

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOEL RUBENS DA SILVA FILHO

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS  
UTILIZADAS PARA RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE  
CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO  
2013

JOEL RUBENS DA SILVA FILHO

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS  
UTILIZADAS PARA RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE  
CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil, do Curso de Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil – COECI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Rigobelo

Co-orientador: Prof. Msc. Douglas Fukunaga Surco

CAMPO MOURÃO

2013



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação de Engenharia Civil



## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso Nº 14

### ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS UTILIZADAS PARA RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

por

**Joel Rubens da Silva Filho**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 19h30 do dia 10 de abril de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

**Prof. Msc. Douglas Fukunaga Surco**

( UTFPR )

Co-orientador

**Prof. Dr. Leandro Waidemam**

( UTFPR )

**Prof. Dr. Marcelo Rodrigo Carreira**

( UTFPR )

**Prof. Dr. Ronaldo Rigobelo**

(UTFPR)

**Orientador**

Responsável pelo TCC: **Prof. Msc. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof<sup>a</sup> Dr. Marcelo Guelbert**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter me dado sabedoria, inteligência, tranquilidade e calma nos momentos mais difíceis em que estive sozinho nesses longos cinco anos.

Agradeço também a Deus por ter me dado de presente uma mãe tão especial, a qual teve paciência comigo depositando credibilidade e confiança para que eu conseguisse atingir meu objetivo.

Ao meu pai que, mesmo não estando mais presente entre nós, sempre esteve ao meu lado, repassando suas experiências vividas a mim.

Não posso deixar de agradecer meus irmãos, Lorena e Matheus, os quais sempre me incentivaram e me apoiaram nessa etapa tão importante de minha vida, acreditando em meu potencial.

Agradeço minhas avós, Rita e Isabel, as quais nunca se esqueceram de me apresentar em suas preces a Deus.

Gostaria de agradecer os professores do departamento de Engenharia Civil, em especial o professor Dr. Ronaldo Rigobello, e o técnico laboratorial por me incentivarem na realização desse projeto.

Aos meus primos e primas, tios e tias, que também, de uma forma ou de outra me apoiaram nessa etapa.

Aos meus amigos de sala de aula, em especial Diogo, Giovani, Maryam, Vitória e Wallace por estarem ao meu lado nos momentos alegres e tristes desse longo período acadêmico.

Esses parágrafos, infelizmente, não irão atender todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. No entanto, peço desculpas àqueles que não estão presentes entre essas palavras, mas eles podem estar certos que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

“Daqui a alguns anos você estará mais arrependido pelas coisas que não fez do que pelas coisas que fez. Então solte suas amarras. Afastese do porto seguro. Agarre o vento em suas velas. Explore. Sonhe. Descubra.”

(Mark Twain)

## RESUMO

SILVA FILHO, Joel Rubens da. Estudo da resistência mecânica de argamassas utilizadas para recuperação de estruturas de concreto. 2013. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

Esse trabalho teve como objetivo realizar um estudo da resistência mecânica de quatro argamassas utilizadas na recuperação de estruturas de concreto. Foram determinadas experimentalmente as propriedades mecânicas das argamassas (resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade). Além disso, foram ensaiados corpos de prova íntegros de concreto e corpos de prova com falhas reparados com as argamassas em estudo de acordo com os procedimentos do ensaio do prisma reconstituído. A resistência à compressão média obtida para as argamassas foi bastante próxima daquela fornecida nos catálogos pelos fabricantes. Os resultados dos ensaios do prisma reconstituído comprovaram a eficiência das argamassas na recuperação dos corpos de prova.

**Palavras-chave:** Argamassas. Propriedades mecânicas. Recuperação de estruturas.

## **ABSTRACT**

SILVA FILHO, Joel Rubens da. Study of the mechanical strenght of concrete mortars used in the repair of concrete structures. 2013. 69f. Undergraduation Thesis – Civil Engineering. Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2013.

This report presents a study of the mechanical strength of four mortars used in the repair of concrete structures. The mechanical properties (compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity) of the mortars were experimentally determined. Furthermore, samples of intact concrete and samples of damaged concrete repaired with the mortars where tested according to the procedures of the reconstituted prism test. The average compressive strength obtained for mortars was very close to that provided by the catalogs of manufactures. The results of the repaired prism tests proved the efficiency of the mortars in the recuperation of the samples.

**Keywords:** Concrete mortars. Mechanical properties. Structure Recuperation.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1 – ETAPAS DO PROCESSO DE REFORÇO E/OU REPARO .....  | 26 |
| FIGURA 2 – DIFERENTES DESEMPENHOS DE UMA ESTRUTURA COM O TEMPO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FENÔMENOS PATOLÓGICOS..... | 27 |
| FIGURA 3 – CURVA DE GAUSS PARA A RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO .....                                       | 31 |
| FIGURA 4 – ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....   | 31 |
| FIGURA 5 – DIAGRAMA DE ESFORÇOS SOLICITANTES .....  | 33 |
| FIGURA 6 – POSSÍVEIS TIPOS DE RUPTURA. ENSAIO NF P 18-851 (AFNOR).....  | 34 |
| FIGURA 7 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....   | 38 |
| FIGURA 8 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL .....  | 38 |
| FIGURA 9 – FÔRMA DOS PRISMAS COM A SALIÊNCIA .....  | 39 |
| FIGURA 10 – CONFIGURAÇÃO DOS PRISMAS, SEGUNDO NF P 18-851 (AFNOR) .....   | 39 |
| FIGURA 11 – ENTALHES DOS PRISMAS PREENCHIDOS COM ARGAMASSA DE REPARO .....  | 40 |
| FIGURA 12 – ENSAIO DE RECONSTITUIÇÃO DO PRISMA .....  | 41 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| GRÁFICO 1 – RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO BASE E DAS QUATRO ARGAMASSAS, BEM COMO AS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS FORNECIDAS PELOS FABRICANTES (TABELA 1)..... | 44 |
| GRÁFICO 2 – MÉDIA MÓDULO DE ELASTICIDADE LONGITUDINAL (E) DAS QUATRO ARGAMASSAS E DO CONCRETO BASE .....   | 45 |
| GRÁFICO 3 – RESISTÊNCIA MÉDIA À TRAÇÃO DAS QUATRO ARGAMASSAS E DO CONCRETO BASE .....  | 45 |
| GRÁFICO 4 – MÉDIA DA FORÇA DE RUPTURA PARA O CARREGAMENTO DE COLAPSO NO ENSAIO DO PRISMA RECONSTITUÍDO .....   | 47 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| TABELA 1 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ACORDO COM SEUS RESPECTIVOS FABRICANTES.....                                      | 35 |
| TABELA 2 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE LONGITUDINAL DAS ARGAMASSAS AOS VINTE E OITO DIAS .....     | 42 |
| TABELA 3 – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DAS ARGAMASSAS AOS VINTE E OITO DIAS.....                       | 43 |
| TABELA 4 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO BASE AOS VINTE E OITO DIAS ..  | 43 |
| TABELA 5 – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO BASE AOS VINTE E OITO DIAS.....  | 44 |
| TABELA 6 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE LONGITUDINAL DO CONCRETO BASE AOS CINQUÊTA E SEIS DIAS..... | 44 |
| TABELA 7 – RESULTADO DO ENSAIO DO PRISMA RECONSTITUÍDO .....   | 46 |

# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>12</b> |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....   | <b>13</b> |
| 2.1 OBJETIVO GERAL .....   | 13        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 13        |
| <b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....   | <b>15</b> |
| 4.1 AGLOMERANTES .....   | 15        |
| 4.1.1 Cimento Portland .....   | 15        |
| 4.1.1.1 Clínquer .....   | 16        |
| 4.1.1.2 Adições .....  | 16        |
| 4.2 AGREGADOS .....  | 17        |
| 4.3 ÁGUA DE AMASSAMENTO.....   | 17        |
| 4.4 ADITIVOS.....  | 18        |
| 4.4.1 Aditivos Minerais .....  | 19        |
| 4.4.2 Aditivos Químicos .....  | 19        |
| 4.5 TIPOS DE CONCRETO.....   | 20        |
| 4.5.1 Concreto Simples .....   | 20        |
| 4.5.2 Concreto Armado .....  | 20        |
| 4.5.3 Concreto Protendido .....  | 21        |
| 4.5.4 Concreto com fibras .....  | 21        |
| 4.6 PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.....                                    | 21        |
| 4.6.1 Causas Mecânicas e Físicas .....   | 22        |
| 4.6.1.1 Tensões térmicas .....   | 22        |
| 4.6.1.2 Deformação por retração e fluência .....                                 | 23        |
| 4.6.1.3 Efeito de altas temperaturas no concreto .....                           | 23        |
| 4.6.2 Causas Químicas .....  | 23        |
| 4.6.2.1 Ataque de sulfatos .....   | 23        |
| 4.6.2.2 Reações álcali-agregado .....  | 24        |
| 4.6.2.3 Ataque por ácidos .....  | 24        |
| 4.6.2.4 Carbonatação.....  | 25        |
| 4.7 TERAPIA DAS ESTRUTURAS.....  | 25        |
| 4.8 ARGAMASSAS E CONCRETOS USUAIS PARA REPARO EM ESTRUTURAS<br>DE CONCRETO ..... | 28        |
| 4.8.1 Argamassas .....   | 28        |
| 4.8.1.1 Argamassas Poliméricas .....   | 28        |
| 4.9 ENSAIOS MECÂNICOS .....  | 30        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.9.1 Ensaio de Caracterização.....  | 30        |
| 4.9.1.1 Resistência à Compressão.....  | 30        |
| 4.9.1.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral.....   | 31        |
| 4.9.2 Ensaio do Prisma Reconstituído.....  | 32        |
| <b>5 MATERIAIS UTILIZADOS.....</b>   | <b>35</b> |
| <b>6 METODOLOGIA.....</b>  | <b>37</b> |
| 6.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....   | 37        |
| 6.2 ENSAIO DO PRISMA RECONSTITUÍDO.....  | 39        |
| <b>7 RESULTADOS.....</b>   | <b>42</b> |
| 7.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....   | 42        |
| 7.2 ENSAIO DO PRISMA RECONSTITUÍDO.....  | 46        |
| <b>8 CONCLUSÃO.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>ANEXO A – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (E) DAS ARGAMASSAS.....</b>             | <b>53</b> |
| <b>ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DAS ARGAMASSAS.....</b>                            | <b>57</b> |
| <b>ANEXO C – RELATÓRIO DE ENSAIO DE COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>ANEXO D – RELATÓRIO DE ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DO CONCRETO AOS 28 DIAS.....</b>                   | <b>62</b> |
| <b>ANEXO E – RELATÓRIO DE ENSAIO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (E) E RUPTURA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 56 DIAS.....</b> | <b>63</b> |
| <b>ANEXO F – TIPO DE RUPTURA ENSAIO DO PRISMA RECONSTITUÍDO DAS ARGAMASSAS.....</b>                                    | <b>64</b> |
| <b>ANEXO G – TIPO DE RUPTURA DO ENSAIO DO PRISMA MONOLÍTICO.....</b>   | <b>68</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material de grande utilização na construção civil devido a sua versatilidade, resistência e durabilidade. Em contrapartida, é também um material de estrutura interna e propriedades complexas o que dificulta a previsão do seu comportamento a curto e a longo prazo e, acima de tudo, a confiabilidade das estruturas quanto à resistência e durabilidade.

A partir do momento em que os danos passaram a interferir sobre a segurança e utilização das edificações, gerando incômodo aos usuários, se iniciou um movimento técnico contra esses inconvenientes. No Brasil, este movimento iniciou-se no final da década de 60 e apenas na década de 80 houve uma difusão e desenvolvimento das técnicas de controle de qualidade na construção civil. (CARMONA FILHO; CARMONA, 2009)

As patologias nas estruturas de concreto podem se originar na fase de projeto, execução, uso e por conta dos materiais. Para contornar esses problemas as estruturas devem ser submetidas a processos de recuperação e/ou reforço. Esses processos buscam restaurar ou aumentar as suas capacidades existentes. Para tratar os problemas patológicos de uma estrutura, deve-se aplicar uma terapêutica adequada e, para isso, se faz necessário conhecer os mecanismos que os provocaram. Desse modo, deve ser feito um diagnóstico definindo as causas, consequências e as possíveis formas de solucionar o problema.

A construção civil tem como tendência utilizar cada vez mais sistemas que garantam proteção às estruturas de concreto, o que contribui para o surgimento e aprimoramento de produtos e técnicas de execução. Hoje em dia há uma série de produtos e técnicas desenvolvidos especificamente para a terapia das estruturas de concreto. Assim, para a realização de uma recuperação, em qualquer estrutura, se faz necessário o conhecimento de estruturas e materiais, para que se realize um diagnóstico correto, com base nas manifestações patológicas, e que se faça a especificação correta dos materiais e técnicas a serem utilizados.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Estudar a resistência mecânica de quatro argamassas utilizadas na recuperação de estruturas de concreto.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver ensaios mecânicos em corpos de prova cilíndricos e vigas prismáticas recuperadas com argamassa estrutural;
- Comparar a resistência mecânica das argamassas analisadas com aquelas fornecidas pelos fabricantes;
- Avaliar a eficiência das argamassas no reparo de corpos de prova.

### 3 JUSTIFICATIVA

Com o desenvolvimento da civilização houve a necessidade de se desenvolver novos materiais para fins construtivos, tais como: concreto armado, pinturas poliméricas, concreto de alto desempenho (CAD), aditivos, etc.

Segundo Pinheiro (2010), pelo motivo do concreto ser moldável, apresenta baixo custo dos materiais (água e agregados, grãos e miúdos), baixo custo da mão de obra, rapidez de execução, dentre outros motivos, o concreto foi aceito nos canteiros de obra, tendo assim um aumento significativo no seu uso.

Muitos problemas se originam na especificação do concreto ou em procedimentos da fase de concretagem, de acordo com Gomes (2006):

- Falhas na especificação, na dosagem, no recebimento, no controle dos materiais ou no controle tecnológico do concreto;
- Falta de cuidados no transporte do concreto;
- Lançamento inadequado;
- Falta de adensamento ou adensamento excessivo.

Para contornar esses problemas as estruturas devem ser submetidas a processos de recuperação. Esses processos buscam restaurar ou aumentar as suas capacidades resistentes, geralmente utilizando produtos industrializados, pois possuem maior controle de qualidade.

Quando uma edificação tem seu desempenho estrutural comprometido, seja por razões econômicas, ambientais ou sócio-culturais, o procedimento natural é recuperá-la. Com o aprimoramento das técnicas de reforço, buscam-se as soluções que auxiliam no reparo de estruturas danificadas.

No setor da construção civil, existem várias marcas de produtos para recuperação de patologias. Porém, além dos dados fornecidos pelos fabricantes, não se encontram referências adicionais sobre esses produtos. Assim, com o estudo da resistência mecânica de quatro argamassas existentes no mercado pretende-se fornecer subsídios sobre o comportamento dessas argamassas no reparo de corpos de prova e verificar as informações de resistência fornecida pelos fabricantes em catálogo.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de: aglomerantes, agregados e água de amassamento. Também é frequente o uso de aditivos e adições. (PINHEIRO, et al., 2010)

### 4.1 AGLOMERANTES

“Os aglomerantes unem os fragmentos de outros materiais. No concreto, em geral se emprega o Cimento Portland, que por ser um aglomerante hidráulico, reage com a água e endurece com o tempo”. (PINHEIRO, et al., 2010, p.1, cap.1)

#### 4.1.1 Cimento Portland

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 1989) o Cimento Portland, que se apresenta como um pó acinzentado, é um produto químico composto, em sua maior parte de silicatos e aluminatos de cálcio. Sua fabricação é feita de acordo com as especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

“O Cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o Cimento Portland não se decompõe mais”. (BASÍLIO, 2002, p.5)

De acordo com o Guia Básico de Utilização do Cimento Portland, (ABCP, 2002, p.6) é possível destacar que:

As características e propriedades desses concretos e argamassas vão depender da qualidade e proporções dos materiais que são compostos. Dentre eles, entretanto, o cimento é o mais ativo, do ponto de vista químico. Pode-se dizer que o cimento é o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes dos concretos e das argamassas no produto final

desejado (uma laje, uma viga, um revestimento etc.). Portanto, é de fundamental importância utilizá-lo corretamente. Para isto, é preciso conhecer bem suas características e propriedades, para poder melhor aproveitá-las da melhor forma possível na aplicação que se tem em vista.

O Cimento Portland é composto de clínquer e adições, onde o clínquer é o principal componente e está presente em todo tipo de cimento. Já as adições variam de acordo com cada tipo de cimento.

#### 4.1.1.1 Clínquer

O calcário e a argila, obtidos nas jazidas, são as matérias-primas do clínquer. A rocha calcária é primeiramente britada, depois moída e posteriormente misturada, com a argila moída, em proporções adequadas. A mistura atravessa um forno giratório de grande diâmetro e comprimento, cuja temperatura interna pode atingir até 1450°C. O intenso calor transforma a mistura em um novo material, o clínquer, que se apresenta sob a forma de pelotas. Ainda incandescente, na saída do forno o clínquer é resfriado e moído, transformando-se então em um pó. Na presença da água tal material reage, tornando-se primeiramente pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo alta resistência e durabilidade. Essa característica adquirida pelo clínquer faz dele um ligante hidráulico muito resistente, sendo sua propriedade mais importante. (ABCP, 2002)

#### 4.1.1.2 Adições

As adições são matérias-primas que, misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento portland hoje disponíveis no mercado. Essas matérias-primas são o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos. (ABCP, 2002, p.6)

Segundo Pinheiro, (2010), os exemplos mais comuns de adições são: escória de alto forno, cinza volante, sílica ativa de ferro-silício e metacaulinita.

## 4.2 AGREGADOS

Os agregados são partículas minerais que aumentam o volume da mistura, reduzindo seu custo, além de contribuir para a estabilidade volumétrica do produto final. Dependendo das dimensões características, dividem-se em dois grupos: (PINHEIRO, 2010)

- Agregados miúdos:  $0,0075\text{mm} < \Phi < 4,8\text{mm}$ . Exemplo: areias.
- Agregados graúdos:  $\Phi \geq 4,8\text{mm}$ . Exemplo: pedras.

“Quanto à sua origem, os agregados podem ser classificados como naturais ou artificiais, estando incluídos neste último caso todos os agregados que necessitam de um preparo prévio através de processos industriais”. (SILVA, 2006, p.27)

## 4.3 ÁGUA DE AMASSAMENTO

Embora o uso da água potável para amassamento geralmente seja satisfatório, existem algumas exceções, tendo como exemplo as regiões semiáridas, onde a água é salobra e pode conter uma quantidade excessiva de cloretos. Por outro lado, algumas águas inadequadas para o consumo humano podem ser usadas satisfatoriamente para o preparo do concreto.

De acordo com a NBR 6118 (1978), a água utilizada na confecção do concreto armado deverá atender aos seguintes limites:

- $5,8 \leq \text{pH} \leq 8,0$
- Resíduo sólido  $\leq 5000 \text{ mg/l}$
- Cloretos ( $\text{Cl}^-$ )  $\leq 500 \text{ mg/l}$
- Matéria orgânica  $\leq 3 \text{ mg/l}$
- Sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ )  $\leq 300 \text{ mg/l}$
- Açúcar  $\leq 5 \text{ mg/l}$

Segundo o Comitê do ACI 363 (1984), os requisitos de qualidade da água para os concretos de alta durabilidade são os mesmos que para os concretos

convencionais. A água potável distribuídas pela Companhias Públicas de Abastecimento raramente contém sólido dissolvido excedendo 1000 ppm. Assim, reconhece-se que a água potável é a mais adequada à produção do concreto de melhor qualidade.

#### 4.4 ADITIVOS

Aditivo pode ser definido como uma substância, que além da água, agregados, cimentos hidráulicos e fibras, empregados como constituintes do concreto ou argamassa e adicionado imediatamente, antes ou durante o amassamento, tem como finalidade melhorar ou incorporar uma nova propriedade ao concreto ou argamassa, tanto no estado fresco ou endurecido. (ASTM C125, 1992)

Pinheiro (2010) menciona que aditivos são produtos que, adicionados em pequena quantidade aos concretos de cimento Portland, modificam algumas propriedades, no sentido de melhorar esses concretos para determinadas condições.

São várias as finalidades com que os aditivos são empregados no concreto como, por exemplo, aumentar compacidade e a resistência aos esforços mecânicos, melhorar a trabalhabilidade, diminuir a retração, preparar concretos leves entre outras. (SILVA, 1991)

De acordo com Sobral (1990), os aditivos colocam em jogo as ações físicas e físico-químicas, de tensão superficial, de adsorção, de modificação das forças de atração entre as partículas de cimento, de modificações da velocidade das reações de hidratação durante a pega e o endurecimento, e de combinações com certos constituintes do cimento. A cada aditivo deve ser atribuído um fim bem determinado, podendo ocorrer ações secundárias cujos efeitos devem ser bem avaliados. Os mesmos, podem compensar defeitos provenientes dos constituintes de certos tipos de concretos e reduzir os custos de preparação e lançamento do concreto.

Com relação à sua classificação, os aditivos podem ser do tipo mineral ou químico. (SILVA, 2006)

#### 4.4.1 Aditivos Minerais

“Aditivos minerais são materiais silicosos finamente moídos, adicionados ao concreto em quantidade relativamente grandes, geralmente na faixa de 20 a 100% da massa de cimento portland”. (SILVA, 2006, p.31)

Alguns aditivos minerais são pozolânicos (cinza volante com baixo teor de cálcio), alguns são cimentantes (escória granulada de alto forno), enquanto outros são tanto pozolânicos quanto cimentantes (cinza volante com elevado teor de cálcio). Cinzas vulcânicas, cinzas de carvão, cinzas de casca de arroz e sílica ativa também são considerados aditivos minerais.

Além de melhorarem algumas propriedades do concreto, a utilização desses materiais como constituinte da composição do mesmo, contribuem para a despoluição do meio ambiente, já que em sua maioria são resíduos industriais.

#### 4.4.2 Aditivos Químicos

A classificação dos aditivos químicos está relacionada à função desempenhada dentro do concreto, e dentre os mais comuns estão os aceleradores e retardadores de pega, redutores de água (plastificantes e superplastificantes), inibidores de corrosão, incorporadores de ar, redutores de retração, formadores de gás etc. (SILVA, 2006)

“Os principais tipos de aditivos químicos são: plastificantes (P), retardadores de pega (R), aceleradores de pega (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), superplastificantes (SP), superplastificantes retardadores (SPR) e superplastificantes aceleradores (SPA)”. (PINHEIRO, 2010, p.1 cap.1)

## 4.5 TIPOS DE CONCRETO

Dentre os tipos de concreto, pode-se destacar: concreto simples, concreto armado, concreto protendido, concreto de alto desempenho (CAD), concreto com fibras, dentre outros.

### 4.5.1 Concreto Simples

O concreto simples é formado por cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo. Na maior parte das aplicações estruturais, para melhorar as características do concreto, ele é usado junto com outros materiais. (PINHEIRO, 2010)

O mesmo autor ainda cita que, no estado endurecido, o concreto apresenta:

- Boa resistência à compressão;
- Baixa resistência à tração;
- Comportamento frágil, isto é, rompe com pequenas deformações.

### 4.5.2 Concreto Armado

Conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2010), o concreto armado é “obtido por meio da associação entre concreto simples e armadura convenientemente colocada (armadura passiva), de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes”. Essa solidariedade é garantida pela aderência. (PINHEIRO, 2010)

### 4.5.3 Concreto Protendido

Obtém-se o concreto protendido a partir da associação entre o concreto simples e a armadura (ativa), onde se aplica uma força a essa armadura antes da atuação do carregamento na estrutura. Essa armadura é usada para introduzir forças de compressão no concreto, antes da fase de utilização da estrutura de modo que sejam eliminadas as tensões de tração no concreto com as cargas de uso (serviço). A operação de tracionar a armadura ativa é chamada de protensão e confere à estrutura um acréscimo de resistência em relação ao concreto armado, sob cargas de serviço e ruptura, além de impedir ou limitar a fissuração.

### 4.5.4 Concreto com fibras

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2010) o concreto com fibras é obtido pela adição de fibras metálicas ou poliméricas durante o preparo do concreto, fazendo com que depois de seco o concreto (matriz) esteja ligado pelas fibras (pontes) que o atravessam em todas as direções. Deve ser empregado apenas em peças com pequenos esforços. O objetivo das fibras é, também, para evitar a fissuração substituindo ou diminuindo a quantidade de armadura superficial ou estribos nos elementos de concreto armado.

## 4.6 PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

“Patologia das Estruturas é um campo da engenharia que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas dos sistemas de degradação das estruturas”. (NASCIMENTO, 2009, p.48)

Apesar de o concreto ser considerado um material de grande durabilidade, desde que receba manutenção sistemática e programada, há vários tipos de

manifestações patológicas que podem danificar as edificações. Esses problemas patológicos, salvo raras exceções, apresentam manifestações externas peculiares, as quais permitem deduzir a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, além de possibilitar a previsão de suas prováveis consequências. (REIS, 1998)

“As manifestações patológicas nas estruturas de concreto se constituem em sinais claros da necessidade de algum tipo de intervenção corretiva para assegurar a vida útil. Podem ser de vários tipos, sendo que as mais comuns são fissuras, flechas excessivas, lixiviação e corrosão das armaduras”. (PEÑA, 2004, p. 24)

Os principais processos que causam a deterioração do concreto podem ser agrupados, de acordo com sua natureza, em mecânicos, físicos, químicos, biológicos e eletromagnéticos. Na realidade, a deterioração do concreto ocorre muitas vezes como resultado da combinação de diferentes e diversos fatores internos e externos, os quais são processos complexos, determinados pelas propriedades físico-químicas do concreto e da forma como está exposto. Os processos de degradação alteram a capacidade de o material desempenhar as suas funções, e nem sempre se manifestam visualmente. (LAPA, 2008)

#### 4.6.1 Causas Mecânicas e Físicas

##### 4.6.1.1 Tensões térmicas

Variações bruscas de temperatura provocam danos sobre as estruturas de concreto, uma vez que a temperatura da superfície se ajusta rapidamente enquanto a interna se ajusta lentamente. Os efeitos são fissuras e destacamentos do concreto causados pelo choque térmico. (LAPA, 2008)

#### 4.6.1.2 Deformação por retração e fluência

O fenômeno da retração está ligado a deformações em pastas de cimento, concretos e argamassas, tendo como causa principal a perda de água da pasta de cimento. A retração pode ocorrer no concreto em seu estado plástico ou endurecido. Por outro lado, a fluência ou deformação lenta pode ser definida como a deformação que o concreto sofre devido a um carregamento contínuo, podendo ocorrer sob compressão, cisalhamento ou tração. Por ser parcialmente reversível trata-se de uma propriedade viscoelástica. (LAPA, 2008)

#### 4.6.1.3 Efeito de altas temperaturas no concreto

Os efeitos da temperatura no concreto podem ter origem tanto externa (condições climáticas) quanto interna (hidratação do concreto). O calor gerado pela hidratação do concreto é um dos mais importantes causadores de manifestações patológicas. (LAPA, 2008)

#### 4.6.2 Causas Químicas

##### 4.6.2.1 Ataque de sulfatos

O ataque de sulfatos podem se manifestar na forma de expansão do concreto e na perda progressiva de resistência e massa, devido à deterioração na coesão dos produtos de hidratação do cimento. (REIS, 2001)

O mesmo autor ainda afirma que:

Os sulfatos de sódio e cálcio são mais comuns em solos, águas e processos industriais, já os sulfatos de magnésio são mais raros, porém, mais destrutivos. Todos os sulfatos são potencialmente danosos ao concreto, reagindo com a pasta de cimento hidratado. No

ataque, os íons sulfatos reagem com o hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  e o aluminato tri-cálcio  $\text{C}_3\text{A}$ , originando a etringita e o gesso. Esta formação expande-se, exercendo pressão e desintegrando a pasta de cimento.

#### 4.6.2.2 Reações álcali-agregado

A deterioração no concreto decorrente da interação entre a solução alcalina resultante da hidratação de cimentos com alta taxa de álcalis e certos agregados é chamada de reação álcali-agregado. A reação produz um gel que absorve a água e expande em volume, provocando fissuração e desintegração do concreto. Ocorre a perda da resistência, diminuição do módulo de elasticidade e da durabilidade. (REIS, 2001)

#### 4.6.2.3 Ataque por ácidos

Em ambientes úmidos o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e outros gases presentes na atmosfera atacam o concreto, dissolvendo e removendo parte da pasta de Cimento Portland endurecido, o qual não é resistente aos ácidos. O ataque ocorre em valores de pH próximos a 6,5. Os concretos também podem ser atacados por águas contendo  $\text{CO}_2$  livre em terrenos pantanosos, com pH em torno de 4,4 e pelas águas puras com pouco  $\text{CO}_2$ . (LAPA, 2008)

Lapa (2008) ainda comenta que vários ensaios físicos e químicos de resistência aos ácidos foram desenvolvidos, mas não existem procedimentos padronizados. O pH isoladamente não é um indicador adequado do potencial do ataque; a presença de  $\text{CO}_2$  decorrente da dureza da água também influencia sobre a situação; temperatura e pressão também aumentam a intensidade do ataque.

#### 4.6.2.4 Carbonatação

Na carbonatação, o hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  presente no cimento reage com o gás carbônico  $\text{CO}_2$  formando o carbonato de cálcio  $\text{CaCO}_3$ , outros componentes do cimento são decompostos e são produzidos sílica hidratada, alumina e óxido férrico. Essa reação ocorre mesmo em locais com baixa concentração de  $\text{CO}_2$ , como no meio rural. A carbonatação tem sua velocidade aumentada com o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$ , mas penetra muito lentamente além da superfície exposta. A velocidade depende ainda do teor de umidade do material e da umidade relativa do ambiente. (SALES, 2006)

#### 4.7 TERAPIA DAS ESTRUTURAS

De acordo com Nascimento (2009), existem muitos termos utilizados na área de Patologia e Terapia das Estruturas, para tanto se faz necessária a definição de alguns destes:

- Reparo: correção localizada de problemas patológicos;
- Recuperação: correção dos problemas patológicos de forma a restituir total ou parcialmente o desempenho original da peça;
- Reforço: correção dos problemas patológicos com o aumento da resistência ou ampliação da capacidade portante da estrutura;
- Reabilitação ou Intervenção: abrange situações em geral, envolvendo tanto reparo simples, como a recuperação e o reforço. Sendo assim, pode ser definida como sendo a ação necessária para habilitar a estrutura a cumprir novamente suas funções originais ou habilitar a estrutura a responder a novas condições de uso.

A Figura 1 mostra resumidamente as etapas de um processo de reabilitação em uma estrutura. De acordo com essa figura, após a adoção das primeiras medidas, deve ser feita uma inspeção cuidadosa, observando tanto os elementos danificados como os elementos íntegros e, dependendo da necessidade, podem ser

realizadas provas de carga para avaliar as características residuais da estrutura e as causas da degradação.

O levantamento de dados visa obter o máximo de informações possíveis sobre a obra e que, somente em posse de tais informações, parte-se para a especificação e o dimensionamento do tipo de reforço ou reparo mais adequado para a estrutura em questão.

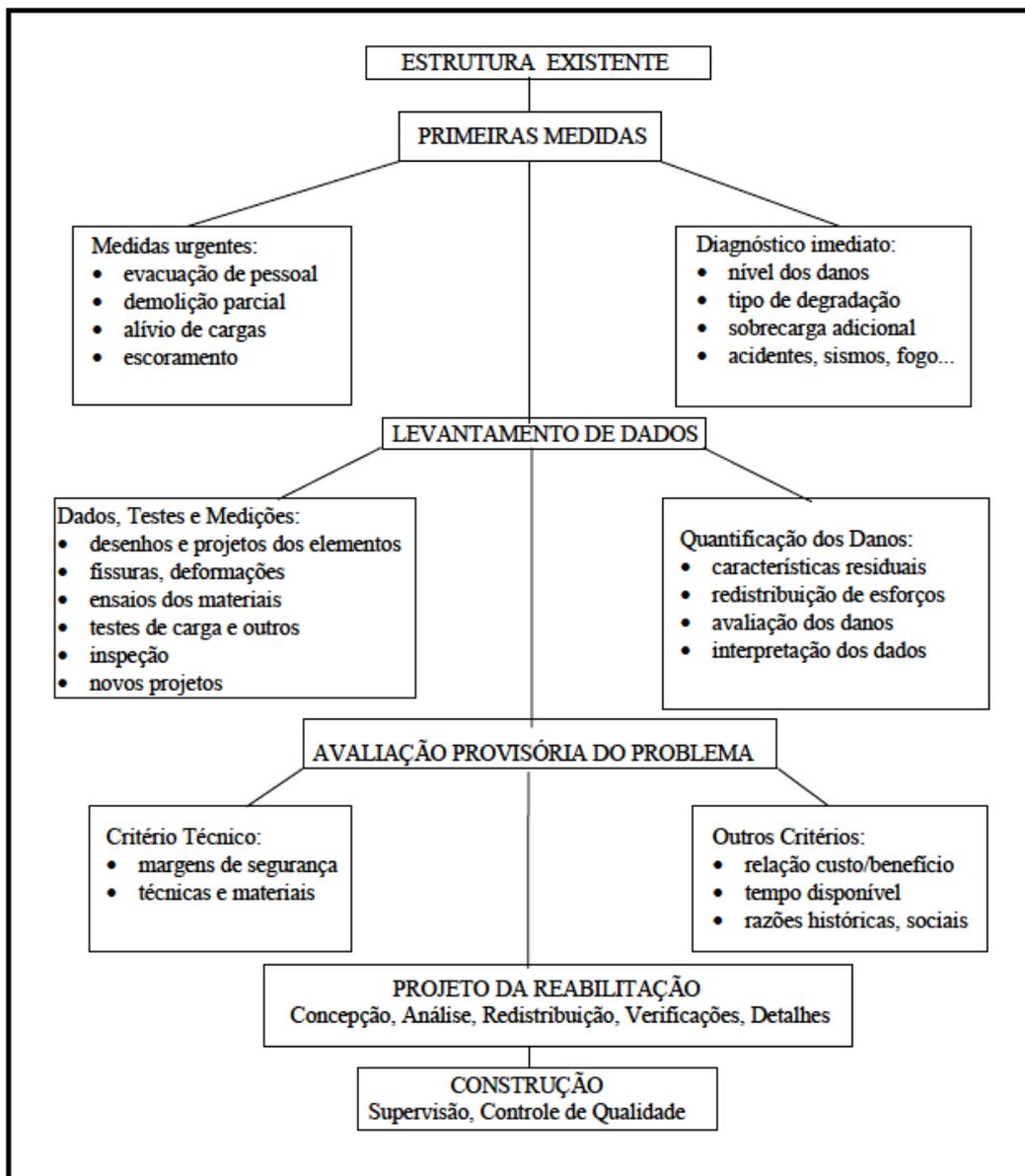
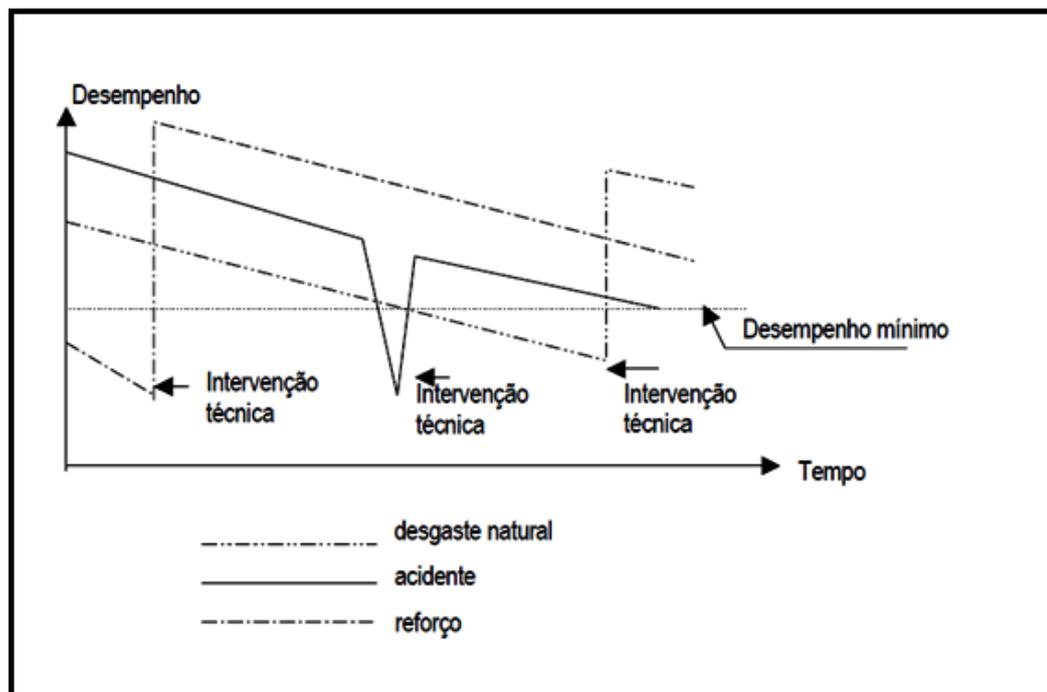


Figura 1 – Etapas do processo de reforço e/ou reparo.  
Fonte: Souza (1990).

Na Figura 2, a linha traço duplo ponto ilustra o fenômeno de desgaste natural da estrutura, que após intervenção, recupera-se seguindo a linha do desempenho acima do exigido para sua utilização. No segundo caso, a linha cheia, representa uma estrutura submetida a um problema súbito (acidente), para qual a intervenção é imediata para voltar ao comportamento satisfatório. No terceiro caso, linha traço ponto, tem-se uma estrutura com erros originais de projeto ou execução, ou que tenha mudado seu propósito funcional, ou seja, que necessite de reforço no início de sua vida útil.



**Figura 2 – Diferentes desempenhos de uma estrutura com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos.**  
**Fonte: Souza e Ripper (1998).**

Portanto, para a obtenção de desempenho satisfatório, a estrutura deve atender às condições de segurança em relação aos estados limites último e de utilização, que contemplam a resistência, a rigidez, a estabilidade, aspectos estéticos e conforto termo acústico. (REIS, 2001)

## 4.8 ARGAMASSAS E CONCRETOS USUAIS PARA REPARO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

As argamassas usuais para reparo podem ser preparadas no local, antes de sua aplicação, ou então adquiridas de forma industrializada disponíveis no mercado.

### 4.8.1 Argamassas

A argamassa é constituída da mistura de Cimento Portland, areia e fator água/cimento entre 0,33 e 0,40, lhe garantindo baixa retração e resistência final elevada. Existe uma variedade de produtos oferecidos no mercado. Destacam-se as argamassas de base mineral (cimento), argamassas de base resina epóxi, argamassas de resina poliéster, argamassas de base de resina furânica e base resina fenólica. (REIS, 2001)

#### 4.8.1.1 Argamassas Poliméricas

A utilização de polímeros na arte de recuperar não é nova. Existem inúmeras comprovações do emprego de polímeros naturais orgânicos e inorgânicos anteriores à época de Cristo. Na maioria das vezes, o polímero não era dissolvido ou misturado na massa e sim aplicado sozinho sobre a massa, combinando diversas camadas. (BATISTA, 2007)

O mesmo autor ainda afirma que desde 1909 tem-se a utilização de polímeros sintéticos nas argamassas de Cimento Portland. Por volta da década de 30, concretos com cimentos polimerizados com látex de borracha começavam a ser industrializados e já na década de 40 foi introduzido o látex de acetato de polivinila (PVA). Na década de 60 surgiam no mercado os látex acrílico e cloreto vinilideno e, posteriormente, novos polímeros foram criados.

“Hoje, com todos os conhecimentos da adição de polímeros nas argamassas, pouco ainda se sabe. Engenheiros e técnicos utilizam o termo para todo tipo de argamassa, mesmo desconhecendo a quantidade de polímero presente. Pior, não há qualquer bibliografia para explicar esse sério problema”. (BATISTA, 2007, p. 7)

Batista (2007) relata que dependendo da quantidade de polímero e da forma como o polímero é aplicado pode-se classificar o produto de três maneiras:

- 1) Argamassas Modificadas com Polímero (AMP): são compósitos feitos com a substituição parcial da matriz cimentícia aglomerante do Portland por modificadores poliméricos e/ou aditivos. Suas propriedades são afetadas por vários fatores como o tipo de polímero, a relação cimento-polímero, a relação água-cimento, o teor de ar na mistura e a condição de cura.
- 2) Argamassas Poliméricas (AP): não contém matriz cimentícia. Seu aglomerante é composto de resinas poliméricas, tipo resinas termorrígidas, monômeros vinílicos e resina de alcatrão polimerizada à temperatura ambiente, sendo a mais utilizada a argamassa epóxica. Possuem resistência, adesão, impermeabilidade, resistência química/abrasão e durabilidade superiores às argamassas cimentícias.
- 3) Concreto Impregnado com Polímeros (CIP): sua atuação é basicamente com impregnantes monoméricos aplicados nas superfícies aparentes de estruturas de concreto armado-protendido as quais são, posteriormente, polimerizadas, preenchendo e reforçando os poros e capilaridades da matriz cimentícia hidratada. Sua funcionalidade depende de vários fatores, como a profundidade da penetração do polímero, as propriedades do polímero, a eficiência da impregnação (spray ou rolo), a eficiência do monômero aplicado e o grau de conversão do monômero para polímero.

Contudo, sabe-se que polímeros modificam as propriedades das argamassas, mas não se sabe até que ponto.

## 4.9 ENSAIOS MECÂNICOS

### 4.9.1 Ensaio de Caracterização

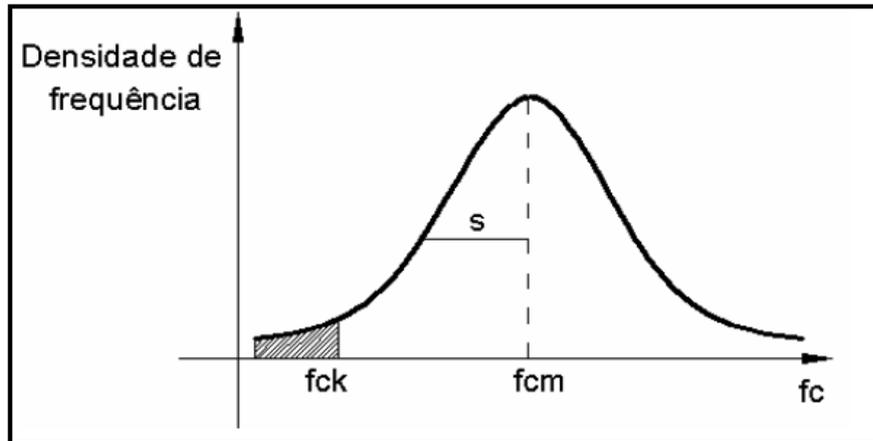
Para caracterizar um material, sendo ele argamassa ou concreto, é necessário quantificar suas propriedades mecânicas por meio de ensaios mecânicos. Portanto, tais materiais devem submeter-se a ensaios de resistência à compressão e de tração (direta ou por compressão diametral).

#### 4.9.1.1 Resistência à Compressão

A avaliação da resistência à compressão é um dos principais requisitos para a produção de argamassas e concretos, com a qual é analisada a capacidade desses materiais de suportar carga. (MARTINS, 2011) Nesse ensaio, pode-se também obter o módulo de elasticidade longitudinal (E) do material em estudo.

Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova de acordo com a ABNT NBR 5738:2003, e ensaiados de acordo com a ABNT NBR 5739:2007.

Após ensaiado uma amostra representativa de corpos de prova, pode ser feito um gráfico com os valores obtidos de  $f_c$  versus a densidade de frequência (quantidade de corpos de prova relativos a determinado valor de  $f_c$ ). A curva encontrada denomina-se Curva Estatística de Gauss para a resistência do concreto à compressão onde poderão ser encontrados a resistência média do concreto à compressão  $f_{cm}$ , a resistência característica do concreto à compressão  $f_{ck}$  e o desvio padrão  $s$  curva, conforme Figura 3. (PINHEIRO, 2010)

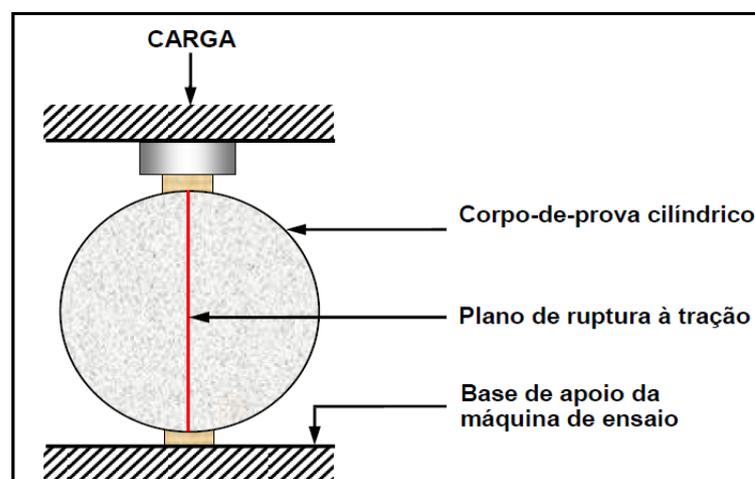


**Figura 3 – Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão**  
 Fonte: PINHEIRO, 2010

#### 4.9.1.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

É o ensaio mais utilizado, por ser mais simples de ser executado e utilizar o mesmo corpo de prova cilíndrico moldado para o ensaio de compressão.

Para a sua realização, o corpo de prova cilíndrico é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da máquina de ensaio e o contato entre o corpo de prova e os pratos deve ocorrer somente ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas, sendo aplicada uma força até a ruptura por fendilhamento devido à tração indireta (PINHEIRO, 2010), conforme a Figura 4.



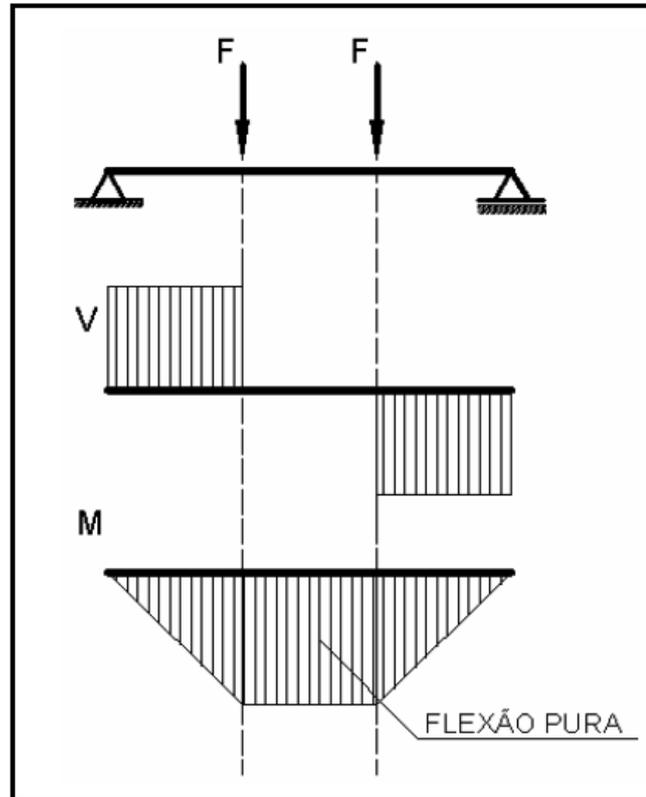
**Figura 4 – Ensaio de tração por compressão diametral**  
 Fonte: PINHEIRO, 2010

#### 4.9.2 Ensaio do Prisma Reconstituído

Esse ensaio é uma adaptação do ensaio de resistência a aderência ao cisalhamento na flexão, normalizado pela NF P 18-851 (AFNOR) 1992. O objetivo original desse ensaio é avaliar o comportamento da aderência das argamassas de recuperação no substrato (concreto base) ao cisalhamento na flexão.

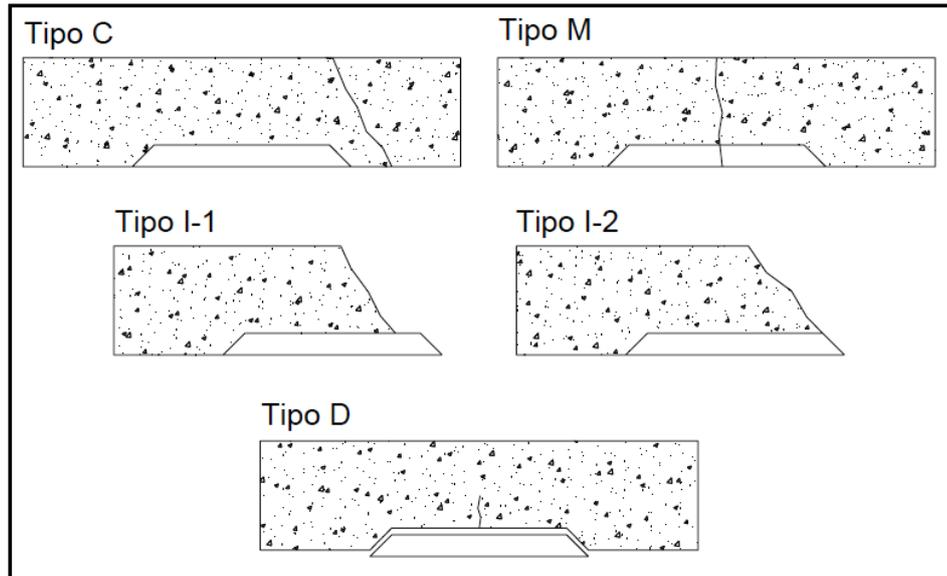
Esse ensaio é realizado com a aplicação de carga através de dois cutelos distantes 10 cm, com o corpo de prova reconstituído voltado com a argamassa para baixo e apoiado em outros dois cutelos distantes 30 cm. A velocidade de aplicação do carregamento deve ser de 130,8 N/s (800 kgf/min). Em uma análise simplificada, pode-se considerar que a região horizontal centralizada da interface entre a superfície de concreto e a argamassa de reparo recebe um esforço de flexão pura gerado pelo posicionamento do carregamento, enquanto que nas duas faces inclinadas da reentrância, os esforços de cisalhamento e de tração são combinados. (MORENO JUNIOR e SELMO, 2007)

Analisando os diagramas de esforços solicitantes (Figura 6) pode-se notar que na região de momento máximo tem-se cortante nula, portanto, nesse trecho central ocorre flexão pura.



**Figura 5 – Diagrama de esforços solicitantes**  
**Fonte: PINHEIRO, 2010**

De acordo com Moreno Junior e Anselmo (2007), o tipo de ruptura é fundamental para a interpretação dos resultados, e pode ocorrer de cinco maneiras distintas, com a ruptura apenas do concreto, sem comprometimento do sistema de reparo (Tipo C), com o rompimento do reparo e propagação da fissura para o prisma de concreto, agindo de forma monolítica (Tipo M), com o desprendimento da parte inclinada do reparo e desenvolvimento da fissura para o concreto (Tipos I-1 e I-2) ou com o desprendimento do reparo e subsequente rompimento do concreto (Tipo D), representados pela Figura 7.



**Figura 6 – Possíveis tipos de ruptura. Ensaio NF P 18-851 (AFNOR)**  
**Fonte: MORENO JUNIOR e SELMO, 2007**

Neste estudo, o objetivo desse ensaio é simular o reparo dos corpos de prova prismáticos com argamassa de recuperação utilizando, no entanto, uma ponte de aderência entre o concreto base (substrato) e a argamassa. Assim, não se avalia a aderência entre o concreto base e argamassa na zona de interface entre os materiais, mas a resistência final do elemento reparado com argamassa.

## 5 MATERIAIS UTILIZADOS

- Argamassas:

- Argamassa 1 (Fabricante: Weber Saint-Gobain):

Argamassa à base de cimento, agregados classificados, aditivos especiais, polímeros e inibidores de corrosão. Uso recomendado para espessuras de até 100 mm. É monocomponente em pó acinzentado.

- Argamassa 2 (Fabricante: Sika):

Argamassa à base de cimento e polímeros, destinada a reparos horizontais e verticais em estruturas de concreto. Uso recomendado para espessuras entre 10 mm e 25 mm por camada. É monocomponente em pó acinzentado.

- Argamassa 3 (Fabricante: Sika):

Argamassa à base de cimento, polímeros e fibras sintéticas. Uso recomendado para espessuras de até 25 mm por camada. É monocomponente em pó acinzentado.

- Argamassa 4 (Fabricante: Denver Impermeabilizantes):

Argamassa à base de cimento modificada com polímeros acrílicos, destinada a preenchimentos de reparos rasos e semiprofundos. Uso recomendado para espessuras de até 70 mm.

As argamassas foram produzidas a partir das instruções de cada fabricante fornecidas por meio de catálogos. A cura dos corpos de prova foi feita em ambiente de laboratório com temperatura variado em torno de 27°C e protegido de intempéries.

**Tabela 1 – Resistência à compressão de acordo com seus respectivos fabricantes**

| Argamassa   | Resist. à Compressão (MPa) | Fonte                     |
|-------------|----------------------------|---------------------------|
| Argamassa 1 | 34,00                      | Weber Saint-Gobain        |
| Argamassa 2 | ≥ 38,00                    | Sika                      |
| Argamassa 3 | ≥ 43,00                    | Sika                      |
| Argamassa 4 | ≥ 40,00                    | Denver Impermeabilizantes |

A Tabela 1 indica a resistência à compressão de cada argamassa, com idade de cura aos 28 dias, de acordo com seus respectivos fabricantes:

- **Aglomerante:**  
Para a produção do concreto base foi utilizado o cimento Votoran CII-E-32. Sua escolha foi baseada em seu grande uso nas obras e em sua disponibilidade no mercado da região de realização dos experimentos.
- **Agregados:**  
Os agregados (miúdo e graúdo) são provenientes da região de Campo Mourão – PR.
- **Concreto Base:**  
Para a produção do concreto base, primeiramente, foi seco o agregado miúdo e graúdo em estufa por 24 horas a temperatura de 105°C ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ) e armazenados em sacos plásticos. Em seguida adicionou-se a betoneira o agregado graúdo, o agregado miúdo, a água e o aglomerante, respeitando o traço em massa de 1:1,73:2,60, fator água/cimento de 0,47 e  $f_{ck} = 31,3$  MPa. A cura dos corpos de prova foi feita em ambiente de laboratório com temperatura variando em torno de 27°C e protegido de intempéries.
- **Adesivo estrutural (Compound Adesivo Estrutural Vedacit):**  
Adesivo estrutural a base de epóxi destinado a colagem de concreto-concreto. Possui resistência à compressão de 69,0 MPa aos sete dias. É bicomponente: componente A (cor branca) e componente B (cor preta). Foi feita a mistura de acordo com a instrução do fabricante.

## 6 METODOLOGIA

Para que se possa fazer o estudo da resistência mecânica das argamassas utilizadas no presente estudo, foram realizados ensaios de caracterização para determinação das propriedades mecânicas e o ensaio do prisma reconstituído para a verificação da eficácia das argamassas no reparo de corpos de prova com falhas pré-estabelecidas. Os ensaios foram realizados no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Campo Mourão.

### 6.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Foram utilizados moldes cilíndricos com dimensões de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura. As moldagens e desmoldagens dos corpos de prova foram realizadas de acordo com a ABNT NBR 5738:2003. Já os moldes dos corpos de prova das argamassas eram cilíndricos com dimensões de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura. As moldagens e desmoldagens dos mesmos foram realizadas de acordo com a ABNT NBR 7215:1996.

Foram moldados quatro corpos de prova para o concreto base e quatro corpos de prova para cada tipo de argamassa, para cada tipo de ensaio (resistência a compressão e resistência a tração por compressão diametral aos 28 dias), e ainda mais quatro corpos de prova para quantificar a resistência à compressão do concreto base aos 56 dias, totalizando quarenta e quatro corpos de prova.

A cura dos corpos de prova foi feita em ambiente de laboratório com temperatura variado em torno de 27°C e protegido de intempéries.

Para a caracterização do concreto base e das argamassas foram realizados o ensaio de resistência à compressão (ABNT NBR 5739:2007) e o ensaio de resistência à tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222:1994), conforme Figura 8 e Figura 9, respectivamente. Para efeito de regularização das superfícies das bases dos corpos-de-prova nos ensaios foi utilizado borracha de neoprene.



**Figura 7 – Ensaio de resistência à compressão**



**Figura 8 – Ensaio de tração por compressão diametral**

O equipamento utilizado foi a máquina universal de ensaio DL – 30000 da Emic.

## 6.2 ENSAIO DO PRISMA RECONSTITUÍDO

Inicialmente montou-se as fôrmas onde foram moldados as vigas (corpos de prova) de madeira compensada plastificada, para que as fôrmas não alterassem o fator água/cimento do concreto. As fôrmas possuíam dimensões de 100x100x400mm.

Foi feito uma saliência de madeirite e EPS no fundo da fôrma (Figura 13) para que produzisse um entalhe deixando as vigas configuradas de acordo com a Figura 14.



Figura 9 – Fôrma dos prismas com a saliência

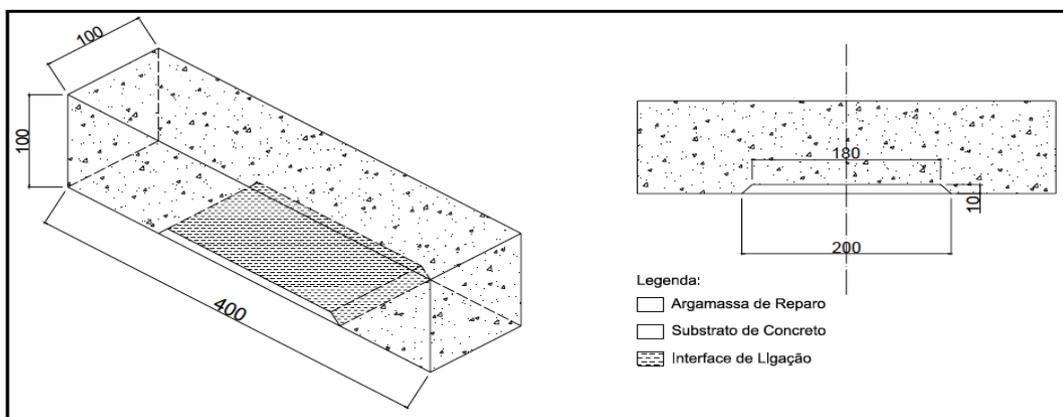


Figura 10 – Configuração dos prismas, segundo NF P 18-851 (AFNOR) 1992  
Dimensões em milímetros (mm)

Após 28 dias (cura do concreto) as vigas foram desmoldadas, retirado a saliência e novamente reintroduzidas nas fôrmas para que fosse aplicado o adesivo estrutural e, por fim, a argamassa fosse aplicada no entalhe. Após 28 dias (cura da argamassa) as vigas foram desmoldadas para que se pudesse realizar o ensaio, conforme Figura 15.



**Figura 11 – Entalhes dos prismas preenchidos com argamassa de reparo**

Foram necessários quatro corpos de prova monolíticos (apenas concreto base sem o entalhe) e quatro corpos de prova com entalhe para cada tipo de argamassa, resultando em vinte e quatro corpos de prova.

Por fim, as vigas foram submetidas ao ensaio do prisma reconstituído seguindo o procedimento normatizado pela NF P 18-851 (AFNOR). Tal ensaio é realizado com a aplicação de carga 130,8 N/s (800 kgf/min) através de dois cutelos distantes 10 cm, com o corpo de prova reconstituído voltado com a argamassa para baixo e apoiado em outros dois cutelos distantes 30 cm, conforme Figura 16.



**Figura 12 – Ensaio de reconstituição do prisma**

O equipamento utilizado foi a máquina universal de ensaio DL – 30000 da Emic.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Após a realização dos ensaios de caracterização foram obtidos os resultados apresentados de acordo com a Tabela 2 e 3, relativas à argamassas, e Tabelas 4, 5 e 6, relativas ao concreto base.

**Tabela 2 – Resistência à compressão e módulo de elasticidade longitudinal das argamassas aos vinte e oito dias**

| Argamassa   | CP | Ø Médio (mm) | Altura (mm) | $f_{c,28}$ (MPa) | E (GPa) |
|-------------|----|--------------|-------------|------------------|---------|
| Argamassa 1 | 1  | 50,33        | 100,25      | 32,36            | 24,90   |
|             | 2  | 50,45        | 101,20      | 29,04            | 26,70   |
|             | 3  | 50,00        | 100,30      | 40,95            | 23,70   |
| Argamassa 2 | 4  | 50,30        | 100,50      | 36,82            | 25,60   |
|             | 5  | 50,08        | 100,40      | 37,14            | 25,70   |
|             | 6  | 50,20        | 100,35      | 36,96            | 25,20   |
|             | 7  | 50,08        | 100,05      | 37,14            | 40,50   |
| Argamassa 3 | 8  | 50,05        | 100,50      | 41,87            | 21,90   |
|             | 9  | 50,03        | 100,00      | 41,90            | 20,90   |
|             | 10 | 50,13        | 100,75      | 41,74            | 22,00   |
|             | 11 | 50,23        | 100,50      | 41,57            | 22,40   |
| Argamassa 4 | 12 | 50,15        | 100,65      | 38,72            | 31,20   |
|             | 13 | 50,00        | 99,75       | 38,96            | 21,10   |
|             | 14 | 50,38        | 100,75      | 38,37            | 26,10   |
|             | 15 | 50,18        | 100,45      | 38,68            | 24,40   |

**Tabela 3 – Resistência à tração por compressão diametral das argamassas aos vinte e oito dias**

| Argamassa   | CP | Ø Médio (mm) | Altura (mm) | $f_{t,28}$ (MPa) |
|-------------|----|--------------|-------------|------------------|
| Argamassa 1 | 1  | 50,10        | 100,70      | 7,00             |
|             | 2  | 50,25        | 101,00      | 7,00             |
| Argamassa 2 | 3  | 50,00        | 99,70       | 7,00             |
|             | 4  | 50,00        | 99,95       | 7,00             |
|             | 5  | 50,00        | 100,00      | 7,00             |
|             | 6  | 50,03        | 100,00      | 8,00             |
| Argamassa 3 | 7  | 50,55        | 101,30      | 5,00             |
|             | 8  | 50,15        | 100,20      | 7,00             |
|             | 9  | 50,08        | 99,70       | 8,00             |
|             | 10 | 50,18        | 100,40      | 7,00             |
| Argamassa 4 | 11 | 49,95        | 100,75      | 7,00             |
|             | 12 | 50,20        | 100,40      | 8,00             |
|             | 13 | 49,90        | 100,80      | 8,00             |
|             | 14 | 49,88        | 99,70       | 8,00             |
|             | 16 | 50,63        | 101,35      | 6,00             |
|             | 17 | 50,00        | 100,50      | 8,00             |
|             | 18 | 50,13        | 100,00      | 7,00             |

**Tabela 4 – Resistência à compressão do concreto base aos vinte e oito dias**

| CP | Ensaio                                  | Ø Médio (mm) | Altura (mm) | $f_{c,28}$ (MPa) |
|----|---|--------------|-------------|------------------|
| 1  | Resistência à Compressão ( $f_{c,28}$ ) | 100,18       | 199,70      | 33,22            |
| 2  |   | 100,38       | 200,00      | 30,05            |
| 3  |   | 100,00       | 200,10      | 34,24            |
| 4  |   | 100,18       | 200,15      | 31,45            |

Tabela 5 – Resistência à tração do concreto base aos vinte e oito dias

| CP | Ensaio  | Ø Médio (mm) | Altura (mm) | $f_{t,28}$ (MPa) |
|----|---|--------------|-------------|------------------|
| 1  | Tração por Compressão Diametral ( $f_{ct,28}$ ) | 100,35       | 199,90      | 3,02             |
| 2  |   | 100,03       | 200,15      | 4,07             |
| 3  |   | 100,53       | 200,00      | 3,12             |

Tabela 6 – Resistência à compressão e módulo de elasticidade longitudinal do concreto base aos cinquenta e seis dias

| CP | Ensaio  | Ø Médio (mm) | Altura (mm) | $f_{c,56}$ (MPa) | E (GPa) |
|----|---|--------------|-------------|------------------|---------|
| 1  | Resistência à Compressão e Módulo de Elasticidade ( $E_{c,56}$ e $f_{c,56}$ ) | 100,45       | 201,85      | 31,70            | 35,30   |
| 2  |   | 100,03       | 200,55      | 28,01            | 35,50   |
| 3  |   | 100,13       | 200,25      | 31,32            | 37,20   |
| 4  |   | 100,13       | 200,00      | 31,32            | 34,10   |

A partir dos dados representados pelas Tabelas 2 e 4, calculou-se as médias da resistência à compressão ( $f_{c,m}$ ) das quatro argamassas e do concreto base. Em seguida, compararam-se essas médias com suas respectivas resistências à compressão fornecidas pelos fabricantes (Tabela 1), bem como a resistência estimada para o concreto base, conforme ilustra o Gráfico 1:

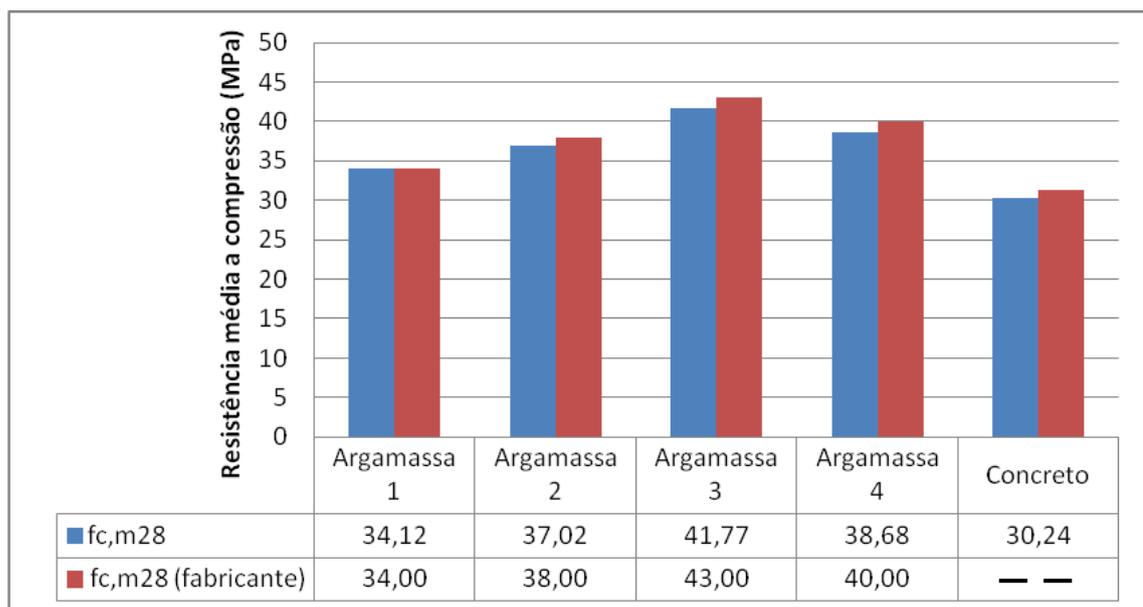
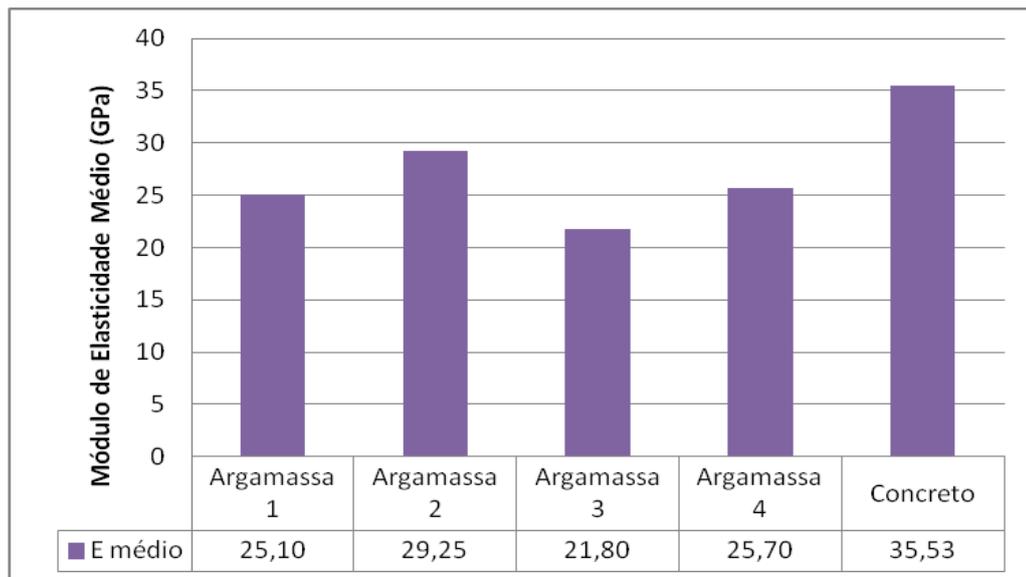
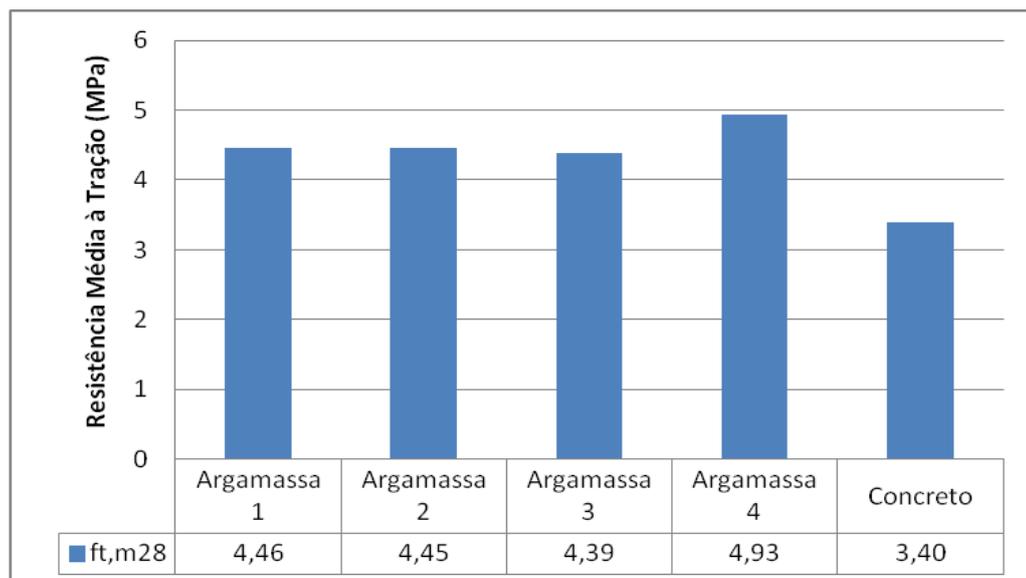


Gráfico 1 – Resistência média à compressão do concreto base e das quatro argamassas e do concreto base

A partir das Tabelas 2, 3, 5 e 6 calculou-se também as médias do módulo de elasticidade ( $E_{\text{médio}}$ ) e da resistência à tração ( $f_{t,m}$ ) das quatro argamassas e do concreto base, comparando-as nos Gráficos 2 e 3, respectivamente:



**Gráfico 2 – Média módulo de elasticidade longitudinal (E) das quatro argamassas e do concreto base**



**Gráfico 3 – Resistência média à tração das quatro argamassas e do concreto base**

Os relatórios dos ensaios fornecidos pelo equipamento estão disponíveis em anexos A, B, C, D e E.

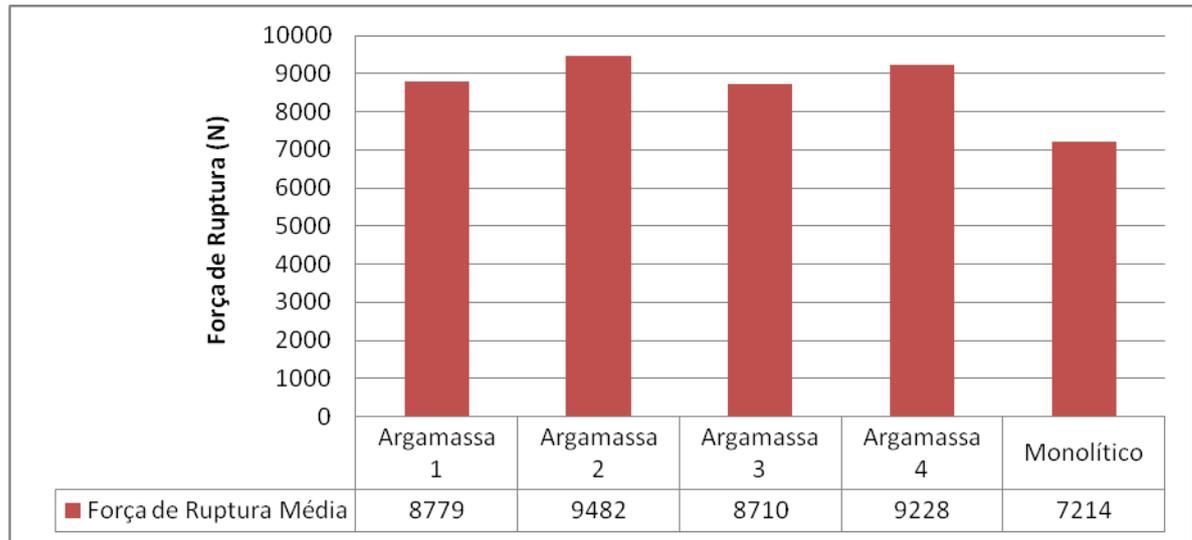
## 7.2 ENSAIO DO PRISMA RECONSTITUÍDO

Após a realização do ensaio do prisma reconstituído, cujo esquema pode ser visto na Figura 6 e o aparato do ensaio é apresentado na Figura 13, obteve-se os resultados apresentados por meio da Tabela 7:

**Tabela 7 – Resultado do ensaio do prisma reconstituído**

| Argamassa  | CP | Base (mm) | Altura (mm) | Força de Ruptura (N) |                                      | Tipo de Ruptura (Ver Anexo F) |
|--|----|-----------|-------------|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Argamassa 1  | 1  | 101,25    | 101,05      | 8913                 | Média = 8779<br>s = 639<br>CV = 7,3  | Tipo M                        |
|  | 2  | 100,87    | 100,87      | 8650                 |                                      | Tipo M                        |
|  | 3  | 101,18    | 100,87      | 9548                 |                                      | Tipo I-2                      |
|  | 4  | 101,18    | 99,83       | 8005                 |                                      | Tipo M                        |
| Argamassa 2  | 5  | 101,57    | 103,57      | 9739                 | Média = 9482<br>s = 705<br>CV = 7,4  | Tipo I-2                      |
|  | 6  | 101,25    | 101,53      | 9956                 |                                      | Tipo I-2                      |
|  | 7  | 100,78    | 102,17      | 9801                 |                                      | Tipo I-2                      |
|  | 8  | 100,93    | 103,60      | 8433                 |                                      | Tipo M                        |
| Argamassa 3  | 9  | 101,52    | 101,57      | 8799                 | Média = 8710<br>s = 936<br>CV = 10,7 | Tipo M                        |
|  | 10 | 100,82    | 101,65      | 9997                 |                                      | Tipo M                        |
|  | 11 | 100,93    | 100,70      | 8118                 |                                      | Tipo M                        |
|  | 12 | 100,85    | 99,43       | 7927                 |                                      | Tipo M                        |
| Argamassa 4  | 13 | 101,03    | 101,50      | 9187                 | Média = 9228<br>s = 219<br>CV = 2,4  | Tipo M                        |
|  | 14 | 101,10    | 100,63      | 8939                 |                                      | Tipo M                        |
|  | 15 | 100,78    | 100,90      | 9439                 |                                      | Tipo I-1                      |
|  | 16 | 101,30    | 102,93      | 9347                 |                                      | Tipo I-2                      |
| Monolítico   | 21 | 101,17    | 100,73      | 7958                 | Média = 7214<br>s = 604<br>CV = 8,4  | -                             |
|  | 22 | 101,67    | 101,18      | 6529                 |                                      | -                             |
|  | 23 | 100,58    | 101,63      | 6998                 |                                      | -                             |
|  | 24 | 100,78    | 100,63      | 7369                 |                                      | -                             |
| s = Desvio Padrão ; CV = Coeficiente de Variação (%) |    |           |             |                      |                                      |                               |

A partir dos dados relacionados à tabela acima foi calculada a força de ruptura média dos corpos de prova monolítico e daqueles que foram reparados com as argamassas, apresentadas no Gráfico 5:



**Gráfico 4 – Força de ruptura média dos os corpos de prova no ensaio do prisma reconstituído**

## 8 CONCLUSÃO

Após a análise dos resultados dos ensaios de caracterização, foi possível observar que a argamassa 1 atingiu o valor médio de 34,12 MPa para a resistência à compressão, cujo valor é praticamente igual ao valor fornecido pelo fabricante, que é de 34,0 MPa (Tabela 1), e superior quando comparado ao concreto base. Ao analisar a resistência à tração, observa-se que tal argamassa alcançou o valor de 4,46 MPa, ou seja, 13,1% da resistência à compressão média. No ensaio do prisma reconstituído, o reparo com a argamassa aumentou a capacidade de carga dos corpos de prova em média 21,7% em relação à capacidade dos corpos de prova monolíticos, resistindo a uma força de ruptura média de 8779 N. A ruptura predominante foi a do Tipo M.

Para a resistência à compressão média, a argamassa 2 atingiu o valor de 37,02 MPa, apresentado-se próximo ao valor fornecido pelo fabricante que é de 38,0 MPa (Tabela 1), e superior quando comparado ao concreto base. O valor alcançado na resistência à tração por essa argamassa foi de 4,45 MPa, ou seja, 12% da resistência à compressão média. No ensaio do prisma reconstituído, a força de ruptura média dos corpos de prova foi de 9482 N, resultando 31,4% superior a força de ruptura média dos corpos de prova monolíticos. A ruptura predominante foi a do Tipo I-2.

Para a argamassa 3 obteve-se 41,77 MPa como resultado médio de resistência à compressão, ficando próximo ao valor fornecido pelo fabricante que é de 43,0 MPa (Tabela 1), e superior se comparado com o concreto base. No resultado de tração, essa argamassa atingiu o valor médio de 4,39 MPa sendo 10,5% da resistência média à compressão. No ensaio do prisma reconstituído, a força de ruptura média dos corpos de prova foi igual a 8710 N, ficando 20,7% superior quando comparada com a força de ruptura média corpos de prova monolíticos. A ruptura foi apenas do Tipo M.

A argamassa 4 atingiu o valor de 38,68 MPa como resultado médio da resistência à compressão, permanecendo próximo ao valor fornecido pelo fabricante que é de 40,0 MPa (Tabela 1), e acima quando comparado ao concreto base. Analisando os resultados do ensaio de tração, essa argamassa alcançou o valor médio de 4,93 MPa, em torno de 12,7% da resistência média à compressão. No

ensaio do prisma reconstituído, a força de ruptura média dos corpos de prova atingiu o valor de 9228 N, ou seja, 28% superior à força de ruptura média dos corpos de prova monolíticos. A ruptura predominante foi do Tipo M.

Os valores de resistência à compressão obtidos nos ensaios de caracterização e àqueles fornecidos pelos fabricantes foram bastante próximos e as diferenças encontradas podem ser atribuídas a diferenças no preparo dos corpos de prova, como cura e regularização da superfície das amostras para a realização dos ensaios. Com relação ao ensaio do prisma reconstituído, de maneira geral, conclui-se que as argamassas foram eficientes na reconstituição (reparo) dos corpos de prova ensaiados.

## REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 363. **High strength concrete: state of the art.** ACI Journal: Proceedings, v.81, n.4, jul./ago. 1984.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C125-92:** Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. ASTM C125-92. Estados Unidos, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland.** 7.ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 5738:** Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. NBR-5738. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 6118:** Projeto de execução de obras de concreto armado. NBR-6118. Rio de Janeiro, 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 7215:** Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. NBR-7215. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 7222:** Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. NBR-7222. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **AFNOR NF P 18-851:** Produits ou systèmes de produits à base de résines synthétiques ou de liants hydrauliques destinés aux réparations de surface du béton durci – Essai de flexion sur éprouvette évidée et reconstituée. AFNOR NF P 18-851. Bruxelles, 1992.

BASÍLIO, Eduardo Santos. **Agregados para concreto.** São Paulo: ABCP, 1989.

BATISTA, Michelle. A mágica dos polímeros, **Recuperar**, São Paulo, v.1, n. 78, p. 4-11, jul-ago. 2007.

CARMONA FILHO, Antonio; CARMONA, Thomas Garcia. “**Curso de recuperação, reforço e proteção das estruturas de concreto**”. Florianópolis, 2009.

CARVALHO, Roberto C.; FIGUEIREDO FILHO, Jasson R. de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. 3. ed. São Carlos: Edufscar, 2010.

COMITE MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NM 137**: Argamassa e concreto – água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento portland. NM 137:97. Montevideu, 1998.

GOMES, Nivaldo de Almeida. **Estruturas de concreto armado em ambiente urbano: avaliação da carbonatação à luz das recomendações da NBR 6118:2003**. 2006. 112 f. Dissertação (Pós Graduação em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LEE, Ming-Gin; WANG, Yung-Chih; CHIU, Chui-Te. A preliminary study of reactive powder concrete as a new repair material. **Constr. Build. Mater.**, v.21, p. 182-189, 2007.

MARTINS, Leidimara Aparecida. **Desenvolvimento de argamassa auto-adensável de alta resistência**. 2011. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Concreto. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MORENO JUNIOR, Rafael; SELMO, Sílvia Maria de Souza. **Aderência de argamassas de reparo de estruturas de concreto**. 2007. 20 f. Boletim Técnico (Série BT/PCC) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

NASCIMENTO, Poliana Paula. **Análise experimental de pilares de concreto armado submetidos à flexo-compressão, reforçados com concreto auto-adensável e conectores**. 2009. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

PEÑA, Manuel Ramón Grullón. **Estudo da fissuração associada à retração em argamassas para reparo em estruturas de concreto**. 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PINHEIRO, Libânio Miranda et al. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios:** estruturas de concreto. São Carlos, 2010.

REIS, Andréa Prado Abreu. **Reforço de vigas de concreto armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de aço e argamassa de alto desempenho.** 1998. 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

SALES, Angela Teresa Costa. **Retração, fluência e fratura em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu.** 2006. 273 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, Djalma Ribeiro da. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado, visando a melhoria na sua durabilidade.** 2006. 195 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

SILVA, Moema Ribas. **Materiais de Construção.** 2. Ed. São Paulo: Pini, 1991.  
SOBRAL, Hernani Sávio. **Propriedades do Concreto Fresco.** São Paulo: ABCP, 1990.

SOUZA, Vicente C. M. de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço das estruturas de concreto.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.























## ANEXO F – TIPO DE RUPTURA ENSAIO DO PRISMA RECONSTITUÍDO DAS ARGAMASSAS

Figura F1: Argamassa 1



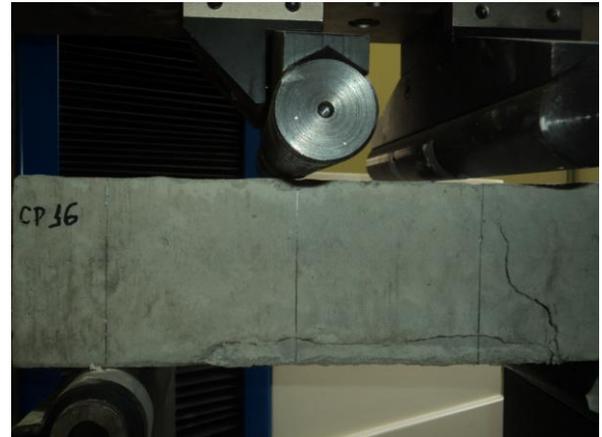
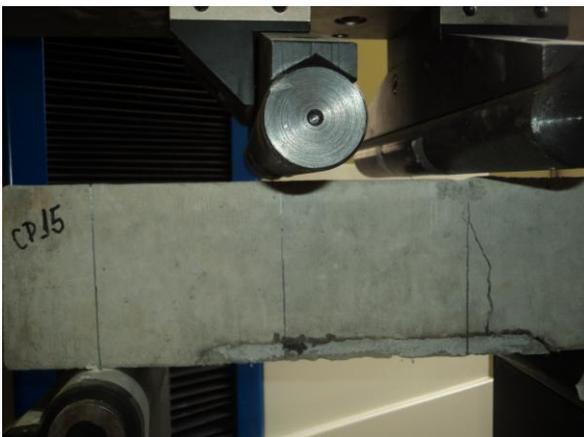
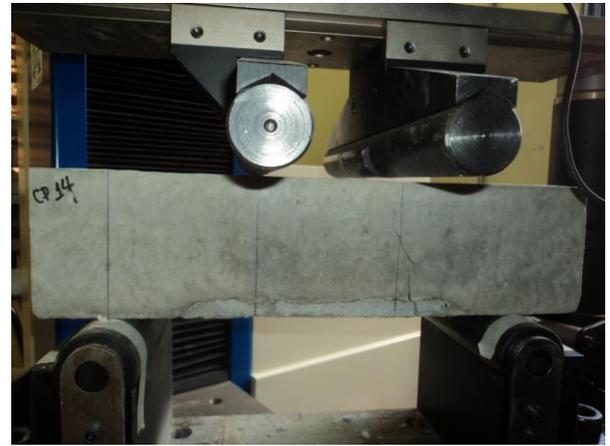
Figura F2: Argamassa 2



Figura F3: Argamassa 3



Figura F4: Argamassa 4



**ANEXO G – TIPO DE RUPTURA DO ENSAIO DO PRISMA MONOLÍTICO**

