



**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA PONTE DE ADERÊNCIA
EPOXÍDICA ENTRE SUBSTRATO DE CONCRETO E ARGAMASSA
POLÍMÉRICA**

VILA VELHA
2011



DANNILO ALBERTO ZORZAL ROSSI

LUCAS DE CARVALHO STHEL

STELA CRISTINA VERUS ASSUMPÇÃO

**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA PONTE DE ADERÊNCIA
EPOXÍDICA ENTRE SUBSTRATO DE CONCRETO E ARGAMASSA
POLÍMÉRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

VILA VELHA
2011

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro civil prof. Luiz César De Luca pela valiosa colaboração dada e ensinamentos transferidos e, sobretudo, por sua amizade.

Ao Professor Emílio Minoru e José Roberto Saleme Júnior pela gentileza de colaborar irrestritamente com sua experiência atendendo prontamente todas as vezes que solicitado.

Aos professores do curso de Patologia das Obras Cíveis pelos ensinamentos passados e experiência dividida com profissionalismo e excelência.

A MC Bauchemie pela disponibilização de parte do material utilizado.

A STHEL Serviços Especiais pela disponibilização de mão-de-obra, equipamentos e materiais utilizados.

Ao Professor Dr. Fernando Avancini Tristão da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pelo apoio e colaboração nos ensaios.

Ao Condomínio do Edifício Premiere, por permitir realizar os ensaios na laje do piso do pavimento S1.

FOLHA DE APROVAÇÃO

**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA PONTE DE ADERÊNCIA ENTRE
SUBSTRATO DE CONCRETO E ARGAMASSA POLÍMÉRICA**

Por

DANNILO ALBERTO ZORZAL ROSSI

LUCAS DE CARVALHO STHEL

STELA CRISTINA VERUS ASSUMPÇÃO

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Vila Velha (ES) 02 de dezembro de 2012.

Luis Cesar Siqueira De Luca, M.Sc.

Cesar Henrique Sato Daher, M.Sc.

Jorge Mikaldo Júnior, MSc

RESUMO

Na construção civil, produtos utilizados para unir materiais de propriedades distintas, que tem necessidade de boa aderência, são conhecidos como pontes de aderência. Não há conhecimento de muitos estudos conclusivos que possam atestar a real necessidade e a influência desses sistemas de ponte de aderência. Assim, este trabalho tem por objetivo identificar, através de ensaios de arrancamento, qual a influência na resistência de aderência à tração de argamassa polimérica estrutural sobre substrato de concreto, com a utilização de ponte química de aderência. Para isso foi executado um programa experimental, utilizando-se de ponte de aderência de base epóxi e uma situação de referência com o substrato saturado e sua superfície seca. Com isso, foi possível avaliar o uso de ponte de aderência.

Palavras chave: argamassa polimérica estrutural, ponte de aderência, ensaio de arrancamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Delimitação da área a reparar	23
Figura 2: Delimitação do corpo-de-prova de revestimento pelo corte (NBR 13528/2010)	30
Figura 3: – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco (NBR 13528/2010)	32
Figura 4: – Esquema para programa experimental	34
Figura 5: – Resultados dos ensaios para investigar a resistência à compressão de testemunhos extraídos do substrato de concreto utilizado.....	56

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Remoção do concreto ao redor das armaduras	24
Foto 2: Limpeza da armadura a armadura	26
Foto 3: Proteção das armaduras com inibidor de corrosão	27
Foto 4: Recomposição da estrutura.....	28
Foto 5: Pintura de revestimento e proteção.....	29
Foto 6: Saco de Zentrifiz GM2 instantes antes de sua utilização	35
Foto 7: Embalagem de MC-DUR 1300, componentes A e B.....	36
Foto 8: Apicoamento de concreto com rompedor elétrico.....	37
Foto 9: Desbaste superficial com lixadeira elétrica e rebolo abrasivo	37
Foto 10: Superfície com rugosidade uniformemente distribuída.....	38
Foto 11: Detalhe da fôrma sendo preparada	39
Foto 12: Adesivo epóxi, MC-DUR 1300	40
Foto 13: Adesivo epóxi sendo aplicado com rolo.....	40
Foto 14: Mistura da argamassa polimérica Zentrifix GM2 com misturador de haste dupla.....	41
Foto 15: Argamassa polimérica sendo aplicada sobre o adesivo epóxi	42
Foto 16: Nivelamento da argamassa polimérica.....	42
Foto 17: Argamassa polimérica aplicada e nivelada sobre ponte de aderência de base epóxi	43
Foto 18: Superfície sendo previamente umidecida.....	44
Foto 19: Lâmina de água utilizada para a saturação do substrato	44
Foto 20: Lâmina de água utilizada para a saturação do substrato	45
Foto 21: Distribuição dos pontos de corte na área sobre ponte de aderência epoxídica	46
Foto 22: Distribuição dos pontos de corte sobre área de referência ...	46
Foto 23: Distribuição dos pontos de corte sobre área de referência ...	47

Foto 24: Interface de ruptura do CP rompido durante o processo de corte.	47
Foto 25: Interface de ruptura do CP rompido durante o processo de corte.	48
Foto 26: Medição da espessura do CP para confirmação da interface de ruptura.....	48
Foto 27: Lixamento da face inferior das pastilhas	49
Foto 28: Resultado após a conclusão do lixamento	49
Foto 29: Área de referência com as pastilhas coladas e posicionadas para o ensaio	50
Foto 30: Ensaio de arrancamento.....	51
Foto 31: Nivelamento do equipamento de arrancamento	51
Foto 32: Dados fornecidos pelo equipamento	52
Foto 33: Medição do diâmetro	52
Foto 34: Corpo-de-prova rompido na interface argamassa/substrato durante o corte	53
Foto 35: – Comparação entre as superfícies de ruptura ocorridas no substrato.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ensaio de arrancamento na situação de referência	54
Tabela 2 - Ensaio de arrancamento: ponte de aderência epoxídica.....	54
Tabela 3 – Comparativo entre tensões de ruptura	56

EQUAÇÃO

Equação 1: Equação de resistência à tração.....	31
---	----

GRÁFICO

Gráfico 1 – Comparativo Situação de Referência x Ponte de aderência epoxídica.....	55
--	----

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	3
RESUMO	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE FOTOS.....	7
LISTA DE TABELAS.....	9
EQUAÇÃO.....	9
GRÁFICO	9
SUMÁRIO.....	10
SUMÁRIO.....	10
1. INTRODUÇÃO	12
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2.1. Objetivo Geral	12
1.2.2. Objetivos Específicos	13
1.3. HIPÓTESE	13
1.4. JUSTIFICATIVAS	13
1.4.1. Tecnológicas.....	13
1.4.2. Econômicas	14
1.4.3. Sociais	14
1.4.4. Ecológicas	14
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. MATERIAIS PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL.....	17
2.1.1. Argamassa estrutural modificada com polímeros	17
2.1.2. Argamassa de recomposição de base poliéster	18
2.1.3. Graute	18

2.1.4. Resinas para injeção	19
2.2. PONTES DE ADERÊNCIA	19
2.3. INIBIDORES DE CORROSÃO	21
2.4. PROCEDIMENTOS DE RECUPERAÇÃO	22
2.5. ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	29
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	34
3.1. MATERIAIS	34
3.1.1. Substrato	34
3.1.2. Argamassa polimérica	35
3.1.3. Ponte de aderência epoxídica	35
3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	36
3.2.1. Preparo do substrato	36
3.2.2. Preparo da fôrma	38
3.2.3. Preparo e aplicação da ponte de aderência química	39
3.2.4. Preparo e aplicação da argamassa polimérica	40
3.2.1. Preparo e aplicação em área de referência	43
4. RESULTADOS	53
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIA	58
ANEXOS	62

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho possui como tema principal identificar a influência da ponte epoxídica de aderência na utilização de argamassas poliméricas para reforços e reparos estruturais, já que diferentes técnicas são utilizadas e defendidas por especialistas, fabricantes e pesquisadores para serviços nos quais há a necessidade de unir materiais de propriedades distintas.

Essas técnicas e materiais, conhecidos como pontes de aderência, são sistemas utilizados com o intuito de aumentar a aderência entre materiais distintos, como os utilizados nas recuperações, reparos e reforços estruturais. Alguns fabricantes só garantem as características de seus produtos como grautes, argamassas poliméricas ou materiais de base epóxi se utilizados juntamente com determinadas pontes químicas de aderência. Contudo, não existem muitos estudos conclusivos que possam atestar a real necessidade e influência desses sistemas de ponte de aderência.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual a influência, sobre a resistência de aderência à tração, da ponte químicas de aderência base epóxi, quando utilizada na união entre argamassa polimérica estrutural e um substrato de concreto?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Identificar, através de ensaios de arrancamento, qual a influência na resistência de aderência à tração de argamassa polimérica estrutural sobre

substrato de concreto, com a utilização de ponte química de aderência base epóxi.

1.2.2. Objetivos Específicos

São os objetivos específicos deste trabalho:

- a) Obter valores de resistência de aderência à tração em diferentes situações.
- b) Comparar os resultados obtidos dos ensaios de arrancamento realizados em substrato de concreto utilizando ponte de aderência de base epóxi e com a situação de referência, substrato saturado e superfície seca.

1.3. HIPÓTESE

Supõe-se que as pontes de aderência influenciam na transferência de carga na união de diferentes materiais, melhorando assim esta união.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Neste item apresentam-se as justificativas para a pesquisa, a saber: tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas.

1.4.1. Tecnológicas

A identificação da real necessidade e influência de diferentes sistemas de ponte de aderência poderá contribuir tecnologicamente na avaliação do

desempenho de serviços como reparos e reforço estruturais, além de estabelecer metodologias adequadas e dimensionadas a real necessidade do serviço.

1.4.2. Econômicas

Com a demonstração do desempenho da ponte química de aderência, os engenheiros estarão certos de que os produtos utilizados são realmente importantes na aderência dos reparos e que não há desperdício nos procedimentos. Igualmente, se o desempenho da ponte de aderência se demonstrar igual ou inferior ao uso de saturação por água com superfície seca, tal produto poderá ser dispensado em determinados procedimentos com produtos de recuperação e isso significará uma economia tanto na aquisição desses adesivos quanto na mão de obra de execução, em virtude da simplificação deste processo.

1.4.3. Sociais

A insuficiência de estudos e informações sobre a utilização de pontes de aderência em reparos e reforços estruturais, por vezes, gera dúvidas e questionamentos quanto à eficiência desses serviços e quanto à sua metodologia de execução. Sendo assim, a ampliação dos conhecimentos ao redor das pontes de aderência, poderá contribuir para a convergência entre metodologias, além da difusão desses conhecimentos dentro da engenharia.

1.4.4. Ecológicas

A pesquisa proposta se coaduna com os princípios de sustentabilidade, já que visa avaliar a real necessidade do uso de técnicas e materiais, evitando o consumo desnecessário de recursos e, conseqüentemente, reduzindo a emissão de entulhos na obra.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Buscando atingir os objetivos já expostos, a pesquisa se desdobrará em duas etapas principais.

- a) A primeira etapa consiste em uma Revisão Bibliográfica a cerca da utilização de pontes químicas de aderência e sua contribuição na aderência de materiais de reparos e substrato, através de consultas a dissertações, teses, monografias, artigos científicos, normas aplicáveis, a fim de obter subsídios suficientes para a etapa seguinte. Além disso, pretende-se fixar os principais procedimentos a cerca da utilização de pontes de aderência e também unificar a linguagem técnica, já que fabricantes utilizam terminologias diferentes a fim de divulgar melhor seu produto.
- b) Programa experimental, no qual serão realizados ensaios laboratoriais para determinação de resistência de aderência à tração entre argamassa polimérica e substrato em recomposição de estruturas de concreto convencionais, utilizando-se ponte de aderência à base de resina epóxi e da situação de referência, substrato saturado e superfície seca conforme recomendação das normas.
- c) Após a conclusão dos ensaios, os resultados serão analisados em conformidade com as normas vigentes aplicáveis e comparados entre si.
- d) Finalmente, de acordo com as análises feitas será possível tecer considerações sobre o desempenho da aplicação da ponte de aderência escolhida.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho será dividido em 5 capítulos.

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre reparos, reforços estruturais e recuperações. Também serão abordados os tipos de pontes de aderência e argamassas poliméricas, sua classificação e critérios de seleção, abordando aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ecológicos para a definição do material escolhido. Descreve a evolução histórica do concreto

O **Capítulo 3** trata sobre o programa experimental para os ensaios de arrancamento, apresentando a descrição do passo a passo.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados dos testes de arrancamento da argamassa do concreto.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

Este capítulo tratou de aspectos fundamentais do trabalho, desde o tema de pesquisa até a apresentação do mesmo. Já o capítulo seguinte trará a revisão bibliográfica que embasou o programa experimental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo anterior apresentou o tema sobre o qual tratará o trabalho, mostrando os principais objetivos, o problema de pesquisa e a importância do assunto. Este capítulo apresentará materiais de recuperação estrutural, ponte de aderência, procedimentos de recuperação chegando a discorrer sobre o ensaio de arrancamento.

2.1. MATERIAIS PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

Este item abordará os principais e mais utilizados produtos de recuperação estrutural

2.1.1. Argamassa estrutural modificada com polímeros

Argamassas poliméricas a base de cimento Portland, modificadas com polímeros, são compostas de agregados de graduação adequada – geralmente com granulometria contínua ou descontínua, no caso de alta resistência a abrasão – formuladas especialmente com aditivos e adições que lhe conferem propriedades especiais. São também chamadas de argamassa a base de mineral e o processo de endurecimento está baseado na reação dos grãos de cimento com a água de amassamento. (HELENE, 1992)

Em reparos localizados geralmente são utilizadas argamassas poliméricas com consistência seca, moldáveis chamadas tixotrópicas, com trabalhabilidade adequada para utilização em superfícies verticais e inclinadas, em que o uso requer o auxílio das mãos, dispensando fôrmas.

Já nos casos de aplicação em grandes áreas utilizam-se argamassas modificadas com polímeros e com consistência adequada para aplicação com

equipamento de projeção. Em ambos os casos apresentam alta aderência ao substrato e elevada resistência mecânica. (HELENE, 1992)

As argamassas poliméricas frequentemente têm retração compensada. Podem ser compostas com resinas acrílicas do tipo metilmetacrilato ou estireno-butadieno ou ainda com resinas a base de PVA. Quando são formuladas com resinas PVA, tem utilização restrita devido à baixa resistência a umidade e à ação agressiva do ambiente. (HELENE, 1992)

2.1.2. Argamassa de recomposição de base poliéster

São argamassas constituídas por três componentes: resina em solução, catalisador e fíleres inertes com modificadores de formulação, conforme Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón: reparación, refuerzo y protección (2003).

Indicadas para preenchimento de cavidades. Devem ser aplicadas sobre substrato preparado e seco, no qual haja grande abrasão e/ou ataque químico, como vertedores de barragens hidrelétricas e tanque de efluentes e produtos químicos.

2.1.3. Graute

Segundo SOUZA e RIPPER (1998) são argamassas previamente preparadas por empresas especializadas, que tem como principais atrativos a fácil aplicação, a elevada resistência mecânica e a ausência de retração. Indicado para ancoragens de máquinas e equipamentos, para ancoragem de tirantes, fixação de placas de apoio e reparos em geral. É composto de cimento, areia de quartzo selecionada e aditivos especiais. A diferença básica entre o graute e a argamassa, além de ser mais barato financeiramente, requer a utilização formas, enquanto as

argamassas não necessitam. A adição em até 30% do peso de brita 0 no graute transforma no chamado micro-concreto.

2.1.4. Resinas para injeção

A fim de restabelecer a monoliticidade de elementos de concreto fissurados, utiliza-se a injeção de resinas sintéticas de alto poder adesivo. SOUZA e RIPPER (1998).

Com baixa viscosidade e alta elasticidade, as resinas de poliuretano são indicadas para preenchimento de trincas com até 0,1 mm. São aplicadas através de injeções com compressores. Existem também as resinas epoxídicas que normalmente são indicadas para injeções em fissuras profundas estabilizadas. SOUZA e RIPPER (1998).

2.2. PONTES DE ADERÊNCIA

As pontes de aderência têm importância fundamental na eficiência da recomposição do concreto e na interligação dos produtos de recuperação com a estrutura existente (Revista Técnica). Há uma série de materiais que podem promover ou melhorar essa capacidade de associação. Em geral eles se enquadram em um dos três grupos abaixo:

Pasta de cimento: a aplicação de uma nata entre as camadas de concreto faz com que uma camada de "agente endurecedor" penetre nos poros do concreto, melhorando a adesão. Costuma ser pouco eficiente

Emulsões de polímeros: água e polímeros penetram na porosidade de ambas as camadas de concreto (a velha e a nova) gerando uma boa ancoragem. Formam sistemas bastante úteis e eficientes em superfícies molhadas ou úmidas

Adesivos de base epóxi: são os mais utilizados por serem os que melhor compatibilizam com o concreto e com o aço das armaduras, além de terem uma resistência química muito boa aos agentes corrosivos. Quando há umidade, porém, as emulsões devem ser preferidas.

A utilização da ponte de aderência é muito discutida entre os profissionais da área, principalmente pela dificuldade de aplicação do produto. Normalmente, estes produtos possuem “pot life”, ou tempo em aberto para aplicação muito curto, inviabilizando sua aplicação para grandes intervenções, e no caso de uma aplicação indevida isto pode ocasionar um ponto fraco no reparo com grande potencial de recorrência das manifestações patológicas.

De acordo com a norma EN 1504- 3 (2006), argamassas estruturais precisam ter resistência à aderência de pelo menos 1,5 MPa, e, se for uma argamassa não estrutural, deve ter entre 0,8 MPa a 1,5 MPa.

Segundo a EN 1504-10 (2008) superfície rugosa é benéfica para a aderência de um concreto antigo com o novo constituído pelos produtos e sistemas de reparação. A superfície rugosa pode ser alcançada por hidrojateamento ou por meios mecânicos. A rugosidade produzida por hidrojateamento é consideravelmente maior do que a produzida por meios mecânicos ou escarificação por jato de ar abrasivo. Ainda sobre rugosidade, pode ser dada uma textura rugosa à superfície do concreto ou argamassa de reparação antes do início de pega para melhorar a ligação mecânica com a próxima camada. Sobre a ligação dos dois materiais, deve-se decidir se é apropriado aplicar um produto para exercer a função de ponte de aderência, já que pode perder aderência caso ocorra pega do produto de ligação antes da aplicação dos produtos subsequentes.

Ainda seguindo as orientações da EN 1504-10 (2008), quando são utilizados produtos de reparação cimentícios ou poliméricos sem um produto como ponte de aderência e a superfície está umedecida por um período mínimo, a superfície não deve ser seca antes da aplicação dos produtos ou sistemas. Porém,

caso os poros superficiais estejam saturados, isto pode prejudicar aderência, portanto é indicado que a aparência da superfície deve ser mate escuro sem brilho. Pretende-se com a molhagem da superfície evitar a transferência de água do produto de reparação para o substrato afetando negativamente a hidratação do produto de reparação.

2.3. INIBIDORES DE CORROSÃO

Um inibidor de corrosão pode ser definido como um componente químico que objetiva prevenir a corrosão da armadura de aço e que não altere as propriedades do concreto. Sua atuação se dá na superfície das armaduras com o intuito de retardar, reduzir ou mesmo impedir a corrosão do aço devendo necessariamente não afetar as propriedades do concreto em todas suas fases de aplicação.

Segundo ANDRADE (1992), os inibidores de corrosão são substâncias que possuem a capacidade de bloquear a atividade da reação anódica, da reação catódica, ou de ambas. No caso particular do concreto, estas substâncias devem ser ativas em um meio alcalino, e não alterar substancialmente suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. De uma forma mais geral, GENTIL (2003) define inibidor de corrosão como sendo uma substância ou mistura de substâncias que, quando presentes em concentrações adequadas no meio corrosivo, reduzem ou eliminam a corrosão.

Deve-se ressaltar que os inibidores são específicos em termos do metal a proteger, do meio corrosivo, da temperatura e da sua faixa de concentração, portanto é imprescindível usar uma quantidade adequada de inibidor, já que muitos agentes inibidores podem acelerar a corrosão, provocando em especial um ataque localizado, como corrosão por pontos, se a concentração for abaixo da correta.

Além do nitrato de cálcio, que é um inibidor comercial tradicionalmente usado em estruturas de concreto armado, muitas substâncias foram testadas como inibidores contra a corrosão da armadura de aço do concreto. O monofluorofosfato de sódio foi estudado amplamente e aplicado em campo para prevenir o acesso da corrosão ou reduzir a velocidade da mesma, na presença de cloreto e na presença de carbonatação. Foi usado por penetração na superfície do concreto porque, como um aditivo, poderia induzir a um forte retardamento na pega do concreto, podendo formar compostos insolúveis no interior do mesmo. FREIRE (2005).

Outra opção para combate a corrosão das armaduras, conforme Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón: reparación, refuerzo y protección (2003), é o anodo galvânico para armaduras e cabos de protensão. É aplicado em peças estruturais de concreto armado, como vigas, pilares, blocos, cintas, além de peças de concreto protendido, particularmente nas regiões das ancoragens, onde haja presença de células de corrosão. É particularmente indicado para peças de concreto contaminadas pelo ambiente marinho ou industrial, não havendo necessidade do remanejamento do concreto contaminado.

Há exemplos de pontes de aderência, como o ZENTRIFIX KMH, que além de servirem de ponte de aderência também têm a função de trabalhar como inibidor de corrosão, conforme informações do fabricante MC-Bauchemie.

2.4. PROCEDIMENTOS DE RECUPERAÇÃO

Antes de qualquer indicação para procedimentos de recuperação, sugere-se a realização de ensaios apropriados a fim de diagnosticar a estrutura. Contudo podem-se apresentar algumas etapas básicas na recuperação estrutural que são defendidas quase em unanimidade pelos autores e profissionais da área, como por exemplo:

a) Delimitação da área de intervenção com disco de corte

Após a determinação das áreas de intervenção por meio dos ensaios de potencial de corrosão e de percussão, as regiões deverão ser delimitadas com disco de corte evitando-se excesso de quinas, ou seja, uniformizando as áreas sempre que possível, para evitar concentrações de tensões e consequentemente trincas. Os cortes devem formar um ângulo de 90 graus com a superfície. Caso a estrutura apresente baixo cobrimento das armaduras, a profundidade do corte deverá ser regulada para não comprometer a ferragem. Esta etapa deve ser conduzida por profissional experiente.

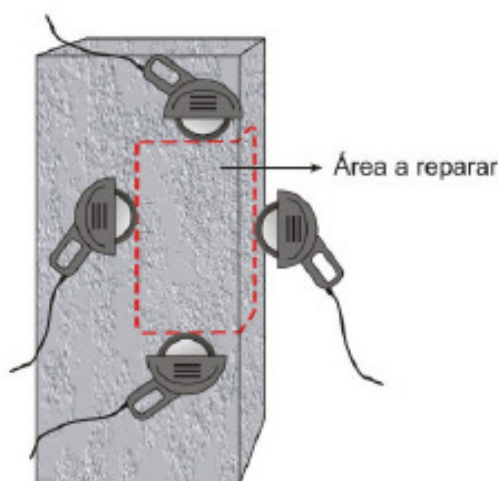


Figura 1: Delimitação da área a reparar

b) Remoção do concreto ao redor das armaduras

Todo o concreto afetado deverá ser removido manualmente ou com martelele eletromecânico de até 10 kg/1500 W para não afetar partes sãs do concreto, de forma a descobrir as armaduras em sua totalidade, viabilizando o

acesso de ferramentas para escovação e limpeza total do aço. Sugere-se que a profundidade após as barras seja de 3 vezes a dimensão do agregado para que o mesmo seja envolto pelo produto de recomposição. Deve-se remover todo o material solto. (HELENE, 1992).



Foto 1: Remoção do concreto ao redor das armaduras

c) Preparo e Limpeza do Substrato

“Os procedimentos de preparo e limpeza do substrato são tão importantes que alguns autores os consideram responsáveis por 50% ou mais do sucesso de uma recuperação ou reforço. Particularmente o autor considera que um reparo e limpeza inadequados podem comprometer integralmente um reparo ou reforço, por melhor e mais adequados que sejam os materiais e os sistemas empregados.” (HELENE, 1992).

O preparo do substrato é uma variedade de procedimentos que são realizados antes da limpeza superficial e da aplicação propriamente dita dos materiais e produtos de correção. O preparo do substrato são tratamentos prévios da superfície dos componentes estruturais. São exemplos deles: escarificação manual, disco de desbaste, escarificação mecânica, demolição, lixamento manual, lixamento elétrico, escovamento manual, pistola de agulha, jato de areia

seco ou úmido, disco de corte, queima controlada, máquina de desbaste superficial, etc. (HELENE, 1992).

A limpeza das superfícies é entendida como o conjunto dos procedimentos efetuados instantes antes da aplicação propriamente dita dos materiais de recuperação. Seriam por exemplo: jato de água fria, jato de água quente, vapor, soluções ácidas, soluções alcalinas, jato de ar comprimido, solventes voláteis saturação com água e superfície seca (“SSS”), aspiração a vácuo.

A saturação com água é usada em superfícies de concreto antes da aplicação de argamassas e concretos de base de cimento. Conhecida pela técnica dos “SSS” que indicam saturação com água e superfície seca, pode ser realizada com mangueiras e com algumas técnicas para reter a água quando tratar-se de superfícies verticais. A superfície tratada deve ser imersa em água por pelo menos doze horas. Instantes antes da aplicação dos produtos, retirar a água e secar com estopa seca e limpa o excesso de água superficial.

Normalmente quando se fará uso de uma ponte química de aderência, a superfície da estrutura deverá ser limpa e seca e as técnicas mais usadas para se realizar isso são: aspiração a vácuo, solventes voláteis, jato de ar comprimido, etc. (HELENE, 1992)

d) Limpeza do aço para a completa remoção dos produtos da oxidação

Com as armaduras devidamente descobertas, inclusive por trás, recomenda-se proceder à limpeza para a remoção dos produtos de oxidação incrustados nas barras, sendo essa limpeza feita por escovação manual, mecânica, hidrojateamento a quente ou com abrasivos.



Foto 2: Limpeza da armadura a armadura

e) Determinação das armaduras com necessidade de reforço ou substituição

Após os procedimentos de limpeza das armaduras, as barras deverão ser medidas com paquímetro para a determinação de sua perda de seção, sendo que esse limite deverá ser informado pelo engenheiro calculista responsável pela obra. As barras que, após a limpeza, não apresentarem as ranhuras, deverão ser substituídas ou complementadas para que não apresente problemas por falta de aderência no concreto.

f) Proteção das armaduras com inibidor de corrosão

Recomenda-se a utilização de inibidores de corrosão nas armaduras recuperadas, visando inibir a inversão de polaridade nas barras, após a recomposição do concreto e visando reduzir a velocidade de corrosão após a recuperação da estrutura.

Existem variados tipos de material, sendo que há diferença na aplicação e a atuação de cada um, por exemplo, a utilização de ânodos de sacrifício, pinturas cimentícias com inibidor e argamassas de recomposição aditivadas com inibidores. No caso da utilização de ânodos de sacrifício como

pastilhas de zinco, por exemplo, recomenda-se um monitoramento periódico para detectar a necessidade de substituição das pastilhas.



Foto 3: Proteção das armaduras com inibidor de corrosão

g) Recomposição da estrutura

A estrutura deverá ser recomposta com graute ou argamassa polimérica, sendo que grautes consistência fluida e necessitam da utilização de fôrmas estanques para sua aplicação, já as argamassas poliméricas possuem consistência tixotópica, permitindo aplicação manual ou por projeção. É necessário seguir as recomendações do fabricante quanto às dosagens e aplicações. A forma de preparo da argamassa deve ser seguida à risca, principalmente controlando a velocidade de mistura para evitar muita incorporação de ar.

No caso se espessuras de preenchimento elevadas, costuma-se admitir adição de agregados graúdos nos grautes, já nas argamassas poliméricas costuma-se recomendar aplicação em camadas de espessuras pré-definidas.

Além disso, recomenda-se a utilização de ponte de aderência cimentícia ou epoxídica aplicada na forma de pintura, sendo que o material de

recomposição do concreto deverá ser aplicado sobre a ponte de aderência em seu estado fresco.

Para a aplicação do material de recomposição, recomenda-se aplicação em superfície “SSS”, ou seja, substrato saturado e superfície seca. O preenchimento deve ser constante e uniforme para que não ocorram vazios. Para as argamassas poliméricas devem-se aplicar camadas com interface irregular até mesmo com ranhuras para evitar retração. A aplicação da camada seguinte deve ser feita com a primeira camada ainda úmida, porém endurecida.

Após a conclusão da recomposição, recomenda-se proceder à cura úmida do material por, no mínimo, sete dias ou conforme recomendação do fabricante.



Foto 4: Recomposição da estrutura

h) Pintura de revestimento e proteção

Em virtude da ocorrência da deterioração do concreto, após a conclusão da recuperação estrutural, recomenda-se que toda a estrutura seja revestida com material impermeabilizante e que possua resistência à penetração de CO_2 e cloretos.

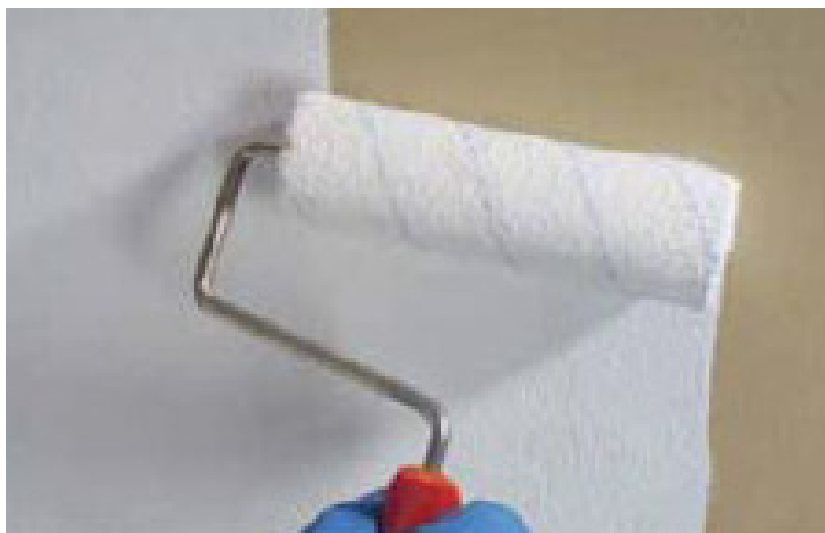


Foto 5: Pintura de revestimento e proteção

2.5. ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

A NBR 13.528 (2010) define aderência como a propriedade de um determinado material de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato. A resistência de aderência à tração seria a tensão máxima suportada por uma determinada área. O ensaio é utilizado para avaliar a capacidade de aderência do revestimento sobre painéis de alvenaria, componentes de alvenaria (blocos e tijolos), placas de concreto, entre outros.

De acordo com a norma, o revestimento deve possuir idade de 28 dias no caso de argamassas mistas ou de cimento e areia e de 56 dias para argamassas de cal e areia, contados após a aplicação da argamassa sobre o substrato. Caso seja de interesse a realização do ensaio em outra idade, conforme acordo entre as partes, esta idade deve ser registrada no relatório de ensaio.

Antes da aplicação da argamassa, deve ser realizada uma limpeza na superfície do substrato para a eliminação de agentes contaminantes (óleo, poeira e outros), que possam prejudicar a aderência entre a argamassa e o substrato.

Com relação ao processo de aplicação, espessura da camada e acabamento, recomenda-se seguir as recomendações do fabricante no caso de utilização de argamassa industrializada.

Seguindo a orientação da norma, cada ensaio deve se composto por 12 corpos-de-prova de mesmas características (tipo e preparo do substrato, argamassa de revestimento, forma de aplicação da argamassa, idade do revestimento). A distribuição dos corpos-de-prova deve ser feita aleatoriamente, respeitando uma distância mínima de 50 mm.

O corte dos corpos-de-prova pode ser executado a seco ou com água, porém no caso de corte com água, o revestimento tem que estar seco no momento da colagem da pastilha e da realização do ensaio. É importante que o corte não comprometa a integridade do revestimento, portanto, mantendo sempre o equipamento de corte em posição ortogonal à superfície, como mostra a Figura 2. Deve-se utilizar uma profundidade de no máximo 5 mm além da interface de interesse para a avaliação da aderência entre camadas de um revestimento.

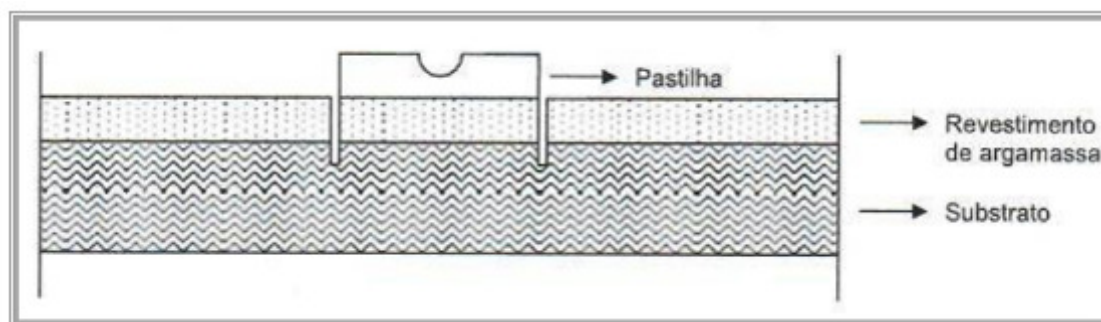


Figura 2: Delimitação do corpo-de-prova de revestimento pelo corte (NBR 13528/2010)

Antes de colar as pastilhas, deve-se limpar a superfície do corpo-de-prova para a remoção de partículas soltas e a superfície da pastilha.

Deve-se colar a pastilha totalmente centrada no corpo-de-prova delimitado pelo corte, garantindo que a mesma e a pastilha estejam limpas, livre de partículas soltas. A espessura da camada de cola não deve ultrapassar 5 mm e o tempo de secagem da cola varia em função da recomendação do fabricante.

O dinamômetro, equipamento utilizado para realização do ensaio, deve estar aferido, atendendo ao erro máximo de 2%, comprovado por certificado do responsável pela aferição. O aparelho deve permanecer com seu eixo de aplicação da carga ortogonal ao plano de revestimento, sem sofrer impactos, vibrações ou movimentos bruscos e garantindo que o conjunto corpo-de-prova/dinamômetro esteja estabilizado, sem flutuação do dispositivo de leitura.

Em seguida, aplica-se o esforço de tração perpendicularmente ao corpo-de-prova com taxa de carregamento constante, até a ruptura do corpo-de-prova anotando, então, a carga (N) ou tensão de ruptura (MPa) obtida para cada corpo-de-prova ensaiado.

A resistência de aderência à tração é calculada conforme a Equação

$$R_a = \frac{F}{A}$$

Equação 1: Equação de resistência à tração

Sendo:

R_a = resistência de aderência à tração (MPa)

F = força de ruptura (N)

A = área do corpo-de-prova (mm²)

Para o cálculo da área, utiliza-se um paquímetro para determinação do diâmetro, por meio da média de duas determinações tomadas em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro. Calcular a área da seção transversal do corpo-de-prova em milímetros quadrados.

A ruptura nem sempre ocorre na interface entre o revestimento e o substrato. No caso de ruptura na interface argamassa/substrato, conforme exemplo B da Figura 3, o valor da resistência de aderência à tração é igual ao valor obtido no ensaio.

No caso das demais rupturas mostradas na Figura 3, a resistência de aderência não foi determinada e é maior do que o valor obtido no ensaio; o valor obtido no ensaio deve ser apresentado precedido pelo sinal maior que (>);

A ruptura na interface cola/pastilha, conforme exemplo E, indica imperfeição na colagem da pastilha e o resultado deve ser desprezado.

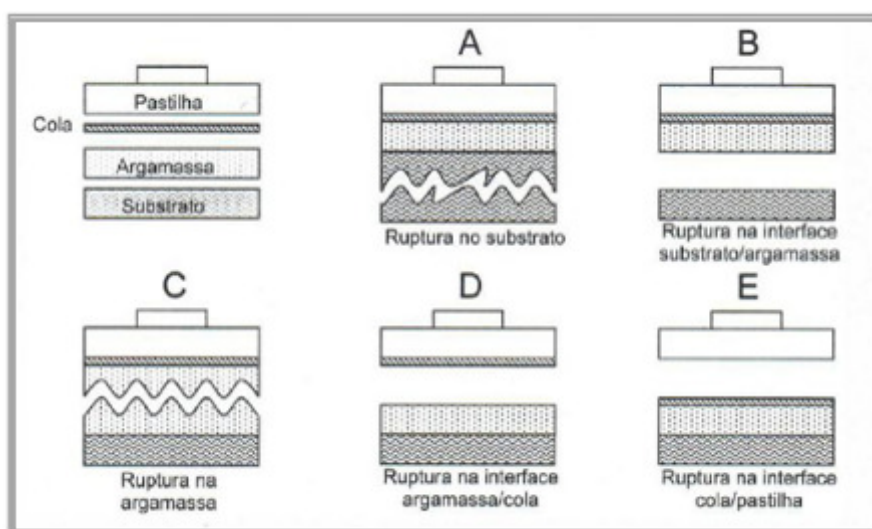


Figura 3: – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco (NBR 13528/2010)

Quando ocorrem diferentes formas de ruptura no mesmo corpo-de-prova, anotar a porcentagem aproximada da área de cada um dos tipos de ruptura.

O relatório do ensaio deve incluir o máximo de informações e dados possíveis, como por exemplo: Indicação do tipo do substrato identificado pelo laboratório; Características dos equipamentos de corte e de tração utilizados; Umidade da argamassa no momento do ensaio; Resultados individuais de resistência de aderência, associados com os percentuais dos tipos de ruptura obtidos; Identificação do tipo do substrato, tipo de argamassa de revestimento e processo de aplicação da argamassa; Detalhamento do preparo da base; Marca comercial da(s) argamassa(s) e fabricante, no caso de produto industrializado; Composição e proporção da(s) argamassa(s), no caso de produto preparado em obra; Idade da argamassa na realização do ensaio.

Este capítulo consistiu numa revisão bibliográfica dos assuntos inerentes à temática do trabalho, abordando a utilização de pontes de aderência, métodos de reparos estruturais e ensaio de resistência de aderência à tração. Este conhecimento foi utilizado para a execução do programa experimental descrito no capítulo a seguir.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Conforme o panorama apresentado na revisão bibliográfica, o programa experimental será descrito detalhadamente neste capítulo. Resumidamente, o programa experimental consistiu em ensaios de arrancamento em argamassa polimérica aplicada a um substrato de concreto armado já existente, de resistência a compressão de 25,25MPa, sendo que a medição da resistência de aderência à tração da argamassa foi executada com ponte de aderência epoxídica, e sem ponte de aderência, com o substrato saturado e a superfície seca, situação de referência. Não foi realizado o arrancamento utilizando-se a ponte de aderência cimentícia que inicialmente era planejado.

Abaixo na figura 4, vê-se um esquema da área utilizada para tal programa experimental. A área reservada foi dividida em três partes iguais, como pode-se observar.

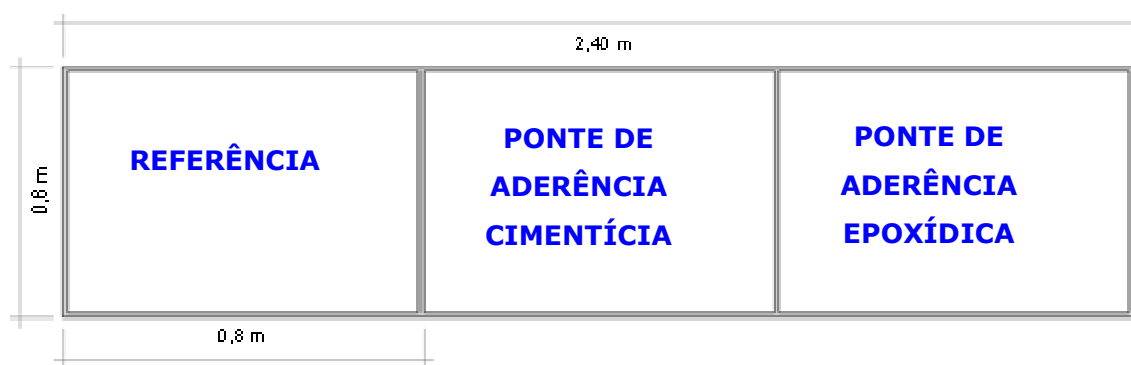


Figura 4: – Esquema para programa experimental

3.1. MATERIAIS

3.1.1. Substrato

Como base para a execução dos ensaios, o substrato escolhido foi uma laje em concreto armado pré-existente, localizada na garagem coberta de um

edifício residencial. A idéia foi utilizar uma laje de concreto com resistência a compressão média de 25 Mpa que depois foi confirmada em testes executados em testemunhos extraídos da laje, conforme figura 36, página 57. A figura mostra o certificado emitido por laboratório habilitado para execução de ensaios em concreto atendendo com atenção a NBR 7680/2007.

3.1.2. Argamassa polimérica

No programa experimental deste estudo optou-se por utilizar uma argamassa polimérica industrializada, própria para reparos estruturais, visando obter uma padronização nas características do material. Sendo assim, foi escolhida a argamassa Zentrifix GM2, vista na Foto 6, visto que em sua ficha técnica não se considera a possibilidade de utilização sobre um substrato sem ponte de aderência química.



Foto 6: Saco de Zentrifiz GM2 instantes antes de sua utilização

3.1.3. Ponte de aderência epoxídica

Para que estivessem garantidas as questões de compatibilidade entre os produtos, como ponte de aderência epoxídica, utilizou-se um epóxi do mesmo fabricante, MC-DUR 1300, sendo sua embalagem disponibilizada em dois componentes totalizando um quilo do produto, conforme visto na Foto 7.



Foto 7: Embalagem de MC-DUR 1300, componentes A e B.

3.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.2.1. Preparo do substrato

Como substrato, foi utilizada a laje de concreto armado de uma garagem coberta e a área de teste foi delimitada com um corte ortogonal ao piso com disco diamantado.

Para o preparo do substrato, inicialmente adotou-se o processo de apicoamento, conforme se observa na Foto 8, contudo o resultado obtido não foi o desejado, uma vez que a superfície passou a apresentar irregularidades muito acentuadas e isso possivelmente provocaria diferenças significativas na espessura da argamassa ao longo da superfície de ensaio.



Foto 8: Apicoamento de concreto com rompedor elétrico

Sendo assim, descartou-se a área inicialmente apicoada, adotando-se o método de desbaste superficial com lixadeira elétrica e rebolo abrasivo, conforme ilustrado na Foto 9.



Foto 9: Desbaste superficial com lixadeira elétrica e rebolo abrasivo

Com a mudança no procedimento de preparo, obteve-se um substrato de rugosidade regular e uniformemente distribuída, além de eliminar eventuais resíduos impregnados no piso. É possível observar este resultado na Foto 10.



Foto 10: Superfície com rugosidade uniformemente distribuída

Ao final do dia, toda área foi lavada com água em abundância até a obtenção de uma superfície limpa, sem nenhum pó ou impurezas, além de dar início ao processo de saturação do substrato.

3.2.2. Preparo da fôrma

Com o substrato devidamente preparado, deu-se início à confecção das fôrmas que seriam utilizadas para delimitar a área e a espessura da argamassa polimérica. Foram executadas três áreas de 0,80m x 0,60m para serem utilizadas nos diferentes testes propostos (situação de referência e ponte de aderência epoxídica), no entanto devido à falta da ponte de aderência cimentícia na ocasião, foram utilizadas apenas duas das áreas. A altura das fôrmas de madeira foi limitada em 25 mm e não foram utilizados desmoldantes para que não houvesse o risco de contaminação ao substrato testado. Pode-se observar a área de ensaio e as fôrmas sendo montadas na foto 11 abaixo:



Foto 11: Detalhe da fôrma sendo preparada

Após a conclusão das fôrmas, procedeu-se uma última limpeza do substrato. A fôrma foi então fixada ao concreto para que os materiais fossem preparados.

3.2.3. Preparo e aplicação da ponte de aderência química

Como ponte de aderência epoxídica foi utilizado o MC-DUR 1300 e seus componentes, a princípio, foram homogeneizados separadamente e posteriormente misturados juntos, conforme descrito na ficha técnica. Já para a aplicação, o epóxi devidamente homogeneizado foi derramado em um recipiente plástico, conforme demonstrado na Foto 12, para que pudesse ser aplicado com um rolo para pinturas epóxi.



Foto 12: Adesivo epóxi, MC-DUR 1300

Concluída a mistura, o epóxi foi aplicado no substrato com auxílio de um rolo, conforme informado anteriormente e ilustrado na Foto 13, para a obtenção de um nivelamento mais homogêneo. Para a área de teste, foi utilizado aproximadamente 900g do produto.



Foto 13: Adesivo epóxi sendo aplicado com rolo

3.2.4. Preparo e aplicação da argamassa polimérica

Em seguida, deu-se início ao preparo da argamassa polimérica Zentrifix GM 2, sendo sua mistura feita em um recipiente plástico estanque, conforme demonstrado na Foto 14. O consumo de água foi de 3,5 litros para cada saco de 25 kg do produto e a mistura foi auxiliada por um misturador elétrico de haste dupla e de baixa rotação, até a obtenção de uma argamassa homogênea e sem grumos.



Foto 14: Mistura da argamassa polimérica Zentrifix GM2 com misturador de haste dupla

Concluída a mistura, toda a argamassa foi colocada sobre a ponte de aderência epoxídica ainda fresca, num intervalo de tempo não superior a dez minutos. Tal procedimento pode ser notado na Foto 15.



Foto 15: Argamassa polimérica sendo aplicada sobre o adesivo epóxi

Toda a argamassa foi espalhada manualmente e com auxílio de ferramentas como colher de pedreiro e desempenadeira, dando-se um acabamento com a própria desempenadeira, conforme demonstrado na Foto 16.



Foto 16: Nivelamento da argamassa polimérica

Ao final, foi possível obter um acabamento nivelado, conforme apresentado na Foto 17.

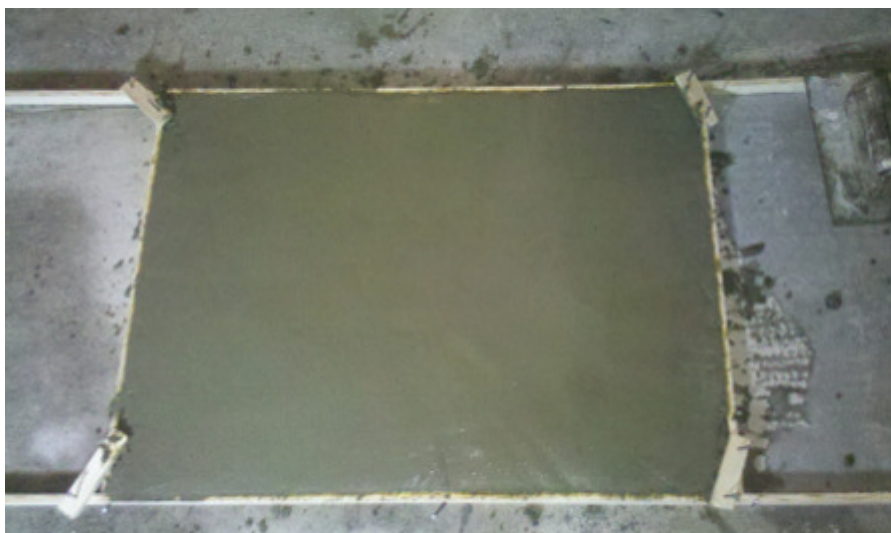


Foto 17: Argamassa polimérica aplicada e nivelada sobre ponte de aderência de base epóxi

3.2.1. Preparo e aplicação em área de referência

Para o ensaio em superfície “SSS”, tomada como referência neste trabalho, já no início dos trabalhos, a área separada para este tratamento foi levemente umedecida com uma esponja, conforme demonstrado na Foto 18, e logo se pode perceber que o substrato já estava em avançado nível de saturação, visto que essa pouca quantidade de água já não era absorvida. Esta saturação foi devida à lavagem do substrato executada no dia anterior, já que a água utilizada pôde permanecer saturando o substrato lentamente, uma vez que este não sofria incidência do sol nem ação de ventos.



Foto 18: Superfície sendo previamente umidecida

Mesmo assim, apesar de o substrato apresentar-se úmido, minutos antes da aplicação da argamassa, uma lâmina de água foi deixada sobre o substrato, assim como ilustrado na Foto 19, e removida com o auxílio de uma esponja antes da aplicação da argamassa, deixando novamente a superfície seca.



Foto 19: Lâmina de água utilizada para a saturação do substrato

O preparo da argamassa também foi executado em recipiente plástico, com auxílio de um misturador elétrico de haste dupla e adicionando-se 3,5 litros

de água para 25 kg do produto. Igualmente como feito sobre o epóxi, toda a argamassa foi espalhada manualmente e nivelada com o uso de desempenadeira.

A cura da argamassa foi executada com água, umedecendo em suas primeiras idades. Inclusive, neste caso, a cura pôde ser favorecida pela localização da área de teste que se encontrava em uma garagem coberta e com pouca ventilação.

Para a execução dos ensaios, adotou-se o período de cura de 28 dias, sendo assim, aos 27 dias de idade, deu-se início à execução dos cortes cilíndricos feitos com serra-copo circular diamantada, conforme demonstrado na Foto 20. Utilizou-se uma serra circular com diâmetro interno de 48,5mm, em virtude da indisponibilidade de serras com diâmetro interno igual a 50 mm, conforme recomendado pela NBR 13528.



Foto 20: Lâmina de água utilizada para a saturação do substrato

Para a determinação dos pontos de arrancamento, inicialmente foram marcados e numerados os posicionamentos dos cortes de maneira que fossem garantidos os espaçamentos mínimos exigidos. Sendo assim, foram distribuídos 15 pontos igualmente espaçados sobre cada área de teste, totalizando 30 pontos de arrancamento. Na foto 21, é possível exemplificar a determinação e marcação dos pontos de corte distribuídos pela argamassa aderida sobre a ponte de aderência epoxídica.

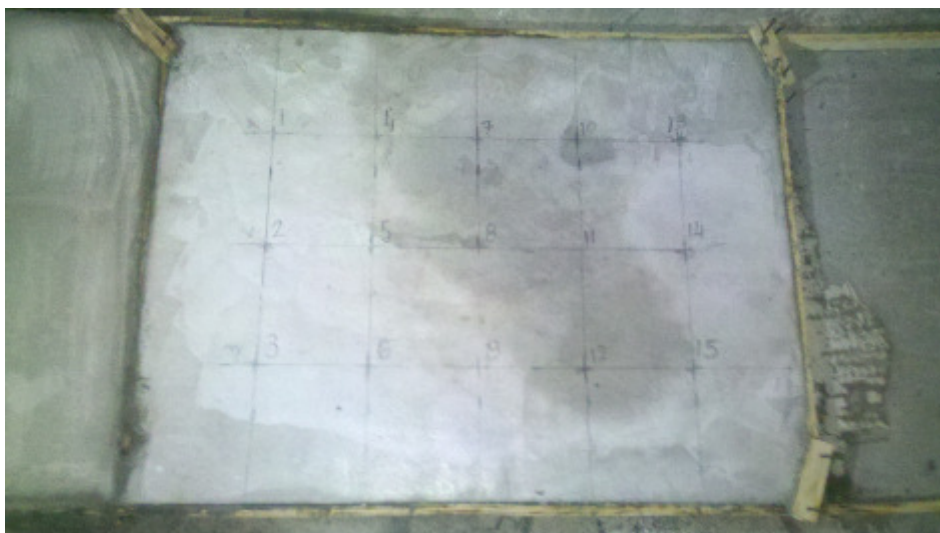


Foto 21: Distribuição dos pontos de corte na área sobre ponte de aderência epoxídica

Igualmente ao executado sobre a área com ponte de aderência epoxídica, a área de referência, também foi marcada para a adequada distribuição dos pontos de corte, conforme visto na Foto 22.



Foto 22: Distribuição dos pontos de corte sobre área de referência

Após a marcação e conferência do posicionamento dos pontos de arrancamento, deu-se início aos cortes sobre a área com ponte de aderência epoxídica. Optou-se pelo corte a seco e com o auxílio de um aspirador de pó, conforme se observa na Foto 23, visto que a colagem das pastilhas de

arrancamento seria feita no dia seguinte e eventuais umidades poderiam prejudicar na eficiência desta colagem.



Foto 23: Distribuição dos pontos de corte sobre área de referência

Durante o processo de corte 3 corpos de prova foram danificados acidentalmente, no entanto, observou-se que as rupturas ocorreram no substrato, conforme constata-se na Foto 24.



Foto 24: Interface de ruptura do CP rompido durante o processo de corte.

Já durante a execução dos cortes na área de referência, notou-se um aumento no número de corpos-de-prova danificados durante o processo de corte. Diferentemente do ocorrido com a ponte de aderência epoxídica, na situação de referência, as rupturas ocorreram na interface da argamassa de reparo com o substrato, conforme é possível observar na Foto 25.



Foto 25: Interface de ruptura do CP rompido durante o processo de corte.

Na foto 26, observa-se a medição da espessura do corpo-de-prova:



Foto 26: Medição da espessura do CP para confirmação da interface de ruptura

Com os cortes executados, deu-se início ao processo de colagem das pastilhas começando pela limpeza das pastilhas, que foram lixadas mecanicamente até a obtenção de uma superfície adequada à utilização, conforme visto na Foto 27.



Foto 27: Lixamento da face inferior das pastilhas

Após o lixamento, foi possível obter uma superfície íntegra, bem como se observa na Foto 28:



Foto 28: Resultado após a conclusão do lixamento

Para a colagem das pastilhas sobre os corpos-de-prova, utilizou-se resina epóxi de secagem rápida. As pastilhas foram posicionadas de maneira centralizada ao corpo-de-prova e os excessos de resina foram devidamente removidos das bordas das pastilhas.

Na Foto 29, todas as pastilhas encontram-se coladas e posicionadas centralizadas aos corpos-de-prova.



Foto 29: Área de referência com as pastilhas coladas e posicionadas para o ensaio

Com todas as pastilhas devidamente coladas, deu-se início ao ensaio de arrancamento que foi executado com um equipamento eletrônico, fornecido pela UFES, possibilitando um maior controle nos carregamentos. Além disso, os primeiros arrancamentos foram orientados diretamente pelo prof. Dr. Fernando Avancini Tristão, conforme ilustrado pela Foto 30.



Foto 30: Ensaio de arrancamento

Preliminarmente ao carregamento dos corpos-de-prova, o equipamento era nivelado para que a carga pudesse ser distribuída de forma mais uniforme. Este nivelamento era feito com auxílio de equipamentos, conforme se constata na Foto 31.



Foto 31: Nivelamento do equipamento de arrancamento

Após a conclusão do ensaio, o equipamento fornecia os dados do carregamento em N (Newton) e Kgf. (quilograma-força), conforme se observa na Foto 32. A velocidade de carregamento foi ajustada em 300N/seg.



Foto 32: Dados fornecidos pelo equipamento

Ao longo dos ensaios, foram considerados dados como carregamento, diâmetro do corpo-de-prova e interface de ruptura, conforme Foto 33. Os testemunhos foram marcados para serem analisados posteriormente.



Foto 33: Medição do diâmetro

4. RESULTADOS

A obtenção de dados para este estudo foi prejudicada por problemas ocorridos principalmente durante a execução dos cortes. Mesmo marcando-se 15 pontos para arrancamentos, não foi possível obter os 12 arrancamentos exigidos na norma, visto que alguns corpos-de-prova se romperam durante o corte. No entanto, observou-se que os corpos-de-prova rompidos durante o corte na área de referência, com substrato “SSS”, romperam na interface entre a argamassa polimérica e o substrato, conforme relatado na foto 34. Já na área em que foi utilizado epóxi como ponte de aderência, as rupturas ocorreram no substrato.



Foto 34: Corpo-de-prova rompido na interface argamassa/substrato durante o corte

Com isso, apesar de não terem sido aplicados esforços de tração, percebe-se uma deficiência na aderência do substrato de referência comparado ao aderido com resina epoxídica. Já na etapa dos ensaios, a situação de referência mostrou-se eficiente em alguns arrancamentos, porém houve ruptura na interface da argamassa com o substrato em mais de 50% dos ensaios. Na tabela 1 seguem os resultados dos ensaios:

SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA											
CORPO DE PROVA (ponte epoxídica)					Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	INTERFACE DE RUPTURA				
Nº	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d _m (mm)	area (mm ²)			substr.	argamassa / substrato	argam.	argam. / cola	cola / pastilha
1	48.0	47.9	48.0	1805.79	1430	0.79	x	x			
2	48.0	47.9	48.0	1805.79	1313	0.73	x				
3	48.0	48.0	48.0	1809.56	1542	0.85	x				
4	47.9	48.0	48.0	1805.79	1229	0.68		x			
5	47.9	48.0	48.0	1805.79	1462	0.81	x	x			
6	48.0	48.1	48.1	1813.33	1256	0.69		x			
7											
8											
9	48.0	47.9	48.0	1805.79	1372	0.76	x				
10											
11											
12	47.9	48.0	48.0	1805.79	1164	0.64		x			

Tabela 1 – Ensaio de arrancamento na situação de referência.

Os ensaios realizados com a ponte de aderência epoxídica mostraram que, para a situação ensaiada, o epóxi mostrou-se invariavelmente eficiente ao propósito de aderir o material de reparo ao substrato. Tal resultado pode ser conferido na Tabela 2.

PONTE DE ADERÊNCIA EPOXÍDICA												
CORPO DE PROVA					Carga de Ruptura (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	INTERFACE DE RUPTURA					
Nº	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d _m (mm)	Area (mm ²)			substr.	substr. / P.A.	P.A.	P.A. / argam.	argam.	argam. / cola cola / pastilha
1	48.0	48.0	48.0	1809.56	1967	1.09	x					
2	47.9	48.0	48.0	1805.79	1738	0.96	x					
3												
4												
4 (13)	48.0	48.0	48.0	1809.56	1645	0.91	x					
5	48.1	48.0	48.1	1813.33	1696	0.94	x					
6	48.0	47.9	48.0	1805.79	1823	1.01	x					
7												
7 (14)	48.0	48.1	48.1	1813.33	1877	1.04	x					
8												
9	48.0	48.1	48.1	1813.33	1738	0.96	x					
10	47.9	47.9	47.9	1802.03	1683	0.93	x					
11												
11 (15)	48.0	48.0	48.0	1809.56	1352	0.75	x					
12	48.1	48.1	48.1	1817.11	1528	0.84	x					

Tabela 2 - Ensaio de arrancamento: ponte de aderência epoxídica

O gráfico 1, apresenta um comparativo das resistências obtidas em ambos sistemas de forma decrescente.

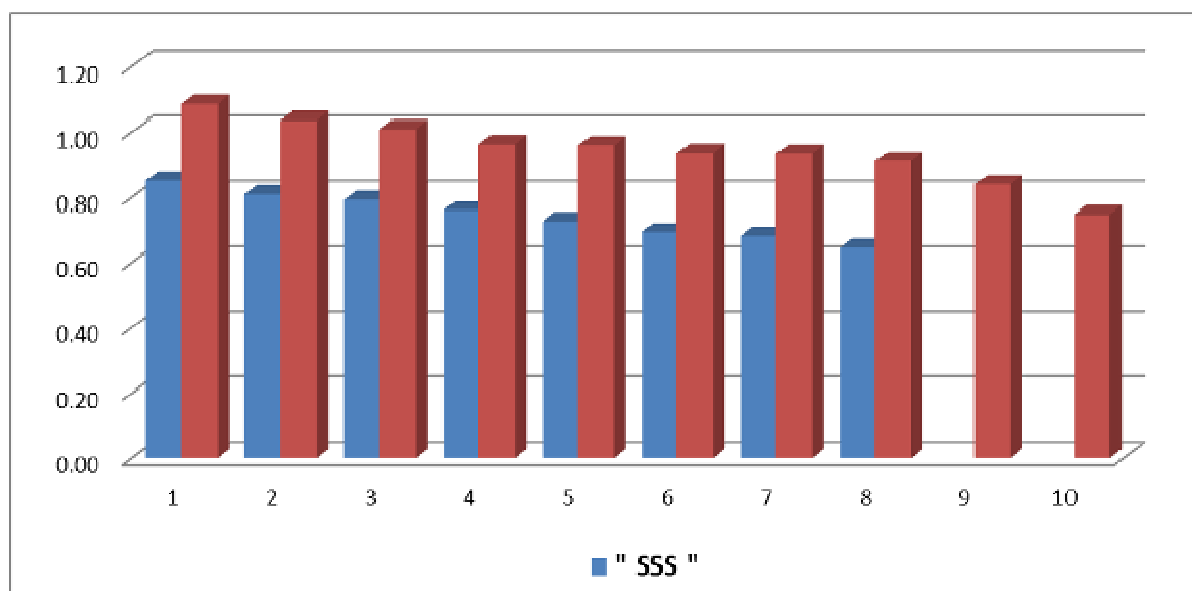


Gráfico 1 – Comparativo Situação de Referência x Ponte de aderência epoxídica

A Tabela 3 apresenta um comparativo entre as tensões de ruptura ocorridas no substrato e as tensões que levaram ao descolamento da interface entre a argamassa e o substrato, na qual não se utilizou ponte de aderência química. Além disso, nota-se um maior valor de desvio padrão nas tensões obtidas no substrato se comparado com o resultado obtido na interface argamassa/substrato. Tal variação pode estar associada a não uniformidade do substrato, ilustrada na Foto 35.

TENSÕES DE RUPTURA NO SUBSTRATO												Desvio Padrão
No. 1 Tabela 01	No. 7 (14) Tabela 01	No. 6 Tabela 01	No. 2 Tabela 01	No. 9 Tabela 02	No. 5 Tabela 02	No. 10 Tabela 02	No. 4 (13) Tabela 02	No. 12 Tabela 02	No. 1 1 (15) Tabela 02	No. 3 Tabela 01	No. 9 Tabela 01	
1.09	1.04	1.01	0.96	0.96	0.94	0.93	0.91	0.84	0.75	0.85	0.76	0.1042

TENSÕES DE RUPTURA NA INTERFACE (ARGAMASSA / SUBSTRATO)											Desvio Padrão
No. 1 Tabela 01	No. 4 Tabela 01	No. 5 Tabela 01	No. 6 Tabela 01	No. 12 Tabela 01							
0.79	0.68	0.81	0.69	0.64							0.0727

Tabela 3 – Comparativo entre tensões de ruptura



Foto 35: – Comparação entre as superfícies de ruptura ocorridas no substrato.

Foi realizado no Laboratório Brascontec análise da resistência à compressão em dois testemunhos retirados da laje de concreto que foi utilizada como substrato da experiência.

Exemplar	Data da extração	Data do ensaio	Elemento concentrado	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Carga de Ruptura (Kgf)	Carga de Ruptura (N)	Fator de Correção	Resistência à Compressão
1	26/01/2012	26/01/2012	Laje da Garagem	133,0	76,0	4536	12140	119093	0,98	25,7
2	26/01/2012	26/01/2012	Laje da Garagem	133,0	76,0	4536	11700	114777	0,98	24,8
** Dados não fornecidos pelo cliente										
Durante a extração dos testemunhos tais superfícies não foram observadas. Após a compressão os testemunhos se partiram em dois pedaços bem definidos na superfície da falha										

Figura 5: – Resultados dos ensaios para investigar a resistência à compressão de testemunhos extraídos do substrato de concreto utilizado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios, podemos observar a diferença significativa na aplicação da ponte de aderência de base epóxi, já que todos os corpos-de-prova romperam no substrato (concreto) enquanto que no teste de referência, cerca de 28% dos corpos-de-prova romperam no substrato, cerca de 43% na interface argamassa/substrato e cerca de 28% romperam parte no substrato e parte na interface argamassa/substrato.

Verificando a superfície de ruptura de todos os corpos-de-prova que romperam no substrato, podemos verificar que há uma grande variedade na composição do mesmo, sendo que, em alguns observa-se concentração de agregados enquanto em outros apenas argamassa de areia e cimento, o que pode indicar falhas na execução da concretagem.

Apesar de todos os corpos-de-prova com ponte de aderência de base epoxídica terem rompido no substrato com uma média de 0,943MPa de tensão de ruptura, observa-se que, na situação de referência, as tensões obtidas em rupturas na interface (média 0,722MPa) apresentaram valores próximos aos obtidos em rupturas no substrato. A variação de valores dessas médias é de cerca de 23%. Questiona-se, então, a real necessidade de pontes de aderência química para substratos de baixa resistência a compressão, 25 MPa, levando-se ainda em consideração que houve certo equilíbrio nos pontos de ruptura nos corpos-de-prova originários da situação de referência, sem pontes de aderência.

Obviamente não existem dados suficientes para afirmar que não é necessária a utilização de pontes de aderência química, mas os resultados indicam que o procedimento de referência garante uma resistência de aderência à tração próxima à de substratos de baixa resistência. Diante do exposto, sugere-se um estudo com substratos de resistências variadas para identificar uma correlação entre a resistência do substrato, a resistência de aderência na ruptura e o ponto de ruptura no corpo-de-prova.

REFERÊNCIA

ALANI, Amir; PETERSEN, Andrew, CHAPMAN, Keith. **Applications of a developed quantitative model in building repair and maintenance – case study. Facilities.** v.19, n.5/6, 2001. p215-221.

AMBROSIO, Thais. **Patologia, tratamento e reforço em estruturas de concreto no metrô de São Paulo.** São Paulo: 2004. Disponível em: <<http://cursos.anhembi.br/TCC-2004/Trabalhos/045.pdf>> Acesso em: 28 out. 2010.

ANDRADE, Maria del Carmem. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras.** Tradução e adaptação de Antônio Carmona e Paulo Helene. 1. ed. São Paulo: Pini, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.528: Revestimentos de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro. ABNT, 2010

CARMONA, A. F.. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras.** São Paulo: PINI, 1992. 104p.

CARMONA, A. F.; HELENE, P. R. L. **Fissuração das Peças de Concreto Armado e Corrosão das Armaduras. In: Seminário Nacional de Corrosão na Construção Civil, 2.,** Rio de Janeiro, Set 1986. Anais. Rio de Janeiro, ABRACO, 1986. p. 172-95.

CASCUDO, O. **Inspeção e diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão da armadura.** In: ISAÍÁ, G. C. (ed.), **Concreto: Ensino, pesquisa e Realizações –** São Paulo: IBRACON, 2005, p. 985-1016.

CASCUDO, Oswaldo. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. São Paulo: Editora Pini, 1997.

COLLEPARDI, M. **Damage By Delayed Ettringite Formation**. **Concrete International** –The Magazine of the American Concrete Institute, Farmington Hills, v. 21, n. 1, p. 69-74, Jan. 1999.

EN 1504-4: **Produtos e sistemas para proteção e reparação de estruturas de betão: definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade: Parte 4: colagem estrutural**. 2006

EN 1504-10: **Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade Parte 10: Aplicação de produtos e sistemas e controlo da qualidade da obra**. 2010

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**. UFPR. 2005.

GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

GROCHOSKI, M. **Sistemas de reparo para estruturas de concreto com corrosão de armaduras**. - São Paulo: EPUSP, 2008. 21 p. - (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/5)

HELENE, P. R. L.; **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. São Paulo, 1993. 231p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

HELENE, P. R. L. **Corrosão das Armaduras em Concreto Armado. In: 4º Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto – SIMPATCON.** Anais. São Paulo, 1981, p. 1-44.

HELENE, P. R. L.. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto.** São Paulo, Pini: 1992

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 1ª Ed. São Paulo. PINI, 1994. 580p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 3.ed., 674p.

Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Reparación, Refuerzo y Protección. 1. ed. São Paulo: Paulo Helene & Fernanda Pereira, 2003. v. 1. 750 p.

NAKAMURA, J. Reparo, reforço e recuperação de concreto. Disponível em <http://www.revistatechne.com.br/engenhariacivil/146/imprime139046.asp>. Acesso em: 22/08/2011

PEREZ, Ary Rodrigo. **Manutenção dos edifícios. Tecnologia das Edificações.** PINI, São Paulo. 1988. p611-614.

PERKINS, P. H. **Repair, Protection and Waterproofing of Concrete Structures.** Elsevier Applied Science Publishers, New York, 1986. 302p.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** Pini, São Paulo, 1998.

TULA, L. S. Contribuição ao Estudo da Resistência à Corrosão de Armaduras de Aço Inoxidável. São Paulo, 2000. 259p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

