

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES

ANDRIELLI CRISTINA SIQUEIRA

**USO DE CONCRETO DE PÓS REATIVOS EM REFORÇO DE VIGA
BIAPOIADA SUJEITA A TENSÕES DE FLEXÃO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

ANDRIELLI CRISTINA SIQUEIRA

**USO DE CONCRETO DE PÓS-REATIVOS EM REFORÇO DE VIGA
BIAPOIADA SUJEITA A TENSÕES DE FLEXÃO**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Patologia das Construções.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Mazer.

CURITIBA

2017

ANDRIELLI CRISTINA SIQUEIRA

**USO DE CONCRETO DE PÓS REATIVOS EM REFORÇO DE VIGA
BIAPOIADA SUJEITA A TENSÕES DE FLEXÃO**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Patologia das Construções, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Banca:

Prof. Dr. Wellington Mazer (orientador)
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. Dr. Aduino José Miranda de Lima
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. Dr. Arthur Medeiros
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba
2017

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

DEDICATÓRIA

A Deus, por estar presente na minha vida;

À minha filha Giovanna Siqueira do Prado, por compreender a importância dessa conquista e aceitar a minha ausência;

Aos meus pais, João do Rocil Alexandre e Veronica de Fatima Siqueira, por acreditarem na minha capacidade;

A Elisangela Bezerra da Silva Merini (*in memoriam*) por acreditar no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. Wellington Mazer pela sugestão do tema, pela paciência, dedicação e atenção, agradeço pela experiência compartilhada para tornar esse trabalho possível.

Ao meu amigo e colega de trabalho Engenheiro Fabricio Cunha de Andrade, por acreditar neste trabalho e me apoiar.

RESUMO

SIQUEIRA, Andrielli C.; Uso de concreto de pós reativos em reforço de viga biapoiada sujeita a tensões de flexão. 2017. 46 fl. Monografia apresentada a especialização em Patologia das Construções – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

O objetivo principal desse estudo foi realizar uma análise comparativa entre a resistência das vigas de concreto armado convencional e vigas de concreto armado reforçadas com uma capa de três centímetros de concreto de pós reativos (CPR). Analisou-se também o comportamento da estrutura com o uso de ponte de aderência entre os tipos de concreto. Pode-se citar como vantagens do CPR pouca porosidade e permeabilidade, conferido um aumento de resistência à agentes agressivos. Existe uma carência a respeito do comportamento de peças reforçadas com CPR e o comportamento da junta fria quando aplicado ponte de aderência em resina sintética. Dentro desse contexto, este trabalho se propõe, a partir de ensaios mecânicos realizados, apresentar o desempenho dos concretos reforçados com CPR. Os resultados dos ensaios indicaram que o reforço tem um comportamento superior quando submetido à tração. Em relação ao uso da ponte de aderência, esse não se mostrou eficaz nas alternativas estudadas.

Palavras chave: CPR, Reforço em vigas

ABSTRACT

SIQUEIRA, Andrielli C .; Use of reactive powders concrete in biapoided reinforcement subjected to bending stresses. 2017. 46 fl. Monograph presents a specialization in Pathology of Constructions - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017.

The main objective of this study was to perform a comparative analysis between a strength of the armadas with conventional armadas and reinforcing beams reinforced with a layer of three centimeters of concrete of reactive powders (CPR). The behavior of the structure with the use of adhesion bridge between concrete types was also analyzed. It is possible to mention as advantages of CPR low porosity and permeability, conferred an increase of resistance to aggressive agents. There is a lack of respect for the behavior of reinforced parts with CPR and the behavior of the cold joint when applied adhesion bridge in synthetic resin. Within this context, this work proposes, based on mechanical tests, to present the performance of concretes reinforced with CPR. The results of the tests indicated the re-growth of a superior behavior when subjected to traction. In relation to the use of the adhesion bridge, this is not shown better in the alternatives studied.

Keywords: RPC, Reinforcement in beams

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfis distintos para a mesma capacidade portante	13
Figura 2 – Passarela de Sherbrooke, Canadá, 1997	14
Figura 3 – Passarela em Seoul, Coréia do Sul	14
Figura 4 – Posto de pedágio do Viaduto de Millau	15
Figura 5 – Uso de perfis laminados em reforço de vigas	17
Figura 6 – Uso de fibra de carbono em reforço de vigas	18
Figura 7 – Reforço com acréscimo de concreto armado	19
Figura 8 – Método utilizado	30
Figura 9 – Modelo de viga submetida ao ensaio	31
Figura 10 – Esquema de ensaio e corte transversal da viga	32
Figura 11 – Alt. 1 – V2 – Viga referência	33
Figura 12 – Alt. 1 – V3 - Viga referência	33
Figura 13 – Alt. 2 – V1 – CPR na região de compressão com ponte de aderência em resina sintética	33
Figura 14 – Alt. 2 – V2 - CPR na região de compressão com ponte de aderência em resina sintética	34
Figura 15 – Alt. 2 – V3 - CPR na região de compressão com ponte de aderência em resina sintética	34
Figura 16 – Alt. 3 – V1 - CPR na região de tração com ponte de aderência em resina sintética	34
Figura 17 – Alt. 3 – V2 - CPR na região de compressão com ponte de aderência em resina sintética	35
Figura 18 – Alt. 3 – V3 - CPR na região de tração com ponte de aderência em resina sintética	35
Figura 19 – Alt. 4 – V1 - CPR na região de compressão sem ponte de aderência em resina sintética	35
Figura 20 – Alt. 4 – V2 - CPR na região de compressão sem ponte de aderência em resina sintética	36
Figura 21 – Alt. 5 – V1 - CPR na região de tração sem ponte de aderência em resina sintética	36
Figura 22 – Alt. 5 – V2 - CPR na região de tração sem ponte de aderência em resina sintética	36

Figura 23 – Alt. 5 – V3 - CPR na região de tração sem ponte de aderência em resina sintética 37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dosagens do CPR, concreto convencional e CAD	25
Tabela 2 – Parâmetros do cimento CP V-ARI	26
Tabela 3 – Traço utilizado no CPR	27
Tabela 4 – Alternativa 1 – Viga molde	37
Tabela 5 – Alt. 5 e 3 – Ensaio com CPR na região de compressão da viga	38
Tabela 6 – Alt. 2 e 4 – Ensaio com CPR na região de tração da viga	38
Tabela 7 – Tensões médias de cisalhamento	39
Tabela 8 – Força máxima e tensão de ruptura	39

SIGLAS E UNIDADES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CC	Concreto Convencional
CPR	Concreto Pós Reativo
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
CAR	Concretos de Alta Resistência
CAD	Concretos de Alto Desempenho
CFC	Compósito de Fibra de Carbono
CUAD	Concreto Ultra-Alto Desempenho
cm	Centímetro
cp	Corpo de prova
CP	Cimento Portland
CV(%)	Coeficiente de variação em porcentagem
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
FIHP	<i>Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado</i>
FRP	<i>Fibre Reinforced Polymers</i>
µm	Micrometro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	JUSTIFICATIVA	15
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1	Métodos de reforço estudados	16
3.1.1	Adição de chapas e perfis metálicos	17
3.1.2	Fibra de carbono	18
3.1.3	Reforço com aumento de seção do concreto	19
3.2	Concreto Convencional	20
3.3	Concreto de Pós Reativos	20
3.3.1	Materiais constituintes	21
3.3.1.1	Cimento	21
3.3.1.2	Pó de quartzo	21
3.3.1.3	Areia	22
3.3.1.4	Superplastificante	22
3.3.1.5	Adições minerais	22
3.3.1.6	Fibras	23
3.3.2	Preparo	23
3.3.3	Propriedades	24
3.3.4	Dosagem	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	Pós Reativos	25
4.1.1	Materiais utilizados e dosagem	25
4.1.2	Moldagem	27
4.1.3	Cura	28

4.1.4	Ensaio	28
4.2	Concreto Convencional	28
4.2.1	Equipamentos Utilizados	29
4.2.2	Métodos	29
4.2.3	Moldagem	31
4.2.4	Cura	31
4.2.5	Ensaio	32
5.1	Resultados dos Ensaios de Compressão	39
5.2	Ligação entre CC e CPR com uso de ponte de aderência	40
6	CONCLUSÃO	40

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o segundo material mais consumido no mundo tendo valor inferior apenas ao consumo da água. Segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), estima-se que esse consumo chega a 11 bilhões de toneladas por ano, em torno de 1,9 tonelada de concreto por habitante anualmente. No Brasil são cerca de 30 milhões de metros cúbicos que sai das centrais dosadoras. Com seu uso amplamente disseminado, pode-se utilizar em casas de alvenaria, rodovias, pontes, nos edifícios mais altos do mundo, torres de resfriamento, usinas hidrelétricas e nucleares, obras de saneamento e até em plataformas de extração petrolífera móveis (IBRACON, 2009).

Os concreto de pós reativos (CPR) são aplicados em elementos estruturais, suas partículas possuem diâmetro máximo menor que 2 mm. Adicionando fibras à sua composição, o material oferece grandes resistências à tração, compressão e à flexão (GIONGO; VANDERLEI, 2006). Segundo Richard et al.,(1995 apud Biz, 2001) o CPR pode atingir resistência à compressão de até 800 MPa quando aplicado a cura térmica e a cura em autoclave.

Faz-se necessário um domínio da técnica de produção e aplicação do material no uso de CPR para explorar de forma segura e clara o seu potencial (JUNIOR; PAULON, 2001).

Segundo Beneton et al., (2014), atualmente há uma necessidade de garantir nas edificações a durabilidade e a minimização do consumo de energia, e não somente assegurar a resistência aos esforços solicitantes. Com a intenção de atender os requisitos de durabilidade que o Concreto de Alto Desempenho (CAD) foi desenvolvido, a resistência a compressão do CAD que atinge valores em média de 60 a 150 MPa, valores expressivos tendo em vista que concreto convencional é produzido na faixa de 25 à 59 MPa. O CPR se apresenta como uma evolução do CAD e possui as seguintes características segundo Beneton et al., (2014):

Resistência à compressão até 810 MPa (utilizando agregado de aço); resistência à flexão de até 141 MPa (utilizando fibras de aço); módulo de Young (E) entre 50 e 80 GPa; energia de fratura entre 1200 e 40.000 J/m². O Concreto de Pós Reativos é composto basicamente por: areia de quartzo, com diâmetro entre 150 e 600 µm; cimento Portland com baixo teor de C_3A e baixa área específica (Blaine); fibras de aço com pequeno diâmetro, por

volta de 0,2 mm; superplastificantes de alta eficiência, também chamados de hiperplastificantes.

Tais propriedades conferem aos elementos estruturais uma redução na seção e no peso da estrutura, conseqüentemente otimiza os projetos estruturais. Segundo Blais e Couture (1999 apud Fávero; Tutikian, 2013), o CPR não pode ser comparado ao concreto convencional, devido aos altos custos envolvidos, também não é vantajoso substituir onde as estruturas de concreto convencionais forem economicamente viáveis. Ainda de acordo com Dauriac (1997 apud Fávero; Tutikian, 2013), o CPR possui características únicas em relação ao concreto convencional (CC), tais como resistência à compressão de seis a oito vezes maiores e tração e flexão cerca de dez vezes maior, com isso o CPR compete diretamente com estruturas de aço. A Figura 1 apresenta a mesma capacidade de carga para diferentes seções de vigas e materiais.

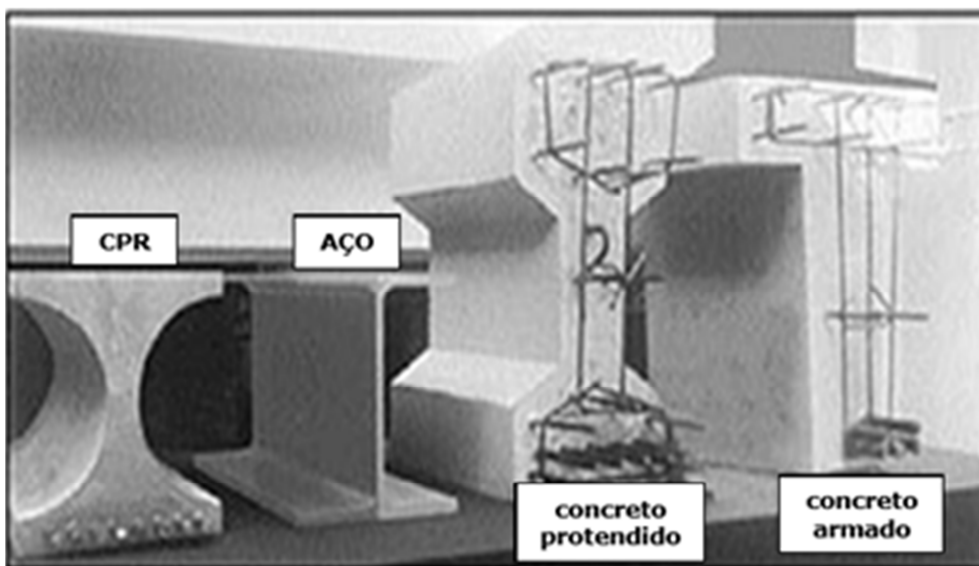


Figura 1 – Perfis distintos para a mesma capacidade portante

Fonte: (DAURIAC (1997 APUD FÁVERO; TUTIKIAN, 2013))

O concreto de pós reativos já é utilizado em algumas obras, sendo possível citar: A passarela de Sherbrook (Figura 2), construída no Canadá foi o primeiro exemplo do uso do CPR, projetada em 1997, teve a assessoria do professor Pierre Claude Aïtcin, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Sherbrooke. O projeto uniu as técnicas de protensão com o uso de concreto de pós reativos. O CPR possui uma elevada resistência à compressão, resultando em uma estrutura leve, esbelta, pré-fabricada e montada no local. Possui

resistência à compressão de 200 MPa, 60 metros de comprimento por três metros de largura (BIZ, 2001; MOURA, 2009).

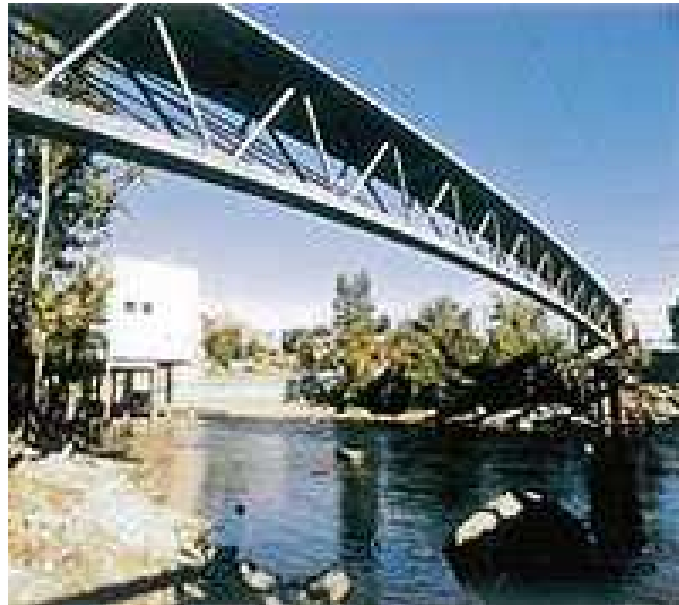


Figura 2 – Passarela de Sherbrooke, Canadá, 1997

Fonte: (MOURA, 2009)

A passarela para pedestres em Seoul na Coréia do Sul também foi realizada em CPR, inaugurada em 2002, ela possui 120 metros de vão livre e tabuleiro de 3 centímetros (Figura 3). Outra obra executada em CPR foi o posto de pedágio do Viaduto de Millau (Figura 4), com 98 metros de comprimento e 28 metros de largura (HELENE; TUTIKIAN; ISAIA, 2011).



Figura 3 – Passarela em Seoul, Coréia do Sul

Fonte: ARCHI EXPO, 2017



Figura 4 – Posto de pedágio do Viaduto de Millau

Fonte: (HELENE; ISAIA; TUTIKAN, 2011)

De forma geral, estudos sobre concreto de pós reativos ainda são escassos no Brasil e sua aplicação é muito limitada. Dentro desse contexto, este trabalho busca estudar o comportamento de peças reforçadas com CPR, sem a utilização de processos de compactação, curas térmicas e úmidas e avaliar a ligação entre o concreto existente e o novo.

2 JUSTIFICATIVA

O concreto armado, conjunto do aço com o concreto, é amplamente dominado e bem utilizado. Contudo as estruturas estão cada vez mais arrojadas em concreto armado e pretendido, o concreto convencional não atende mais aos requisitos tornando-se essencial desenvolver misturas especiais com propriedades superiores ao Concreto Convencional (CC), chamadas de Concretos de Alta Resistência (CAR), Concretos de Alto Desempenho (CAD) e até Ultra-Alto Desempenho (CUAD) que possui como principal representante o Concreto de Pós Reativos (CPR) (HELENE, 2011).

Os primeiros estudos com concreto que poderiam atingir resistências à compressão de até 200 MPa datam de 1972-1973, descoberto por Brunauer (HELENE, 2011). No cenário internacional o CPR já vem sendo utilizado desde o fim da década de 1980. Em obras de características específicas em que o concreto convencional não atende e que são requeridas características como durabilidade, leveza, estética e elevada resistência já são utilizados na Europa, Estados Unidos e Japão. No Brasil, no entanto, necessita-se de mais estudos e aplicações práticas. O presente trabalho visa aprimorar os conhecimentos referentes ao uso do Concreto

Pós Reativos, seu comportamento em reforço estrutural em vigas biapoiadas sujeitas a flexão e compressão.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do trabalho é avaliar o comportamento de vigas de concreto armado convencionais com reforço de concreto de pós reativos, submetidas às solicitações normais até o estado limite último de utilização comparando com uma viga de concreto armado convencional sem reforço ao esforço de flexão.

2.2 Objetivos Específicos

Verificar o comportamento do CPR na região de concreto comprimido e na região tracionada;

Analisar as propriedades mecânicas de compressão e tração na flexão quando utilizado reforço estrutural com CPR;

Verificar a aderência entre o Concreto Convencional e o CPR.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentados alguns métodos de reforço estudados na seção 3.1, as seções 3.1.1 a seção 3.1.3 expõem um contexto geral sobre os métodos utilizados, mostrando as indicações e ressalvas quanto à utilização de cada método. Na seção 3.2 contextualiza-se o concreto convencional assim como na seção subsequente (3.3) se faz com o CPR.

3.1 Métodos de reforço estudados

Os motivos pelos quais são necessários trabalhos de reforço em uma estrutura de concreto ou em um ou mais de seus elementos estruturais são os seguintes: correção de falhas de projeto ou de execução, aumento da capacidade portante da estrutura, para permitir modificações em seu uso, regeneração da capacidade portante, diminuída em virtude de acidentes (choques, incêndios, etc.) ou de desgaste ou deterioração e modificação da concepção estrutural, como o corte de viga, por exemplo, por necessidade arquitetônica ou de utilização (SOUZA; RIPPER, 1998)

Falhas podem ocorrer nas vigas de concreto armado sendo necessário o seu reforço. O reforço pode ser frente à flexão ou ao esforço cortante. A falha na flexão pode ser por falta de armadura de tração ou falta de capacidade de resistência à compressão do concreto (CÁNOVAS, 1988).

3.1.1 Adição de chapas e perfis metálicos

Para o aumento da capacidade quando não se desejam grandes alterações na geometria das peças resistentes e existe urgência, o reforço exterior por colagem, ou chumbamento, de chapas metálicas aparece como uma opção muito eficiente e de rápida execução. Em termos de concepção, a técnica é simples, mas exige um rigor executivo e procedimento prévio de cálculo cuidadoso tanto para chapas quanto para perfis (SOUZA; RIPPER, 1998).

Segundo Cánovas (1988), reforço por meio de perfis metálicos é uma das técnicas mais antigas no campo dos reforços, contudo o autor salienta que como o reforço não trabalha nas condições para qual foi projetado, efeitos secundários indesejados podem aparecer nas estruturas. Com isso o reforço pode não atender a sua missão e ainda debilitar elementos que estavam sãos. Elementos metálicos laminados podem ser utilizados em reforços de vigas para resistirem à flexão e ao esforço cortante. Podem-se utilizar presilhas de aço na parte inferior da viga para reforço, esse tipo de reforço nem sempre é possível, não existindo aderência entre o concreto aço essa solução não é recomendável. A Figura 5 apresenta o reforço de vigas com uso de perfis laminados.

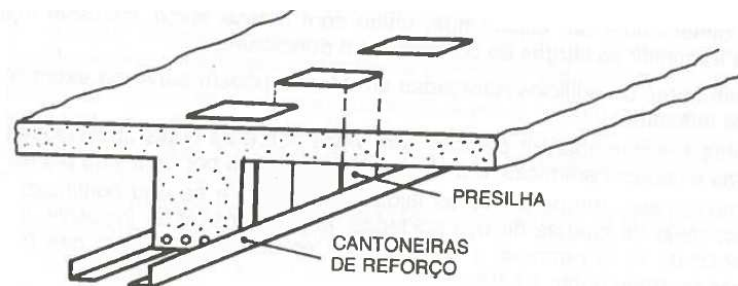


Figura 5 – Uso de perfis laminados em reforço de vigas

Fonte: (CÁNOVAS, 1988)

3.1.2 Fibra de carbono

Segundo Beber (2003), em virtude do alto desempenho mecânico das fibras de carbono, este se mostra o mais apropriado para o reforço de elementos de concreto armado, reduzindo as dimensões dos elementos empregados para este fim.

Segundo Schwartz (1984 apud Reis, 1998) as características das fibras de carbono são baixo peso, alta resistência e grande rigidez. A orientação das fibras influencia no alto módulo de elasticidade e de certa forma, na alta resistência.

Beber (2003) cita algumas propriedades dos compósitos de CFC (Compósito de Fibra de Carbono) ou FRP (*Fibre Reinforced Polymers*) elevada resistência e rigidez, apresentam em média módulo de elasticidade entre 230 e 640 GPa e resistência entre 1500 e 5000 MPa, possui também grande resistência à fadiga, superior à resistência dos metais e outros compósitos, quanto à fluência o seu comportamento pode ser comparado aos aços de baixa relaxação. A expansão térmica é dependente do tipo de fibra e matriz, geometria da fibra e fração volumétrica, os compósitos podem ser construídos para atender a uma necessidade específica.

Cánovas (1988) salienta que é comum se trabalhar com fibras de carbono de elevada resistência à tração e com módulo de elasticidade semelhante ao do aço de construção para a utilização como reforço em estruturas. A Figura 6 apresenta o reforço em vigas com o uso de fibras de carbono.



Figura 6 – Uso de fibra de carbono em reforço de vigas

Fonte: CORSINI, 2012

3.1.3 Reforço com aumento de seção do concreto

O reforço em concreto armado é muito utilizado devido principalmente em relação as vantagens econômicas, rapidez na execução e na maior parte das vezes sem efeitos secundários. Executada de forma correta a eficiência é muito boa, contudo esse tipo de reforço produz elementos finais com dimensões muito superiores às de projeto inicial. É necessário também esperar um tempo até que o elemento reforçado tenha idade e a resistência necessárias adequada às novas solicitações.

As vigas são reforçadas frente à flexão e aos esforços cortantes. A falha pode ter várias causas no caso da flexão, pode ser por falta de armadura à tração, erro de projeto ou execução ou os dois simultâneos, o reforço pode ser em função de se aumentar a capacidade resistente da viga para suportar cargas superiores.

Em relação aos esforços cortantes, a falha pode ser por má colocação da armadura transversal, por erro de cálculo ou execução ou, ainda, pode ser em função do aumento de sobrecargas (CÁNOVAS, 1988). A Figura 7 mostra o reforço com acréscimo de concreto armado.

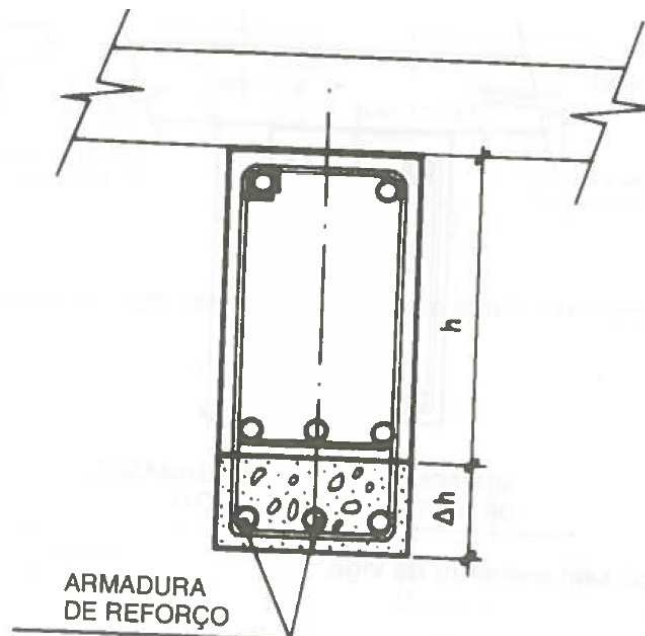


Figura 7 – Reforço com acréscimo de concreto armado

Fonte: (CÁNOVAS, 1988)

3.2 Concreto Convencional

O concreto é um material composto de água, cimento, agregado miúdo e graúdo. Os agregados são utilizados para reduzir custo sem que a qualidade do material seja prejudicada, já que o cimento é um material caro. O concreto tem boa resistência à compressão, porém resiste pouco a tração, cerca de um décimo da resistência à compressão, por isso não é adequado a sua utilização sozinho como elemento estrutural (CARVALHO; FILHO, 2014).

Segundo Carvalho; Filho (2014) as principais propriedades do concreto fresco são a consistência, trabalhabilidade, homogeneidade e adensamento. No concreto endurecido as principais características são as mecânicas destacando-se a resistência à compressão e o módulo de elasticidade do concreto.

3.3 Concreto de Pós Reativos

O concreto pós reativos (CPR) foi desenvolvido para substituir o concreto de alta resistência e até parte do aço das estruturas de pré-fabricados. As pesquisas com pós reativos iniciaram-se na França e Canadá que são centros de referência no assunto. Em virtude do seu desempenho o CPR foi desenvolvido para atender exigências industriais e militares (JUNIOR; PAULON, 2001)

O CPR também é chamado de concreto de ultra alta resistência, isso se dá pela propriedade físicas e mecânica do concreto contendo baixíssima porosidade, sendo muito densos. Elevada resistência mecânica confere ao material excelente durabilidade (JUNIOR; PAULON, 2001).

O CPR foi desenvolvido com a intenção de se produzir um concreto com mínimos defeitos, como as microfissuras e poros capilares. Esse material possui baixa relação água/cimento e grandes quantidades de sílica ativa, cimento e material em pó, originando o nome (JUNIOR; PAULON, 2001).

O nome Concreto de Pós Reativos é utilizado em função da ausência de agregado graúdo, as partículas utilizadas nesse tipo de concreto tem tamanho médio de 0,2 mm. Esse seria uma argamassa e não um concreto do ponto de vista granulométrico, ao qual se pode adicionar fibras. Porém, o termo concreto é utilizado

em função do desempenho desse material, apresenta as mesmas propriedades que o concreto, porém em um grau mais elevado (HELENE, ISAIA, TUTIKIAN, 2011).

Para obter um alto desempenho mecânico do concreto várias pesquisas têm sido feitas ao longo dos anos, autores como Reis (1998), Biz (2001), Vanderlei (2001), Carnio; Lintz (2009), Helene; Isaia; Tutikian (2011); Seidler; Medeiros (2012). Eugene Freyssinet, durante a década de 1930 demonstrou vantagem na aplicação de pressão no concreto fresco para melhorar a resistência. Concretos curados sob elevada pressão apresentaram resistência de 650 MPa, esses estudos foram realizados durante a década de 1960 (AMBROZEWICZ, 2012).

3.3.1 Materiais constituintes

Segundo Ambrozewicz (2012) o Concreto de Pós Reativos é composto basicamente por: areia de quartzo, cimento sem adição, fibras de aço de pequenas dimensões, pó de quartzo, sílica ativa, superplastificante de alta eficiência.

3.3.1.1 Cimento

O cimento constituinte do CPR tem que ser o mais puro possível, porém esse tipo de cimento não é disponível comercialmente no Brasil, uma boa alternativa seria o CP V-ARI, esse tipo de cimento é muito fino o requer muita água. Outra alternativa de uso seria o CP II, que não é tão puro e nem tão fino (HELENE, 2011).

De acordo com as propriedades reológicas e desempenho mecânico o melhor cimento é aquele que possui um alto teor de sílica, porém, a taxa de pega é muito lenta o que impede certas aplicações (VANDERLEI, 2004).

3.3.1.2 Pó de quartzo

O pó de quartzo é uma adição inerte, moído na finura de 2500 cm²/g melhora o desempenho e durabilidade dos concretos (GRIGOLI e HELENE, 2004).

Biz (2001) ressalta que o diâmetro máximo do pó de quartzo para produção de CPR fica entre 5 a 25 µm. O material é adicionado à mistura para preencher os vazios e quando submetido ao tratamento térmico intensifica as

reações pozolânicas. Segundo Biz (2001) “a reação pozolânica do pó e da areia de quartzo se dá a partir do aumento da temperatura de cura do concreto”.

É recomendado utilizar o agregado de quartzo no CPR devido sua resistência à compressão ser superior à maioria dos materiais disponíveis para britagem. O uso do quartzo pode atrapalhar a trabalhabilidade da mistura e produzir vazios entre os grãos, isso se deve ao fato do quartzo ser um cristal resistente e produzir fragmentos lamelares e pontiagudos (HELENE, 2011).

Para produzir o CPR o tamanho médio da partícula do pó de quartzo deve ser de 10 μm (VANDERLEI, 2004).

3.3.1.3 Areia

De acordo com Vanderlei (2004), para produzir o CPR é possível utilizar dois tipos de areia: a areia fina resultante da pedra britada obtida pelo peneiramento do pó ou extraído areia natural com granulometria pequena. A seleção da areia é definida pela composição mineral, diâmetro médio das partículas, composição granulométrica, forma das partículas e dosagem da mistura em massa.

3.3.1.4 Superplastificante

Segundo Vanderlei (2004), os superplastificantes de última geração são mais eficientes e seus agentes dispersores são à base de poliacrilato ou policarboxilato. A dosagem mais comum utilizada é de 2% podendo variar entre 1,5% a 2,5% do consumo do cimento. Vanderlei (2004), ressalta ainda que os superplastificantes convencionais são selecionados pela compatibilidade com o cimento. Helene (2011) ressalta que a partir do ponto de saturação o aditivo superplastificante atua como água, não exercendo função plastificante na mistura.

3.3.1.5 Adições minerais

Segundo Vanderlei (2004), a sílica ativa e a cinza de casca de arroz agem de forma química e física para o aumento da resistência do CPR. A sílica ativa preenche os vazios da partícula de cimento, aumento das propriedades reológicas e

produção de hidratos secundários pela reação pozolânica com a cal resultante da hidratação primária. Geralmente a taxa sílica/cimento utilizada é de 0,25.

As cinzas da casca de arroz quando moídas e na presença de água reagem com o hidróxido de cálcio e formam compostos cimentantes. A cinza da casca de arroz tem desempenho comparável ao da sílica, sendo uma excelente pozolana (PRUDÊNCIO; SANTOS e DAFICO, 2003).

3.3.1.6 Fibras

As fibras poliméricas podem ser divididas em sintéticas e naturais. As poliméricas sintéticas, ou simplesmente sintéticas, mais utilizadas são as fibras de polipropileno, poliéster, polietileno e poliamida. As fibras de polipropileno são constituídas de um material polimérico denominado termoplástico (CÁRNIO, 1988).

Segundo Silva e Gaiofatto (2012) a fibra de polipropileno é quimicamente inerte, não absorve água, é imputrescível e não enferruja, seu uso também se justifica pelo baixo custo e fácil disponibilidade.

As fibras atuam no controle da abertura e da propagação de fissuras no concreto, alteram o comportamento mecânico após a ruptura da matriz, as fibras criam pontes de transferência de tensões através das fissuras, melhorando consideravelmente sua capacidade de absorção de energia. Devem ser distribuídas aleatoriamente na matriz de concreto de forma descontínua (BENTUR; MINDESS, 1990 apud CÁRNIO e LINTZ, 2009).

3.3.2 Preparo

O tempo de mistura e a relação água/cimento são fatores que exigem muito cuidados na fabricação do CPR, a água deve ser dosada com grande precisão. A produção do CPR em caminhões betoneiras é possível. Porém, exige um tempo de mistura muito elevado ou pré mistura do material seco. Para a produção do CPR é necessário homogeneizar todo o material seco, misturar os aditivos e água a parte, em seguida homogeneizar a pasta fluida e na sequência adicionar as fibras (VANDERLEI, 2004).

3.3.3 Propriedades

Segundo Vanderlei (2001), o CPR possui resistência à compressão em torno de vinte vezes maior que o CAD e à tração dez vezes maior, com a adição de fibras sua ductilidade e capacidade de absorção de energia é aumentada em torno de 250 vezes em relação ao CAD.

Richard e Cheyzery estabeleceram a classe 200 do CPR e a 800, a primeira produzida em condições similares a do CAD, entretanto o CPR 800 é adequado para a produção de pré-moldados, podendo atingir resistências à compressão superiores a 600 MPa utilizando agregado silicoso e 800 MPa com agregados de aço. A aplicação da pressão e o tratamento térmico às altas temperaturas podem incrementar as propriedades do CPR. Para melhor desempenho, passou a incluir na composição fibras metálica, para que os materiais não se tornem frágeis com a adição de fibras não metálicas (FILHO; OLIVEIRA, 2006).

3.3.4 Dosagem

A fim de obter bons resultados quanto a resistência à compressão e à tração no uso do concreto de pós reativos em reforço de vigas, neste item serão analisados os métodos de dosagem.

Em sua pesquisa, Vanderlei (2004) utilizou o seguinte procedimento para a mistura das dosagens, primeiro misturou-se todo o material seco até ficar visualmente homogênea, na sequência despejou a mistura num misturador planetário em baixa rotação adicionando água e superplastificante, misturados anteriormente. A Tabela 1 mostra algumas dosagens de CPR em comparação com o concreto convencional e o CAD.

Tabela 1 – Dosagens do CPR, concreto convencional e CAD

CPR (kg/m ³)		Concreto Convencional (kg/m ³)		CAD (kg/m ³)	
Cimento	710	Cimento	350	Cimento	450
Areia	1020	Areia	700	Areia	650
Brita	—	Brita	1100	Brita	1100
Sílica	230	Sílica	—	Sílica	—
Aditivo Plastificante	—	Aditivo Plastificante	1	Aditivo Plastificante	1,5
Aditivo Superplastificante	210	Aditivo Superplastificante	180	Aditivo Superplastificante	5
Pó de Quartzo	160	Pó de Quartzo	—	Pó de Quartzo	—
Microfibra de aço	160	Microfibra de aço	—	Microfibra de aço	—
Água/Aglutinantes	0,17	Água/Aglutinantes	0,51	Água/Aglutinantes	0,37
Abatimento	>200mm (flow)	Abatimento	60mm	Abatimento	120mm
Resistência à compressão	200MPa	Resistência à compressão	25MPa	Resistência à compressão	70MPa

Fonte: FILHO; OLIVEIRA, 2006

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos para moldagem, cura e ensaios das vigas e corpos de prova, bem como os materiais e equipamentos utilizados para os ensaios. Serão detalhados todos os materiais utilizados na fabricação do concreto de CPR e no concreto convencional.

4.1 Pós Reativos

4.1.1 Materiais utilizados e dosagem

Os materiais utilizados na dosagem do concreto de pós reativos foram o cimento, areia média, areia fina, pó de quartzo, sílica ativa, aditivo superplastificante (policarboxilatos) e fibras de polipropileno. Esses materiais foram encontrados na região de Curitiba/PR e fornecidos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

O cimento Portland utilizado foi o CP V-ARI, o cimento se encontrava adequadamente armazenado sem qualquer partícula de grumos, dentro da data de validade. O cimento foi pesado em balança de precisão de 0,1 grama. A tabela abaixo mostra as especificações desse tipo de cimento:

Tabela 2 – Parâmetros do cimento CP V-ARI

Parâmetros	CP V-ARI
Tempo de início de pega (horas)	$\geq 1,0$
MgO (%)	$\leq 6,5$
Perda ao fogo (%)	$\leq 4,5$
Resíduo Insolúvel	$\leq 1,0$
SO ₃ (%)	-
Resistência à compressão (MPa)	
1 dia	$\geq 14,0$
3 dias	$\geq 24,0$
7 dias	$\geq 34,0$
28 dias	-

Fonte: ITAMBÉ CIMENTOS, 2017

Areia adotada é originária das dragagens de rio. Foram realizados ensaios em laboratório e determinado o teor de umidade, a análise granulométrica, a massa unitária, o diâmetro médio dos grãos é de 0,3 mm e foi classificada como areia de quartzo muito fina de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005), a massa específica de 2,64 kg/dm³ segundo a NBR 9776 (ABNT, 1987) e massa unitária de 1,45 kg/dm³ segundo a NBR 7251 (ABNT, 1982).

Para moldar os corpos de prova cilíndricos de concreto de pós reativos foram utilizados a proporção de 80% de areia média e 20% de areia fina. O teor de umidade foi determinado pelo processo de secagem a álcool, foi pesado aproximadamente 100 g de agregado úmido e após o processo pesou-se a amostra seca, os valores de umidade foram considerados na relação água/cimento.

O pó de quartzo utilizado apresenta cor cinza-clara e massa específica igual a 2500 kg/m³. A sílica ativa possui massa específica de 2220 kg/m³, superfície

específica aproximadamente igual a 20.000 m²/kg e diâmetro 0,2 µm. Suas características atendem a NBR 13956 (ABNT, 1997).

Com a intenção de reduzir o consumo de água e elevar a fluidez, foi utilizado aditivo superplastificante de quarta geração. Apresenta coloração marrom sendo um líquido viscoso, sua densidade é de 1,09 g/cm³.

Foram utilizadas fibras de polipropileno produzidas a partir de multifilamentos, acondicionadas em sacos hidrossolúveis de 600 g. As fibras utilizadas possuem as seguintes especificações: comprimento de 12 mm, diâmetro de 0,18 mm, peso específico de 0,91 g/cm³ e formato reto.

4.1.2 Moldagem

Nesse estudo foi utilizada a dosagem proposta por Henche e Alessi (2011). O traço utilizado em todas as moldagens está descrito na Tabela 3 assim como o consumo em gramas utilizado para a capacidade do misturador planetário de 3 litros.

Tabela 3 – Traço utilizado no CPR

Material	Traço utilizado	Consumo (g)
Cimento	1,00	992,54
Areia	1,30	1290,30
Pó de Quartzo	0,20	198,51
Sílica ativa	0,15	148,88
Água potável	0,22	147,21
Aditivo Superplastificante	3,50%	34,74
Fibra	0,12%	1,19

Fonte: HENCHE e ALESSI, 2011

Foi efetuada a pesagem dos materiais em balança de precisão, os materiais secos pesados foram colocados dentro de sacos plásticos e fez-se a mistura manual até que ficasse visualmente homogênea. A preparação se iniciou com a colocação do material seco e homogeneizado dentro da argamassadeira, na

sequência a água e o aditivo superplastificante, em uma única solução, foi adicionado à mistura para a hidratação do cimento. Os materiais foram misturados até que se observasse a completa homogeneidade do material. O CPR apresentou características autoadensáveis e aparência fluida, quando aplicado uma carga pareceu um material sólido, porém em repouso o material se liquefez.

Com o material visualmente homogeneizado na argamassadeira procedeu-se com a moldagem de três corpos de prova cilíndrico, com 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura. Os corpos de prova foram preenchidos a cada um terço e golpeados 25 vezes para a expulsão do ar existente.

4.1.3 Cura

Os corpos de prova permaneceram em temperatura ambiente até serem desmoldados para os ensaios.

4.1.4 Ensaio

Os corpos de prova cilíndricos foram preparados para o ensaio iniciando pelo capeamento das faces, utilizando uma retífica garantiu que as tensões sejam aplicadas de forma uniforme para o rompimento. Os ensaios de resistência à compressão foram efetuados na prensa de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007) quando os corpos de prova atingiram idade superior a 28 dias.

4.2 Concreto Convencional

Para a produção do concreto convencional foi utilizado o cimento do tipo Portland composto CP V-ARI, com massa específica em torno de 3120 kg/m³. Foi utilizado agregado miúdo, classificado como areia média com dimensão máxima característica de 2,4 mm de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005). Foi utilizada somente esse tipo de areia para a produção de todas as vigas. A água utilizada para a produção dos concretos é potável proveniente do sistema de abastecimento de água local. Para a confecção das vigas de 10x10x50 cm, foram utilizados aço para concreto armado CA-50 A, com resistência ao escoamento de 50 kN/cm², diâmetro nominal de 6,3 mm e peso específico de 7850 kgf/m³.

Foi utilizado para a dosagem o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). A resistência média prevista a dosagem foi de 34,07 MPa considerando um desvio padrão de 5,5 MPa, para os 28 dias de idade.

4.2.1 Equipamentos Utilizados

Foi utilizada para ensaios à compressão e tração a Linha de Máquinas Universal de Ensaios DL200 (*Digital Line*) da EMIC.

Para produzir o CPR foi utilizada a argamassadeira DL300 (*Digital Line*) da EMIC.

4.2.2 Métodos

Nesse estudo foram produzidas 15 vigas de concreto convencional, foi mantido constante o consumo de cimento, a relação água/cimento, assim como a quantidade de aço mínima. Para ensaios à compressão foram moldado 6 corpos de prova cilíndricos, sendo 3 corpos de prova cilíndrico de 10x20 cm em concreto convencional e 3 corpos de prova também cilíndrico de 5x10 cm para o CPR.

As dimensões das vigas ensaiadas foram de 10x10x50 cm, foram moldadas 3 vigas de cada alternativa, sendo as 5 alternativas distribuídas da seguinte forma:

a) Alternativa 1 - 3 vigas de concreto convencional sem reforço de CPR, com dimensões de 10x10x50 cm, essa será a viga referência,

b) Alternativa 2 - 3 vigas de concreto convencional com dimensões de 10x10x50 cm e capa de 3 cm de CPR na região de compressão da viga com ponte de aderência em resina sintética, altura final de 13 cm.

c) Alternativa 3 - 3 vigas de concreto convencional com dimensões de 10x10x50 cm e capa de 3 cm de CPR na região de tração da viga com ponte de aderência em resina sintética, altura final de 13 cm.

d) Alternativa 4 - 3 vigas de concreto convencional com dimensões de 10x10x50 cm e capa de 3 cm de CPR na região de compressão da viga, em contato direto com o CPR sem ponte de aderência, altura final de 13 cm.

e) Alternativa 5 - 3 vigas de concreto convencional com dimensões de 10x10x50 cm e capa de 3 cm de CPR na região de tração da viga, em contato direto com o CPR sem ponte de aderência, altura final de 13 cm.

A Figura 8 mostra o fluxograma das alternativas propostas:

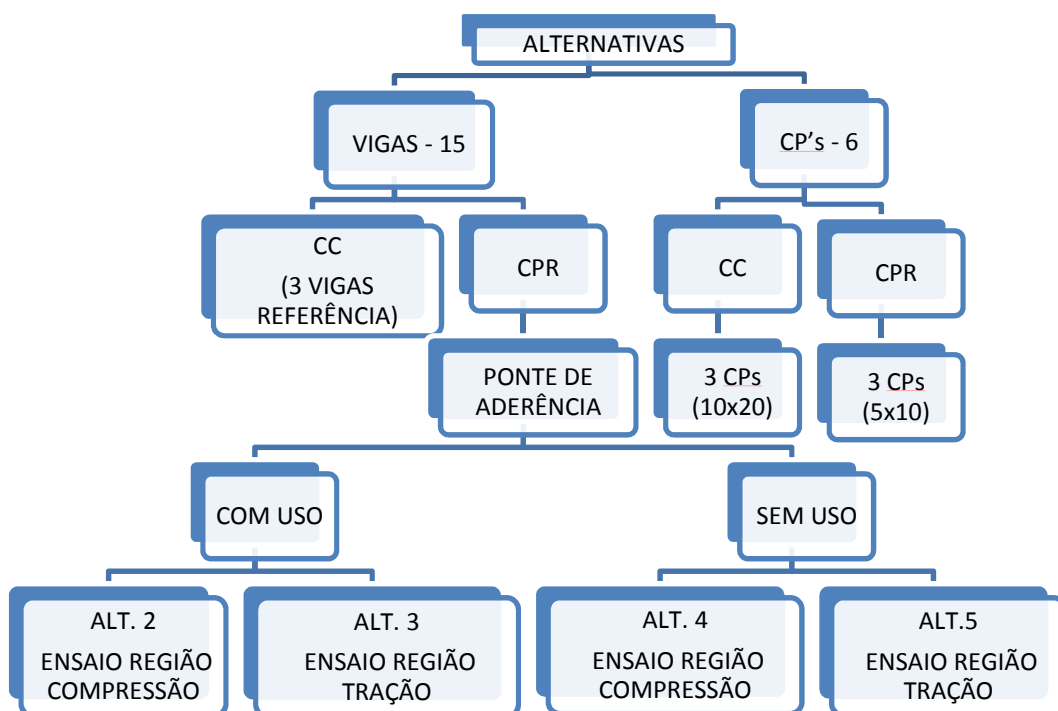


Figura 8 – Método utilizado

Fonte: Autoria própria

Figura 9 mostra um modelo de viga ensaiada, medidas em centímetros:

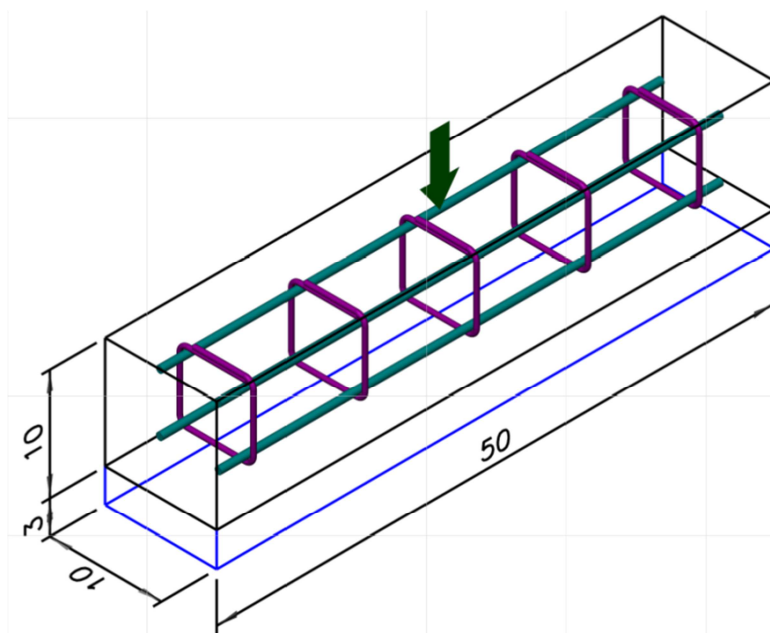


Figura 9 – Modelo de viga submetida ao ensaio

Fonte: Autoria própria

4.2.3 Moldagem

Foram moldadas 15 vigas com concreto convencional (CC) adensados através de vibração manual para garantir a homogeneidade do concreto. Foram utilizados espaçadores para garantir o cobrimento das armaduras, o preenchimento das formas se dará em duas camadas.

Para a moldagem dos corpos cilíndricos será utilizado a NBR 5738 (ABNT, 2015) que determina os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto, o ensaio a compressão seguirá a norma brasileira 5739 (2007).

O traço utilizado para o CPR foi de acordo com estudo anterior de (HENCHE e ALESSI, 2011), descrito na tabela 3.

4.2.4 Cura

As formas e os corpos de prova foram desmoldados no dia do ensaio, a cura foi ambiente, a fim de manter as condições mais próximas das aplicadas em campo.

4.2.5 Ensaio

Após 60 dias, foram realizados ensaios de flexão em três pontos seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2007), para avaliar o comportamento à tração na flexão com reforço em CPR. Na Figura 10 é possível observar o posicionamento da viga para o ensaio, as dimensões estão em centímetros. Os corpos de prova cilíndricos de concreto convencional foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão, aos 60 dias moldados e os CPR foram ensaiados aos 28 dias.

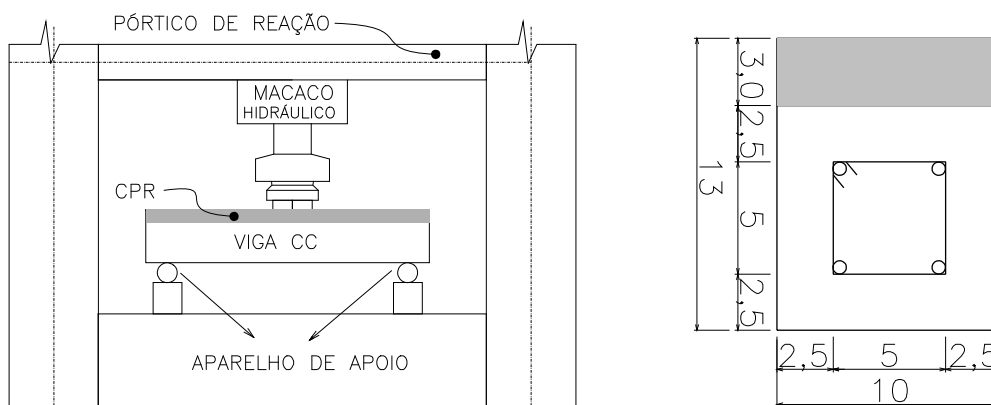


Figura 10 – Esquema de ensaio e corte transversal da viga

Fonte: Autoria própria

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste trabalho foi avaliado o comportamento de vigas de concreto armado com reforço à flexão. Foi adicionada uma camada de CPR ao banzo comprimido e tracionado. Quinze vigas de concreto armado idênticas foram produzidas, com dimensões e armaduras transversal e longitudinal, doze foram reforçadas com CPR, seis ensaiadas a flexão com ou sem o uso de ponte de aderência.

As vigas moldadas não apresentaram ninhos de concretagem ou qualquer segregação de materiais, assim como os corpos de prova, mostraram-se com aspecto final homogêneo, compatível com o esperado.

As Figuras 11 a 23 mostram o esquema de fissuração e ruptura.

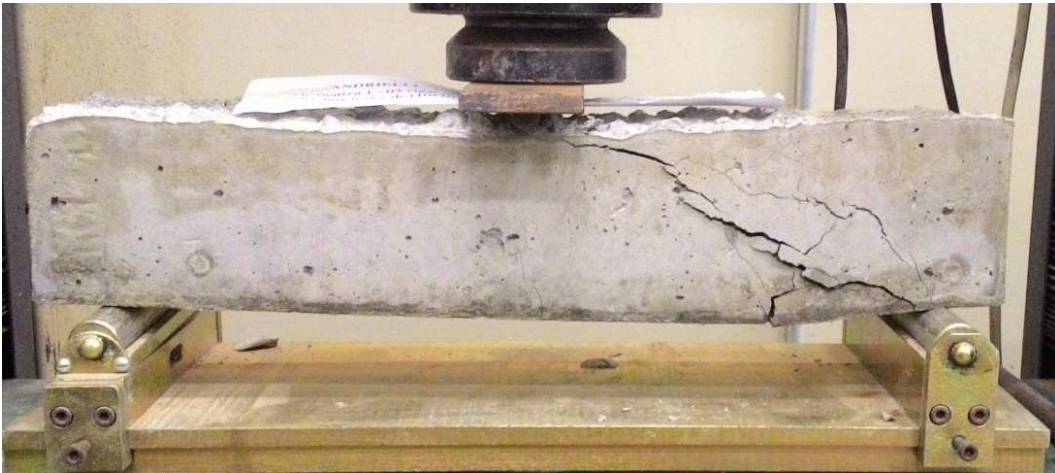


Figura 11 – Alt. 1 – V2 – Viga referência

Fonte: Autoria própria

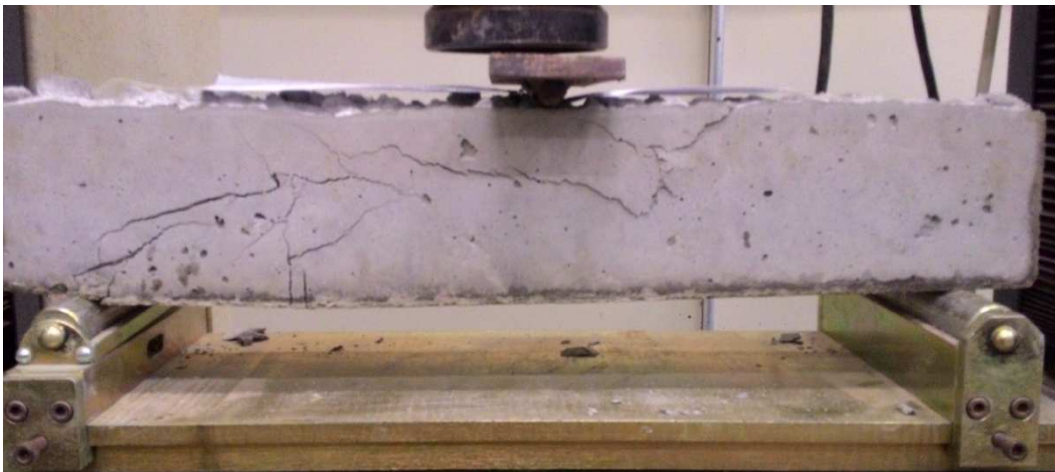


Figura 12 – Alt. 1 – V3 - Viga referência

Fonte: Autoria própria



Figura 13 –Alt. 2 – V1 – CPR na região de compressão com ponte de aderência em resina sintética

Fonte: Autoria própria



Figura 14 – Alt. 2 – V2 - CPR na região de compressão com ponte de aderência em resina sintética

Fonte: Autoria própria



Figura 15 – Alt. 2 – V3 - CPR na região de compressão com ponte de aderência em resina sintética

Fonte: Autoria própria



Figura 16 – Alt. 3 – V1 - CPR na região de tração com ponte de aderência em resina sintética

Fonte: Autoria própria



Figura 17 – Alt. 3 – V2 - CPR na região de compressão com ponte de aderência em resina sintética
Fonte: Autoria própria

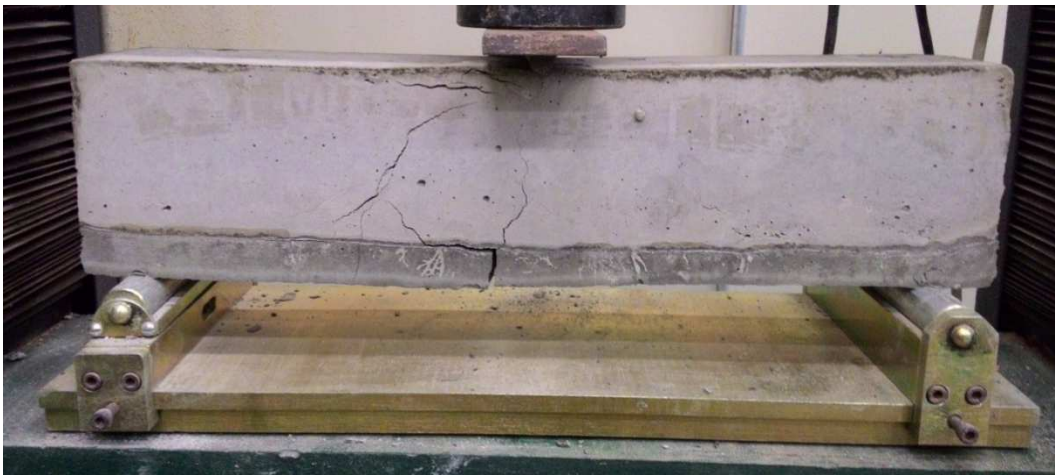


Figura 18 – Alt. 3 – V3 - CPR na região de tração com ponte de aderência em resina sintética
Fonte: Autoria própria

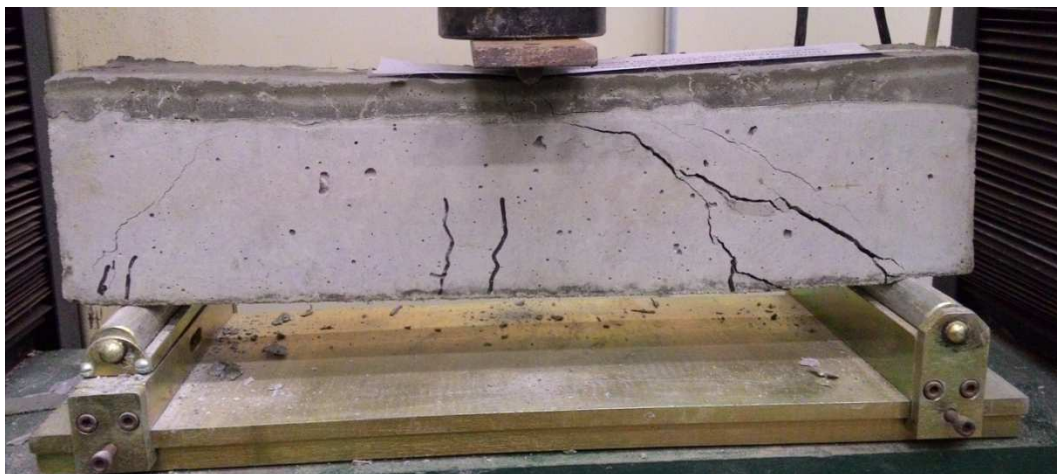


Figura 19 – Alt. 4 – V1 - CPR na região de compressão sem ponte de aderência em resina sintética
Fonte: Autoria própria

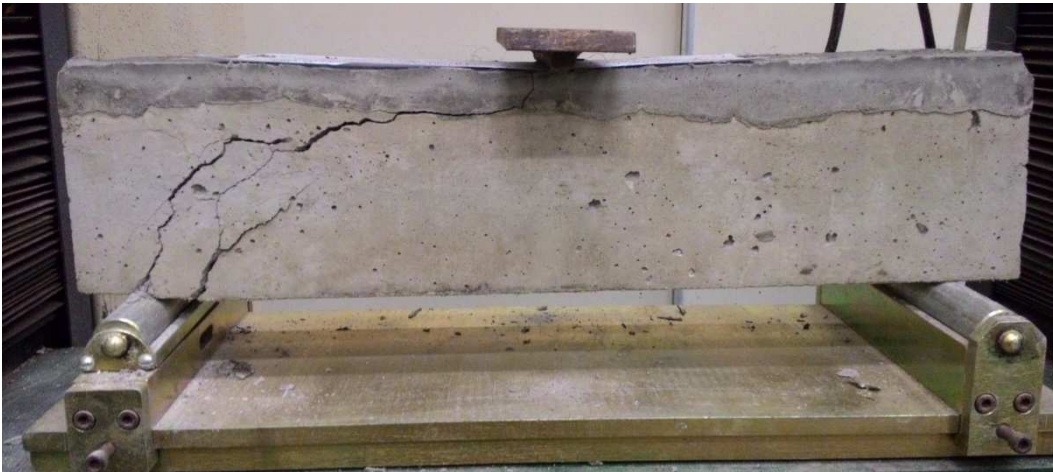


Figura 20 – Alt. 4 – V2 - CPR na região de compressão sem ponte de aderência em resina sintética

Fonte: Autoria própria



Figura 21 –Alt. 5 – V1 - CPR na região de tração sem ponte de aderência em resina sintética

Fonte: Autoria própria



Figura 22 – Alt. 5 – V2 - CPR na região de tração sem ponte de aderência em resina sintética

Fonte: Autoria própria



Figura 23 – Alt. 5 – V3 - CPR na região de tração sem ponte de aderência em resina sintética

Fonte: Autoria própria

Pode-se observar que o comportamento nos ensaios de flexão foi idêntico nas vigas de referência (alternativa 1), alternativa 2 com CPR na região comprimida com ponte de aderência, alternativa 4 com CPR na região comprimida sem a ponte de aderência e alternativa 5 com o reforço no banzo inferior sem ponte de aderência. A ruptura ocorreu por força cortante, a fissura iniciou-se próximo ao apoio e evoluiu até o ponto de aplicação do carregamento, conforme se observa em todas as figuras, exceto na alternativa 3.

Na alternativa 3 foi utilizado ponte de aderência, nota-se que o plano de fissuração ocorreu tração no banzo inferior, Figuras 15 a 17. Analisando o comportamento das vigas desta alternativa em relação às demais, percebe-se que seu comportamento foi superior.

Inicialmente os dados foram tratados de forma estatística, foi calculado o desvio padrão e valores discrepantes foram descartados. As Tabelas 4 a 6 mostram os resultados finais obtidos após o ensaio das vigas. Valores fora do desvio padrão foram desconsiderados e a média foi recalculada, seguido dos cálculos de momento máximo e tensão normal.

Tabela 4 – Alternativa 1 – Viga molde

	Alternativa 1		Tensão Normal (KN/cm ²)
	Força Máxima (N)	Momento Max (KN.cm)	
CP 1	38600	424,6	0,9
CP 2	26811,2	294,9	0,7
CP 3	27442,9	301,9	0,7
Desvio Padrão	6685		
Média	27127	298,4	0,7
CV (%)	24,6		

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 – Alt. 5 e 3 – Ensaio com CPR na região de compressão da viga

	Alternativa 2 - SEM PONTE			Alternativa 4 - COM PONTE		
	Força Máxima (N)	Momento Max (KN.cm)	Tensão (KN/cm ²)	Força Máxima (N)	Momento Max (KN.cm)	Tensão (KN/cm ²)
CP 1	37796,7	415,8	0,6	34744	382,2	0,6
CP 2	28367,6	312	0,5	33127,3	364,4	0,5
CP 3	48300,2	531,3	0,8	46201,5	508,2	0,7
Desvio Padrão	9971			7128		
Média	33082,1	363,9	0,5	33935,7	373,3	0,5
CV (%)	30,1			21		

Fonte: Autoria própria

Tabela 6 – Alt. 2 e 4 – Ensaio com CPR na região de tração da viga

	Alternativa 5 - COM PONTE			Alternativa 3 - SEM PONTE		
	Força Máxima (N)	Momento Max (KN.cm)	Tensão (KN/cm ²)	Força Máxima (N)	Momento Max (KN.cm)	Tensão (KN/cm ²)
CP 1	46472,7	511,2	0,7	33960,8	373,6	0,5
CP 2	30938,3	340,3	0,5	36320,6	399,5	0,6
CP 3	43359,8	477,0	0,7	43209,1	475,3	0,7
Desvio Padrão	8219,0			4805,0		
Média	44916,2	494,1	0,7	35140,7	386,5	0,6
CV (%)	18,3			13,7		

Fonte: Autoria própria

Os cálculos de tensão normal e tensão cisalhante foram executados de acordo com os procedimentos da NBR 6118 (ABNT, 2014).

A diferença entre as tensões calculadas deveu-se ao fato de que a armadura transversal escoou antes da armadura longitudinal, reduzindo a capacidade da viga reforçada frente à flexão, diminuindo a capacidade resistente à flexão esperada para as vigas, com isso foi verificado as tensões médias de cisalhamento, mostradas na Tabela 7.

Tabela 7 – Tensões médias de cisalhamento

Alternativas	Tensão de Cisalhamento (GPa)
1	2,7
2	2,5
3	2,7
4	2,6
5	3,5

Fonte: Autoria própria

As tensões médias de cisalhamento apresentaram uma variação de 40%.

5.1 Resultados dos Ensaios de Compressão

Passados 60 dias de moldagem, foram realizados os ensaios mecânicos para determinar a resistência à compressão axial simples, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007), para determinar a resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos de concreto convencional e do CPR. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos nos ensaios.

Tabela 8 – Força máxima e tensão de ruptura

	Concreto Convencional		CPR	
	Força Máxima (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Força Máxima (N)	Tensão de Ruptura (MPa)
CP 1	179270,8	22,8	148376,3	75,6
CP 2	233827,0	29,8	104876,0	53,4
CP 3	258418,6	32,9	134737,2	68,6
Média	223800,0	28,5	129300,0	65,9
Mediana	233800,0	29,8	134700,0	68,6
Desv. Padrão	40510,0	5,2	222250,0	11,3

Fonte: Autoria própria

Como esperado, a tensão de ruptura do CPR foi muito superior ao CC, em torno de 230%.

5.2 Ligação entre CC e CPR com uso de ponte de aderência

A continuidade da ligação entre o concreto convencional e o CPR foi prejudicada pela retomada da concretagem (junta fria), o propósito deste foi verificar o comportamento da ponte de aderência na interface do concreto antigo e o novo, sendo frágil esse ponto da estrutura.

Pelos ensaios observa-se que o uso da ponte de aderência foi indiferente nesses casos, essa análise foi somente visual.

6 CONCLUSÃO

A diferença entre as tensões, deve-se ao fato da armadura transversal, nas alternativas estudadas exceto a alternativa 3, ter escoado antes da armadura longitudinal, com isso a capacidade resistente da viga à flexão foi reduzida, fato notado no plano de fissura das Figuras 10 a 22. A ruptura ocorreu por força cortante seguido pela ruptura do concreto próximo aos apoios evoluindo até o ponto de aplicação do carregamento.

Contudo pode-se concluir que os resultados foram satisfatórios, o reforço proposto mesmo com uma pequena camada de CPR e sem o uso de armadura nessa região se mostrou viável.

Mostrou-se viável utilizar o reforço de CPR na região de tração da viga sem o uso de ponte de aderência, nesse caso o uso do reforço teve um comportamento semelhante à utilização de armadura no banzo inferior da viga.

Por fim, a ponte de aderência utilizada entre o concreto existente e o novo não foi garantida nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção – Normas, Especificações, Aplicação e Ensaio de Laboratório** São Paulo: Pini, 2012

ARCHI EXPO. Disponível em:< <http://www.archiexpo.com/pt/prod/lafarge/product-70029-967790.html>> Acesso em: 05 de maio. 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5738/15 – **Concreto - Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova** - Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5739/07 – **Concreto - Ensaio de Compressão de corpos de prova cilíndricos** – Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7211/05 – **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7251/82 – **Agregado em Estado Solto Determinação da Massa Unitária**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 9776/87 – **Agregados – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por Meio do Frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 11578/91 – **Cimento Portland Composto**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 13956/97 – **Sílica Ativa para Uso em Cimento Portland, Concreto, Argamassa e Pasta de Cimento Portland - Especificação**. Rio de Janeiro, 1994.

BEBER, Andriei José. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. Tese Doutorado. Porto Alegre, 2003

BENETON, Amanda Cristina; CITRA, André Barbosa; CARVALHO, Lucas Antonio dos Anjos; ANTUNES, Miguel Roldan. **Concreto de Pós Reativos Ecoeficientes**. Trabalho de Conclusão de Curso. São Paulo, 2014.

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

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988

CARNIO, Marco Antonio; LINTZ, Rosa Cristina Cecche. **Concreto Projetado Reforçado com Fibras Aplicado no Revestimento de Encostas**. São Paulo, 2009

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado : Segundo a NBR 6118:2014 – 4ª Edição - São Carlos EdUFSCar, 2014.**

CORSINI, Rodnei. **Reforço de Estruturas com Fibra de Carbono: Os elementos do sistema e sua aplicação em tabuleiros de pontes e viadutos**. Edição 20 – Novembro, 2012. Disponível em:< <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/20/2-reforco-de-estruturas-com-fibra-de-carbono-os-271667-1.aspx>>
Acesso em: 05 de maio. 2017

FÁVERO, Rafael Burin; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Contribuição para o estudo de Concreto de Pós Reativos com aplicação de diferentes níveis de pressão confinante no estado fresco**. 2013

FILHO, Marcone P. Grangeiro; OLIVEIRA, M. J. Estefano de. **Concreto de pós-reativos com Cinza de Casca de Arroz: Uma Análise Teórica**. Anais do VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, p. 858-869. 2006

GIONGO, José Samuel; VANDERLEI, Romeu Dias. **Análise Experimental do Concreto de Pós Reativos: Dosagem e Propriedades Mecânicas**. São Carlos, SP. Cadernos de Engenharia de Estruturas – v.8 n33 p-115-148, 2006

HELENE, Paulo; ISAIA, Geraldo Cechella; TUTIKIAN, Bernardo F. **Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho**. Revista Concreto: Ciência e Tecnologia – 2011 IBRACON – Capítulo 36

HENCHE, Diego; ALESSI, Ericson. **Concreto de Pós Reativos: Estudo de Dosagem e Propriedade**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), UTFPR. Curitiba, 2011.

GRIGOLI, Ademir Scobin; HELENE, Paulo. **Adições Minerais Inertes em Concretos- Interferência na Porosidade**. Workshop sobre durabilidade das construções, São José dos Campos, p.155-168, 2005.

IBRACON. **Revista concreto e Construção**. Ano XXXVII Nº 53 – 2009

ITAMBÉ CIMENTOS. Disponível em: < http://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/themes/itambe-2016/_assets/pdf/especificacoes_abnt.pdf > Acesso em: 05 de maio. 2017

JUNIOR, Newton de Oliveira Pinto; PAULON, Vladimir Antonio; BIZ, Carlos Eduardo. **Concreto de Pós Reativos: Eficiência de Aditivos e Utilização do Cone de “Minislump” e Cone de Marsh como Forma de Avaliação da Trabalhabilidade**. Tese Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil – FEC UNICAMP, 2001.

MEDEIROS, Jonathan; SEIDLER, Nelson. **Concreto de Alta Resistência (com Pós Reativos)**. III Salão de Ensino e Extensão, 2012

MOURA, Eride. **Tecnologia Ultrafinos**. Disponível em: < <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/150/artigo285469-1.aspx> > Acesso em: 20 de jan. 2017

PRUDÊNCIO Jr, Luiz R; SANTOS, Sílvia; DAFICO, Dario de Araújo. **Cinza da Casca de arroz**. Coletânea Habitare – Volume 4 – Utilização de Resíduos na Construção Habitacional

REIS, Andréia Prado Abreu. **Reforço de Vigas de Concreto Armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de Aço e Argamassa de Alto Desempenho**. São Carlos, 1998.

SILVA, Thaís L. C.; GAIOFATTO, Robson Luiz. **Desenvolvimento de concreto de Pós reativos (RPC) com Fibras Sintéticas**, São Paulo, 2012

SOUZA, Vicente Custódio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

VANDERLEI, Romel Dias; **Análise experimental do Concreto de Pós Reativos: Dosagem e Propriedades Mecânicas**. Tese Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2004.