

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE TECNOLOGIA EM CONCRETO**

**DIEGO SERAFIM  
JULIANA DO CARMO LICETTI**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TRÊS TIPOS DE CIMENTO NO  
CONCRETO DE PÓS-REATIVOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA  
2012**

DIEGO SERAFIM  
JULIANA DO CARMO LICETTI

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TRÊS TIPOS DE CIMENTO NO  
CONCRETO DE PÓS-REATIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Concreto do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em concreto.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Mazer

**CURITIBA**  
**2012**



## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradecemos a Deus, por estar presente em nossas vidas nos guiando, dando força para enfrentar as batalhas e vencer. A nossos pais que são e sempre serão nosso apoio, porto seguro e entusiastas.

Ao meu orientador e amigo Professor Dr. Wellington Mazer, pela grande ajuda não só no TCC, mas em todo decorrer do curso.

A UTFPR por ter dado condições de estudo durante o curso e apoio para realização desse trabalho final.

*“E graças a Deus, que sempre nos faz triunfar em Cristo, e por meio de nós manifesta em todo o lugar a fragrância do seu conhecimento.”*

*2 Coríntios 2:14*

## RESUMO

SERAFIM, Diego; LICETTI, Juliana. Análise do desempenho de três tipos de cimento no concreto de pós-reativos. 2012, 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Em busca de um concreto mais resistente e durável juntamente com o avanço da tecnologia de aditivos e adições para concreto chegou-se ao Concreto de pós-reativos (CPR), que é um composto de elevadas capacidades de resistência e ductibilidade, praticamente impermeável e muito promissor devido ao seu desempenho. Descoberto na França durante a década de 90 tem grandes chances de vir a ser o concreto mais utilizado futuramente em grandes estruturas. Auto-adensável, o novo material dispensa equipamentos de vibração e é excelente tanto na moldagem de pré-fabricados quanto na recomposição de estruturas deterioradas, uma vez que adere facilmente a outros concretos. Este estudo teve como principal objetivo verificar as variações de desempenho nos resultados dos ensaios de resistência a compressão e tração do CPR, com a utilização de diferentes tipos de cimentos disponíveis no mercado brasileiro. Foram testados os cimentos CII-Z, CIV e CPV ARI e rompidos com idades de 1, 3, 7 e 28 dias, após cura submersa de 90°C aos sete primeiros dias, seguindo-se de temperatura ambiente (21°C) até atingir os 28 dias. Apontando que os diferentes tipos de cimento interferem na resistência do concreto de pós reativos.

**Palavra-chave: concreto de pós-reativos, desempenho, cimento.**

## ABSTRACT

Serafim, Diego; LICETTI, Juliana. Performance analysis of three types of cement in the concrete after-reactive. 2012, 52 f. Conclusion Work in Progress - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2012.

In search of a concrete that is stronger and more durable with the advancement of technology additives and additions to the concrete was found concrete post-reactive (CPR), which is composed of a high capacity of resistance and ductility, virtually waterproof and very promising because of its performance. Discovered in France during the 90s it has great chances to be the most used cement in the future more concrete in large structures. By being self-compacting, the new material dispenses vibration equipment and it is excellent in both the molding of pre-made structures and the restoration of deteriorated since it easily adheres to other concrete. This study aimed to verify the performance variations in test results of tensile and compressive strength of the CPR, the use of different types of cements available in Brazil. Were tested cements CPII-Z CPIV and CPV ARI and broken aged 1, 3, 7 and 28 days of curing submerged in 194 F for at least seven days, followed by room temperature (69,8 F) until the 28 days. Noting that the different types of cement concrete strength interfere with post-reactive.

**Keywords:** reactive powder concrete, performance, cement.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1- Passarela Seonyu, Coréia, 2002. ....	15
Figura 2 - Passarela de Sherbrooke – Canadá .....	15
Figura 3 - Materiais separados para a ensaio .....	33
Figura 4 - Preparação do concreto na argamassadeira .....	37
Figura 5 - Preparação do concreto na argamassadeira .....	38
Figura 6 - Aspecto do concreto na argamassadeira .....	38
Figura 7- Moldes para corpo de prova .....	39
Figura 8 - Preparação dos corpos de prova .....	40
Figura 9 - Moldagem dos corpos de prova .....	40
Figura 10 - Cura térmica a 90°C.....	41
Figura 11 - Cura em temperatura ambiente .....	41
Figura 12 - Rompimento do corpo de prova .....	42
Figura 13 - Média da resistência à compressão axial com 24 horas .....	43
Figura 14 - Média da resistência à compressão axial com três dias .....	44
Figura 15 - Média da resistência à compressão axial com sete dias .....	45
Figura 16 - Média da resistência à compressão axial com vinte e oito dias .....	46
Figura 17 - Média dos índices de absorção com vinte e oito dias .....	47
Figura 18 - Média dos resultados de compressão diametral com vinte e oito dias ...	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Gastos com manutenção e reparos em países Europeus - 2007 .....	16
Tabela 2 - Principais compostos químicos do clínquer.....	21
Tabela 3 - Tipos de cimentos nacionais .....	22
Tabela 4 – Limites para a composição dos cimentos .....	23
Tabela 5 - Resumo das especificações ABNT .....	33
Tabela 6 - Características físicas da Sílica Ativa.....	35
Tabela 7 - Valores de resistência à compressão com 24 horas .....	43
Tabela 8 - Valores de resistência à compressão com 3 dias .....	44
Tabela 9 - Valores de resistência à compressão com sete dias.....	45
Tabela 10 - Valores de resistência à compressão com vinte e oito dias .....	46
Tabela 11 - Índices de absorção com vinte e oito dias.....	47
Tabela 12 - Resultado de compressão diametral com vinte e oito dias .....	48

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARI	Alta Resistência inicial
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAD	Concreto de Alto Desempenho
CAR	Concreto de Alta Resistência
CPR	Concreto de pós-reativos
cm	Centímetro
cp	Corpo de prova
cv	Coeficiente de variação
CP	Cimento Portland
DACOC	Departamento Acadêmico de Construção Civil
kg	Quilo grama
m	Metro
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
RPC	Reactive Powder Concrete
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Importância da pesquisa .....	14
1.2 Objetivos da pesquisa .....	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1 Concreto de pós-reativos .....	18
2.2 História do cimento.....	19
2.3 Materiais constituintes.....	20
2.3.1 Cimento Portland.....	20
2.3.1.1 Composição do cimento.....	20
2.3.2 Agregados .....	23
2.3.3 Aditivos usados em concreto.....	25
2.3.4 Pó de quartzo.....	28
2.3.5 Adições.....	28
2.3.5.1 Sílica ativa.....	28
2.3.5.2 Fibras e microfibras.....	29
2.3.6 Pega e endurecimento.....	29
2.3.7 Água de amassamento.....	30
2.3.8 Aplicações do concreto de pós-reativos .....	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	32
3.1 Traço experimental do concreto de pós-reativos .....	32
3.2 Materiais utilizados na confecção do CPR .....	33
3.2.1 Cimento .....	33
3.2.2 Agregados .....	34
3.2.3 Pó de quartzo .....	34
3.2.4 Adições.....	35
3.2.4.1 Sílica ativa.....	35
3.2.4.2 Fibras de polipropileno.....	35
3.2.4.3 Aditivo .....	35
3.2.4.4 Água de amassamento .....	36

3.3	Procedimentos para confecção dos corpos de prova para o estudo.....	36
3.3.1	Fatores controláveis .....	36
3.3.2	Procedimento de mistura dos materiais.....	36
3.3.3	Procedimento de moldagem dos corpos de prova.....	38
3.3.4	Procedimento de desforma dos corpos de prova .....	40
3.3.5	Procedimento de cura dos corpos de prova .....	41
3.3.6	Procedimento de rompimentos dos corpos de prova.....	42
4	RESULTADOS E ANÁLISES.....	43
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
5.1	Conclusões .....	49
5.2	Sugestões para trabalhos futuros .....	50
	REFERÊNCIAS.....	51

## 1. INTRODUÇÃO

A busca pela obtenção de concretos mais resistentes, tanto nas características mecânicas quanto à ataques de intempéries resultou na corrida pela descoberta de Concretos de Alta Resistência, os denominados CAR ou também conhecidos como Concreto de Alto Desempenho (CAD). Esse tipo de concreto, em geral, reúne os mesmos princípios para sua realização, tais como: elevados teores de aditivo superplastificante, agregados de dimensões reduzidas, altos teores de cimento Portland e sílica ativa, ocasionando altos custos de confecção.

O CAD pode desenvolver resistência a compressão na faixa de 120 MPa, utilizando para isso granito como agregado graúdo ou ainda 140 a 150 MPa quando empregado o diabásio ou o basalto, Amaral Filho (1997 *apud* MENDES, 2002, p.4).

Em contra partida o Concreto de Pós Reativos (CPR), não utiliza agregado graúdo, ficando sua resistência mecânica em função exclusiva da interação dos materiais constituintes. A ausência de agregado graúdo é apenas um dos preceitos básicos desse material. Sua composição mistura em proporções adequadas cimento Portland e sílica ativa como constituintes aglomerantes, areia quartzosa e pó de quartzo como agregados, microfibras, aditivos de última geração e água em quantidade mínima necessária para hidratar os componentes cimentantes, mantendo a relação água/aglomerante a mais baixa possível. Visto que seus constituintes apresentam extrema finura, esse concreto ganhou a palavra "pós" em seu nome, referindo-se aos ultrafinos da composição, não representando, portando, nenhuma ligação de reatividade tardia dos seus componentes. (VANDERLEI, 2006)

O CPR, é um concreto formado de partículas com diâmetro máximo menor que 2 mm, que está sendo analisado e aplicado atualmente em elementos estruturais. O material oferece grandes resistências à compressão e, também à tração e à flexão, quando adicionadas fibras metálicas na sua composição. É um tipo de concreto com alta ductilidade, impermeável à água e à gases. Esse concreto surgiu para substituir o concreto de alto desempenho. Para obtenção desse concreto é importante garantir a homogeneidade pela eliminação dos agregados graúdos, aumentando a densidade pela otimização da distribuição granulométrica dos grãos e/ou aplicação de pressão no preparo, provocando redução do ar incorporado, remoção do excesso de água e compensação da retração química.

O fortalecimento da microestrutura utilizando tratamento térmico tem grande influência na resistência à compressão, uma vez que, torna a microestrutura mais densa, melhorando, assim, a resistência à compressão.

A distribuição granulométrica dos grãos que compõem o CPR é estudada de modo a obter um produto com alta densidade, no qual os espaços entre as partículas maiores são preenchidos pela classe de partículas imediatamente menor e, assim sucessivamente, formando o chamado empacotamento das partículas. (VANDERLEI, 2006)

### **1.1 Importância da pesquisa**

A mais de duas décadas o CPR vem sendo estudado em alguns países como França e Canadá. A constante busca pela obtenção de concretos mais resistentes resultou na descoberta desse material, que pode chegar à alta resistência à compressão e por consequência boa resistência à tração, o que diminui consideravelmente o peso das estruturas de concreto. (BINA, 2011).

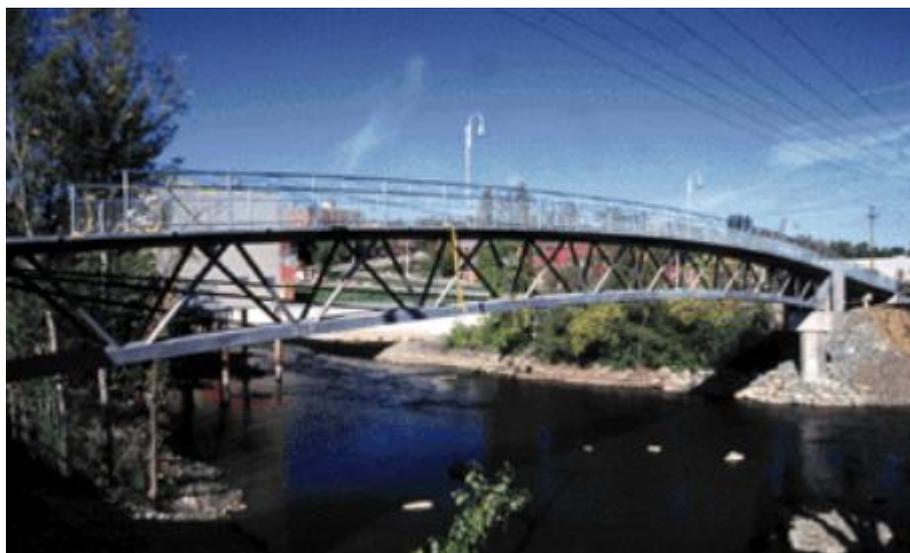
A utilização do CPR permite executar peças esbeltas, leves, com baixo custo de manutenção e maior vida útil, se comparadas ao concreto preparado com materiais convencionais. Este tipo de tecnologia tem sido utilizado na construção de estruturas leves, tabuleiros para pontes, vigas, colunas, pré-fabricados de túneis ou placas de revestimento de fachada e passarelas. Um belo exemplo é a passarela Seonyu, construída na Coreia no ano de 2002, apresentada na figura 1. O arco central possui 120 metros de vão, 4,3 metros de largura e 1,30 metros de espessura. Sobre a passarela, há uma placa de concreto de apenas 3 centímetros de espessura. (Site web 1. [<http://petcivilufjf.wordpress.com/2010/08/17/inovacao-em-concreto/>])



**Figura 1- Passarela Seonyu, Coréia, 2002.**

Fonte: Site web <sup>1</sup> [<http://petcivilufjf.wordpress.com/2010/08/17/inovacao-em-concreto/>].

Outro exemplo é a passarela de pedestres de Sherbrooke no Canadá. Possui 60 metros de comprimento e espessura do deck de 3 cm, conforme apresenta a figura 02.



**Figura 2 - Passarela de Sherbrooke – Canadá**

Fonte: Site web<sup>2</sup>

[[http://www.dcc.ufpr.br/wiki/images/9/94/TC031\\_Novas\\_tecnologiasA.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/wiki/images/9/94/TC031_Novas_tecnologiasA.pdf)]

O CPR é baseado no princípio da formação de um produto com o mínimo de defeito, como microfissuras e poros capilares. Uma consequência direta da quase ausência de poros capilares é sua dificuldade no transporte de líquidos e gases na matriz além de maior resistência ao ciclo gelo e degelo. Isso implica em aumento de resistência a agentes agressivos, tais como ácidos, álcalis, íons cloretos, carbonatação entre outros. Como desde o início do século XX edificações vêm sendo construídas utilizando peças de concreto armado como elementos estruturais e por aproximadamente meio século não foi dada a atenção necessária quanto à durabilidade destas construções, o alto custo com manutenção e reparo das estruturas começou a preocupar pesquisadores a partir dos anos setenta. Segundo uma tabela de Takewaka (2007 *apud* Medeiros, 2008, p.2) é possível observar a que ponto chegou os valores investidos na recuperação de edificações nos países europeus, constatando que em alguns países os gastos com manutenção e reparo, às vezes, chega a ultrapassar os gastos com novas construções. Abaixo a tabela 1 mostra esses valores:

**Tabela 1 - Gastos com manutenção e reparos em países Europeus - 2007**

País	Gastos com Novas Construções*	Gastos com Manutenção e Reparo*	Gastos Totais com Construção*
França	85,6 (52%)	79,6 (48%)	165,2 (100%)
Alemanha	99,7 (50%)	99,0 (50%)	198,7 (100%)
Itália	58,6 (43%)	76,8 (57%)	135,4 (100%)
Reino Unido	60,7 (50%)	61,2 (50%)	121,9 (100%)

Fonte: Ueda, Tanaka – 2007

\* Em Bilhões de Euros para França, Alemanha e Itália e Pounds para o Reino Unido;

\*\* Dados do ano de 2002 para a Itália e 2004 para os demais países.

Por esses e outros motivos que a produção do concreto vem passando por uma revolução, com novas metodologias de dosagem e à progressiva associação de materiais ultrafinos, o concreto de pós reativos veio para alavancar a construção civil, no que diz respeito a tecnologia e durabilidade.

## **1.2 Objetivos da pesquisa**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Verificar as variações de desempenho nos resultados de ensaios de resistência a compressão e a tração do CPR, com a utilização de diferentes tipos de cimentos disponíveis no mercado brasileiro.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Obtenção dos resultados de ensaios de resistência à compressão e a tração por compressão de cada CPR, oriundo da mistura realizada testando os cimentos disponíveis, comparando as variações decorrentes de cada material.

Verificar resistência a compressão dos diversos tipos de cimento (CPII-32, CPIV-32 e CPV-40) a 1,3, 7 e 28 dias.

Verificar resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.

Verificar resistência à absorção por imersão aos 28 dias.

A dosagem do concreto de pós reativos visa criar um material com o mínimo de defeitos, utilizando partículas sólidas de pequenos diâmetros, variando entre 2mm e 0,5 $\mu$ m, proporcionando mistura de alta densidade e com o mínimo de vazios.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Concreto de pós-reativos

O concreto de pós-reativos (CPR) ou RPC (Reactive Powder Concrete) como também é chamado, é um composto de cimento comum, sílica ativa, pó de quartzo, superplastificante, água, fibras de polipropileno e agregado miúdo todos os materiais com diâmetro menor que 2 mm, o que proporciona uma mistura de alta densidade e o mínimo de espaços vazios. (BINA, 2011)

A produção desse concreto é semelhante ao convencional, porém com uma baixíssima relação água/cimento que é possível com o uso de aditivo superplastificante. No concreto convencional a brita auxilia na dispersão dos finos, no caso do CPR, como não tem agregado graúdo é necessário a utilização do misturador forçado. O processo de mistura do CPR obedece a seguinte ordem: homogeneização do material seco, fluidificação da pasta pela adição de aditivos e colocação da água de hidratação e por fim a adição das fibras. No que diz respeito à resistência, enquanto o concreto comum atinge até 60MPa, o CPR compreende uma faixa que vai de 200MPa a 800MPa. O que ocorre fisicamente para que esse concreto possa resistir a elevadas resistências é que o seu empacotamento de grãos é estudado de forma a garantir o melhor resultado possível, esse estudo é necessário para assegurar que os grãos maiores estejam envoltos pelos menores garantindo o preenchimento de todos os espaços vazios promovendo assim a melhor distribuição de tensões. Além disso, esse concreto possui importante resistência à flexão e uma ductilidade extremamente alta, fato este decorrente a adição de fibras de aço na dosagem. (TOKUDOME, 2008)

A microestrutura do concreto pós-reativo é que o garante o invejável desempenho em relação aos concretos usuais. O fato de existirem poucos vazios nesse concreto é ótimo para o uso em concreto protendido e em locais onde há o fenômeno gelo-degelo, e também para lugares onde há ataque por agentes degradantes, devido a sua impermeabilidade não sofre dano. Com uma resistência superior à compressão e cisalhamento, os elementos estruturais produzidos com o

CPR, possuem uma redução significativa do seu peso próprio, resultando em estruturas leves, como pilares mais esbeltos, placas de revestimento de fachada e tabuleiros de pontes. Os elementos pré-moldados feitos com CPR chegam a ter 1/5 do peso que teriam se tivessem sido feitos com CAD. Outra característica importante no CPR é que elementos radioativos não atravessam sua estrutura, por exemplo: não há difusão de Césio e a difusão de Trítio é 45 vezes menor que no concreto pesado. (BINA, 2011; TOKUDOME, 2008)

O CPR tem outra qualidade interessante, em razão de possuir grande quantidade de cimento não hidratado no concreto curado, quando ocorrem fissuras, esse concreto acaba se recuperando com a hidratação do cimento existente.

## **2.2 História do cimento**

Já no Antigo Egito era utilizado um material feito de gesso calcinado como aglomerante. Entre os gregos e romanos, eram usados solos vulcânicos das proximidades de Pozzuoli ou da ilha de Santorini, que endureciam depois de misturadas com água.

Em 1786 o inglês John Smeaton criou uma mistura resistente através da calcinação de calcários argilosos e moles. Esse é o marco da criação do cimento artificial. Em 1818, o francês Vicat obteve resultados semelhantes aos de Smeaton, pela mistura de componentes argilosos e calcários. Tempos depois, Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland. (KAEFER, 1998, p. 21).

## **2.3 Materiais constituintes**

### **2.3.1 Cimento Portland**

A ASTM C150 define cimento Portland como um cimento hidráulico produzido pela moagem de clínqueres constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Clínqueres são nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de material sinterizado que é produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas.

De acordo com Neville (1997), o processo de fabricação do cimento Portland consiste, essencialmente, em extrair e moer as matérias primas (mistura de calcário e materiais argilosos, convenientemente dosada e homogeneizada) e queimá-las a uma temperatura de até 1450°C, quando a mistura sinteriza e funde parcialmente, formando o que se chama de clínquer. O clínquer é resfriado e moído até formar um pó bem fino, e recebe a adição de gesso, a fim de regularizar o tempo de início das reações do aglomerante com a água, início de pega, formando o que conhecemos comercialmente como cimento Portland.

#### **2.3.1.1 Composição do cimento**

O cimento Portland é composto de clínquer e de adições que distinguem os diversos tipos existentes, conferindo diferentes propriedades mecânicas e químicas a cada um. As adições também podem ser utilizadas em função de suas distribuições geográficas.

O clínquer é o principal item na composição de cimentos portland, sendo a fonte de Silicato tricálcico  $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$  e Silicato dicálcico  $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ . Estes compostos trazem acentuada característica de ligante hidráulico e estão diretamente relacionados com a resistência mecânica do material após a hidratação. A produção do clínquer é o núcleo do processo de fabricação de cimento, sendo a etapa mais complexa e crítica em termos de qualidade e custo. As matéria-primas são abundantemente encontradas em jazidas de diversas partes do planeta, sendo de

80% a 95% de calcário, 5% a 20% de argila e pequenas quantidades de minério de ferro. A seguir a tabela 2 apresenta os principais compostos químicos do clínquer.

**Tabela 2 - Principais compostos químicos do clínquer**

Silicato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$	45-75% $\text{C}_3\text{S}$ (alita)
Silicato dicálcico $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$	7-35% $\text{C}_2\text{S}$ (belita)
Aluminato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$	0-13% $\text{C}_3\text{A}$ (celita)
Ferroaluminato tetracálcico $(\text{CaO})_4\text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	0-18% $\text{C}_4\text{AF}$ (brownmerita)

Fonte: Site web 3 [<http://pt.scribd.com/doc/58249640/Aglomerantes>].

Principais compostos químicos do clínquer: de Silicato tricálcico ou Alita na proporção de 45-75%, silicato dicálcico ou Belita na proporção de 7-35%, aluminato tricálcico ou Celita na proporção de 0-13%, ferroaluminato tetracálcico ou Brownmerita na proporção de 0-18%.

O gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) é adicionado em quantidades geralmente inferiores a 3% da massa de clínquer, tem função de estender o tempo de pega do cimento (tempo para início do endurecimento). Sem esta adição, o tempo de pega do cimento seria de poucos minutos, inviabilizando o uso. Devido a isso, o gesso é uma adição obrigatória, presente desde os primeiros tipos de cimento Portland.

A escória siderúrgica, de aparência semelhante a areia grossa, é um subproduto de alto-fornos, equipamentos que produzem aço a partir de minério de ferro. Entre diversas impurezas como outros metais, se concentram na escória: silicatos, que apesar de rejeitados no processo de metalização, proporcionam características de ligante hidráulico, sendo um subproduto, este material tem menor custo em relação ao clínquer e é utilizado também por elevar a durabilidade do concreto, principalmente em ambientes com presença de sulfatos. Porém, a partir de certo grau de substituição de clínquer a resistência mecânica passa a diminuir. Site web 3 [<http://pt.scribd.com/doc/58249640/Aglomerantes>].

A argila pozolânica ativada reage espontaneamente com  $\text{CaO}$  em fase aquosa, por conter um elevado teor de sílica ativa  $\text{SiO}_2$ . Esta característica levou ao uso de pozolanas como ligante hidráulico complementar ao clínquer, com a característica de tornar os concretos mais impermeáveis, o que é útil na construção

de barragens, por exemplo. Assim como a escória siderúrgica, as pozolanas frequentemente têm menor custo se comparadas ao clínquer e só podem substituí-lo até um determinado grau.

O calcário é composto basicamente de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), encontrado abundantemente na natureza. É empregado como elemento de preenchimento, capaz de penetrar nos interstícios das demais partículas e agir como lubrificante, tornando o produto mais plástico e não prejudicando a atuação dos demais elementos. O calcário é também um material de diluição do cimento, utilizado para reduzir o teor de outros componentes de maior custo, desde que não ultrapassando os limites de composição ou reduzindo a resistência mecânica a níveis inferiores ao que estabelece a norma ou especificação. Site web 3 [<http://pt.scribd.com/doc/58249640/Aglomerantes>].

Além da constituição química e composição mineralógica, o desempenho de um cimento geralmente é controlado por ensaios físicos. Os principais são: início e fim de pega, finura, massa específica, área específica Blaine e resistência à compressão. Dependendo dos tipos e quantidades das adições, os cimentos são classificados em diferentes tipos conforme a resistência obtida em ensaio padronizado e também são divididos em Classes. A Tabela 3 apresenta essas classificações.

**Tabela 3 - Tipos de cimentos nacionais**

<b>Norma</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classes</b>
NBR 11578/91 (EB-2138)	Cimento Portland Composto	CP II-Z - Cimento Portland Composto c/ pozolana	25, 32, 40
NBR 5736/91 (EB-758)	Cimento Portland Pozolânico	CP IV - Cimento Portland Pozolânico	25, 32
NBR 5733/91 (EB2)	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CP V- ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	-

Fonte: NBR 5737 - Cimentos Portlands resistentes à sulfatos. (ABNT, 1992)

A Tabela 4 demonstra os teores limites permitidos para as adições:

**Tabela 4 – Limites para a composição dos cimentos**

<b>Sigla</b>	<b>Clínquer + sulfatos de cálcio (%)</b>	<b>Escória granulada (%)</b>	<b>Material Pozolânico (%)</b>	<b>Material Carbonático (%)</b>
CP II-Z	94-76	0	6- 14	0- 10
CP IV	85-45	0	15-50	0-5
CP V	100-95	0	0	0-5

Fonte: NBR 5737 - Cimentos Portlands resistentes à sulfatos. (ABNT, 1992)

### 2.3.2 Agregados

Entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia. (PETRUCCI, 1998).

Os agregados são relativamente baratos e não entram em complexas reações químicas com a água. Por isso, têm sido comumente tratados como material de enchimento inerte no concreto. No entanto, devido a uma melhor compreensão de papel desempenhado pelos agregados na determinação de muitas propriedades importantes do concreto, a visão tradicional do agregado como um material inerte vem sendo seriamente questionada. As características relevantes do agregado para a composição do concreto incluem porosidade, composição ou distribuição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial, resistência a compressão, módulo de elasticidade e tipo de substâncias deletérias presentes. A composição granulométrica tem uma influência importante sobre a qualidade dos concretos, agindo na compacidade, trabalhabilidade e resistência. (HELENE e TERZIAN, 1992)

Essas características resultam da composição mineralógica da rocha fonte, das condições de exposição a que a rocha foi submetida antes de produzir o agregado e do tipo de equipamento utilizado para a produção do agregado. Ao contrário do cimento o agregado costuma ocupar de 60 a 80% do volume do concreto, o agregado costuma ser visto como um material de enchimento inerte. Os

agregados têm grande influência na determinação da trabalhabilidade e custo das misturas de concreto. (MEHTA E MONTEIRO, 2008)

A forma do grão é o principal parâmetro para que se tenha uma mistura de concreto que alcance a plasticidade desejada com o menor consumo de água e conseqüentemente menor consumo de cimento para uma determinada resistência ( $F_{ck}$ ) e durabilidade. Esta forma depende muito da origem geológica da jazida, mas pode ser melhorada com a utilização de equipamentos próprios para este fim, como por exemplo, o britador de eixo vertical (VSI).

Os agregados minerais naturais constituem a classe mais importante de agregados para a produção de concreto de cimento Portland. A areia de sílica natural é predominantemente utilizada como agregado miúdo.

Descrição das rochas: de acordo com sua origem, as rochas são classificadas em três grandes grupos: ígneas, sedimentares e metamórficas, esse grupos são subdivididos de acordo com sua composição mineralógica e química, textura ou granulação e estrutura cristalina. As rochas ígneas se formam pelo resfriamento do magma acima, abaixo, ou próximo da superfície terrestre. O grau de cristalinidade e a granulação das rochas ígneas, portanto, variam de acordo com a taxa de resfriamento do magma na época em que a rocha se formou. (MEHTA E MONTEIRO, 2008)

Rochas sedimentares são rochas estratificadas, normalmente depositadas sob a água, mas por vezes se acumulam pela ação do vento e do gelo. As rochas sedimentares silicosas derivam-se das rochas ígneas existentes. Dependendo do método de deposição e consolidação, as rochas sedimentares podem ser subdivididas nos seguintes grupos: depositadas mecanicamente em estado não consolidado ou fisicamente consolidado; depositadas mecanicamente e normalmente consolidadas com substâncias químicas cimentantes; depositadas e consolidadas quimicamente. (MEHTA E MONTEIRO, 2008). De acordo com Mehta e Monteiro (2008), estas características dos agregados influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que no endurecido, pois quanto mais ásperas, angulosas e alongadas sejam as partículas a quantidade de pasta a ser exigida para produzir misturas de mesma trabalhabilidade, logo, aumentam o custo do concreto. Enfatizam ainda que as partículas alongadas, lamelares ou discóides, principalmente das areias, produzem concretos ásperos e por isso devem ser evitadas ou limitadas a no máximo 15% da massa total dos agregados. Neville

(1997), também cita que, apesar de não existirem limites estabelecidos, é indesejável a presença de mais de 10 ou 15%, em massa, de partículas alongadas.

A forma do agregado miúdo influencia nas propriedades do concreto fresco, como na trabalhabilidade, onde um volume maior de água é exigido para envolver a área específica dos grãos e para compensar a deficiência no rolamento dessas partículas. Já nos agregados graúdos, os formatos lamelares de grão normalmente acomodam-se em uma direção preferencial, alinhando-se e podendo criar planos preferenciais de ruptura. Da mesma maneira, partículas com esta forma apresentam maior probabilidade de acumular água de exsudação e bolhas sob elas, enfraquecendo a zona de transição e comprometendo, entre outras propriedades, a resistência e a durabilidade do concreto. (NEVILLE, 1997)

Agregados miúdos são encontrados em jazidas de solo grosso graduado. Uma vez que as jazidas de solo normalmente contem quantidades variadas de silte e argila, que afetam adversamente as propriedades tanto do concreto fresco quanto do endurecido, esses contaminantes devem ser removidos por meio de lavagem ou por peneiramento a seco, a escolha pelo processo de separação do agregado dos agentes deletérios geralmente determina a quantidade de substâncias prejudiciais ao concreto, no caso a lavagem é a melhor escolha para melhor separação do agregado. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

### **2.3.3 Aditivos usados em concreto**

Segundo Martin (2005), os aditivos para concreto definem-se como materiais adicionados ao concreto durante o processo de mistura em uma quantidade não superior a 5% sobre a massa do cimento contido no concreto, para modificar as propriedades da mistura no estado fresco e/ou no estado endurecido, como a reologia do concreto no estado fresco, a sua resistência mecânica e a pega do cimento.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o reconhecimento de que as propriedades do concreto, nos dois estados, fresco e endurecido, podem ser modificadas com a adição de determinados materiais às misturas de concreto tem

sido responsável pelo grande crescimento da indústria de aditivos e adições para concreto nos últimos 50 anos.

Neville (1997) comenta que em muitas oportunidades são realizadas misturas de aditivos com dois ou três destes, buscando-se chegar à compensação e à neutralização dos efeitos secundários. Pode-se citar como exemplo o caso de um plastificante, que apresente um ligeiro retardamento de pega indesejado, ao qual se acrescenta um acelerador que anule esse retardamento.

Os aditivos variam muito na composição química e muitos deles tem mais de uma função o que torna difícil classificá-los de acordo com suas funções. Os aditivos químicos podem ser divididos em dois tipos, algumas substâncias químicas começam a agir no sistema cimento-água instantaneamente, influenciando na tensão superficial da água e adsorvendo na superfície das partículas do cimento, outras se dissociam e afetam as reações químicas entre os compostos de cimento e a água, desde os primeiros minutos até várias horas após a sua adição. Materiais insolúveis finamente moídos, de fontes naturais ou de alguns subprodutos industriais, são chamados adições minerais. O efeito físico da presença desses materiais no comportamento reológico do concreto fresco se imediatamente aparente, mas leva de vários dias a vários meses para que os efeitos químicos se manifestem. Os sais solúveis e polímeros, agentes tenso ativos e outros são adicionados ao concreto em quantidades pequenas para fins como: incorporar ar, tornar plásticas misturas de concreto fresco, ou controlar o tempo de pega. Ao tornar plástica uma mistura de concreto, é possível aumentar a consistência sem aumentar o consumo de água, ou reduzir o consumo de água com manutenção de uma dada consistência. (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

A norma que aborda o emprego de aditivos para concreto é a NBR 11768, (ABNT, 1992). Nesta norma é apresentada uma classificação para os aditivos de acordo com o efeito provocado pelo seu uso:

- Plastificante (reductor de água);
- Superplastificante (reductor de água de alta eficiência);
- Polifuncionais;
- Acelerador de pega e endurecimento;
- Retardador de pega;

- Incorporador de ar;
- Facilitador de bombeamento.

De acordo com NBR 11768, (ABNT, 1992), são classificados como plastificantes aqueles aditivos que quando adicionados às misturas promovem a redução de no mínimo 6% da água de amassamento para produzir um concreto com determinada consistência.

Os superplastificantes são uma categoria especial dos aditivos redutores de água que permitem grandes reduções na quantidade da água da mistura possibilitando um aumento considerável da trabalhabilidade e um acréscimo na resistência à compressão do concreto. Aditivos plastificantes comuns podem reduzir a quantidade de água de mistura na casa de 5% a 10%. Aditivos superplastificantes produzem reduções entre 20% e 30% (HARTMANN, 2003; MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Aditivos produzidos com produtos a base de melanina sulfonada e naftaleno sulfonado são conhecidos como superplastificantes de segunda geração e reduzem a quantidade de água de mistura em até 25% (HARTMANN, 2003).

O lignosulfonato é obtido da lignina presente na madeira, sendo extraído dos resíduos da indústria de papel e celulose.

De acordo com Souza et al (2006), atualmente existem aditivos polifuncionais que apresentam a mesma função, plastificar o concreto, semelhante aos aditivos plastificantes e superplastificantes. Sua dosagem em geral varia entre 0,2 e 0,6 % do peso do cimento. Uma das vantagens dos polifuncionais em relação aos superplastificantes é tempo de duração do efeito do aditivo, sendo para os superplastificantes em torno de 40 minutos sendo necessária a aplicação na obra por uma mão de obra especializada. Já os aditivos polifuncionais podem ser acrescentados à mistura ainda na central dosadora proporcionando um maior controle de proporção e redução de eventuais perdas. Comparando os aditivos polifuncionais com os redutores de água comuns podemos observar os seguintes itens:

- Trabalhabilidade ainda maior, maior coesão e facilidade de bombeamento;
- Melhor acabamento final;
- Redução de retração por secagem;

- Redução da exsudação;

#### **2.3.4 Pó de quartzo**

O pó de quartzo utilizado nas misturas de CPR tem as funções de: melhorar o empacotamento dos grãos do concreto e reagir durante o tratamento térmico possibilitando o acontecimento de reações pozolânicas complementares as reações provenientes da sílica ativa.

A reatividade máxima para a reação pozolânica acontecer é obtida com partículas de tamanho entre 5 a 25 micrometros (Vanderlei, 2004, P.19). O tamanho médio das partículas de pó de quartzo utilizado, segundo Vanderlei (2004, p. 47) é 10 micrômetros, portanto da mesma classe granular do cimento. Esta condição a torna passível de reagir durante o processo de cura, originando a benéfica e desejável reação pozolânica. Para Biz (2001, p.17), as altas temperaturas geradas pela cura térmica ativam estas reações que consomem o hidróxido de cálcio hidratado em maior quantidade e em tamanho superior ao original promovido pela hidratação das partículas de cimento.

#### **2.3.5 Adições**

##### **2.3.5.1 Sílica ativa**

As adições minerais são materiais silicosos finamente divididos, normalmente adicionados ao concreto em quantidades relativamente grandes, que variam de 20 a 70% por massa de material cimentício total.

Sílica ativa, também chamada de micro sílica é um subproduto da indução de fornos a arco nas indústrias de silício metálico e ligas de ferrosilício. A redução do quartzo em silício a temperaturas de até 2000°C produz vapores de SiO, que se oxidam e condensam na zona de baixa temperatura do forno em partículas esféricas minúsculas, consistindo em sílica não-cristalina. O material removido pela filtragem dos gases expelidos em filtros manga possui um diâmetro médio da ordem de 0,1 micro metro e área superficial específica entre 15 e 25 m<sup>2</sup>/kg. Comparadas ao

cimento Portland comum cinzas volantes típicas, amostras de sílica ativa mostram distribuições de tamanho de partícula que são duas ordens de grandeza mais finas. O material é altamente pozolânico, mas é de difícil manuseio e aumenta consideravelmente a necessidade de água no concreto, a menos que um alto índice de aditivos redutores de água seja usado.

### **2.3.5.2 Fibras e microfibras**

As fibras e microfibras atuam em geral como controladoras da abertura de fissuras no compósito, pois agem absorvendo e distribuindo as tensões, normalmente de tração nas peças de concreto (BIZ, 2001, p.9).

Dugat, Roux e Bernier (1996) comentam que a incorporação de fibras visa melhorar algumas características do CPR, possibilitando que o concreto consiga absorver outros esforços como os de tração e flexão, dando condições para sua aplicabilidade em elementos estruturais.

No entanto a incorporação de fibras no concreto possui aspectos negativos, pois em quantidades elevadas influencia diretamente na reologia do concreto no estado fresco, modificando sua trabalhabilidade e prejudicando o adensamento, podendo implicar negativamente nas propriedades mecânicas.

No CPR as taxas de fibras variam de 0 a 4%, mas em média são aplicados valores da ordem de 2% também em relação à massa do concreto. Vanderlei (2004, p.49) utilizou fibras de formato reto, 13 mm de comprimento e 0,15mm de diâmetro obtendo bons resultados quanto as características mecânicas e trabalhabilidade.

Vanderlei e Giongo (2006) variaram a taxa de fibras metálicas de 0% a 4% e perceberam que os corpos de prova sem fibras apresentam crescimento na resistência à compressão axial até os 28 dias, permanecendo constante a partir daí.

### **2.3.6 Pega e endurecimento**

Segundo Petrucci, (Concreto de cimento Portland-13 ed. Globo 1998), um cimento misturado com certa quantidade de água, de modo a obter uma pasta plástica, começa a perder esta plasticidade depois de um certo tempo. O tempo que

decorre desde a adição de água até o início das reações com os componentes de cimento é chamado de tempo de *início de pega*.

Este fenômeno de início de pega se evidencia pelo aumento brusco de viscosidade da pasta e pela elevação da temperatura.

Convencionou-se denominar *fim de pega* a situação em que a pasta cessa de ser deformável para pequenas cargas e se torna um bloco rígido.

A seguir, a massa continua a aumentar em coesão e resistência, denominando-se esta fase de *endurecimento*.

A determinação dos tempos de início e fim de pega é importante, pois através deles se tem idéia do tempo disponível para trabalhar, transportar, lançar e adensar argamassas e concretos, bem como transitar sobre eles ou regá-los para execução de cura.

### **2.3.7 Água de amassamento**

É usual dizer-se que toda água que serve para beber pode ser utilizada na confecção de concretos. Isso porque a água usada no amassamento de concreto não deve conter impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre ela e os componentes do cimento. (PETRUCCI,1998)

Os requisitos exigidos para água de amassamento utilizada na produção de concretos de alta resistência são os mesmos adotados para a água utilizada em concretos convencionais; MENDES (2002, p.40); FREITAS (2005, p. 48).

### **2.3.8 Aplicações do concreto de pós-reativos**

O CPR tem várias possibilidades de aplicações. Tem como característica principal capacidades de atingir elevadas resistências a compressão por isso pode ser usado em estruturas de concreto armado em geral, o uso do CPR em estruturas de concreto pode acarretar diminuições consideráveis no peso total da estrutura acarretando em estruturas mais esbeltas de concreto e por consequência reduzindo o consumo de materiais para a confecção do concreto total da obra, reduzindo também os custos, na questão das pontes ou viadutos o uso do CPR com aço

pretendido pode resultar em reduções significativas na espessura do tabuleiro da estrutura da ponte ou viaduto. Pelo fato de se ter uma baixa relação água/cimento é necessário o uso de aditivo superplastificante o que torna o concreto de pós-reativos auto-adensável o que facilita seu uso em diversas estruturas com formas complicadas já que não é necessário o uso de vibrador para seu adensamento. Devido a sua distribuição granulométrica há baixíssima porosidade no concreto possibilitando assim o seu uso em locais marinhos, impedindo o fenômeno da cristalização que é quando a água do mar entra nos poros do concreto e evapora com o calor deixando os sais que cristalizam e aumentam o volume gerando tensões internas no concreto gerando problemas patológicos nas estruturas.

A primeira utilização prática do CPR foi em uma passarela para pedestres em Sherbrook, uma cidade canadense.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo será abordada a metodologia utilizada para elaboração deste trabalho que tem por objetivo ensaiar e comparar vários tipos de cimentos para um determinado traço para confecção de Concreto Pós-Reativos bem como uma explicação sobre os materiais utilizados para fabricação do concreto de pós-reativos. Será apresentado também os procedimentos de preparo, moldagem, cura e rompimento dos corpos de prova.

Serão explicados os resultados dos ensaios realizados para verificação da resistência a compressão, resistência a tração por compressão diametral, e absorção por imersão de acordo com as respectivas normas: NBR 7215/1996; NBR 7222/1994 e NBR 9778/2009.

#### **3.1 Traço experimental do concreto de pós-reativos**

A dosagem do concreto de pós-reativos executado nessa pesquisa foi fornecida pela UTFPR/DACOC.

Foram utilizados 0,75 kg de cimento; 0,112 kg de sílica ativa; 0,32 kg de pó de quartzo; 0,170 kg de água; 0,041 kg de aditivo superplastificante; 0,00188 kg de fibras de polipropileno e areia peneirada em quatro tipos de malhas mais 0,030 kg de fundo, sendo a quantidade de areia por malha: malha 0,6 mm - 0,62 kg; malha 0,3 mm – 0,41 kg; malha 0,15 mm – 0,27 kg e 0,18 kg da malha 0,075 mm. A figura 3 apresenta os materiais já separados em um recipiente de fácil manuseio.



Figura 3 - Materiais separados para a ensaio

### 3.2 Materiais utilizados na confecção do CPR

#### 3.2.1 Cimento

Para as dosagens do concreto utilizado nos ensaios foram usados os cimentos CP-II-Z-32, CP-IV e CP-V-ARI, os quais têm suas especificações citada abaixo pela tabela 5:

Tabela 5 - Resumo das especificações ABNT

Resumo das Especificações da ABNT			
Parâmetros	CP II Z 32	CP IV 32	CP V ARI
Tempo de início de pega (horas)	$\geq 1,0$	$\geq 1,0$	$\geq 1,0$
MgO (%)	$\leq 6,5$	$\leq 6,5$	$\leq 6,5$
Perda ao fogo (%)	$\leq 6,5$	$\leq 4,5$	$\leq 4,5$
Resíduo Insolúvel	$\leq 2,5$	-	$\leq 1,0$
SO <sub>3</sub> (%)	$\leq 4,5$	$\leq 4,0$	*
<b>Resistência à compressão (Mpa)</b>			
1 dia	-	-	$\geq 14,0$
3 dias	$\geq 10,0$	$\geq 10,0$	$\geq 24,0$
7 dias	$\geq 20,0$	$\geq 20,0$	$\geq 34,0$
28 dias	$\geq 32,0$	$\geq 32,0$	-

Fonte: Itambé

Além da constituição química e composição mineralógica, o desempenho de um cimento geralmente é controlado por ensaios físicos. Os principais são: início e fim de pega, finura, massa específica, área específica Blaine e resistência à compressão. Ensaios complementares de significado também são importantes para o desempenho dos cimentos como perda ao fogo e resíduo insolúvel.

O cimento foi pesado em balança de precisão do laboratório da UTFPR. As amostras de cimento eram da Itambé e estavam dentro da validade bem como isentas de umidade.

### **3.2.2 Agregados**

A areia utilizada na confecção dos corpos de prova é de constituição natural, quartzosa, originada das dragagens de rio. Nesta pesquisa foi utilizada areia que passava pela malha 0,6mm devido às características do concreto. O procedimento para obtenção da granulometria adequada para o experimento foi o seguinte: primeiro realizava-se a secagem da areia em estufa por pelo menos 24 horas a uma temperatura de 100°C, depois se aguardava o resfriamento da areia para começar o peneiramento. Foi utilizado o vibrador elétrico para peneirar as frações estabelecidas no traço. A capacidade máxima dessa peneira era de até 3 kg. As malhas utilizadas foram: 0,6mm - 0,3mm - 0,15mm – 0,075mm. A areia do fundo das peneiras também foi utilizada para um melhor empacotamento dos grãos. Esse processo de peneiramento foi repetido por várias vezes até que fosse colhido material suficiente para a produção dos corpos de prova dos pós-reativos.

### **3.2.3 Pó de quartzo**

O pó de quartzo utilizado neste estudo é comercialmente chamado de Sílica Malha 325 e foi fornecido pela UTFPR por meio de doação da Diprotec. Estava em sacos plásticos, isentos de umidade, foi pesado em balança de precisão.

### 3.2.4 Adições

Nos capítulos posteriores serão apresentadas as adições utilizadas no CPR deste estudo.

#### 3.2.4.1 Sílica ativa

Para confecção dos corpos de prova deste trabalho foi utilizada sílica ativa doada pela Universidade de proveniência nacional, suas características atendem a NBR 13956 (ABNT, 1997). Essa sílica estava em sacos de papel Kraft, isenta de umidade e foi pesada em balança de precisão. As características físicas da sílica ativa estão descritas na tabela 6 abaixo:

**Tabela 6 - Características físicas da Sílica Ativa**

Características	Unidade	Resultados
Massa específica	kg/m <sup>3</sup>	2.220
Superfície específica	m <sup>2</sup> /kg	19.000
Diâmetro médio da partícula	µm	0,2

Fonte: Silmix(fabricante)

#### 3.2.4.2 Fibras de polipropileno

No CPR deste trabalho foram utilizadas fibras de polipropileno fornecidas pela UTFPR denominadas FibroMac 12. Estavam em sacos de papel Kraft isenta de umidade e foi pesada em balança de precisão.

#### 3.2.4.3 Aditivo

Neste trabalho foi utilizado o superplastificante MC PowerFlow da empresa MC Bauchemie doado pela empresa Engemix. A dosagem deste aditivo foi feita de acordo com a orientação, o utilizado foi 5,46% que apresentou um bom

resultado de fluidez para moldagem dos corpos de prova. O aditivo estava dentro do prazo de validade, estava armazenado dentro de um frasco de amostras da MC Bauchemie e foi pesado em balança de precisão.

#### **3.2.4.4 Água de amassamento**

Para a confecção dos corpos de prova desse estudo foi utilizado água da SANEPAR, em temperatura de 5°C, pesada em balança de precisão.

### **3.3 Procedimentos para confecção dos corpos de prova para o estudo**

#### **3.3.1 Fatores controláveis**

A fim de fixar parâmetros na elaboração dos ensaios, foram estipulados parâmetros a serem seguidos, visando diminuir fatores aleatórios que possam prejudicar os resultados.

- Água de amassamento com temperatura entre 2°C e 6°C.
- Tempo de pré-cura submersa a 90°C, nos sete primeiros dias.
- Tempo de cura térmica a temperatura ambiente (21°), até atingir 28 dias.
- Idade de 1, 3, 7 e 28 dias para estudo das propriedades mecânicas.

#### **3.3.2 Procedimento de mistura dos materiais**

A pré-mistura dos materiais era feita em um recipiente de água mineral onde todos os materiais secos eram colocados dentro do recipiente então se realizava a pré-mistura, depois de homogeneizada a massa de materiais secos, após a imprimação do recipiente da argamassadeira iniciava-se a colocação do material na bacia da argamassadeira, aos poucos eram colocadas porções pequenas de água, mas para manterem a mistura úmida só no final quando todo

material estava dentro da bacia coloca-se todo o aditivo já mistura com a metade da água total que tinha sobrado, sempre se deixava a metade da água para o final para se conseguir a trabalhabilidade para moldar os corpos de prova, o processo todo não podia passar de 12 minutos e foi obedecida essa orientação. A seguir as figuras 4, 5 e 6 ilustram o procedimento de mistura dos materiais e sua aparência na argamassadeira após concluído o procedimento.



**Figura 4 - Preparação do concreto na argamassadeira**



**Figura 5 - Preparação do concreto na argamassadeira**



**Figura 6 - Aspecto do concreto na argamassadeira**

### **3.3.3 Procedimento de moldagem dos corpos de prova**

Visando facilitar a desforma dos corpos de prova, foi utilizada cera em pasta. A moldagem dos corpos de prova foi executado em fôrma metálica com duas camadas de CPR, com 20 golpes cada uma, conforme ilustrado nas figuras 7, 8 e 9.

Foi utilizada uma placa de vidro temperado de 8,0 mm de espessura e 100 x 100 mm de lado, depositado sobre os corpos de prova, movendo-os em forma circular e simultânea aplicando pressão de cima para baixo, a fim de planificar a superfície e retirar o excesso de material e ar. As placas de vidro utilizadas, conforme figura 7, impedem a perda acentuada de água da mistura por evaporação para o ambiente, conforme prescreve a NBR 5738 (ABNT, 2003) item 8.1.1, além de diminuir a retração superficial do corpo de prova.

A quantidade de corpos de prova que foram feitas para o estudo foi de 54 corpos de prova de dimensões 50x100mm.



**Figura 7- Moldes para corpo de prova**



**Figura 8 - Preparação dos corpos de prova**



**Figura 9 - Moldagem dos corpos de prova**

### **3.3.4 Procedimento de desforma dos corpos de prova**

Todos os corpos de prova foram desformados 24 horas após a moldagem e colocados em cura térmica.

### 3.3.5 Procedimento de cura dos corpos de prova

O procedimento de cura do concreto foi realizado em efeito de cura térmica em tanque de água, em uma temperatura de 90°C aos sete primeiros dias, seguindo-se de temperatura ambiente (21C°) até atingir os 28 dias. Nas figuras 10 e 11 é possível observar como é realizada a cura.



Figura 10 - Cura térmica a 90°C



Figura 11 - Cura em temperatura ambiente

### 3.3.6 Procedimento de rompimentos dos corpos de prova

O concreto estudado neste trabalho foi submetido ao ensaio de resistência à compressão axial, nas seguintes idades: 1, 3, 7 e 28 dias, e também submetido ao ensaio de compressão diametral e absorção por imersão aos 28 dias. A figura 12 apresenta o rompimento de um corpo de prova com 24 horas de idade.



Figura 12 - Rompimento a compressão do corpo de prova

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

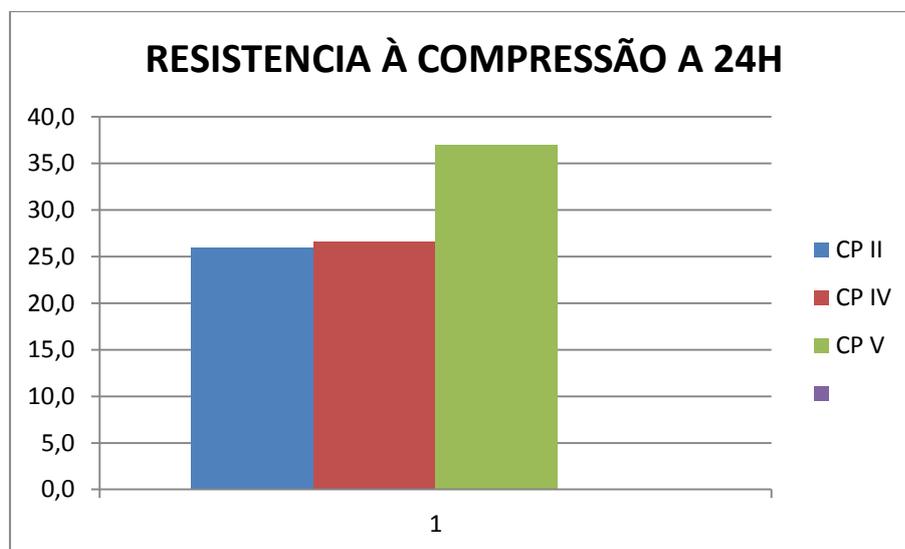
Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios executados.

A tabela 07 apresenta os resultados de resistência à compressão axial com 24 horas de idade dos três tipos de cimento ensaiados. A média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (cv) também podem ser observados na tabela a baixo.

**Tabela 7 - Valores de resistência à compressão com 24 horas**

<b>24H</b>			
	CP II Z - 32	CP IV - 32	CP V - 40
CP1	27,1	29,6	40,4
CP2	28,2	24,5	46,4
CP3	22,8	25,8	24,2
MEDIA	26,0	26,6	37,0
DESVIO	2,9	2,7	11,5
<u>CV</u>	<u>0,1</u>	<u>0,1</u>	<u>0,3</u>

A figura 13 apresenta as médias dos resultados obtidos nos rompimentos com 24 horas de idade, deixando claro que o cimento CPV ARI atingiu resultado 30% a cima dos demais cimentos, como já esperado devido à característica do cimento de alta resistência inicial.



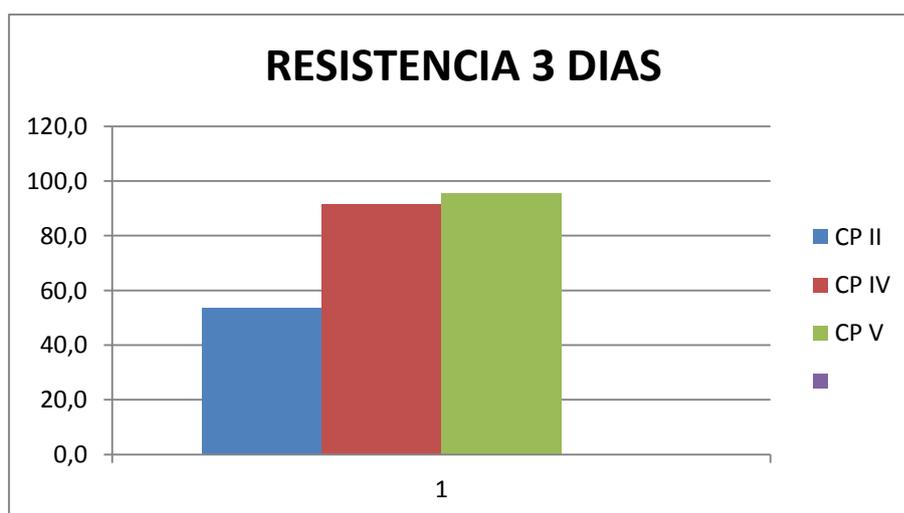
**Figura 13 - Média da resistência à compressão axial com 24 horas**

A tabela 08 apresenta os resultados de resistência à compressão axial com três dias de idade dos três tipos de cimento ensaiados. A média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (cv) também podem ser observados na tabela a baixo.

**Tabela 8 - Valores de resistência à compressão com 3 dias**

<b>3 Dias</b>			
	CP II Z - 32	CP IV - 32	CP V - 40
CP1	46,3	95,8	91,8
CP2	49,5	87,1	96,1
CP3	65,2	91,3	98,6
MEDIA	53,7	91,4	95,5
DESVIO	10,1	4,4	3,4
CV	0,2	0,0	0,0

A figura 14 apresenta as médias dos resultados obtidos nos rompimentos com três dias de idade. Para essa idade, além do CPV ARI o CPIV também atingiu resistência elevada, com apenas 4,1% de diferença. Este feito do CPIV pode-se justificar devido ao efeito pozolânico somado a cura térmica.



**Figura 14 - Média da resistência à compressão axial com três dias**

A tabela 09 apresenta os resultados de resistência à compressão axial com sete dias de idade dos três tipos de cimento ensaiados. A média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (cv) também podem ser observados na tabela a baixo.

**Tabela 9 - Valores de resistência à compressão com sete dias**

7 Dias			
	CP II Z – 32	CP IV – 32	CP V - 40
CP1	92,6	139,2	100,9
CP2	78,2	94,0	120,0
CP3	78,9	100,3	78,0
MEDIA	83,2	111,2	99,6
DESVIO	8,1	24,5	21,0
CV	0,1	0,2	0,2

A figura 15 apresenta as médias dos resultados obtidos nos rompimentos com sete dias de idade. Neste caso, o CPIV alcançou a maior resistência média com 111,2 MPa. Superando os demais em até 10% a mais no resultado final.



**Figura 15 - Média da resistência à compressão axial com sete dias**

A tabela 10 apresenta os resultados de resistência à compressão axial com vinte e oito dias de idade dos três tipos de cimento ensaiados. A média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (cv) também podem ser observados na tabela a baixo.

**Tabela 10 - Valores de resistência à compressão com vinte e oito dias**

<b>28D</b>			
	CP II Z - 32	CP IV - 32	CP V - 40
CP1	62,5	96,6	65,7
CP 2	77,9	98,8	91,7
CP 3	97,2	96,9	96,5
CP 4	81,9	83,6	96,5
CP 5	81	104,4	72,6
CP 6	61,5	54,9	103,7
MEDIA	77,0	89,2	87,8
DESVIO	13,4	18,1	15,1
CV	0,2	0,2	0,2

A figura 16 apresenta as médias dos resultados obtidos nos rompimentos com 28 dias de idade. Onde os cimentos CPIV e CPV não apresentam grandes diferenças.



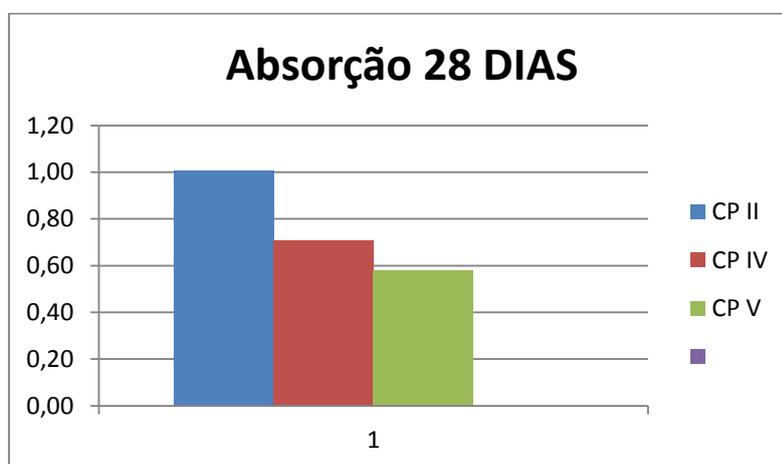
**Figura 16 - Média da resistência à compressão axial com vinte e oito dias**

A tabela 11 apresenta os resultados de absorção com vinte e oito dias de idade dos três tipos de cimento ensaiados. A média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (cv) também podem ser observados na tabela a baixo.

**Tabela 11 - Índices de absorção com vinte e oito dias**

ABSORÇÃO			
	CP II Z - 32	CP IV - 32	CP V - 40
CP1	1,12	0,66	0,58
CP2	0,92	0,79	0,65
CP3	0,98	0,67	0,51
MEDIA	1,01	0,71	0,58
DESVIO	0,10	0,07	0,07
CV	0,10	0,10	0,12

A figura 17 apresenta as médias dos resultados obtidos nos rompimentos com 28 dias de idade. O CPlI supera os outros cimentos em até 43%. Ainda assim as porcentagens de absorção são inferiores aos concretos convencionais.



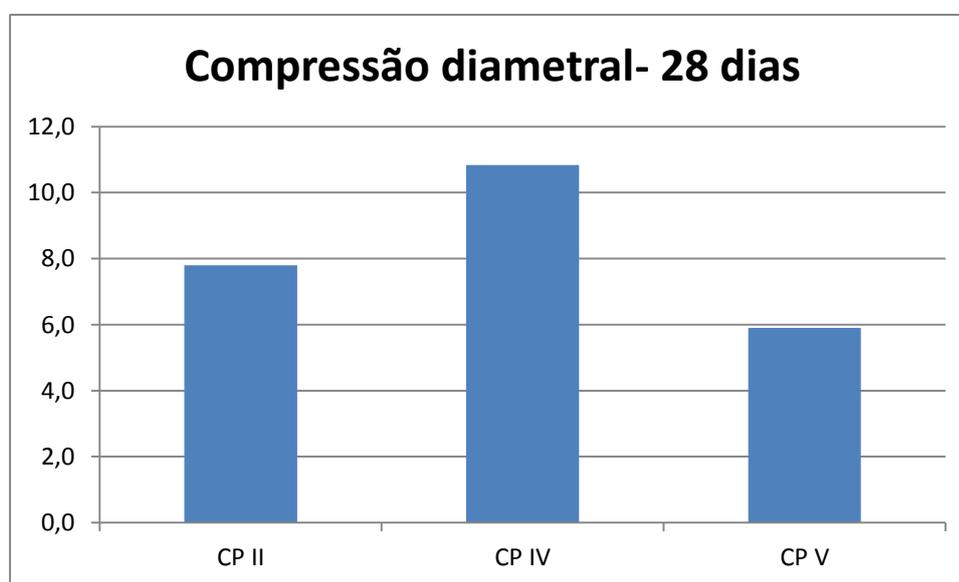
**Figura 17 - Média dos índices de absorção com vinte e oito dias**

A tabela 12 apresenta os resultados de compressão diametral com vinte e oito dias de idade dos três tipos de cimento ensaiados. A média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (cv) também podem ser observados na tabela a baixo.

**Tabela 12 - Resultado de compressão diametral com vinte e oito dias**

<b>COMPRESSÃO DIAMETRAL</b>			
	CP II Z - 32	CP IV - 32	CP V - 40
CP1	6,0	10,9	7,0
CP2	7,4	11,5	5,2
CP3	10,0	10,1	5,5
MEDIA	7,8	10,8	5,9
DESVIO	2,0	0,7	1,0
CV	0,3	0,1	0,2

A figura 18 apresenta as médias dos resultados obtidos nos rompimentos com 28 dias de idade. O CPIV atinge o maior resultado com 10,8 MPa.



**Figura 18 - Média dos resultados de compressão diametral com vinte e oito dias**

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusões

Neste trabalho foi feito um estudo sobre o concreto de pós-reativos (CPR), abordando um pouco sobre sua história e benefícios de sua utilização nas construções no mundo. Em países desenvolvidos esse concreto já começa a ser utilizado com mais frequência trazendo grandes vantagens ao seu uso. Mas o objetivo principal desse estudo foi a comparação do desempenho através de ensaios de resistência à compressão, compressão diametral e índice de absorção para um determinado traço de CPR com a utilização de três tipos de cimento disponíveis no mercado brasileiro, sendo eles: CP II-Z 32, CP IV 32 e CP V 40 . Os resultados obtidos mostram que houve pouca diferença nos valores de resistência a compressão para os cimentos empregados nas misturas, nas primeiras vinte e quatro horas a maior resistência foi do cimento CP-V 40, resultado já esperado pela peculiaridade desse cimento de atingir altas resistências nos primeiros dias, já na resistência a compressão aos vinte e oito dias o melhor resultado foi do cimento CP-IV 32, propriedade resultante de materiais pozolânicos presentes na composição do cimento o que explica o aumento da resistência à compressão em idades avançadas. Os três tipos de cimento tiveram resultados para índice de absorção, satisfatório para esse concreto. De acordo com todos os resultados apresentados, pode-se dizer que o CPIV 32 é o melhor tipo de cimento para a execução do concreto de pós-reativos, apresentando maior resistência à compressão nas idades de sete e depois em vinte e oito dias. Realmente como observado nesse estudo esse concreto pode chegar a elevadas resistências tanto nas suas primeiras idades como nas últimas, segundo apresentado nas tabelas anteriores. Sem contar que o resultado de índice de absorção mostra que esse concreto é praticamente impermeável gerando maior durabilidade já que sua microestrutura sofre menos com ataques por agentes agressivos e ciclo gelo-degelo. Além do mais, com a utilização desse concreto não haverá tantos problemas com recuperação de patologias nas estruturas de concreto, pois significativas quantidades de cimento não hidratado no produto acabado dá ao material um potencial de se auto recuperar de micro fissuras. Esse concreto é sem dúvida uma grande alternativa para as construções futuras que

exijirão qualidades ainda maiores dos materiais constituintes da sua estrutura e com o menor impacto ambiental.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

No decorrer do trabalho surgirão algumas dúvidas e dificuldades. Pensando em aprimorar essas questões, algumas vertentes de estudos relativos ao assunto de concreto de pós-reativos, podem ser ressaltadas:

- Estudar o motivo da resistência à compressão diminuir ao atingir 28 dias.
- Avaliação econômica comparando a utilização do concreto CPR com a diminuição de reforços de aço e reparos em estrutura.
- Utilizar areias artificiais, na confecção do CPR, que são utilizadas na produção de concreto de alto desempenho pelas centrais dosadoras de concreto, buscando uma alternativa de redução de cimento na proporção do traço e conseqüentemente uma redução de custos do produto final.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 5737: Cimentos Portlands resistentes à sulfatos. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. NBR 5738 – Modelagem e cura de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR 7215. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

\_\_\_\_\_. NBR 7222: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro 1994.

\_\_\_\_\_. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção da água. Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 11578: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. NBR 11768: Aditivos para concretos de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992

\_\_\_\_\_. NBR 13956: Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland – Especificação. Rio de Janeiro, 1997.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard Specification for Portland Cement**. ASTM C150. In: Annual book of ASTM Standards. West Conshohocken, 2010.

BINA, P.. **Concretos de pós reativos: uma revolução no conceito do concreto**. Disponível em <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/38/artigo32152-1.asp>. Acesso em 04 de Agosto de 2011.

BINA, P.. **Força pós-reativa.** . Disponível em

<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/forca-pos-reativa-86154-1.asp>.

Acesso em 19 de setembro de 2011.

BIZ, C. E.. **Concreto de pós reativos.** Dissertação (Mestrado). UEC. Campinas, 118 p, 2001.

CESAR, A. A.; VALENTIM, J. N.. **Dosagem de Concreto de Pó Reativo CPR.**

Disponível em

[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2009/anais/arquivos/0587\\_0978\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/0587_0978_01.pdf).

Acesso em 02 de Agosto de 2011.

DUGAT J.; ROUX N.; BERNIER G.. **Mechanical Properties of Reactive Powder Concretes, Materials and Structures** – Vol. 29, p.233 – 240,1996.

FREITAS, J. de A. Jr.. **Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem para concretos de Alta resistência com o uso de Materiais Disponíveis na Região Metropolitana de Curitiba.** Dissertação (Mestrado), ST/PPEC/UFPR. Curitiba, 133 p, 2005.

HARTMANN, C. T.; HELENE, P. R. L.. **Pilares com fc 125 MPa: Record mundial em concreto de alto desempenho colorido.** 10 p, 2003.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. R.. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: PINI, 300 p, 1993.

HENCHE, D. ; ALESSI, E.. **Concreto de Pós-Reativos: Parâmetros de Dosagem e Propriedades. Trabalho de Conclusão de Curso,** UTFPR, 2011.

KAEFER, L. F.. **A evolução do concreto armado. PEF 5707 – Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos.** São Paulo- SP, 1998.

MARTIN, J. F. M. **Aditivos para Concreto. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações,** IBRACON, São Paulo, 2005.

MENDES, S. E. da S.. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba.** Curitiba, PR. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, UFPR, 2002.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 1° ed.** São Paulo: IBRACON, 674 p, 2008.

NEVILLE, A.M.. **Propriedades do Concreto.** Tradução Salvador E. Giammusso, São Paulo, ed. PINI, 1997 a.

PETRUCCI, E. G. R.; PAULON, V. A.. **Concreto de cimento Portland. 13° ed.** São Paulo: Editora Globo S.A, 307 p, 1998.

Site web 1. **Concreto de ultra-alto desempenho.** Disponível em <http://petcivilufjf.wordpress.com/2010/08/17/inovacao-em-concreto/>. Acesso em 19 de setembro de 2011.

Site web 2. **Novas tecnologias em concreto.** Disponível em [http://www.dcc.ufpr.br/wiki/images/9/94/TC031\\_Novas\\_tecnologiasA.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/wiki/images/9/94/TC031_Novas_tecnologiasA.pdf). Acesso em 29 de julho de 2012.

Site web 3. . RIOS, A. V.. **Aglomerantes.** Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/58249640/Aglomerantes>. Acesso em 03 de julho de 2012.

SOUZA, J. de; PEREIRA, L. A.; BIANCHINI, M.. **Avaliação da influência de altas dosagens de aditivo polifuncional em concreto dosado em central. Estudo de caso – Sul do Brasil.** In: 48º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2006. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.markengenharia.com.br/artigos/48CBC0242.pdf>. Acesso em 27 de setembro de 2011.

TOKUDOME, N.. **Concreto de alto desempenho já é passado.** Disponível em <http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/concreto-de-alto-desempenho-ja-e-passado/>. Acesso em 02 de agosto de 2012.

VANDERLEI, R. D.; GIONGO S. J.. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas.** Cadernos de Engenharia de estruturas, São Carlos, vol. 8, nº 33, p.115-148, 2006.