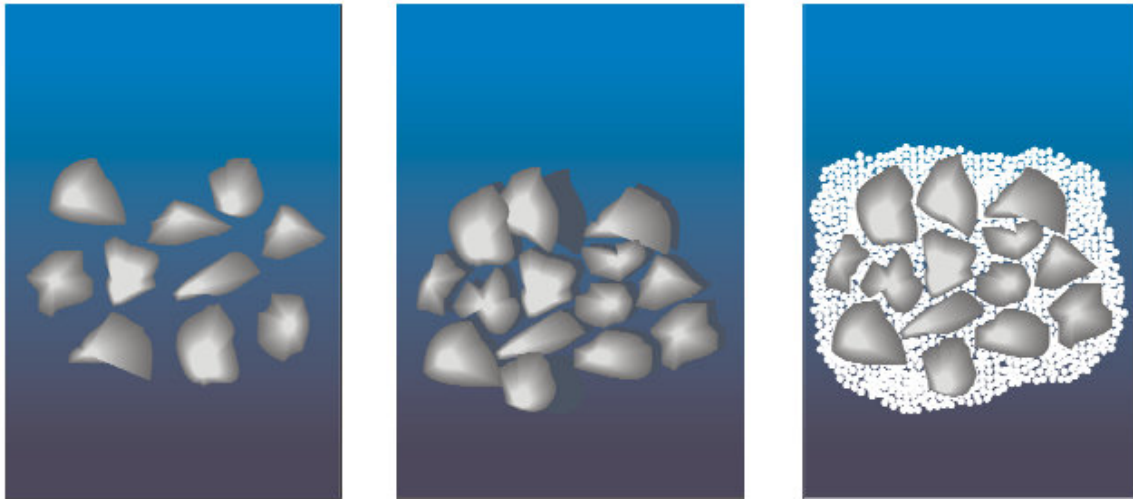
- A sílica-ativa possui partículas muito mais finas que as de cimento.
- A sílica-ativa possui partículas amorfas; isso as faz mais adequadas para um denso empacotamento entre as partículas de cimento, que são angulares e longas.
- A sílica-ativa é menos reativa nas primeiras horas que as partículas de cimento muito finas (BUITELAAR, 2004, p.04).

Na figura 3 está detalhado, esquematicamente, o empacotamento das partículas da pasta de cimento, da pasta com superplastificante e do concreto DSP.

No dia 8 de maio de 1978, foi realizada a primeira experiência de concreto com sílica-ativa, e com cura térmica as amostras apresentaram já no dia seguinte resistência à compressão de 128 MPa (BUITELAAR, 2004, p. 05).

Diferentes companhias descobriram aplicações industriais para o concreto DSP e uma delas foi a Densit®: fundada em 1972 e com seu primeiro produto patentado em 1978. Em 1995, essa empresa fez um teste em grande escala com o

concreto DSP, utilizando o bombeamento para preencher um tubo de fundação em ambiente marítimo, o que rendeu o primeiro contrato para reforçar as plataformas de petróleo da *Philips Petroleum*. Ao longo de mais de três décadas o método de produção do concreto DSP tem sido refinado pela empresa (MOELLER, 2008, p. 881).



**Figura 3: Estrutura da pasta de cimento em concreto fresco: pasta de cimento (esquerda), pasta de cimento com superplastificante (meio), pasta de cimento com superplastificante e sílica-ativa: DSP (direita)**

Fonte: Buitellar (2004).

Na figura 4 estão demonstradas aplicações do concreto DSP em estrutura de escadas executadas com espessura de 4,5 centímetros.

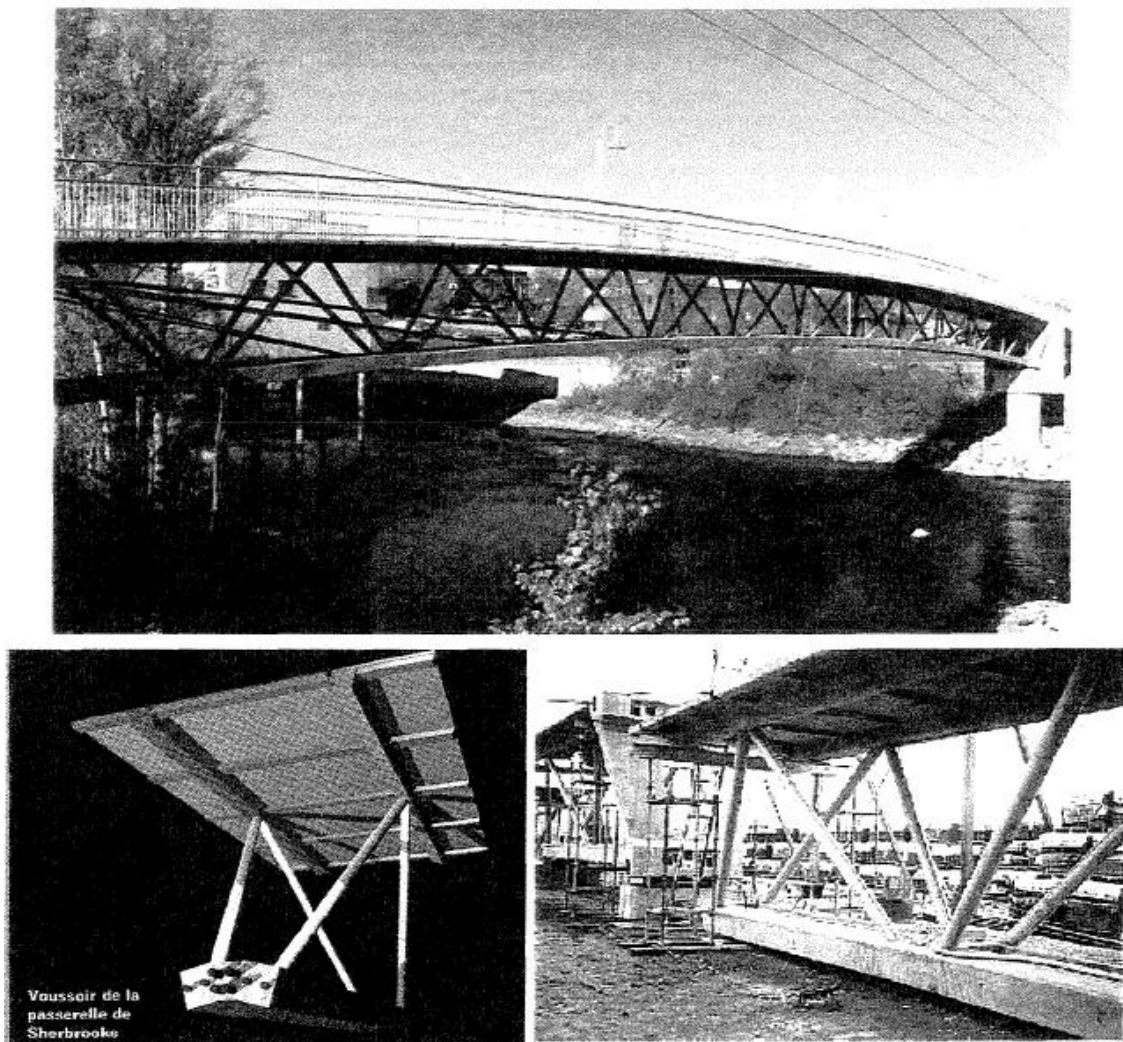


**Figura 4: Escadas feitas com o produto Ductal® da empresa Densit® com 4,5 cm de espessura**

Fonte: BEHLOUI e BATOZ (2008).

### 3.2.2 Concretos de pós-reativos (CPR)

O início do desenvolvimento do concreto de pós-reativos ocorreu entre os anos de 1990 e 1995 na França e no Canadá. E têm-se hoje como exemplos de aplicação do concreto de pós-reativos: a passarela de Sherbrooke, construída no Canadá em 1997, representada na figura 5, a passarela em Seoul na Coreia do Sul construída em 2002 e a passarela em Kassel na Alemanha, construída em 2007, e a estrutura das torres de resfriamento em Cattenom na França, construídas em 1997. Existem também outros exemplos de aplicação deste tipo de concreto para uso estético, como é o caso da praça de pedágio em Millau na França, erguida em 2004 e representada na figura 6 (SHACHINGER *et al.* 2008, p. 223).



**Figura 5: Passarela de Sherbrooke no Canadá e estrutura tridimensional**  
Fonte: CHEYREZY *et al* (1995 *apud* BIZ, 2001).



**Figura 6: Praça de pedágio em Millau, na França**  
**Fonte: HAJAR et al (2004).**

Concreto constituído por pós, com partículas de tamanho máximo de 2 mm, areia de quartzo, pó de quartzo, sílica ativa e cimento comum, e com adição de pequenas fibras de aço e superplastificante tornando possível uma baixa relação água cimento – cerca de 0,15. A resistência à compressão situa-se entre 200 MPa e 800 MPa. (VANDERLEI, 2004 p. 154). A resistência à tração entre 10 MPa a 12 MPa e a flexão simples entre 30 MPa e 35 MPa, resultado da adição das fibras de aço (de 15 a 30 mm de comprimento) (KIM, 2008, p. 203).

Ainda segundo Kim (2008), é possível orientar as fibras de aço de forma perpendicular ao derramamento do concreto fazendo com que as fibras fiquem na posição normal à direção da principal tensão a tração obtendo-se ganho na resistência a flexão.

Pesquisas realizadas na França desenvolveram este tipo de concreto alterando os parâmetros de dosagem e as condições de cura. Foi retirado o agregado graúdo, melhorado o empacotamento do material granular, aplicado pressão durante a moldagem e utilizado o processo de cura térmica. O concreto com idade de três dias obteve 200 MPa em cura térmica de 90°C e 800 MPa quando a 400°C (MEHTA e MONTEIRO, 2008, p. 533).

### 3.2.3 Concreto isento de macro-defeitos

O concreto isento de macro-defeitos é definido como um concreto polímero ao nível nanométrico. A primeira pesquisa acerca deste tipo de material ocorreu nos anos 80 pelo grupo de pesquisa de Birchall da empresa *Imperial Chemical Industries*, Reino Unido (DRÁBIK et al, 2002, p. 68).

Esse grupo de pesquisa desenvolveu um método para eliminar os grandes poros presentes no concreto convencional, normalmente ocasionados pelo ar incorporado ou por mistura inadequada, desse fato temos o termo “isento de macro-defeitos”, que se refere ao fato do material não conter esses poros (SANTOS, 1997, p. 09).

Para se preparar um concreto isento de macro-defeitos, pode-se usar apenas cimento, polímero solúvel em água e água. O pesquisador Birchall *et al* (1982 *apud* EKINCIOĞLU *et al*, 2008, p. 02) usou entre 60 e 70% de cimento, 1 a 15% de polímero e menos que 25% de água para produzir as primeiras amostras de concreto isento de macro-defeitos. Pushpalal *et al* (1987 *apud* EKINCIOĞLU *et al*, 2008, p. 02) propôs o uso do polímero álcool polivinílico (PVA) e o uso de rolos para reduzir ainda mais a presença de poros no material. A mistura de cimento, PVA e água foi executada em uma argamassadeira e posteriormente passada várias vezes por entre rolos de aço até se tornar uma folha. Esta folha então foi cortada em diversas dimensões e colocada sob moderada temperatura e pressão.

Birchall *et al* (1982 *apud* EKINCIOĞLU *et al*, 2008, p. 02) obteve em seus testes com o concreto resistências a flexão da ordem de 177 MPa e atribuiu estas elevadas resistências ao fato de ter ocorrido a eliminação dos grandes poros durante o processo de produção. Porém, Rodger, (1985) e Popoola, (1991) (*apud* EKINCIOĞLU *et al*, 2008, p. 02) mostraram que não é apenas esta razão: existem reações entre o polímero e o cimento e também há a influência da pressão e da temperatura exercida durante a produção. Quando a água é adicionada ao concreto, ela parcialmente hidrolisa o PVA e eleva o pH, causando a hidrólise de grupos de acetados transformando o álcool polivinílico em uma solução de acetatos que depois reagem com íons de cálcio formando acetado de cálcio. Desse modo, os íons metálicos em conjunto com o álcool fazem a matriz de o concreto ser similar a uma borracha pela sua consistência e coesão.

Pelo alto custo de produção, pesquisadores tem procurado possibilitar a utilização do concreto isento de macro-defeitos como substituto a outro material, por exemplo, tubos de alumínio. O polímero orgânico requer cerca de 10 vezes menos energia para produção do que o alumínio (Bennett, 2002, p. 82). Na tabela 1 está retratado um comparativo das características do concreto isento de macro-defeitos com outros materiais e na figura 7 está mostrada a aplicação do concreto em uma mola de carro.

**Tabela 1: Comparação das propriedades do concreto isento de macro-defeitos com outros materiais**

Material	Densidade: g/cm <sup>3</sup>	Resistência a Flexão: MPa	Módulo de Young: GPa	Energia de fratura: J/m <sup>2</sup>
Pasta de cimento	2,3	5 – 10	20 – 25	20
Concreto isento de macro-defeitos	2,3 – 2,5	> 150	40 – 45	300 – 1000
Alumínio	2,7	150 – 400	70	10 <sup>5</sup>
Vidro	2,5	70	70	10
Madeira	1,0	100	10	10 <sup>4</sup>

Fonte: Bennett, 2002.



**Figura 7: Mola de carro fabricada com concreto isento de macro-defeitos**  
Fonte: Bennett, 2002.

### 3.2.3.1 Fraquezas do concreto isento de macro-defeitos

Um dos grandes problemas durante a vida útil do concreto isento de macro-defeitos é sua fraqueza contra a umidade, a resistência à flexão reduz cerca de 50% quando o material está molhado (SANTOS, 1997, p. 12).

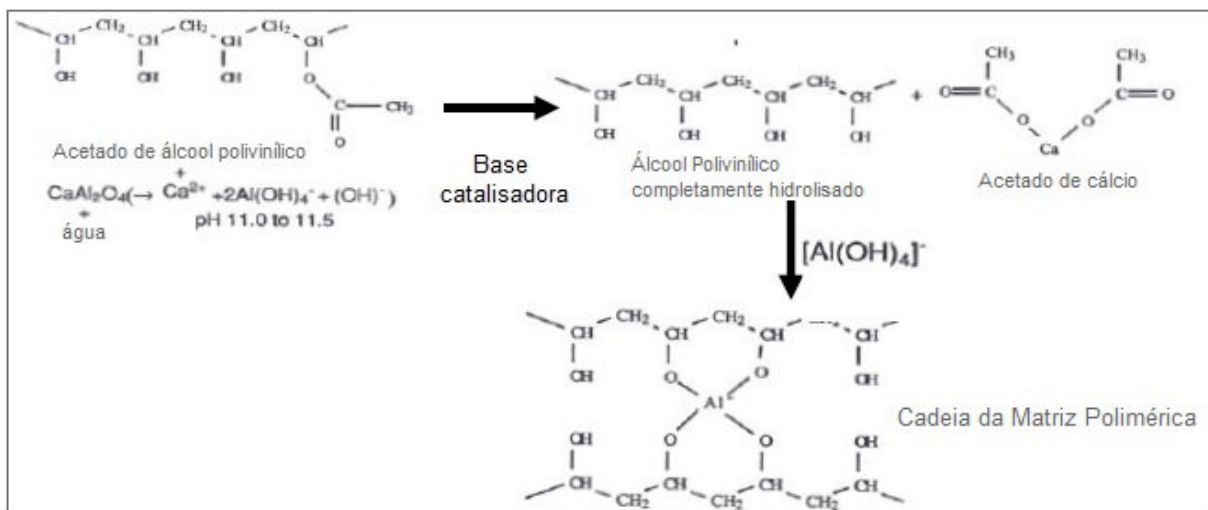
Ekincioğlu *et al* (2008) analisou sete tipos de polímeros PVA e testou a independência de cada um para com a água, definiu o mais independente e o utilizou em teste com quatro tipos de cimentos aluminosos, com sete diferentes fatores de água-cimento, e misturou um máximo de 10%, em relação ao peso do

polímero, de glicerina. Apenas alguns traços, o fator água-cimento não permitiu a moldagem de um concreto isento de macro-defeitos.

Dos sete polímeros testados por Ekincioğlu *et al* (2008), com dois ele não conseguiu moldar o concreto: o totalmente hidrolizado e o com carboxilatos.

O grau de hidrólise do PVA que Ekincioğlu *et al* (2008) obteve como ideal foi de 79,6% e com pH de 5,5, que segundo ele é o mais usado para a confecção de concretos isentos de macro-defeitos, devido a menor influência da água na resistência.

Na figura 8 está esquematizada a reação ocorrida no concreto isento de macro-defeitos, motivação do autor Ekincioğlu *et al* (2008) a escolher polímeros com diferentes graus de hidrólise. A maior resistência obtida foi com o cimento aluminoso com teor de alumina de 70% com fator água-cimento de 0,15.



**Figura 8: Esquema da reação do cimento aluminoso com polímero PVA e água**  
 Fonte: DESAI (1992, *apud* EKINCIOĞLU *et al*, 2008).

No quadro 1 estão mostrados os dados obtidos pelos testes de resistência por Ekincioğlu *et al* (2008).

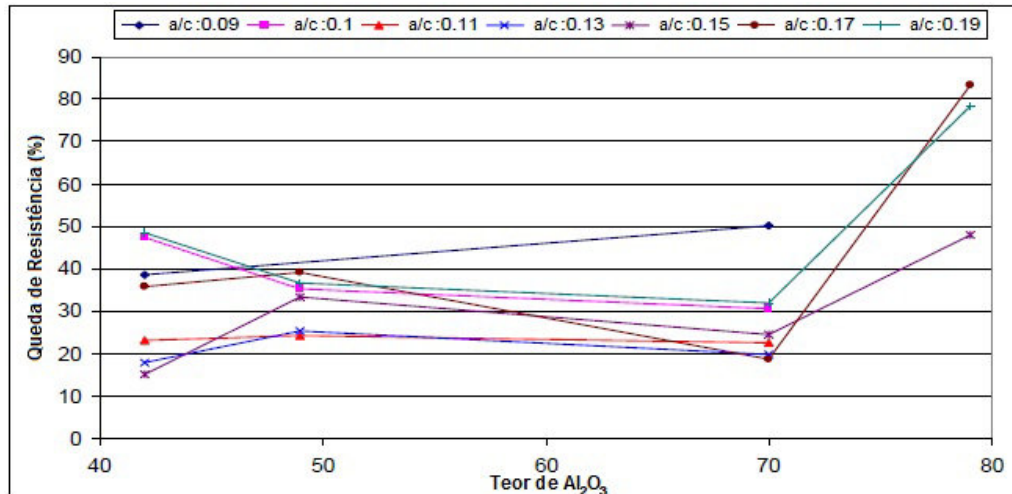
Tipo de cimento	Misturas	a/c	Resistência a seco (MPa)			Resistência úmida (MPa)		
			$f_c$	$\sigma$	V %	$f_c$	$\sigma$	V %
CAC 42	42-1	0.19	169	30	18	87	5	6
CAC 42	42-2	0.17	194	14	7	124	8	7
CAC 42	42-3	0.15	206	18	9	175	25	14
CAC 42	42-4	0.13	220	19	9	180	18	10
CAC 42	42-5	0.11	233	17	7	179	29	17
CAC 42	42-6	0.10	235	25	11	124	27	22
CAC 42	42-7	0.09	206	19	9	126	27	21
CAC 49	49-1	0.19	205	13	6	130	12	9
CAC 49	49-2	0.17	178	8	5	108	6	6
CAC 49	49-3	0.15	213	17	8	142	4	3
CAC 49	49-4	0.13	216	16	7	161	30	18
CAC 49	49-5	0.11	238	12	5	180	46	27
CAC 49	49-6	0.10	221	21	10	143	21	14
CAC 49	49-7	0.09	-	-	-	-	-	-
CAC 70	70-1	0.19	187	11	6	127	16	13
CAC 70	70-2	0.17	209	26	13	170	45	27
CAC 70	70-3	0.15	257	8	3	193	21	11
CAC 70	70-4	0.13	248	7	3	199	15	8
CAC 70	70-5	0.11	248	19	8	191	36	19
CAC 70	70-6	0.10	243	22	9	169	34	20
CAC 70	70-7	0.09	174	26	15	87	19	22
CAC 79	79-1	0.19	70	18	26	15	3	22
CAC 79	79-2	0.17	105	6	6	17	6	33
CAC 79	79-3	0.15	85	5	6	44	1	2
CAC 79	79-4	0.13	-	-	-	-	-	-

**Quadro 1: Resultados de resistência à flexão, corpos de prova secos e úmidos**  
**Fonte: EKINCIOĞLU *et al*, (2008).**

Realizado o ensaio de resistência, a seco e a umidade 100% para comparação, Ekincioğlu *et al* (2008) obteve um gráfico destacando que a perda de resistência devido a água pode ser minimizada usando cimento com teores de alumina entre 42 e 70%. Na figura 9 retrata-se este gráfico.

Santos (1997) analisou quatro tipos de polímeros PVA em solução com silicato de sódio e dois cimentos: cimento portland comum (CP I) e cimento portland composto com escória (CP II-E). A solução com silicato de sódio melhora o nível de resistência do polímero a ação da água.





**Figura 9: Queda de resistência (%) em relação à quantidade de alumina ( $Al_2O_3$ ) (%)**  
 Fonte: EKINCIOĞLU *et al*, (2008).

Para moldar os concretos, Santos (1997) adotou o processo de calandragem seguida de aplicação de pressão. Analisou então com o método de dureza Vickers as amostras secas e com umidade em 100% para comparação e concluiu que o polímero mais adequado, devido a menor dependência da resistência devido a água é o PVA com grau de hidrólise 87 e massa molar de 155.

Quanto ao cimento, com o uso do CP I, Santos (1997) conseguiu amostras com resistências independentes da presença de água. E com o CP II-E (CPC no quadro 2) obteve apenas uma pequena relação de dependência da resistência com a presença de água. No quadro 2 estão demonstrados os resultados obtidos por Santos (1997).

	s/c	Secos	Saturados
<b>Trabalho atual</b>			
(CP I)	0,22	340 ± 120	380 ± 150
(CPC)	0,22	230 ± 70	220 ± 20
<b>Referência [44]</b>			
(CP I)	0,20	400 - 450	400 - 450

**Quadro 2: Resultado da dureza Vickers (MPa). Ref.44: RODRIGUES (1995 apud SANTOS, 1997)**  
 Fonte: SANTOS (1997).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAIS

Para a confecção do concreto foi utilizado o cimento CP II – F 32, o polímero PVA com grau de hidrólise em 87% na forma sólida e granular e superplastificante a base de carboxilatos.

### 4.2 TRAÇO

Executou-se um estudo do traço, iniciando pela proporção indicada na literatura por Birchall *et al* (1982 *apud* EKINCIOĞLU *et al*, 2008) e propiciando as alterações que foram julgadas necessárias. Na tabela 2 estão descritas as características consideradas dos materiais e nas tabelas 3, 4 e 5 estão descritas as proporções calculadas para cada traço, sendo que a quantidade de materiais em massa foi calculada para a execução de 5 corpos de prova de 5x10 cm.

**Tabela 2: Características dos materiais**

Corpo de prova cilíndrico 5x10 cm		Massa específica dos materiais (kg/m <sup>3</sup> )	
Diâmetro	0,05 m	Cimento	3000
Altura	0,10 m	Água	1000
Volume	0,00019625 m <sup>3</sup>	PVA	1310

Fonte: o autor, 2013.

**Tabela 3: Traço 1**

Materiais	Proporção (%)	Massa (kg)	Relação a/c	Relação s/c
Cimento	62,0	1,8251	0,15	0,22
Água	28,0	0,2747		
PVA	10,0	0,1285		

Fonte: o autor, 2013.

**Tabela 4: Traço 2**

<b>Materiais</b>	<b>Proporção (%)</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Relação a/c</b>	<b>Relação s/c</b>
Cimento	59,5	1,7515	0,22	0,26
Água <sup>(1)</sup>	35,5	0,3483		
PVA	5,0	0,0642		

**Fonte: o autor, 2013.**

**Notas:**

(1) Adicional de 45 gramas de água com 1% de aditivo (17,5 g).

**Tabela 5: Traço 3**

<b>Materiais</b>	<b>Proporção (%)</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Relação a/c</b>	<b>Relação s/c</b>
Cimento	56,0	1,6485	0,23	0,30
Água <sup>(1)</sup>	34,0	0,3336		
PVA	10,0	0,1285		

**Fonte: o autor, 2013.**

**Notas:**

(1) Adicional de 45 gramas de água com 1% de aditivo (16,4 g).

### 4.3 MOLDAGEM

Para a confecção dos corpos de prova, em cada traço, foi utilizado uma argamassadeira com a disposição dos materiais na seguinte sequência:

- PVA;
- Água;
- Solubilização do PVA por cerca de dois minutos;
- Cimento
- Mistura por cerca de cinco minutos;
- Adição do aditivo superplastificante durante a mistura (exceto traço 1).

Nas figuras de 10 a 14 estão demonstradas esta sequência, operada no traço 2.



**Figura 10: PVA**  
Fonte: o autor, 2013.



**Figura 11: Solução de PVA misturado à água**  
Fonte: o autor, 2013.



**Figura 12: Adicionado o cimento**  
Fonte: o autor, 2013.



**Figura 13: Mistura com adição de superplastificante**  
**Fonte: o autor, 2013.**



**Figura 14: Acondicionamento nos moldes**  
**Fonte: o autor**

Após o acondicionamento nos moldes foi dado o tempo de um dia para a desmoldagem e então os corpos de prova foram dispostos em cura úmida imersos em água na câmara úmida.

#### 4.4 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Durantes os ensaios, quando foi misturado o cimento e homogeneizado a massa, o composto com PVA começou a endurecer, de forma que a argamassadeira não aguentou sua rotação normal por 5 minutos. A aparência final foi de um concreto seco com coesão para o traço 1. Quando misturado o aditivo, o concreto ficou com uma consistência plástica, porém dura para tirar da cuba com o auxílio de uma espátula e para efeito de comparação, a massa ficou mais dura com 10% de PVA do que com 5%.

## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

Dos cinco corpos de prova obtidos em cada traço, dois foram para o ensaio de compressão axial, dois para o ensaio de compressão na diametral e um para obter dados quanto a permeabilidade do material.

### 5.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL E COMPRESSÃO NA DIAMETRAL

Os ensaios de resistência à compressão axial foram executados de acordo com a norma NBR 5739/2007 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos e os ensaios de resistência à tração por compressão diametral foram executados de acordo com a norma NBR 7222/2011 – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial estão descritos na tabela 6.

**Tabela 6: Resistência à compressão axial em MPa**

Traço – dias	CP 1	CP 2	CP 3	Média
1 – 7 <sup>1</sup>	8,45	8,30	7,80	8,181
2 – 7	42,06	42,80		42,43
3 – 7	25,85	25,89		25,87

Fonte: o autor, 2013.

O traço 1 possui três resultados, pois foi possível moldar seis corpos de prova. Os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral estão descritos na tabela 7.

**Tabela 7: Resistência à tração por compressão diametral em MPa**

Traço – dias	CP 1	CP 2	Média
1 – 7 <sup>1</sup>	1,63	1,81	1,715
2 – 7	7,59	6,02	6,807
3 – 7	3,40	3,37	3,382

Fonte: o autor, 2013.

<sup>1</sup> Em virtude de prazos, o traço 1 foi o único ensaiado a 28 dias obtendo média de 12,27 MPa à compressão axial e 8,415 MPa à tração por compressão diametral.

## 5.2 ENSAIO DE PERMEABILIDADE

Os dados quanto à permeabilidade foram obtidos pelo ensaio de absorção executados com base na norma NBR 9778/2009 – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e determinação de massa específica.

Em cada traço foi realizado uma amostra para dados quanto à permeabilidade, que estão demonstrados na tabela 8.

**Tabela 8: Resultados do ensaio de permeabilidade**

Traço	Peso seco (g)	Peso úmido (g)	% de permeabilidade
1	335,70	356,00	6,04
2	392,58	401,70	2,32
3	354,10	374,10	5,64

Fonte: o autor, 2013.

## 5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Todos os traços foram moldados manualmente, sem a aplicação de pressão ou calandragem como visto na literatura, e pequenos poros foram verificados internamente, o que pode não caracterizar o concreto isento de macro-defeitos. Nas figuras 15 e 16 estes poros estão demonstrados, porém ainda é possível discutir os dados obtidos.



**Figura 15: Poros internos - Traço 1**  
Fonte: o autor, 2013.



**Figura 16: Poros internos - Traço 2**  
**Fonte: o autor, 2013.**

O traço 1 por não conter aditivo superplastificante e ser moldado em duas camadas ficou com a divisão das camadas visível, inclusive a ruptura no ensaio a compressão ocorreu nessa divisão como mostrado na figura 15. Fato que possivelmente justifique a baixa resistência obtida no ensaio à compressão axial.



**Figura 17: Ruptura a compressão axial - Traço 1**  
**Fonte: o autor, 2013.**

Este tipo de ruptura não foi visualizada nos traços que continham aditivo superplastificante como mostrado na figura 18.





**Figura 18: Ruptura a compressão axial - Traço 2**  
**Fonte: o autor, 2013.**

A ruptura visualizada pela compressão diametral foi frágil no caso do traço 2, que continha 5% de PVA, e por esmagamento no caso dos traços 1 e 3, que continham 10% de PVA em sua composição. Ainda, é possível relacionar os valores obtidos nos ensaios à compressão axial com os valores obtidos na tração por compressão diametral, mostrado na tabela 9.

**Tabela 9: Relação entre tração e compressão (%)**

<b>Traço – Dias</b>	<b>Relação Tração/Compressão (%)</b>
1 – 7 <sup>2</sup>	20,9
2 – 7	16
3 – 7	13
Concreto convencional <sup>3</sup>	10

**Fonte: o autor, 2013.**

Apesar das resistências baixas, o traço 1 foi o que obteve a melhor relação entre a tração e a compressão. Na figura 19 está demonstrada a ruptura na compressão diametral do traço 1.

<sup>2</sup> Para o traço 1 ensaiado a 28 dias a relação entre tração e compressão foi de 68,5%.

<sup>3</sup> Muitos autores consideram que a resistência à tração do concreto convencional corresponde a 10% da resistência à compressão.



**Figura 19: Ruptura na compressão diametral - Traço 1**  
**Fonte: o autor, 2013.**

Os dois corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração por compressão diametral, porém, a ruptura se iniciou internamente como visto na amostra à esquerda: não é possível ver fissuras externas. Na figura 20 está mostrada essa ruptura interna. Já a amostra a direita teve a continuidade da aplicação da carga após o resultado apenas para ser possível ver como ocorreu a fissuração, no caso iniciou o esmagamento sem a separação das partes.



**Figura 20: Amostra sem fissuras visível partida ao meio - Traço 1**  
**Fonte: o autor, 2013.**

A ruptura do traço 2 caracterizou-se por ser frágil, como o concreto convencional. Na figura 21 é possível ver as duas partes do concreto completamente separadas, mas unidas por dois grãos de PVA.



**Figura 21: Ruptura na compressão diametral - Traço 2**  
**Fonte: o autor, 2013.**

O traço 3 apresentou características semelhantes ao traço 1, ambos com 10% de PVA na composição. A ruptura na compressão axial foi leviana se comparada à ruptura frágil do traço 2, pois o corpo de prova obteve apenas fissuras pequenas e não chegou a quebrar por completo. Na figura 22 está demonstrado o resultado desse ensaio, sendo possível verificar a ruptura iniciando na parte superior esquerda e terminando na parte inferior direita.



**Figura 22: Ruptura na compressão axial - Traço 3**  
**Fonte: o autor, 2013.**

O ensaio de tração por compressão diametral executado com o traço 3 obteve ruptura apenas por esmagamento, ou seja, como no traço 1. Foi dado o resultado do ensaio sem fissura visível, e continuado a aplicação de carga apenas para ver a ruptura mostrada na figura 23.



**Figura 23: Ruptura na compressão diametral - Traço 3**  
**Fonte: o autor, 2013.**

A porcentagem de PVA em volume na composição interferiu no comportamento do material. O aumento de 5% do polímero no traço foi o suficiente para se visualizar uma alteração no modo de ruptura: de frágil para esmagamento.

Por fim, a taxa de permeabilidade obtida pelo ensaio de absorção foi coerente com as resistências obtidas. A amostra com a menor absorção de água foi a do traço 2, que foi a mais resistente. Por outro lado o traço 1 foi o que obteve menor resistência e por consequência o maior resultado com 6,04% de permeabilidade.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho são:

a) Manualmente não foi possível obter o concreto isento de macro-defeitos, pois todas as amostras tiveram pequenas falhas internas como já visto nas figuras 13 e 14. Porém, o traço mais adequado resultante da pesquisa foi o traço 2, que foi o que apresentou maior facilidade durante a moldagem e as melhores resistências;

b) A ruptura das amostras do traço 2 foi frágil, diferente dos outros traços, porém obteve a melhor resistência em 7 dias, cerca de 42 MPa à compressão axial;

c) No ensaio à tração por compressão diametral também foi do traço 2 a maior resistência, com 6,8 MPa. Porém, foi neste ensaio que foi evidenciado com mais clareza a diferença no processo de ruptura das amostras, onde o traço 2 obteve ruptura frágil e os demais traços a ruptura por esmagamento;

d) Com a presença de aditivo superplastificante proporcionando melhor compacidade e melhor coesão do concreto, reduzindo a quantidade de vazios, a menor permeabilidade obtida pelo ensaio de absorção foi do traço 2, com 2,32%.

Finalmente, conclui-se que utilizar aditivo na composição é determinante para uma melhor moldagem e um melhor resultado. O traço 3, com praticamente a mesma composição do traço 1, obteve resistências dobradas apenas com a adição de 1% de superplastificante.

### 6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Ao considerar que não se conseguiu moldar o concreto isento de macro-defeitos com processamento manual, pode-se sugerir novas pesquisas para analisar as características físicas e mecânicas executando os traços 2 e 3 utilizados nessa pesquisa ou similares, ensaiando a 7 e a 28 dias, aplicando pressão e alta temperatura por autoclave após as moldagens.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e determinação de massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

BACHE, H.H. **Model for Strength of Brittle Materials Built up of Particles Joined at points of Contact**. Revista The American Ceramic Society Volume 53, nº 12. 1970.

BEHLOUL, Mouloud; BATOZ Jean-François. **Ductal® applications over the last Olympiad**. Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. Universidade de Kassel, Alemanha. Março 5-7, 2008.

BENNETT, D. F. H. **Innovations in Concrete**. Editora Thomas Telford. EUA, 2002.

BIRCHALL, J. D; HOWARD, A. J., KENDALL, K. **Flexural strength and porosity of cements**, Nature. Vol. 289, 388-390. 1982.

BIZ, Carlos Eduardo. **Concreto de Pós-Reativos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP. 2001.

BUITELAAR, Peter. **Ultra High Performance Concrete: Developments and Applications during 25 years**. Højbjerg, Dinamarca. 2004. Disponível em: <<http://www.ferroplan.com>>. Acesso em 25 jan. 2013.

CHEYREZY, M.; PICIOCHI, R. **Les betons de poudres reactives, In: Tribute to Micheline Maranville Regourd**. Sherbrook: Canada, 1995.

DESAI, P. G. **Cement Polymer Interactions in Macro-Defect-Free Composites**, M. S. Thesis, University of Illinois. 1992.

DRÁBIK, Milan *et al.* **Prospects of Novel Macro-Defect-Free Cements for the New Millennium.** Journal Ceramics-Silikáty, República Tcheca, 2002.

EKINCIOĞLU, Özgür *et al.* **Durability Problems of Macro Defect Free (MDF) Cements Prepared with Polyvinyl Alcohol Copolymers and Alumina Cements.** International Conference on Durability of Building Materials and Components. Istanbul, Turquia. Maio 11-14, 2008.

HAJAR, Ziad *et al.* **Design and Construction of the world first Ultra-High Performance Concrete road bridges.** International Symposium on Ultra High Performance Concrete. Universidade de Kassel, Alemanha. Setembro 13-15, 2004.

KIM, Sung Wook *et al.* **Effect of Filling Method on Fibre Orientation & Dispersion and Mechanical Properties of UHPC.** Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. Universidade de Kassel, Alemanha. Março 5-7, 2008.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDES, Sandro Eduardo da Silveira. **Estudo Experimental de Concreto de Alto Desempenho Utilizando Agregados Graúdos Disponíveis na Região Metropolitana de Curitiba.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR. 2002.

MOELLER, Anders. **Use of UHPC in offshore Wind turbine foundations.** Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. Universidade de Kassel, Alemanha. Março 5-7, 2008.

POPOOLA, O.O., KRIVEN, W.M., YOUNG J.F. **Microstructural and Microchemical Characterization of a Calcium Aluminate-Polymer Composite (MDF Cement),** Journal of American Ceramic Society, 74(8), p. 1928-1933. 1991.

PUSHPALAL G.K.D., KOBAYASHI T., HASEGAWA M. **High alumina cement-phenol resin composite: water resistivity and effect of post hydration of unreacted cement on durability,** Cement and Concrete Research, Vol 27, No 9, 1393–1405. 1997.

RODGER, S, A., BROOKS. S. A., SINCLAIR, W., GROVES, G., W., DOUBLE, D.D. **High strength cement pastes-Part 2: Reactions during setting,** Journal of Materials Science, 20, 2853-2860. 1985.

RODRIGUES, F. A. **Preparo e Caracterização de Materiais a Base de Cimento Isento de Macro-Defeitos.** Tese de Doutorado. Instituto de Química. Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP. 1995.

SANTOS, Rosemar Sant'Anna dos. **Materiais Cimentosos Isentos de Macro Defeitos Utilizando Álcool Polivinílico (PVA) e Silicato de Sódio: Influência da Massa Molar Média e do Grau de Hidrólise do Polímero.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP. Março/1997.

SHACHINGER, Ingo *et al.* **Effect of Curing Temperature at an Early Age on the Long Term Strength Development of UHPC.** Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete. Universidade de Kassel, Alemanha. Março 5-7, 2008.

TANG, Man-Chung. **High Performance Concrete – Past, Present and Future.** International Symposium on Ultra High Performance Concrete. Universidade de Kassel, Alemanha. Setembro 13-15, 2004.

VANDERLEI, Romel Dias. **Análise Experimental do Concreto de Pós-Reativos: Dosagem e Propriedades Mecânicas.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 2004.