

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO VICTOR MEAURIO MONTEIRO

**AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA E DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE  
ADESIVOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS NA RECOMPOSIÇÃO DE  
PEÇAS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO NO PROCESSO DE  
RECUPERAÇÃO**

CAMPO MOURÃO

2018

JOÃO VICTOR MEAURIO MONTEIRO

**AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA E DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE  
ADESIVOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS NA RECOMPOSIÇÃO DE  
PEÇAS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO NO PROCESSO DE  
RECUPERAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Me. Douglas Fukunaga Surco

CAMPO MOURÃO

2018



Ministério da Educação

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Câmpus Campo Mourão

Diretoria de Graduação e Educação Profissional

Departamento Acadêmico de Construção Civil

Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

### AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA E DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ADESIVOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS NA RECOMPOSIÇÃO DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO NO PROCESSO DE RECUPERAÇÃO

por

**João Victor Meaurio Monteiro**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 9 h do dia 28 de junho de 2018 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<sup>a</sup>. Me. Adalberto Luiz R. de Oliveira**

(UTFPR)

**Prof. Tiago Amaral de Oliveira**

(UTFPR)

**Prof. Me. Douglas Fukunaga Surco**

(UTFPR)

**Orientador**

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

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr. Ronaldo Rigobello**

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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de estudar em uma universidade tão bem conceituada.

Agradeço também a minha mãe e a minha vó, Ligia e Creuza, as quais nunca se esqueceram de me apresentar em suas orações a Deus e em especial a minha mãe, que sempre teve paciência comigo depositando credibilidade e confiança para que eu conseguisse atingir meu objetivo.

Ao meu pai e familiares, que sempre me incentivaram e me apoiaram durante essa etapa da minha vida, acreditando no meu potencial.

Gostaria de agradecer aos professores do departamento de engenharia civil que contribuíram diretamente para minha formação acadêmica, em especial o professor Douglas Fukunaga e os técnicos de laboratório, Fábio e Maiko, que me ajudaram na realização desse trabalho.

Aos meus amigos, Leonardo e Fernando, que me fizeram companhia durante esse período acadêmico e que sempre ajudaram com provas, trabalhos e etc.

E por fim, agradeço a todos que não foram citados acima, mas que contribuíram de forma direta ou indireta para a minha formação acadêmica.

## RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo avaliar a aderência e a resistência mecânica de três adesivos estruturais utilizados na recuperação de estruturas de concreto armado. Foi determinado experimentalmente as propriedades mecânicas do concreto (resistência a compressão e resistência à tração na flexão a quatro pontos). Foram ensaiados corpos de prova, cilíndricos e prismáticos, íntegros de concreto e corpos de prova com falhas reparados com os adesivos estruturais. Os resultados dos ensaios comprovam a eficiência mecânica e de aderência dos adesivos estruturais na recuperação dos corpos de prova.

**Palavras-chave:** Adesivos estruturais. Aderência. Recuperação de estruturas.

## **ABSTRACT**

This work aimed to evaluate the adhesion and mechanical strength of three structural adhesives used in the recovery of reinforced concrete structures. The mechanical properties of the concrete (compression strength and tensile strength in four-point bending) were determined experimentally. Body of proof cylindrical and prismatic, intact concrete and test specimens with defects repaired with the structural adhesives were tested. The results of the tests prove the mechanical and adhesion efficiency of the structural adhesives in the recovery of the specimens.

**Keywords:** Structural adhesives. Adherence. Recovery of structures

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão .....	24
Figura 2 – Modelo de ensaio adotado de acordo com a NBR 12142 (ABNT, 2010) .....	25
Figura 3 — Diagrama de esforços solicitantes .....	25
Figura 4 - Possíveis tipos de ruptura .....	26
Figura 5 — Forma do corpo de prova em PVC com corte em 45° .....	28
Figura 6 — Concretagem em cano PVC recuperado com fita adesiva .....	29
Figura 7 — Corpos de prova desmoldados aguardando recuperação .....	29
Figura 8 — Corpos de prova recuperados .....	30
Figura 9 – Ensaio de resistência à compressão .....	30
Figura 10 — Exemplo isométrico do corpo de prova prismático com entalhe .....	31
Figura 11 — Corpo de prova prismático com entalhe .....	32
Figura 12 – Cura dos corpos de prova .....	32
Figura 13 – Ensaio de resistência à tração na flexão a quatro pontos .....	33
Figura 14 - Ruptura dos prismas sem defeito .....	36
Figura 15 - Ruptura no concreto novo (compound) .....	38
Figura 16 - Corte no corpo de prova mostrando a parte colada (compound) .....	39
Figura 17 - Ruptura no concreto novo (sikadur 32) .....	39
Figura 18 - Corte no corpo de prova mostrando a parte colada (Sikadur 32) .....	40
Figura 19 - Corte no corpo de prova mostrando a parte colada (hardfix) .....	40
Figura 20 – Ruptura dos prismas recuperados com Compound .....	43
Figura 21 - Ruptura dos prismas recuperados com Sikadur 32 .....	43
Figura 22 - Ruptura dos prismas recuperados com Hardfix .....	44
Figura 23 – Corpo de prova 1 recuperado com Compound e corpo de prova 2 recuperado com Hardfix com ruptura no apoio .....	44
Figura 24 – Ruptura no concreto novo/interface de ligação entre concreto novo e velho do corpo de prova 1 reparado com Hardfix .....	45
Figura 25 – Detalhe do corpo de prova 1 reparado com Hardfix .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência à compressão dos cilíndricos sem defeito .....	35
Tabela 2 – Resistência à tração na flexão a 4 pontos e momento máximo resistido pelos prismas sem defeito .....	35
Tabela 3 - Resistência à compressão dos cilíndricos recuperados .....	36
Tabela 4 - Resistência corpos de prova sem reparo e dos corpos de prova reparados	37
Tabela 5 - Resistência à tração na flexão a 4 pontos e momento máximo resistido pelos prismas recuperados .....	41
Tabela 6 - Momento resistido pelos prismas fabricados .....	42



## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Resistência média dos corpos de prova sem reparo e dos reparados .....	37
Gráfico 2 – Momento médio resistido pelos prismas fabricados .....	41

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1	<b>OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>13</b>
2.2	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
4.1	<b>AGLOMERANTES .....</b>	<b>15</b>
4.1.1	<b>Cimento Portland .....</b>	<b>15</b>
4.1.1.1	<b>Clínquer .....</b>	<b>16</b>
4.1.1.2	<b>Adições .....</b>	<b>17</b>
4.2	<b>AGREGADOS .....</b>	<b>17</b>
4.3	<b>PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO QUE PODEM LEVAR À RECUPERAÇÃO COM ADESIVOS ESTRUTURAIS .....</b>	<b>17</b>
4.3.1	<b>Causas mecânicas e físicas .....</b>	<b>18</b>
4.3.1.1	<b>Deformação por retração e fluência .....</b>	<b>18</b>
4.3.1.2	<b>Efeitos de altas temperaturas no concreto .....</b>	<b>18</b>
4.3.1.3	<b>Tensões térmicas .....</b>	<b>18</b>
4.3.2	<b>Causas químicas .....</b>	<b>19</b>
4.3.2.1	<b>Carbonatação .....</b>	<b>19</b>
4.3.2.2	<b>Ataque por ácidos .....</b>	<b>19</b>
4.3.2.3	<b>Ataque de sulfatos .....</b>	<b>20</b>
4.3.2.4	<b>Reações álcali-agregado .....</b>	<b>20</b>
4.4	<b>TERAPIA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO .....</b>	<b>20</b>
4.5	<b>REFORÇO E RECUPERAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS COM CONCRETO ARMADO</b>	<b>21</b>
4.6	<b>ADESIVOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS NO REPARO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO...</b>	<b>22</b>
4.7	<b>ENSAIOS MECÂNICOS .....</b>	<b>23</b>
4.7.1	<b>Ensaio de resistência à compressão .....</b>	<b>23</b>
4.7.2	<b>Ensaio de resistência à tração na flexão a quatro pontos .....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>

5.1	ENSAIO DE CONTROLE .....	27
5.2	ENSAIO DO CORPO DE PROVA CILÍNDRICO REPARADO.....	28
5.3	ENSAIO DO CORPO DE PROVA PRISMÁTICO REPARADO .....	31
5.4	MATERIAIS NECESSÁRIOS .....	33
6	RESULTADOS.....	35
6.1	ENSAIOS DE CONTROLE .....	35
6.2	ENSAIO DOS CILÍNDRICOS RECONSTITUÍDOS .....	36
6.3	ENSAIO DOS PRISMAS RECONSTITUÍDOS .....	40
7	CONCLUSÃO.....	47
7.1	RECOMENDAÇÕES.....	48
8	REFERÊNCIAS .....	49
	<b>ARAÚJO, RODRIGUES &amp; FREITAS 19. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. SÃO PAULO, 1991.....</b>	<b>49</b>
	<b>ANEXO A – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS SEM REPARO.....</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS REPARADOS COM COMPOUND .....</b>	<b>52</b>
	<b>ANEXO C – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS REPARADOS COM SIKADUR 32.....</b>	<b>53</b>
	<b>ANEXO D – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS REPARADOS COM HARDFIX .....</b>	<b>54</b>
	<b>ANEXO E – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO A QUATRO PONTOS DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS SEM REPARO .....</b>	<b>55</b>

<b>ANEXO F – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO A QUATRO PONTOS DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS REPARADOS COM COMPOUND .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXO G – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO A QUATRO PONTOS DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS REPARADOS COM SIKADUR 32.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO H – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO A QUATRO PONTOS DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS REPARADOS COM HARDFIX .....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O homem tem se preocupado com a construção de estruturas voltadas às suas necessidades desde os primórdios da civilização, com isso, foi acumulado um grande conhecimento científico sobre tal área, o que permitiu o desenvolvimento da tecnologia abrangendo a análise, cálculo, dimensionamento e detalhamento das estruturas, assim como a tecnologia de materiais e as respectivas técnicas construtivas.

O concreto é bastante utilizado no ramo da engenharia civil devido a sua versatilidade, resistência e durabilidade. É um material moldável, com baixo custo dos materiais constituintes e da mão de obra o que o tornou bastante popular, porém, por ser um material homogêneo e muitas vezes feito na hora, é difícil prever seu comportamento, assim como, a resistência e durabilidade das estruturas a curto e a longo prazo.

Há construções que apresentam patologias em grandes intensidades, podendo haver comprometimento dos aspectos estéticos e redução da capacidade resistente, levando, em algumas situações, ao colapso parcial ou total da estrutura.

As patologias no concreto surgem por diversos fatores e como solução as estruturas são submetidas a processos de recuperação ou reforço com o objetivo de restaurar sua capacidade resistente. Para isso, além de saber as causas das patologias, é necessário conhecer a estrutura e os materiais para a realização de um diagnóstico correto, permitindo assim, a escolha dos produtos e técnicas corretas a serem utilizados.

O desenvolvimento da tecnologia contribuiu para o surgimento e aprimoramento de produtos voltados a recuperação e proteção das estruturas de concreto, porém, nem todos esses produtos são confiáveis e, às vezes, não atingem o resultado prometido pelos fabricantes, o que pode gerar problemas posteriormente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a eficiência de três adesivos estruturais encontrados no mercado, utilizados no reparo e recuperação de estruturas de concreto armado.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Verificar o comportamento mecânico dos adesivos estruturais;
- Analisar a resistência do concreto recuperado com adesivos estruturais;
- Comparar resultados com corpos de prova em condições normais (sem patologias), utilizando o mesmo concreto.

### **3 JUSTIFICATIVA**

As patologias no concreto surgem por diversos fatores e podem estar ligadas a qualquer fase da obra, seja de projeto, execução ou uso, os materiais que compõem o concreto também influenciam na ocorrência de patologias. Falhas em juntas devido à concretagem em tempos diferentes, na especificação, dosagem, controle dos materiais, falta de cuidados durante o transporte, adensamento, entre outros, são ocorrências que geram diversas patologias.

Como solução, as estruturas são submetidas aos processos de recuperação com o objetivo de restaurar suas capacidades resistentes e para isso é natural o uso de produtos industrializados. Existem diversos produtos para a recuperação de patologias, porém não se encontram dados adicionais sobre tais produtos além dos fornecidos pelos fabricantes.

Desse modo, foi realizado um estudo sobre a aderência e resistência mecânica de três adesivos estruturais encontrados no mercado, com o objetivo de coletar e fornecer dados sobre o comportamento desses adesivos no reparo do concreto e verificar as informações fornecidas pelos fabricantes.

## **4 REFERENCIAL TEÓRICO**

O concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de: aglomerantes, agregados e água, podendo haver ou não o uso de aditivos e adições. (PINHEIRO, 2010)

### **4.1 Aglomerantes**

Aglomerante é o material ativo, ligante, em geral pulverulento, que tem como principal função formar uma pasta que promove a união entre os grãos do agregado. São utilizados na obtenção das argamassas e concretos.

Em geral, na fabricação do concreto, é utilizado o Cimento Portland que é um aglomerante hidráulico, ou seja, endurece com o tempo pela ação exclusiva da água. (PINHEIRO, 2010)

#### **4.1.1 Cimento Portland**

O cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra.

O mercado nacional dispõe de 8 opções, que atendem com igual desempenho aos mais variados tipos de obras. O cimento Portland comum (CP I) é referência, por suas características e propriedades, aos 11 tipos básicos de cimento Portland disponíveis no mercado brasileiro. São eles:

- Cimento Portland Comum (CP I)
  1. CP I – Cimento Portland Comum
  2. CP I-S – Cimento Portland Comum com Adição
- Cimento Portland Composto (CP II)
  1. CP II-E – Cimento Portland Composto com Escória
  2. CP II-Z – Cimento Portland Composto com Pozolana
  3. CP II-F – Cimento Portland Composto com Fíler



- Cimento Portland de Alto-Forno (CP III)
- Cimento Portland Pozolânico (CP IV)
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)
- Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS)
- Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC)
- Cimento Portland Branco (CPB)

Esses tipos se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio, material carbonático e de adições, tais como escórias, pozolanas e calcário, acrescentadas no processo de moagem. Podem diferir também em função de propriedades intrínsecas, como alta resistência inicial, a cor branca etc.

O próprio Cimento Portland Comum (CP I) pode conter adição (CP I-S), neste caso, de 1% a 5% de material pozolânico, escória ou filer calcário e o restante de clínquer.

O Cimento Portland Composto (CP II- E, CP II-Z e CP II-F) tem adições de escória, pozolana e filer, respectivamente, mas em proporções um pouco maiores que no CP I-S.

Já o Cimento Portland de Alto-Forno (CP III) e o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) contam com proporções maiores de adições: escória, de 35% a 70% (CP III), e pozolana de 15% a 50% (CP IV). (Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP)

#### **4.1.1.1 Clínquer**

Clínquer é um material granular de 3mm a 25mm de diâmetro, resultante da calcinação de uma mistura de calcário, argila e de componentes químicos como o silício, o alumínio e o ferro. O clínquer é a matéria prima básica de diversos tipos de cimento, inclusive o cimento Portland, onde, no seu processo de fabricação, sai do forno a cerca de 80°C, indo diretamente à moagem. Na presença da água tal material reage, tornando-se 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)

#### **4.2 Agregados**

Agregados são materiais que, no início do desenvolvimento do concreto, eram adicionados à massa de cimento e água, para dar-lhe “corpo”, tornando-a mais econômica. Hoje eles representam cerca de oitenta por cento do peso do concreto e além de sua influência benéfica quanto à retração e à resistência, o tamanho, a densidade e a forma dos seus grãos podem definir várias das características desejadas em um concreto.

Com relação ao tamanho dos grãos, os agregados podem ser divididos em graúdos e miúdos, sendo considerado graúdo, todo o agregado que fica retido na peneira de número 4 (malha quadrada com 4,8 mm de lado) e miúdo o que consegue passar por esta peneira.

Podem também ser classificados como artificiais ou naturais, sendo artificiais as areias e pedras provenientes do britamento de rochas, pois necessitam da atuação do homem para modificar o tamanho dos seus grãos. (SILVA, 2001)

#### **4.3 Patologias em estruturas de concreto que podem levar à recuperação com adesivos estruturais**

Segundo Élvio Mosci Piancastelli (2005), o concreto é um material não inerte e está sujeito a alterações ao longo do tempo, devido a interações entre os elementos que o constituem, além de aditivos e agentes externos, como ácidos, bases, sais, gases, vapores e micro-organismo.

Ainda que o concreto ser considerado um material de grande durabilidade, desde que receba manutenção sistemática e programada, existem vários tipos de manifestações patológicas que podem danificar as edificações. Essas patologias, salvo raras exceções, apresentam manifestações externas peculiares que permitem deduzir a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, além de possibilitar a previsão de suas prováveis consequências. (REIS, 1998)

Os principais processos que resultam no deterioramento do concreto podem ser agrupados, de acordo com sua natureza, em mecânicos, físicos, químicos, biológicos e eletromagnéticos. A deterioração do concreto ocorre muitas vezes como resultado da junção de diversos fatores internos e externos, determinados pelas propriedades físico-químicas do concreto e da forma como está exposto. (LAPA, 2008)

#### **4.3.1 Causas mecânicas e físicas**

##### **4.3.1.1 Deformação por retração e fluência**

O fenômeno da retração está ligado a deformações em pastas de cimento, concretos e argamassas, devido à perda de água da pasta de cimento. A retração pode ocorrer em qualquer estado do concreto, seja ele plástico ou endurecido. Já a fluência, ou deformação lenta, pode ser entendida como a deformação que o concreto sofre devido a um carregamento contínuo, podendo ocorrer sob compressão, cisalhamento ou tração. (LAPA, 2008)

##### **4.3.1.2 Efeitos 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)

##### **4.3.1.3 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)

#### **4.3.2 Causas químicas**

##### **4.3.2.1 Carbonatação**

Na carbonatação, o hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  do 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. A carbonatação tem sua velocidade aumentada com o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$ , mas penetra lentamente além da superfície exposta. A velocidade depende ainda do teor de umidade do material e da umidade relativa do ambiente. (SALES, 2006)

##### **4.3.2.2 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 agredem o concreto, dissolvendo e removendo parte da pasta de Cimento Portland endurecido, o qual não apresenta resistência aos ácidos. Valores de pH próximos a 6,5 já atacam com concreto, além de águas contendo  $\text{CO}_2$  com pH em torno de 4,4 e águas puras com pouco  $\text{CO}_2$ . (LAPA, 2008)

Lapa (2008) ainda menciona que vários ensaios físicos e químicos de resistência aos ácidos foram realizados, mas não existem procedimentos padronizados. O pH isolado 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.

### **4.3.2.3 Ataque de sulfatos**

O ataque de sulfatos pode ser observado com a forma de expansão do concreto e na perda progressiva de resistência e massa, devido à deterioração dos produtos de hidratação do cimento. (REIS, 1998)

O mesmo autor também 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 têm o potencial de causar danos ao concreto, reagindo com a pasta de cimento hidratado. Durante o ataque, os íons sulfatos reagem com o hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  e o aluminato tri-cálcio C3A, dando origem a etringita e o gesso. Esta formação expande-se, exercendo pressão e desintegrando a pasta de cimento.

### **4.3.2.4 Reações álcali-agregado**

Caracterizada pela deterioração do concreto decorrente da interação entre a solução alcalina resultante da hidratação de cimentos com alta taxa de álcalis e certos agregados. 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, 1998)

## **4.4 Terapia das estruturas de concreto**

Segundo Nascimento (2009), há muitos termos utilizados na área de Patologia e Terapia das Estruturas, portanto 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.

#### **4.5 Reforço e recuperação de elementos estruturais com concreto armado**

A técnica de reforço com aumento da seção conhecida como encamisamento, consiste em envolver a seção existente com concreto novo e a armadura necessária para o reparo, é necessário que o elemento a ser reforçado seja aliviado das cargas que está submetido, para que as armaduras existentes não estejam pré-tensionadas em relação às armaduras adicionadas. É uma técnica bastante utilizada por ter o preço dos materiais e da mão de obra mais acessíveis. A principal desvantagem é a interferência arquitetônica do aumento da seção dos elementos reforçados, além de, em alguns casos, o tempo prolongado para que a estrutura possa ser liberada para serviço. Reis (2001) sugere o concreto de alto desempenho no reforço como uma alternativa ao concreto convencional, pois resulta na adoção de espessuras menores, podendo não ser necessárias alterações significativas nas dimensões dos elementos reforçados.

O sucesso do reparo depende da boa aderência entre o concreto novo e o velho, e da capacidade de transferência de tensões entre os mesmos. A incompatibilidade entre o concreto velho e o material a ser aplicado podem gerar falhas nos reparos, principalmente devido a diferenças de deformação e retração. Cuidados devem ser tomados quanto à limpeza da superfície das armaduras antes da colocação do novo material, retirando-se todos os produtos da corrosão. Todo o concreto alterado deverá ser removido e também aquele em volta do perímetro da armadura na região da corrosão. (REIS, 2001)

A lavagem das superfícies do concreto tem como objetivo a remoção de resíduos de toda natureza tais como ferrugens e graxas, de forma a preparar o substrato para a recepção do material do reparo. As lavagens podem ser feitas com jatos d'água e com utilização de soluções alcalinas. (SILVA, 2006)

Segundo Sousa (2008), para o bom funcionamento do reforço, é fundamental que o concreto novo esteja bem aderido ao concreto existente. Esta aderência pode ser melhorada com aplicação de um adesivo à base epóxi na superfície do concreto previamente preparado. O adesivo epóxi apresenta excelente adesão para colagem de concreto velho e novo, e alta resistência física.

Para a limpeza do substrato e conseqüente melhoria da aderência entre concreto novo e velho, utiliza-se a escovação manual, por meio de escovas de cerdas de aço ou o apicoamento ou escarificação manual com talhadeira, ou ainda o apicoamento ou escarificação mecânica pelo uso de martelos pneumáticos ou elétricos. Neste último caso, deve-se prever o cimbramento adequado da estrutura, quando necessário. (REIS, 2001)

Muitas vezes as armaduras existentes apresentam condições de corrosão, sendo assim necessário o tratamento das armaduras, onde a corrosão pode ser removida através de lixamento. Reis (2001) recomenda a pintura das armaduras com um primer epóxi com zinco como uma alternativa para a proteção das armaduras em locais contaminados com cloretos, também recomendado para passivação e proteção das armaduras contra a corrosão em reparos e reforços estruturais.

Uma vez que a superfície do concreto existente estiver preparada e as armaduras, se corroídas, tratadas, são adicionadas as armaduras de reforço no entorno do elemento. A armadura de reforço deverá estar bem ancorada na região próxima aos apoios. Segundo Reis (1998) os estribos também deverão ser dimensionados para suportar os esforços tangenciais que podem gerar deslizamento entre o substrato e o material de reforço. Assim que as armaduras de reforço forem colocadas, são fixadas as formas para concretagem.

#### **4.6 Adesivos estruturais utilizados no reparo de estruturas de concreto**

Trata-se de um adesivo de base epóxi utilizado para garantir a aderência entre o concreto feito na hora, ferro, madeira, pedra, dentre outros materiais e o substrato de concreto.

Tal adesivo consiste em uma resina epóxi, também conhecida como poliepóxido, que é um tipo de plástico que endurece quando é misturado a um agente catalisador (endurecedor). A palavra epóxi vem do grego "ep" (sobre ou entre) e do inglês "exi" (oxigênio), literalmente o termo significa oxigênio entre carbonos. Em um sentido geral, o termo refere-se a um grupo constituído por um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono.

Para a aplicação do adesivo, deve ser feito o preparo do substrato, as superfícies a serem coladas ou reparadas devem estar limpas, porosas, isentas de pó, oleosidade e partículas soltas. Quanto ao preparo do produto é necessário misturar os dois compostos na mesma proporção em peso, cada marca tem suas peculiaridades. A aplicação pode ser feita com pincel, trincha ou espátulas preenchendo todas as superfícies a serem colocadas ou reparadas e a colagem deve ser feita o mais rápido possível, respeitando o prazo máximo de cada produto.

O tempo de secagem do adesivo varia de acordo com a temperatura, demorando em torno de 50 minutos para secar a uma temperatura de 25°C, sendo que quanto maior a temperatura, mais rápido o processo de endurecimento acontece.

Além disso, para o manuseio seguro do adesivo, é necessário o uso de alguns EPIs, como: óculos de segurança; máscara semifacial com filtro adequado para vapores orgânicos; luvas de PVC e avental de PVC.

## **4.7 Ensaios mecânicos**

### **4.7.1 Ensaio de resistência à compressão**

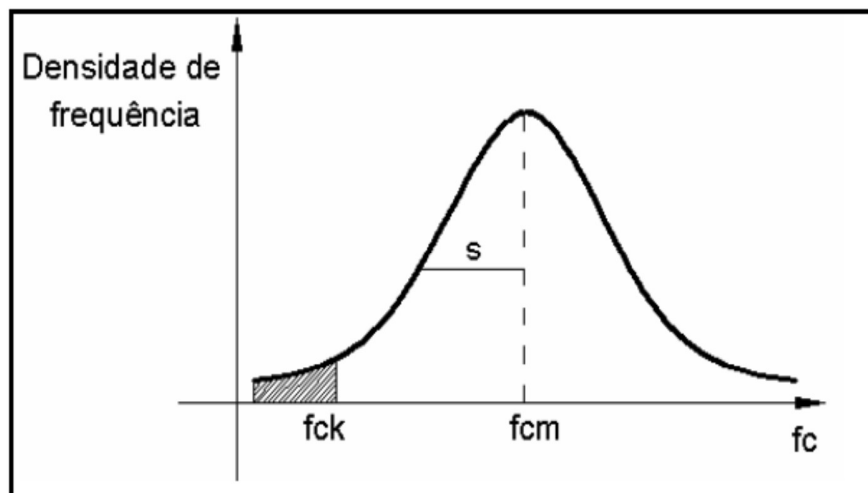
Para estimar a resistência à compressão de um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova de acordo com a ABNT NBR 5738:2003, e ensaiados de acordo com a ABNT NBR 5739:2007.

Após o ensaio de uma amostra significativa 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). A curva resultante 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 a Figura 1. (PINHEIRO, 2010)

Figura 1 — Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão



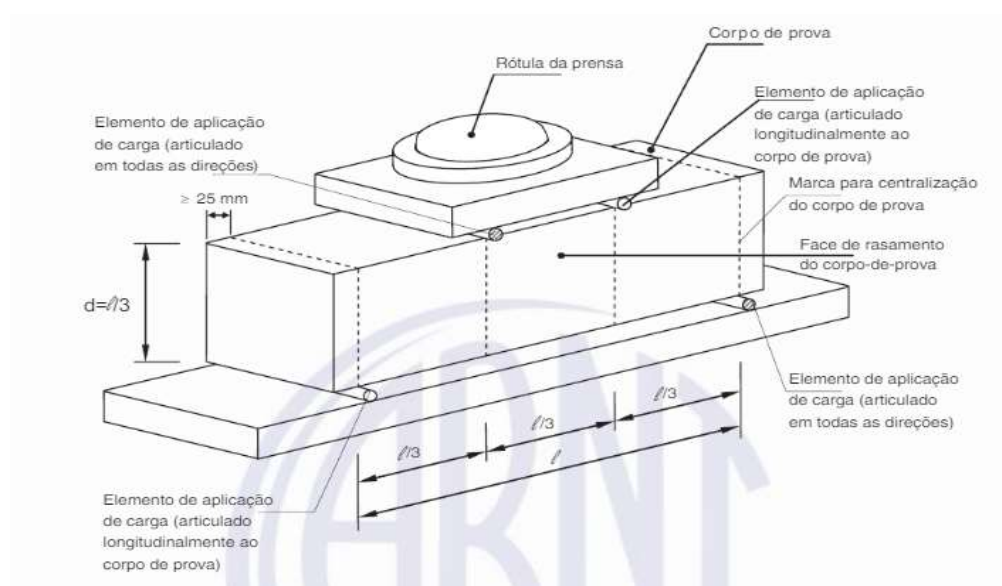
FONTE: Pinheiro (2010)

#### 4.7.2 Ensaio de resistência à tração na flexão a quatro pontos

Esse ensaio é realizado com a aplicação de carga na viga, apoiada em dois cutelos, através de outros dois cutelos, de modo que a aplicação das forças tenha  $1/3$  do comprimento do vão e que os cutelos inferiores estejam localizados a no mínimo 2,5 cm da lateral das vigas (Figura 2).

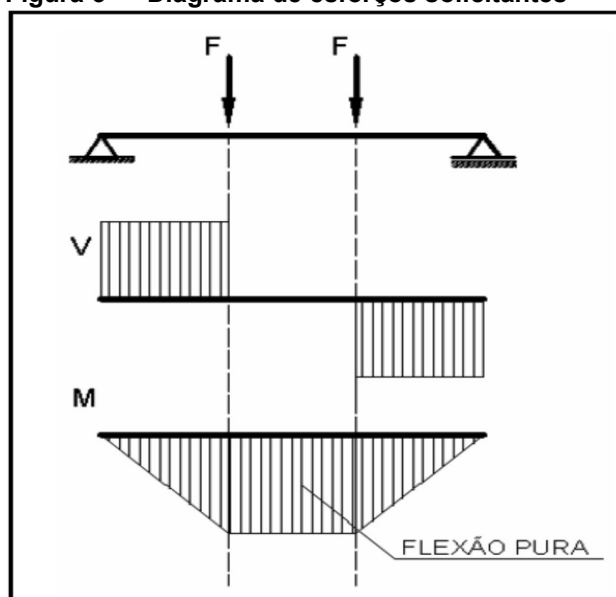
Analisando os diagramas de esforços solicitantes (Figura 3) pode-se notar que na região de momento máximo tem-se cortante nula, portanto, nesse trecho central ocorre flexão pura.

Figura 2 – Modelo de ensaio adotado de acordo com a NBR 12142 (ABNT, 2010)



FONTE: NBR 12142:2010

Figura 3 — Diagrama de esforços solicitantes

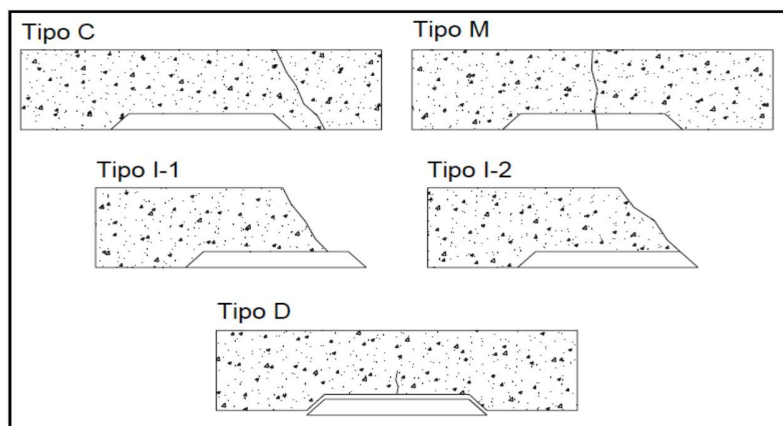


FONTE: Pinheiro (2010)

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 da parte reparada (Tipo C), com o rompimento do reparo e

propagação da fissura para o prisma de concreto (Tipo M), com o desprendimento do canto 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 na Figura 4. (Moreno Junior e Anselmo 2007)

**Figura 4 - Possíveis tipos de ruptura**



**Fonte: MORENO JUNIOR e ANSELMO, 2007**

## **5 MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a realização do estudo da confiabilidade dos adesivos estruturais, serão realizados ensaios de controle (flexão e compressão) para a determinação das propriedades mecânicas dos corpos de prova sem defeitos. Também serão preparados corpos de prova que necessitam de recuperação, após o tempo de cura serão recuperadas utilizando adesivos estruturais e um novo concreto com as mesmas características do anterior e serão realizados ensaios nos corpos de prova recuperados. Os ensaios foram realizados no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão.

### **5.1 Ensaio de controle**

Foram moldados quatro corpos de prova cilíndricos com as dimensões de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura. As moldagens e desmoldagens foram realizadas de acordo com a NBR 5738(ABNT, 2003). Também foram moldados quatro corpos de prova prismáticos com dimensões de 100x100x400 (mm) armados inferiormente com duas barras de 5 mm (cobrimento de 2,5 cm e gancho de 5 cm) utilizando formas disponíveis da universidade.

Foi utilizado o cimento CP V-ARI, areia e pedrisco para a produção do concreto utilizado, de traço 1:2:3 em volume e fator água cimento de 0,55.

Para a quantificação da resistência dos corpos de prova foi realizado o ensaio de resistência à compressão de acordo com a norma NBR 5739 (ABNT, 2007) nos corpos de prova cilíndricos e o ensaio de resistência à tração na flexão a 4 pontos de de acordo com a NBR 12142 (ABNT, 2010) nos corpos de prova prismáticos.

A cura dos corpos de prova foi feita em ambiente de laboratório com temperatura variada em torno de 20°C e protegido de intempéries.

## 5.2 Ensaio do corpo de prova cilíndrico reparado

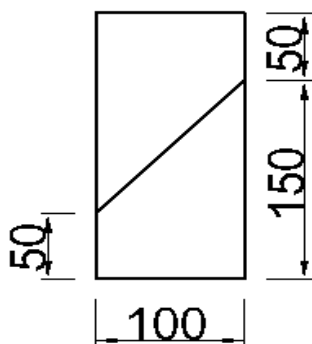
Como forma, foram utilizados seis canos de PVC de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, com um corte em 45° no meio (Figura 5).

A concretagem foi feita dentro do cano de PVC remendado com fita adesiva (Figura 6). Após 30 minutos foi retirada a fita adesiva do PVC e em seguida, com o auxílio de uma faca, foi feito um corte no concreto no sentido do corte em 45° feito anteriormente no PVC, separando o corpo de prova em 2 partes, resultando em doze metades de corpos de prova.

Após 2 dias foi feita a desmoldagem (Figura 7) e os corpos de prova ficaram curando por 30 dias em ambiente de laboratório. Os corpos de prova foram colocados novamente em tubos de PVC de 100x200 (mm) e após a aplicação do adesivo estrutural (4 corpos de prova por adesivo), foi feita a concretagem para compô-los.

Após 1 dia foi feita a desmoldagem (Figura 8) e depois de 8 dias curando (CP V-ARI) em ambiente de laboratório, foi feito o ensaio de resistência à compressão nos 12 corpos de prova fabricados (Figura 9).

Figura 5 — Forma do corpo de prova em PVC com corte em 45°



FONTE: Autoria Própria (2017)

**Figura 6 — Concretagem em cano PVC recuperado com fita adesiva**



**FONTE: Autoria Própria (2018)**

**Figura 7 — Corpos de prova desmoldados aguardando recuperação**



**FONTE: Foto Autoria Própria (2018)**

**Figura 8 — Corpos de prova recuperados**



**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

**Figura 9 – Ensaio de resistência à compressão**



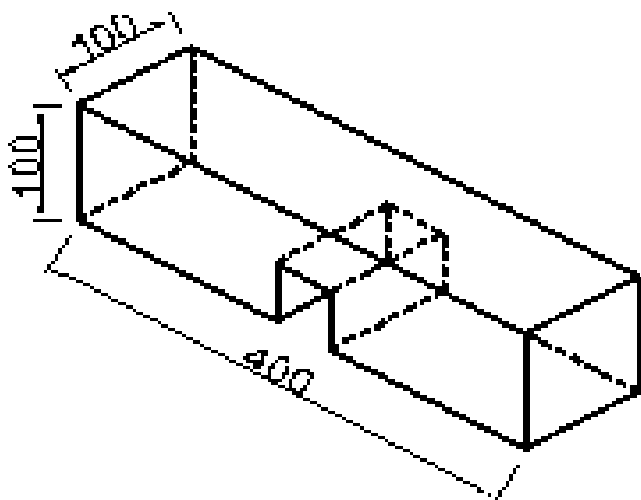
**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

### 5.3 Ensaio do corpo de prova prismático reparado

Foram moldados doze corpos de prova prismáticos 100X100X400 mm com um entalhe com dimensões de 50x50x100 mm na parte inferior (Figuras 10 e 11) e armados inferiormente com duas barras de 5 mm de diâmetro (cobrimento de 2,5 cm e gancho de 5 cm). Para o entalhe foi utilizado um isopor no fundo da forma.

Após 2 dias foi feita a desmoldagem e os corpos de prova ficaram curando por 30 dias em ambiente de laboratório (Figura 12). Foi feita a aplicação do adesivo estrutural por todo o entalhe e concretagem do mesmo utilizando papelão como forma. Após 1 dia foi feita a desmoldagem e após 8 dias curando em ambiente de laboratório foi realizado o ensaio de resistência a tração na flexão a 4 pontos em todos os 12 corpos de prova (Figura 13).

Figura 10 — Exemplo isométrico do corpo de prova prismático com entalhe



FONTE: Autoria Própria (2017)



**Figura 11 — Corpo de prova prismático com entalhe**



**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

**Figura 12 – Cura dos corpos de prova**



**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

**Figura 13 – Ensaio de resistência à tração na flexão a quatro pontos**



**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

#### **5.4 Materiais necessários**

- 6 canos de PVC de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura;
- Adesivo estrutural 1 (Compound adesivo – fabricante: Vedacit);
- Adesivo estrutural 2 (Sikadur 32 – fabricante: Sika);
- Adesivo estrutural 3 (Hardfix – fabricante: Hard);
- Cimento CP V-ARI;
- 32 barras de 5 mm de diâmetro por 440 mm de comprimento;
- Máquina para ensaio à compressão;
- Máquina para ensaio à tração na flexão a quatro pontos;
- Serra para corte;
- Pedrisco;
- Forma de madeira para concretagem do prisma;
- Isopor para criação do entalhe do prisma;

- Régua;
- Forma para corpos de prova cilíndricos;
- Areia;
- Cone para slump;
- Betoneira;
- Balança;
- Balde.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 ENSAIOS DE CONTROLE

Após a realização dos ensaios de controle (compressão nos corpos de prova cilíndricos e flexão nos prismáticos) foram obtidos resultados apresentados de acordo com as Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1 – Resistência à compressão dos cilíndricos sem defeito**

CP	Ø Médio (mm)	Altura (mm)	$F_{c,14}$ (MPa)
1	100,1	200,8	38,05
2	100,25	199,7	26,2
3	100,5	200	35,2
4	100,1	199,5	35,33

**FONTE: Autoria Própria (2018)**

A resistência média à compressão dos corpos de prova cilíndricos sem defeito foi de 33,7 MPa.

**Tabela 2 – Resistência à tração na flexão a 4 pontos e momento máximo resistido pelos prismas sem defeito**

CP	Altura média (mm)	Largura média (mm)	Vão(mm)	Força máx (kN)	Resistência efetiva (MPa)	Mmáx (kN.cm)
1	98,7	102,45	100	58,22	5,37	582,2
2	100,25	103,12	100	61,41	5,94	614,1
3	100,3	103,9	100	69,75	6,69	697,5
4	99,35	102,05	100	69,49	6,85	694,9

**FONTE: Autoria Própria (2018)**

A resistência efetiva média e o momento máximo aplicado nos prismas antes da ruptura foram, respectivamente, 6,21 MPa e 647,17 kN.cm.

Como o esperado, todos os prismas romperam na região de flexão pura, como é possível observar nas figuras seguintes:

Figura 14 - Rompimento dos prismas sem defeito



FONTE: Autoria Própria (2018)

Os relatórios dos ensaios fornecidos pelo equipamento estão disponíveis nos anexos A e E.

## 6.2 ENSAIO DOS CILÍNDRICOS RECONSTITUÍDOS

Após a realização dos ensaios de compressão, foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 3):

Tabela 3 - Resistência à compressão dos cilíndricos recuperados

Adesivo	CP	Ø Médio (mm)	Altura (mm)	$F_{c,14/9}$ (MPa)
Compound	1	100,1	200,8	15,09
	2	100,25	199,7	15,14
	3	100,5	200	13,03
	4	100,1	199,5	16,69
Sikadur 32	1	100,1	201,25	14,95
	2	99	201	15,84
	3	99,65	199,5	13,84
	4	99,5	200,2	12,23
Hardfix	1	98,85	199,1	14,7
	2	99,8	200	12,23
	3	99,3	200,2	14,72
	4	99,47	199,85	13,1

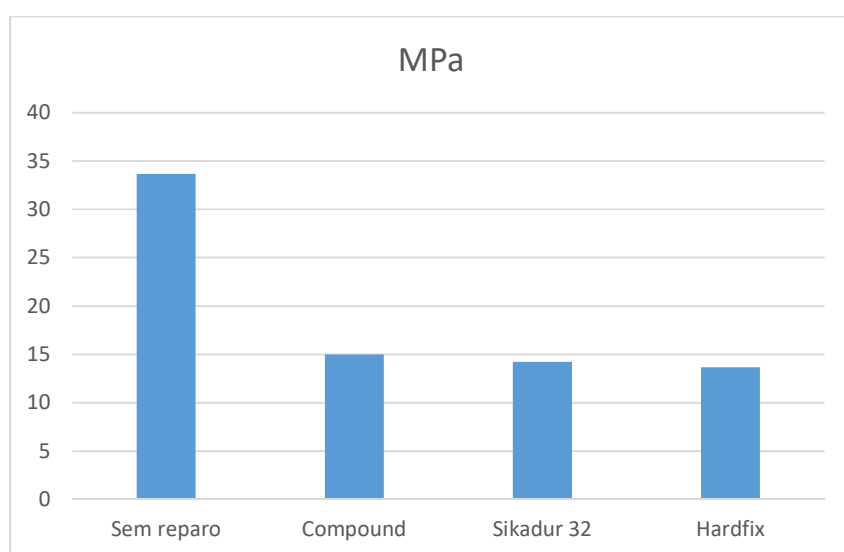
FONTE: Autoria Própria (2018)

A partir das Tabelas 1 e 3 foram obtidas as médias de resistência à compressão dos corpos de prova sem reparo e dos corpos de prova com reparo, comparando-as na Tabela 4 e no Gráfico 1.

**Tabela 4 – Resistência a compressão dos corpos de prova sem reparo e dos reparados**

Adesivo	CP	Ø Médio (mm)	Altura (mm)	$F_{ck}$ (MPa)
Sem reparo	1	100,1	200,8	38,05
	2	100,25	199,7	26,2
	3	100,5	200	35,2
	4	100,1	199,5	35,33
Compound	1	100,1	200,8	15,09
	2	100,25	199,7	15,14
	3	100,5	200	13,03
	4	100,1	199,5	16,69
Sikadur 32	1	100,1	201,25	14,95
	2	99	201	15,84
	3	99,65	199,5	13,84
	4	99,5	200,2	12,23
Hardfix	1	98,85	199,1	14,7
	2	99,8	200	12,23
	3	99,3	200,2	14,72
	4	99,47	199,85	13,1

**Gráfico 1 - Resistência média dos corpos de prova sem reparo e dos reparados**



**FONTE: Autoria Própria (2018)**

É possível observar uma discrepância grande entre a resistência à compressão dos corpos de prova sem reparo e os reparados, isso deve-se ao fato de que os sem reparo foram ensaiados após 28 dias de cura, enquanto os corpos de prova reparados foram ensaiados com apenas 8 dias de cura.

- Elementos reparados com Compound da Vedacit.

**Figura 15 - Rompimento no concreto novo (Compound)**



**FONTE: Autoria Própria (2018)**

Figura 16 - Corte no corpo de prova mostrando a parte colada (Compound)



FONTE: Aatoria Própria (2018)

- Elementos reparados com Sikadur 32 da Sika.

Figura 17 - Rompimento no concreto novo (Sikadur 32)



FONTE: Aatoria Própria (2018)

O quarto corpo de prova reparado com o adesivo Sikadur 32, apresentou uma pequena falha de aderência como é possível observar na figura abaixo:



Figura 18 - Corte no corpo de prova mostrando a parte colada (Sikadur 32)



FONTE: A autoria Própria (2018)

- Elementos reparados com Hardfix da Hard.

Figura 19 - Corte no corpo de prova mostrando a parte colada (Hardfix)



FONTE: A autoria Própria (2018)

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

### 6.3 ENSAIO DOS PRISMAS RECONSTITUÍDOS

Após a realização dos ensaios de flexão a quarto pontos, foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 5):

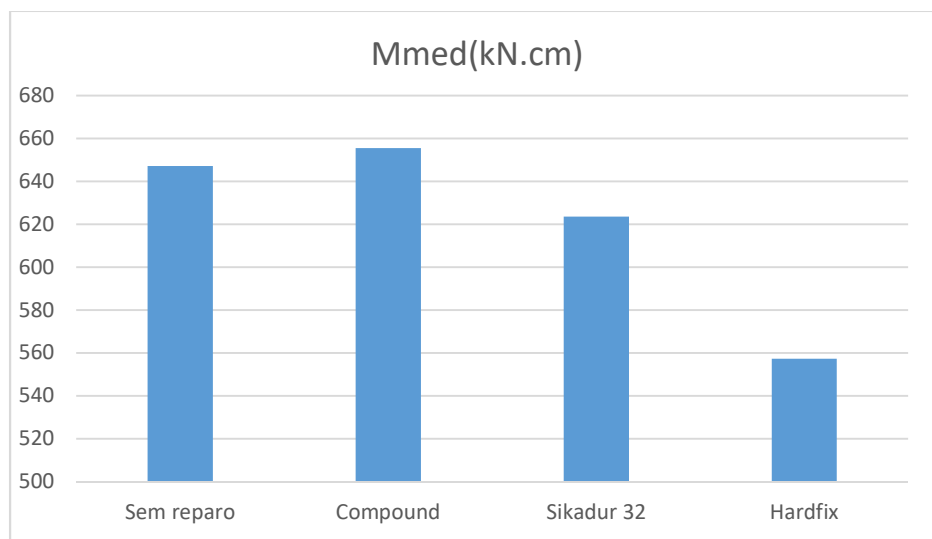
**Tabela 5 - Resistência à tração na flexão a 4 pontos e momento máximo resistido pelos prismas recuperados**

Adesivo	CP	Altura média (mm)	Largura média (mm)	Vão(mm)	Força máx (kN)	Resistência efetiva (MPa)	Mmáx (kN.cm)
Compound	1	98,7	102,45	100	75,11	7,18	751,1
	2	100,25	103,12	100	64,54	6,32	645,4
	3	100,3	103,9	100	59,27	5,85	592,7
	4	99,35	102,05	100	63,32	6,14	633,2
Sikadur 32	1	102,3	103,2	100	66,1	6,43	661
	2	100,05	102,1	100	63,51	6,24	635,1
	3	98,67	100,92	100	59	5,84	590
	4	99,22	103,6	100	60,84	5,92	608,4
Hardfix	1	100,05	102,42	100	59,59	5,81	595,9
	2	99,62	103,05	100	50,79	4,99	507,9
	3	98,75	101,25	100	48,8	4,79	488
	4	100,1	102	100	63,73	6,27	637,3

FONTE: Autoria Própria (2018)

A partir das Tabelas 2 e 5 foram obtidas as médias dos momentos máximos aplicados nas vigas sem reparos e nas reparadas, comparando-os no Gráfico 2 e na Tabela 6:

**Gráfico 2 – Momento médio resistido pelos prismas fabricados**



FONTE: Autoria Própria (2018)

**Tabela 6 - Momento resistido pelos prismas fabricados**

Adesivo	CP	Altura média (mm)	Largura média (mm)	Vão(mm)	Força máx (KN)	Resistência efetiva (Mpa)	Mmáx (KN.cm)
Sem reparo	1	98,7	102,45	100	58,22	5,37	582,2
	2	100,25	103,12	100	61,41	5,94	614,1
	3	100,3	103,9	100	69,75	6,69	697,5
	4	99,35	102,05	100	69,49	6,85	694,9
Compound	1	98,7	102,45	100	75,11	7,18	751,1
	2	100,25	103,12	100	64,54	6,32	645,4
	3	100,3	103,9	100	59,27	5,85	592,7
	4	99,35	102,05	100	63,32	6,14	633,2
Sikadur 32	1	102,3	103,2	100	66,1	6,43	661
	2	100,05	102,1	100	63,51	6,24	635,1
	3	98,67	100,92	100	59	5,84	590
	4	99,22	103,6	100	60,84	5,92	608,4
Hardfix	1	100,05	102,42	100	59,59	5,81	595,9
	2	99,62	103,05	100	50,79	4,99	507,9
	3	98,75	101,25	100	48,8	4,79	488
	4	100,1	102	100	63,73	6,27	637,3

A grande maioria dos corpos de prova (9 dos 12 fabricados), romperam na região de flexão pura, porém, fora da região do reparo, onde o concreto estava com uma idade de cura menor e conseqüentemente com menor resistência.

**Figura 20 – Ruptura dos prismas recuperados com Compound**



**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

**Figura 21 - Ruptura dos prismas recuperados com Sikadur 32**



**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

**Figura 22 - Ruptura dos prismas recuperados com Hardfix**



**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

Dois dos doze corpos de prova fabricados apresentaram a ruptura no apoio de acordo com a figura 23.

**Figura 23 – Corpo de prova 1 recuperado com Compound e corpo de prova 2 recuperado com Hardfix com ruptura no apoio**



**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

Apenas um corpo de prova rompeu na região reparada, bem próximo da interface de ligação do concreto novo com o velho (figura 24).

**Figura 24 – Rompimento no concreto novo/interface de ligação entre concreto novo e velho do corpo de prova 1 reparado com Hardfix**



**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

Na figura abaixo é possível ver com mais detalhes a ruptura do corpo de prova 1 reparado com Hardfix (figura 25):

- Círculo preto: concreto velho aderido no adesivo estrutural
- Círculo vermelho: adesivo estrutural sem concreto aderido
- Círculo verde: concreto novo aderido no adesivo estrutural

**Figura 25 – Detalhe do corpo de prova 1 reparado com Hardfix**



**FONTE: Aatoria Própria (2018)**

Os relatórios dos ensaios fornecidos pelo equipamento estão disponíveis nos anexos F, G e H.

## 7 CONCLUSÃO

Após a análise dos resultados de caracterização, foi possível observar que os corpos de prova cilíndricos sem reparo resistiram a uma força de compressão média de 33,7 MPa e os prismas sem reparo resistiram a uma força de ruptura média e a um momento médio de 64,7 kN e 647,17 kN.cm, respectivamente.

Os doze corpos de prova cilíndricos reparados com o adesivo estrutural, apresentaram uma resistência à compressão bastante parecidas com média de 14,3 MPa, valor bem inferior a resistência à compressão dos cilíndricos sem reparo (57,57% menor), é possível observar a relação no Gráfico 1. A resistência menor dos corpos de prova reparados, deve-se ao fato de que os mesmos foram ensaiados com o concreto novo com apenas 8 dias de cura numa temperatura média do laboratório abaixo dos 20°C, enquanto o concreto velho já possuía mais de 28 dias de cura. Como todos os corpos de prova reparados romperam no concreto novo (Figuras 15 e 17), é possível concluir que o adesivo estrutural não influenciou em nada para o rompimento precoce dos mesmos. Contudo, o adesivo estrutural apresentou uma aderência significativa em todos os corpos de prova (Figuras 16 e 19).

Houve apenas uma falha, o quarto corpo de prova reparado com o adesivo estrutural Sikadur 32, depois de aberto, apresentou parte do adesivo a mostra, com pouco concreto aderido (Figura 18), fato que pode ter sido causado pela mão de obra durante a execução do reparo, onde foi passado uma camada muito grossa do adesivo.

Os corpos de prova prismáticos apresentaram forças de ruptura bastante parecidas, com uma variação máxima de 15% (655,6 kN.cm elementos reparados com Compound e 557,3 kN.cm elementos reparados com Hardfix) como é possível observar no Gráfico 2.

Os prismas sem reparo romperam todos na região de flexão pura (Figura 14). Já os prismas reparados, 9 dos 12 romperam na região de flexão pura e fora da região reparada (Figuras 20, 21 e 22), 2 romperam no apoio (Figura 23) e 1 rompeu no concreto novo (Figura 24). O rompimento no apoio aconteceu provavelmente pelo fato de que o apoio estava localizado a 2,5 cm da extremidade do corpo de prova, que é a mesma



distância do cobrimento da armadura, ou seja, houve um desprendimento do concreto da armadura na região do apoio.

Analisando a Figura 25, corpo de prova 1 reparado com Hardfix, é possível observar que o adesivo teve uma boa aderência tanto no concreto novo quanto no velho, pois existe concreto aderido por todo o adesivo e só nos círculos vermelhos teve pouca aderência do concreto.

Como foi possível observar, não houve nenhum rompimento no adesivo estrutural, todos aparentaram ser bastante eficientes, aderindo bem tanto no concreto novo quanto no velho e resistindo aos esforços solicitante. As variações encontradas podem ser atribuídas a diferenças no preparo, como tempo e temperatura de cura e regularização da superfície das amostras para realização dos ensaios. De modo geral, conclui-se que os adesivos estruturais foram eficientes na reconstituição dos corpos de prova ensaiados.

## **7.1 Recomendações**

Para próximos trabalhos na mesma linha de pesquisa, recomendo a utilização de diversas camadas na aplicação dos adesivos, a confecção de corpos de prova para a verificação das propriedades mecânicas tanto do concreto novo quanto do concreto velho, assim como a utilização de um concreto de alto desempenho, pois como os adesivos estruturais possuem uma resistência a compressão em torno de 80 MPa, fica difícil verificar a resistência mecânica dos mesmos sem um concreto de alta resistência.

## 8 REFERÊNCIAS

ARAUJO, Rodrigues & Freitas 19. **Materiais de Construção**. São Paulo, 1991.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 12142**: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. 2010.

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 – 5738**: Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. NBR-5738. Rio de Janeiro, 2003.

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.

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.

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.

REIS, L. S. N. **Sobre a Recuperação e Reforço das Estruturas de Concreto Armado.** 2001. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

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, E. A. **Técnicas de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado.** 2006. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

SILVA, Moema Ribas. **Materiais de Construção.** 2. Ed. São Paulo: Pini, 1991

SOBRAL, Hernani Sávio. **Propriedades do Concreto Fresco.** São Paulo: ABCP, 1990.

SOUSA, A. F. V. S. **Reparação, Reabilitação e Reforço de Estruturas de Betão Armado.** 2008. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008



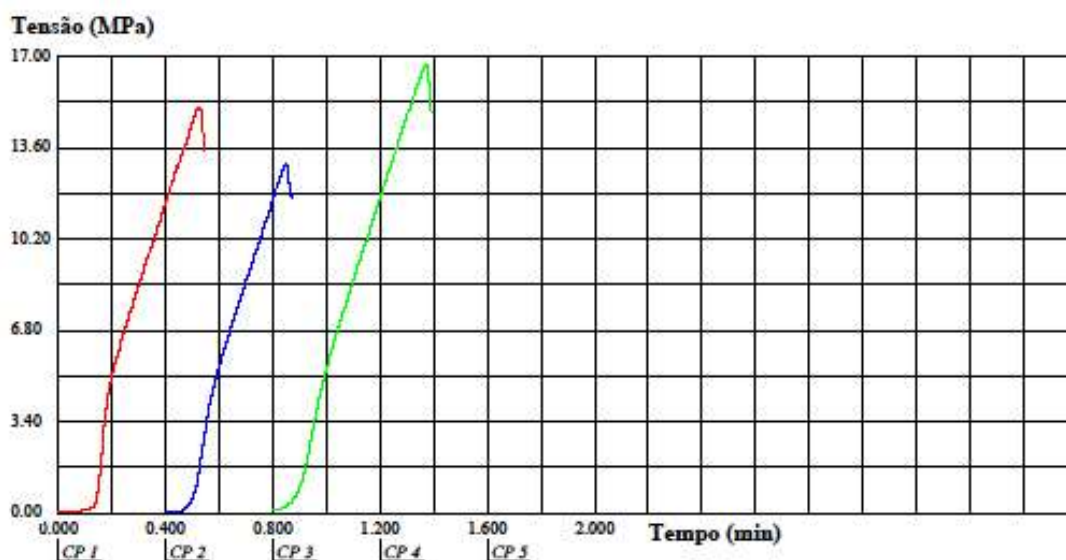
## ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS REPARADOS COM COMPOUND

### UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná COMPRESSÃO DO CONCRETO

#### Relatório de Ensaio

Maquina: **Emic DL30000F** Celula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **17/05/2018** Hora: **18:18:05** Trabalho n° **0819**  
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão CP 100 X 200 - Teste**  
 Ident. Amostra: >>>>> Cliente: **João Victor Meaurio Monteiro** Cimento: **ARI - CP V - Com vedacit** Idade: **35/8 dias**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (kN)	Resistência Efetiva (MPa)
CP 1	100.07	7864.98	119.06	15.14
CP 2	99.60	7791.27	101.49	13.03
CP 3	99.85	7830.44	130.69	16.69
Número CPs	3	3	3	3
Média	99.84	7829	117.1	14.95
Mediana	99.85	7830	119.1	15.14
Desv. Padrão	0.2352	36.88	14.70	1.839
Coef. Var. (%)	0.2355	0.4710	12.56	12.30
Mínimo	99.60	7791	101.5	13.03
Máximo	100.1	7865	130.7	16.69



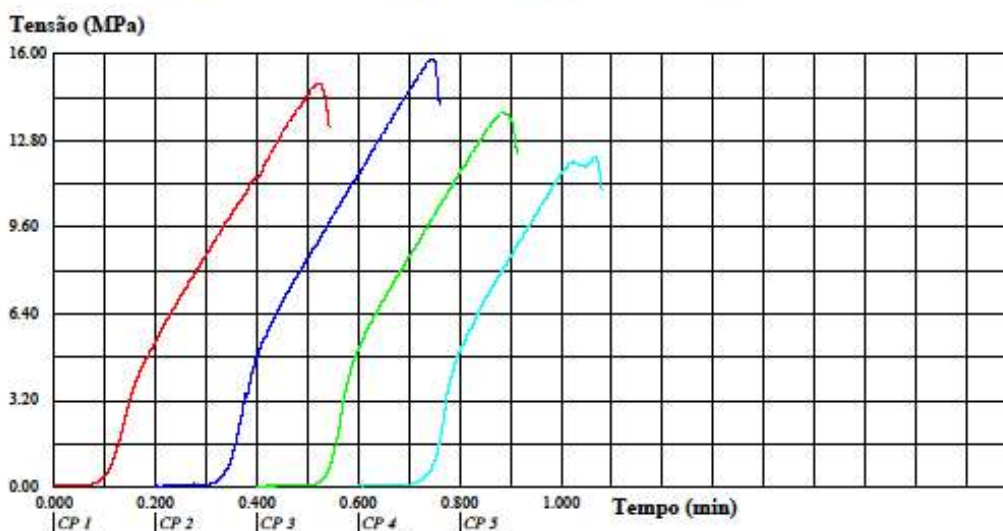
## ANEXO C – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS REPARADOS COM SIKADUR 32

### UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná COMPRESSÃO DO CONCRETO

#### Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000F** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **17/05/2018** Hora: **18:27:49** Trabalho n° **0820**  
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão CP 100 X 200 - Teste**  
 Ident. Amostra: >>>> Cliente: **João Victor Meaurio Monteiro** Cimento: **ARI - CP V - Com Sikadur** Idade: **35/8 dias**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (kN)	Resistência Efetiva (MPa)
CP 1	100.10	7869.70	117.65	14.95
CP 2	99.00	7697.69	121.97	15.84
CP 3	99.65	7799.10	107.94	13.84
CP 4	99.53	7780.33	95.18	12.23
Número CPs	4	4	4	4
Média	99.57	7787	110.7	14.22
Mediana	99.59	7790	112.8	14.39
Desv. Padrão	0.4523	70.73	11.88	1.556
Coef. Var. (%)	0.4543	0.9083	10.74	10.94
Mínimo	99.00	7698	95.18	12.23
Máximo	100.1	7870	122.0	15.84



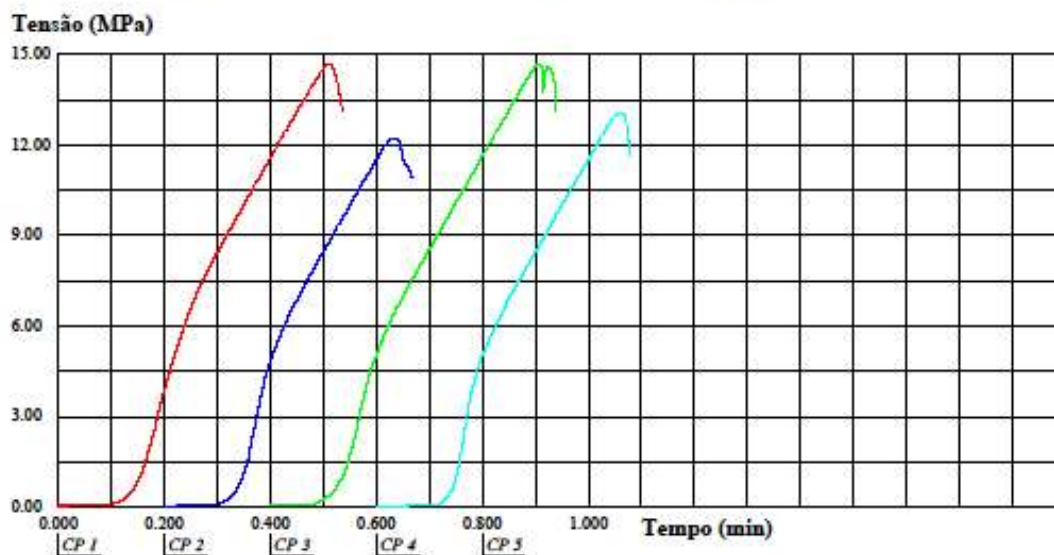
## ANEXO D – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS REPARADOS COM HARDFIX

### UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná COMPRESSÃO DO CONCRETO

#### Relatório de Ensaio

Maquina: **Emic DL30000F** Célula: **Trd 30** Extensômetro: - Data: **17/05/2018** Hora: **18:35:20** Trabalho n° **0821**  
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão CP 100 X 200 - Teste**  
 Ident. Amostra: >>>> Cliente: **João Victor Meaurio Monteiro** Cimento: **ARI - CP V - Com HardFix** Idade: **35/8 dias**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (kN)	Resistência Efetiva (MPa)
CP 1	98.85	7674.38	112.83	14.70
CP 2	99.82	7825.73	95.68	12.23
CP 3	99.30	7744.41	113.96	14.72
CP 4	99.47	7770.95	101.77	13.10
Número CPs	4	4	4	4
Média	99.36	7754	106.1	13.68
Mediana	99.39	7758	107.3	13.90
Desv. Padrão	0.4031	62.89	8.840	1.234
Coef. Var. (%)	0.4057	0.8110	8.335	9.020
Mínimo	98.85	7674	95.68	12.23
Máximo	99.82	7826	114.0	14.72







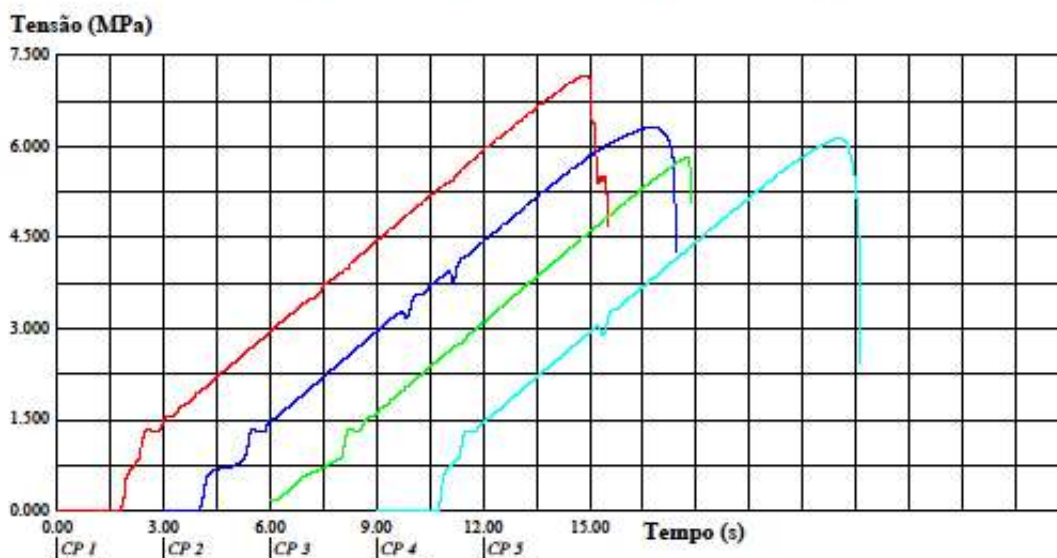
## ANEXO F – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO A QUATRO PONTOS DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS REPARADOS COM COMPOUND

### UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná COMPRESSÃO DE FLEXÃO

#### Relatório de Ensaio

Maquina: **Emic DL30000F** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **21/05/2018** Hora: **15:38:45** Trabalho n° **0823**  
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Flexão Concreto**  
 Ident. Amostra: >>>>>> Cliente: **João Victor Meaurio Monteiro** Cimento: **ARI - CP V - Adesivo Compound** Idade: **36**

Corpo de Prova	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (kN)	Resistência Efetiva (MPa)
CP 1	10454.86	75.11	7.18
CP 2	10210.10	64.54	6.32
CP 3	10132.30	59.27	5.85
CP 4	10303.81	63.32	6.14
Número CPs	4	4	4
Média	10280	65.56	6.375
Mediana	10260	63.93	6.233
Desv. Padrão	138.7	6.756	0.5737
Coef. Var. (%)	1.350	10.30	8.999
Mínimo	10130	59.27	5.850
Máximo	10450	75.11	7.185



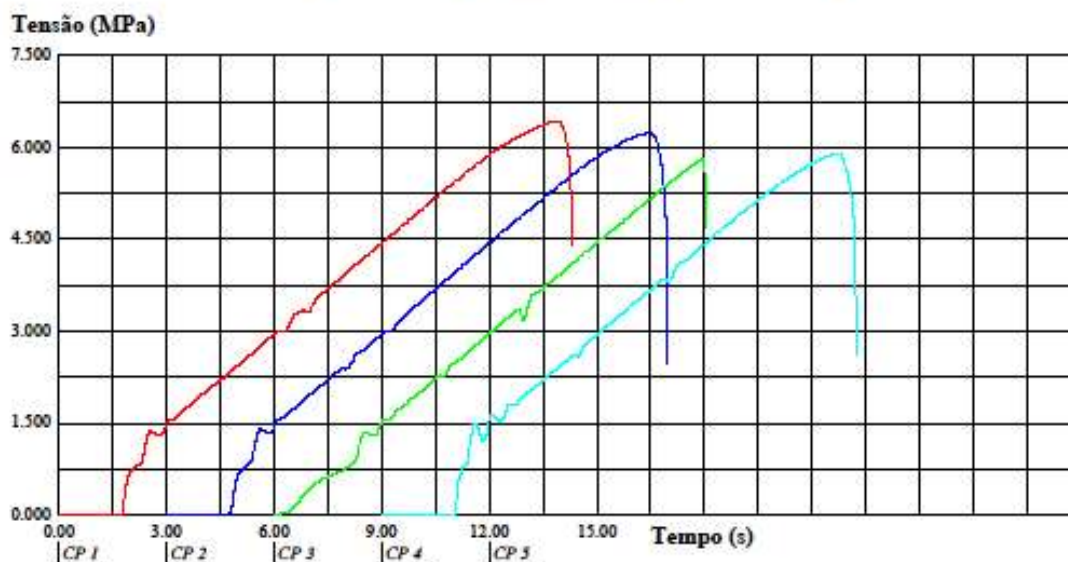
**ANEXO G – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO A QUATRO PONTOS DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS REPARADOS COM SIKADUR 32**

**UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**COMPRESSÃO DE FLEXÃO**

**Relatório de Ensaio**

Máquina: **Emic DL30000F** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **21/05/2018** Hora: **16:19:32** Trabalho n° **0824**  
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Flexão Concreto**  
Ident. Amostra: >>>>> Cliente: **João Victor Meaurio Monteiro** Cimento: **ARI - CP V - Adesivo SikaDur 1** Idade: **36**

Corpo de Prova	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (kN)	Resistência Efetiva (MPa)
CP 1	10280.40	66.10	6.43
CP 2	10174.26	63.51	6.24
CP 3	10108.14	59.00	5.84
CP 4	10279.19	60.84	5.92
Número CPs	4	4	4
Média	10210	62.36	6.107
Mediana	10230	62.17	6.080
Desv. Padrão	84.45	3.105	0.2775
Coef. Var. (%)	0.8271	4.980	4.544
Mínimo	10110	59.00	5.837
Máximo	10280	66.10	6.430



## ANEXO H – RELATÓRIO DE ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO A QUATRO PONTOS DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS REPARADOS COM HARDFIX

### UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná COMPRESSÃO DE FLEXÃO

#### Relatório de Ensaio

Maquina: **Emic DL30000F** Célula: **Trd 29** Extensômetro: - Data: **21/05/2018** Hora: **16:34:06** Trabalho n° **0825**  
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Flexão Concreto**  
 Ident. Amostra: >>>>>>> Cliente: **João Victor Meaurio Monteiro** Cimento: **ARI - CP V - Adesivo HardFix** Idade: **36**

Corpo de Prova	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (kN)	Resistência Efetiva (MPa)
CP 1	10248.12	59.59	5.81
CP 2	10176.19	50.79	4.99
CP 3	10185.22	48.80	4.79
CP 4	10160.15	63.73	6.27
Número CPs	4	4	4
Média	10190	55.73	5.468
Mediana	10180	55.19	5.403
Desv. Padrão	38.55	7.100	0.6957
Coef. Var. (%)	0.3783	12.74	12.72
Mínimo	10160	48.80	4.792
Máximo	10250	63.73	6.272

