

**METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO  
DESEMPENHO DE  
SISTEMAS DESTINADOS A PONTES DE  
ADERÊNCIA ENTRE  
CONCRETO FRESCO E ENDURECIDO**

**ANGELA BORGES MASUERO**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA

Porto Alegre

Abril, 1993

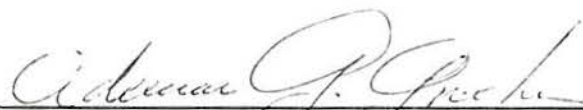
ESCOLA DE ENGENHARIA  
BIBLIOTECA

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



---

Prof. Paulo R. Lago Helene  
Orientador



---

Prof. Ademar Gilberto Groehs  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Eng. Civil

**BANCA EXAMINADORA**

- Prof. Paulo R. Lago Helene (Orientador)  
Dr. pela USP/SP
- Prof. Adão Hélio Greven  
Dr. Ing. pela Universitaet Hannover
- Prof. Sérgio Roberto Maestrini  
PhD pela N.C.S.U/ USA

*Aos meus pais*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Paulo Helene pela orientação, incentivo e valiosas contribuições ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Aos amigos Ana Luiza Raabe Abitante e Aldo Boggio Vianna pela convivência, companherismo e inúmeras contribuições em trabalhos desenvolvidos em conjunto e discussões técnicas ao longo destes anos.

A Prof. Denise Dal Molin pela amizade, apoio e incentivo.

Ao João pela compreensão, paciência, dedicação e estímulo durante a elaboração desta dissertação, em especial no nosso primeiro ano de casamento.

A amiga e colega Deli Barreto pelo estímulo e amizade.

Aos colegas do NORIE pelo companherismo.

Ao laboratorista Fontes pela colaboração na realização dos ensaios.

A bibliotecária Juliana Bonilha pela organização das referências bibliográficas.

Aos órgãos financiadores CAPES e FAPERGS cujos recursos possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração desta dissertação.



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

- Figura 2.1 - Área real de contato entre dois corpos sólidos e tensões existentes.....10
- Figura 2.2 - Influência da adesão e atrito na resistência de uma junta .....13
- Figura 2.3 - Envoltória de ruptura de uma junta.....14
- Figura 2.4 - Irregularidades Superficiais.....16
- Figura 2.5 - Tipos de Ruptura.....18

### CAPÍTULO 3

- Figura 3.1 - Processo simplificado de obtenção de polímeros.23
- Figura 3.2 - Obtenção do componente epiclorigrina.....24
- Figura 3.3 - Obtenção do componente bisfenol- A.....24
- Figura 3.4 - Reação para obtenção de resinas epóxi.....24

### CAPÍTULO 4

- Figura 4.1 - Forças intermoleculares superficiais de um fluido..... 28
- Figura 4.2 - Tensão superficial originária das ligações superficiais em desequilíbrio.....29
- Figura 4.3 a e b - Forças atuantes sobre uma molécula de um fluido em contato com um sólido.....30
- Figura 4.4 - Equilíbrio de forças atuantes em uma gota de um líquido.....30
- Figura 4.5 - Molhamento do substrato com poros capilares....32
- Figura 4.6 - Tensões geradas ao longo da junta.....34

Figura 4.7	- Deformação da interface concreto/ponte de aderência devido a tensões uniaxiais .....	38
Figura 4.8	- Variação da tensão principal máxima na interface concreto/ponte de aderência.....	39
Figura 4.9	- Deformação do conjunto sistema epóxi/concreto resultante do aumento da temperatura ambiente..	39
Figura 4.10	- Deformação do conjunto sistema epóxi/concreto resultante da diminuição da temperatura ambiente .....	40
Figura 4.11	- Resistência de juntas com superfícies lisas e rugosas.....	41
Figura 4.12	- Influência do tratamento superficial na resistência da junta.....	42
Figura 4.13	- Ângulo de contato entre as paredes dos poros ou fissuras e o fluido.....	44
 CAPÍTULO 5		
Figura 5.1	- Ensaio de tração direta.....	57
Figura 5.2	- Ensaio de tração indireta.....	58
Figura 5.3	- Ensaio de tração por flexão.....	59
Figura 5.4	- "Break - Test".....	61
Figura 5.5	- Ensaio de aderência.....	62
Figura 5.6	- Ruptura passíveis de ocorrer no ensaio de aderência.....	63
Figura 5.7	- Ensaio ao cisalhamento puro proposto pelo Bureau of Reclamation Enginnering Laboratories.....	64
Figura 5.8	- Ensaio de cisalhamento RILEM - Comitê Técnico 52 - RA 1986.....	65
Figura 5.9	- Formas de ruptura passíveis de ocorrer no ensaio proposto pela RILEM.....	65
Figura 5.10	- Ensaio de cisalhamento em 3 Prismas.....	66
Figura 5.11	- Montagem dos corpos de prova do ensaio de cisalhamento de 3 prismas unidos com adesivo...	67
Figura 5.12	- Ensaio de cisalhamento oblíquo.....	68
Figura 5.13	- Corte da placa de concreto à ângulo controlado .....	69
Figura 5.14	- Ensaio de flexão.....	70

Figura 5.15 - Ensaio de flexão proposto por BASE.....	71
Figura 5.16 - Resistência à tração de pontes de aderência....	75
Figura 5.17 - Ensaio de resistência ao cisalhamento.....	75
Figura 5.18 - Ensaio ao cisalhamento proposto por Lark.....	76
Figura 5.19 - Ensaio de cisalhamento misto.....	77
Figura 5.20 - Módulo de compressão instantânea.....	78
Figura 5.21 - Corpo de prova empregado para a determinação do coeficiente de Poisson.....	79

## CAPÍTULO 6

Figura 6.1 - Ensaio de cisalhamento oblíquo.....	82
Figura 6.2 - Combinações de tensões.....	83
Figura 6.3 - Envoltória de ruptura do concreto íntegro.....	84
Figura 6.4 - Envoltória de ruptura do concreto limitada à compressão.....	85
Figura 6.5 - Resistências mínimas em função do ângulo da junta.....	87
Figura 6.6 a e b- Modos de ruptura do ensaio de cisalhamento oblíquo.....	88
Figura 6.6 - Critérios de ruptura para distintos materiais de reparo.....	89

## CAPÍTULO 7

Figura 7.1 - Método de avaliação de novos produtos.....	97
Figura 7.2 - Envoltória de ruptura média para concreto $f_{tj}=3,3$ MPa, $f_{cj}=40,6$ MPa e respectivas rupturas nas juntas para corpos de prova reconstituídos (28 dias).....	113
Figura 7.3 - Envoltória de ruptura média para concreto $f_{tj}=2,9$ MPa, $f_{cj}=32,9$ MPa e respectivas rupturas nas juntas para corpos de prova reconstituídos (28 dias).....	114
Figura 7.4 - Envoltória de ruptura média para concreto $f_{tj}=2,6$ MPa, $f_{cj}=23,8$ MPa e respectivas rupturas nas juntas para corpos de prova reconstituídos (28 dias).....	114



Figura 7.5	- Envoltórias de ruptura médias para concreto $f_{tj} = 3,3$ MPa, $f_{cj} = 40,6$ MPa e para a junta E2-concreto - ruptura nas juntas (28 dias).....	115
Figura 7.6	- Envoltórias de ruptura médias para concreto $f_{tj} = 2,6$ MPa, $f_{cj} = 23,8$ MPa e para a junta E3-concreto - ruptura nas juntas (28 dias).....	115
Figura 7.7	- Envoltória de ruptura média para concreto $f_{tj} = 3,3$ MPa, $f_{cj} = 40,6$ MPa e valores médios de tensões nas juntas dos corpos de prova reconstituídos (28 dias).....	116
Figura 7.8	- Envoltória de ruptura média para concreto $f_{tj} = 2,9$ MPa, $f_{cj} = 32,9$ MPa e respectivas rupturas nas juntas para corpos de prova reconstituídos (28 dias).....	117
Figura 7.9	- Envoltória de ruptura média para concreto $f_{tj} = 2,6$ MPa, $f_{cj} = 23,8$ MPa e respectivas rupturas nas juntas para corpos de prova reconstituídos (28 dias).....	117
Figura 7.10	- Envoltória de ruptura médias para o concreto $f_{tj} = 3,3$ MPa, $f_{cj} = 40,6$ MPa e para a junta E2-concreto (28 dias).....	118
Figura 7.11	- Envoltória de ruptura médias para o concreto $f_{tj} = 2,6$ MPa, $f_{cj} = 23,8$ MPa e para a junta E3-concreto (28 dias).....	118
Figura 7.12	- Envoltória de ruptura - $f_{ck} = 30,5$ MPa (28 dias).....	120
Figura 7.13	- Envoltória de ruptura - $f_{ck} = 27,2$ MPa (28 dias).....	120
Figura 7.14	- Envoltória de ruptura - $f_{ck} = 21,8$ MPa (28 dias).....	121
Figura 7.15	- Envoltória de ruptura média - $f_{cj} = 34,1$ MPa (7 dias).....	121
Figura 7.16	- Envoltória de ruptura média - $f_{cj} = 22,9$ MPa (7 dias).....	122
Figura 7.17	- Envoltória de ruptura média - $f_{cj} = 19,2$ MPa (7 dias).....	122
Figura 7.18	- Envoltória de ruptura característica - $f_{ck} = 26,7$ MPa (7 dias).....	123
Figura 7.19	- Envoltória de ruptura característica - $f_{ck} = 19,2$ MPa (7 dias).....	123
Figura 7.20	- Envoltória de ruptura característica - $f_{ck} = 16,9$ MPa (7 dias).....	124

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

- Tabela 2.1 - Coeficientes de atrito para as diferentes condições superficiais.....11

### CAPÍTULO 6

- Tabela 6.1 - Valores críticos do ângulo de junta e resistência mínima à compressão de prismas compostos.....87

### CAPÍTULO 7

- Tabela 7.1 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias.....104
- Tabela 7.2 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias.....104
- Tabela 7.3 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias.....105
- Tabela 7.4 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias.....105
- Tabela 7.5 - Cargas de ruptura à tração simples aos 28 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias.....106
- Tabela 7.6 - Cargas de ruptura à tração simples aos 7 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias.....106
- Tabela 7.7 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova íntegro de concreto com



	resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias.....	107
Tabela 7.8 -	Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias.....	107
Tabela 7.9 -	Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias.....	108
Tabela 7.10 -	Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias.....	108
Tabela 7.11 -	Cargas de ruptura à tração simples aos 28 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias.....	109
Tabela 7.12 -	Cargas de ruptura à tração simples aos 7 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias.....	109
Tabela 7.13 -	Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias.....	110
Tabela 7.14 -	Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias.....	110
Tabela 7.15 -	Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias.....	111
Tabela 7.16 -	Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias.....	111
Tabela 7.17 -	Cargas de ruptura à tração simples aos 28 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias.....	112
Tabela 7.18 -	Cargas de ruptura à tração simples aos 7 dias de corpos de prova íntegro de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias.....	112
Tabela 7.19 -	Grupos com diferenças estatisticamente significativas (28 dias).....	125

Tabela 7.20 - Grupos com diferenças estatisticamente significativas (7 dias).....	125
---	-----

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $A_R$  = área real de contato
- $c$  = coesão do material
- $C_o$  = forças de coesão
- CV = coeficiente de variação
- $d$  = dimensão do poro
- $E_1$  = módulo de compressão instantâneo
- E0 = junta sem nenhuma ponte de aderência
- E1 = junta com utilização de ponte de aderência do Fabricante 1
- E2 = junta com utilização de ponte de aderência do Fabricante 2
- E3 = junta com utilização de ponte de aderência do Fabricante 3
- F = força resultante
- H = forças de adesão
- $f_c$  = resistência à compressão simples
- $f_{cp}$  = resistência à compressão simples do prisma reconstituído
- $f_{cj}$  = resistência à compressão simples à j dias
- $f_{ct}$  = resistência à tração definida pelo EUROCODE N° 2
- $f_{ck}$  = resistência característica à compressão
- $f_t$  = resistência à tração simples
- Q = força cisalhante
- M = molécula
- P = carga de ruptura
- Pa = Pascal
- Pa s = Pascal x segundo
- $P_m$  = carga de ruptura média
- $p_c$  = forças de expulsão ou aspiração



$s$  = deslocamento relativo  
 $s_d$  = desvio padrão amostral  
 $r$  = raio do círculo de MOHR correspondente à combinações de tensões  
 $\theta$  = ângulo de contato  
 $\beta$  = ângulo de contato do menisco do líquido com as paredes dos poros  
 $\alpha$  = ângulo entre o plano de união e seção transversal  
 $\varphi$  = ângulo de atrito interno do material  
 $\mu$  = coeficiente de atrito  
 $\sigma$  = tensão normal  
 $\gamma_L$  = tensão superficial do líquido  
 $\sigma_p$  = tensão de escoamento ou plastificação  
 $\gamma_s$  = tensão superficial do sólido  
 $\gamma_{SL}$  = tensão interfacial entre o sólido e o líquido  
 $\sigma_f$  = tensão superficial do fluido  
 $\tau$  = tensão tangencial  
 $\tau_{max}$  = tensão tangencial máxima  
 $\tau_R$  = tensão tangencial de ruptura (resist. cisalhante nos pontos de contato)

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

### CAPÍTULO 7

- Figura 7.1 - Superfícies de união obtidas pelo corte de corpos de prova íntegro nas inclinações de 60°, 45° e 30°.....100
- Figura 7.2 - Corpos de prova empregados na confecção dos corpos de prova reconstituídos (com junta)....102

## LISTA DE ABREVIATURAS

- A.C.I. - American Concrete Institute  
AFNOR - Association Française de Normalisation  
A.S.T.M. - American Society for Testing and Materials  
B.S.I. - British Standards Institution  
F.I.P. - Federation Internationale de la Précontrainte

## RESUMO

O presente trabalho aborda os aspectos relevantes ao desempenho de união de juntas de concreto com o emprego de pontes de aderência.

Inicialmente são analisados os fatores intervenientes no mecanismo de aderência que afetam o funcionamento do conjunto ponte de aderência-concreto.

Posteriormente, é realizada uma revisão bibliográfica dos métodos de avaliação destes produtos, tanto a nível de desempenho quanto de caracterização.

Para a avaliação da efetividade da ligação ponte de aderência-concreto são realizados ensaios experimentais de cisalhamento oblíquo com juntas em diferentes inclinações e concretos com vários níveis de resistência. As pontes de aderência utilizadas nos ensaios experimentais foram adesivos sintéticos base resina epóxi. Para a análise teórica dos resultados empregou-se a teoria de ruptura proposta por MOHR-COULOMB, a qual é adequada para a verificação do reestabelecimento da monoliticidade estrutural pelas distintas pontes de aderência.

Verifica-se a necessidade da realização de ensaios com diferentes inclinações de junta e substratos de características mecânicas e físicas similares às do concreto a ser efetivamente unido, visto terem estes fatores significativa influência sobre os resultados obtidos.

## ABSTRACT

The significant aspects of concrete joint performance using bond agents are discussed in this work.

Initially, the factors concerning the bond mechanics are analyzed focusing those relevant to the performance of the interaction between the bond agent and concrete.

A literature review on methods for evaluation of bonding products is presented in the next chapter, not only for characterization of the products but also for the performance attained.

An experimental program using the slant shear test was performed for concretes with different strength levels, evaluating four epoxy resins as bond agents. The analytical evaluation was done using the MOHR-COULOMB theory, which is adequate for validating the level of monolithicity reached.

Results indicate that the joint slope and the physical mechanical properties of the concrete substrate significantly influence the bond performance. Thus, concluding remarks are made on the relevance of these aspects in joint performance tests of concrete.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SIMBOLOS.....	xii
LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMO .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MECANISMO DE ADERÊNCIA.....	5
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	5
2.2. FENÔMENOS INTERFACIAIS.....	5
2.3. UTILIZAÇÃO DE PONTES DE ADERÊNCIA.....	14
2.4. TEORIAS DO MECANISMO DE ADESÃO.....	16
2.4.1. Intertravamento mecânico.....	17
2.4.2. Teoria da adsorção.....	17
2.5. TIPOS DE RUPTURAS .....	18
2.5.1. Ruptura Coesiva na resina.....	18
2.5.2. Ruptura coesiva no substrato.....	19
2.5.3. Ruptura adesiva.....	20
3. SISTEMAS EPÓXI .....	21
3.1. HISTÓRICO.....	21
3.2. EPÓXI.....	22



3.3. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS.....	25
4. FATORES INTERVENIENTES NA ADERÊNCIA CONCRETO / PONTES DE ADERÊNCIA .....	27
4.1. FATORES REFERENTES ÀS PONTES DE ADERÊNCIA.....	27
4.1.1. Equilíbrio de molhamento.....	27
4.1.2. Viscosidade.....	32
4.1.3. Espessura da ponte de aderência.....	32
4.1.4. Tempo de Utilização ( <i>Pot life/ Gel Time</i> ).....	34
4.1.5. Tempo de colagem ( <i>OPEN TIME</i> ).....	35
4.1.6. Tempo de Cura.....	35
4.1.7. Tempo de estocagem.....	36
4.1.8. Homogeneização dos Componentes.....	37
4.1.9. Resistência à umidade.....	37
4.1.10. Módulo de elasticidade.....	37
4.1.11. Coeficiente de dilatação térmica .....	39
4.1.12. Resistência à compressão.....	40
4.2. SUBSTRATO .....	40
4.2.1. Rugosidade.....	40
4.2.2. Umidade superficial.....	42
4.2.3. Porosidade superficial.....	43
4.2.4. Temperatura.....	45
4.2.5. Condições superficiais.....	45
4.2.6. Preparo superficial.....	45
4.2.6.1. Jato de areia seco ou úmido.....	46
4.2.6.2. Escovamento manual.....	47
4.2.6.3. Escovamento mecânico.....	48
4.2.6.4. Escarificação manual.....	48
4.2.6.5. Escarificação mecânica.....	48
4.2.6.6. Disco de desbaste.....	48
4.2.6.7. Lixamento manual.....	49
4.2.6.8. Demolição.....	49
4.2.6.9. Queima controlada.....	50
4.2.7. Limpeza Superficial.....	50
4.2.7.1. Lavagem com ácido.....	50
4.2.7.2. Jato de água.....	52
4.2.7.3. Jato de ar comprimido.....	52
4.2.7.4. Soluções alcalinas.....	52

4.2.7.5. Remoção de óleos e graxas impregnados.....	53
4.2.7.6. Solventes voláteis.....	53
4.2.7.7. Vapor.....	53
<b>5. REVISÃO DOS ENSAIOS EXISTENTES REFERENTES A PONTES DE</b>	
<b>    ADERÊNCIA.....</b>	<b>54</b>
5.1. ENSAIOS DE DESEMPENHO.....	55
5.1.1. Resistência à tração.....	56
5.1.1.1. Ensaios Destrutivos.....	57
5.1.1.2. Ensaios não- destrutivos ou parcialmente	
destrutivos.....	60
5.1.2. Resistência ao cisalhamento.....	63
5.1.2.1. Resistência ao cisalhamento puro.....	63
5.1.2.2. Ensaio de cisalhamento oblíquo.....	67
5.1.3. Ensaios de flexão.....	70
5.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS PONTES DE ADERÊNCIA.....	71
5.2.1. Tempo de utilização ( <i>Pot life/ Gel Time</i> ).....	71
5.2.2. Tempo de colagem ( <i>OPEN TIME</i> ).....	72
5.2.3. Tempo de estocagem.....	73
5.2.4. Resistência à umidade.....	73
5.2.5. Resistência à compressão.....	74
5.2.6. Resistência à tração.....	74
5.2.7. Resistência ao cisalhamento.....	76
5.2.8. Resistência à flexão.....	77
5.2.9. Módulo de elasticidade.....	77
5.2.10. Módulo de deformação à flexão.....	78
5.2.11. Coeficiente de Poisson.....	78
5.2.12. Resistência à temperatura.....	79
<b>6. ANÁLISE DO ENSAIO DE CISALHAMENTO OBLÍQUO PARA AVALIAÇÃO DO</b>	
<b>    DESEMPENHO DE ADESIVOS.....</b>	<b>81</b>
6.1. INTRODUÇÃO.....	81
6.2. ANÁLISE DE TENSÕES.....	82
6.3. TIPOS DE RUPTURA.....	87
6.3.1. Resistência da junta é superior à do concreto.....	88
6.3.2. Resistência da junta inferior à do concreto.....	88
6.4. DETERMINAÇÃO DA FORMA DO ENSAIO DE CISALHAMENTO	
OBLÍQUO.....	90



6.4.1. Tipo de substrato.....	90
6.4.2. Tratamento superficial.....	92
6.4.3. Dimensões do corpo de prova.....	93
6.4.4. Inclinação da junta.....	94
<b>7. ENSAIOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>96</b>
7.1 MATERIAIS EMPREGADOS.....	97
7.1.1. Pontes de Aderência.....	97
7.1.2. Solvente.....	98
7.1.3. Cimento.....	98
7.1.4. Areia.....	98
7.1.5. Agregado Graúdo.....	98
7.2. METODOLOGIA DE ENSAIO.....	99
7.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	102
7.3.1. Dados Obtidos.....	103
7.4. APRECIACÃO DOS RESULTADOS.....	113
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>128</b>
8.2. CONCLUSÕES.....	128
8.3. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	130
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>131</b>

## ANEXOS

ANEXO 1 - CARACTERÍSTICAS DAS PONTES DE ADERÊNCIAS EMPREGADAS  
NA PARTE EXPERIMENTAL

ANEXO 2 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto, por suas propriedades de resistência e durabilidade, ocupa papel de grande importância na construção civil, sendo empregado em larga escala, principalmente neste último século.

Contudo, verifica-se que, muitas vezes, as estruturas apresentam sua vida útil diminuída, devido à degradação de seus componentes.

Esta perda de desempenho pode ser associada a muitos fatores. Os projetos estruturais muitas vezes não respeitam restrições de ordem construtivas, tais como cobrimentos insuficientes da armadura ou taxas de armaduras elevadas, propiciando o aparecimento de problemas de segregação, ninhos de concretagem e corrosão de armadura.

O controle tecnológico insuficiente do concreto, técnicas construtivas inadequadas assim como exposição em ambientes agressivos podem prejudicar o desempenho das peças estruturais.

Segundo HELENE<sup>(61)</sup>, uma elevada percentagem de manifestações patológicas tem origem nas etapas de planejamento e projeto, sendo em geral mais graves que as falhas de qualidade dos materiais ou de má execução.

Desta forma, muitas vezes nos deparamos com a necessidade do restabelecimento da resistência e monoliticidade dos componentes estruturais do concreto. Os crescentes custos envolvidos nas atividades da construção civil, bem como as limitações dos recursos disponíveis, têm tornado de extrema importância a conservação das obras existentes, através de recuperações e reforços, de modo que as mesmas obtenham a maior vida útil possível.

Diversas tecnologias tem sido empregadas nos reparos estruturais. No caso de reconstituição de peças de concreto,

normalmente emprega-se produtos e técnicas que promovam uma efetiva união na interface concreto endurecido e concreto fresco, permitindo a transferência de tensões, de maneira a reestabelecer a monoliticidade do componente.

Os produtos empregados para promover a união entre 2 partes ou componentes de uma estrutura são chamados de ponte de aderência. Para o uso em concreto, pode-se classificar em 3 tipos fundamentais: materiais cimentícios, materiais sintéticos e materiais cimentícios modificados por polímeros (argamassas poliméricas). Dentre destes destacam-se os adesivos sintéticos e, em especial, sistemas epóxi que cada vez mais são empregados e solicitados a desempenhar função de maior responsabilidade dentro da construção civil.

As resinas epóxi são materiais poliméricos, que começaram a ser empregados em mais larga escala a partir da década de 30 e hoje constituem-se em um dos mais promissores e versáteis materiais, sendo empregados como adesivos, base para tintas, matriz de materiais compósitos para estruturas aeroespaciais, etc. Dentro da construção civil, os adesivos epóxi tem larga utilização como pontes de aderência em correções de manifestações patológicas e em estruturas pré-moldadas.

Da década de 1960 para 1980 o consumo anual de sistemas epóxi dos E.U.A. passou de 22000 ton para 130000 ton. Em 1983, a Europa Ocidental empregou 120000 ton, das quais 13% foram destinados a indústria da construção civil<sup>(82)</sup>.

O consumo anual brasileiro é da ordem de 3000 ton para a construção civil<sup>(60)</sup>, dos quais um percentual de 35% é destinado a solução de problemas patológicos<sup>(49)</sup>.

Contudo, ao contrário dos materiais tradicionais, constata-se uma carência generalizada no que se refere a ensaios, recomendações, procedimentos ou normalização, quanto ao seu emprego e, principalmente, quanto à avaliação de seu desempenho em relação ao substrato no qual é aplicado.

Nestes últimos anos, alguns trabalhos tem sido publicados sobre o assunto <sup>(35,44,46,51,54,63,108,111)</sup>, entretanto ainda não existe consenso sobre a forma mais adequada de avaliação



destes produtos. Verifica-se, no entanto, a necessidade da existência de ensaios que submetam a zona de união à diferentes estados de tensões. O ensaio que melhor se adequa a esta exigência é o ensaio de cisalhamento oblíquo.

A nível nacional, não existem normas referentes ao assunto, quer sejam elas de caracterização ou avaliação de desempenho. Poucos trabalhos tem sido publicados no país, entre os quais pode-se citar o de FIGUEIREDO<sup>(49)</sup> a respeito de avaliação de sistemas epóxi destinados à injeção de fissuras, o de CAMPAGNOLO<sup>(27)</sup> referente ao desempenho e caracterização de formulações epóxi, o de HELENE<sup>(60)</sup> referente a metodologia de ensaios para avaliação destes sistemas e o de CAMPOS<sup>(28)</sup> referente à avaliação da eficiência de uniões entre concretos, com proposta de critérios de aceitação de produtos epoxídicos.

Buscando diminuir a carência de informações concernentes a este assunto, neste trabalho serão abordados aspectos referentes à utilização de pontes de aderência ao concreto, em especial resinas epoxídicas, bem como fornecidos subsídios para uma metodologia de avaliação destes produtos através de ensaios de cisalhamento oblíquo. O mesmo pode ser considerado como uma continuação da linha de pesquisa iniciada por FIGUEIREDO<sup>(49)</sup> dentro do núcleo de construção do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

No capítulo 2 estudam-se aspectos referentes ao mecanismo teórico de aderência entre pontes de aderência de base sintética e concreto. No capítulo 3 é feito um pequeno histórico sobre a utilização de resina epóxi e uma caracterização de suas propriedades principais. No capítulo 4 são abordados os fatores que influenciam na prática o desempenho das uniões concreto-pontes de aderência. Uma revisão dos ensaios existentes para caracterização das propriedades e do uso de pontes de aderência é feita no capítulo 5, bem como uma crítica da relevância dos mesmos do ponto de vista da utilização final por parte do usuário. No capítulo 6 é feita uma análise do ensaio de cisalhamento oblíquo, e uma definição da metodologia de ensaio aplicada. Os resultados experimentais obtidos, assim como a análise de sua relevância na avaliação do

desempenho das juntas ponte de aderência/concreto são mostrados no capítulo 7. Por último, no capítulo 8 são apresentadas as conclusões obtidas e recomendações para trabalhos futuros.

## 2. MECANISMO DE ADERÊNCIA

### 2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

É freqüente encontrar dentro da prática da construção civil, estruturas que apresentam descontinuidades no concreto, seja por caráter tecnológico ou construtivo. Verifica-se também a necessidade em grande escala de reparos ou recuperação no concreto, tanto por problemas de projeto, quanto por perda de segurança provocados pela ação de ambiente agressivo ou pela falta de manutenção, de forma que materiais que apresentam elevada capacidade de, por aderência, promover a união de outros estão assumindo, gradativamente, grande importância tecnológica.

Como conseqüência, pode-se verificar nestes últimos 15 anos o crescimento do emprego de uma grande gama de materiais para reparo de estruturas de concreto com diferentes performances e custos. A seleção de um material adequado é de grande relevância tanto a nível de desempenho estrutural quanto econômico.

Estes materiais podem ser classificados em três classes distintas:

#### a) MATERIAIS DE REPARO DE BASE CIMENTO

Os materiais desta classe mais freqüentemente empregados para reparos em concreto são os cimentos Portland comum e o de alta resistência inicial. Cimento Portland resistente a sulfatos não é adotado por apresentar custos 90% superiores aos dos anteriormente citados<sup>(01)</sup>. Cimentos com altos teores de aluminato não são recomendados devido às baixas resistências obtidas e problemas de durabilidade ao longo do tempo, visto que são vulneráveis ao ataque de álcalis e



cloretos. Cimentos resistentes a agentes químicos, pelo seu preço proibitivo, somente são empregados quando em recuperações de pequeno vulto, onde as quantidades envolvidas são pequenas.

Os materiais cimentícios em geral são economicamente viáveis tanto em obras de pequeno como de grande porte. Apresentam a vantagem de serem facilmente preparáveis e possuírem um custo relativamente baixo, além de apresentarem um comportamento eletroquímico semelhante ao do substrato, no caso do concreto. Entretanto, em alguns casos, tais como reparos de superfícies verticais não proporcionam aderência adequada<sup>(23)</sup>.

#### b) ADESIVOS SINTÉTICOS

São normalmente polímeros orgânicos com complexos componentes químicos, oriundos principalmente da indústria petroquímica. Estes polímeros são formados pela ligação das moléculas dos monômeros entre si. Este fenômeno, chamado de polimerização, dá origem a macromoléculas que possuem características variáveis, de acordo com as do monômero ou da mistura deles com catalizadores ou agentes de cura que tenham sido empregados na reação. Os mais comumente empregados na indústria da construção são os adesivos à base de resinas epóxi, poliéster, acrílicas, poliuretânicas e acetato de polivinila (PVA).

Estes materiais podem ser classificados em termofixos e termoplásticos. Esta classificação baseia-se na flexibilidade que o polímero apresenta quando sob aquecimento. Os primeiros são aqueles estáveis quanto ao aumento de temperatura, ou seja, não tornam-se viscosos, pois apresentam uma estrutura de ligação interna do tipo cruzada, onde segmentos individuais da cadeia estão quimicamente ligados uns aos outros. Estes polímeros apresentam um processo de polimerização irreversível. Os polímeros termoplásticos são aqueles que tornam-se viscosos sob a ação do calor, podendo sofrer um processo de despolimerização, dependendo da temperatura a que estiverem submetidos. Do primeiro grupo fazem parte as resinas epóxi e

poliéster, as quais, após o processo de polimerização, são estáveis ao calor.

Dentre as resinas acima citadas, aquelas à base de epóxi sobressaem-se no emprego de estruturas civis, tanto nos processos de recuperação e reparo, como em uniões de elementos pré-moldados, pelo seu excelente poder aderente, elevadas propriedades mecânicas e estabilidade química.

As resinas poliéster, quando comparadas aos sistemas epóxi, possuem maior retração devido à cura e menores propriedades adesivas. Neste tipo de resina, a maior liberação de calor do processo exotérmico de polimerização ocorre após o endurecimento, resultando uma contração térmica excessiva. Em consequência, elevadas tensões são geradas na interface entre o substrato e a resina poliéster propiciando uma zona passível de falha. Por outro lado, apresentam maior resistência ao fogo e podem trabalhar a temperaturas mais baixas.

#### c) MATERIAIS DE REPARO BASEADOS EM CIMENTO MODIFICADO POR POLÍMEROS

As partículas do polímero são diluídas em água e empregadas como modificadoras dos sistemas cimentícios. Normalmente estes materiais são fornecidos separadamente em duas embalagens, uma contendo cimento e areia pré-misturados e a outra a emulsão de polímero diluído <sup>(35)</sup>. Os polímeros mais usualmente empregados são o estireno-butadieno, os acrílicos puros e os acetatos de polivinila. Estes últimos, segundo ALLEN and EDWARDS<sup>(1)</sup>, não são recomendados em aplicações externas ou sob condições de umidade, pois podem falhar sob condições simultâneas de alcalinidade e umidade.

Argamassas de cimento modificado por polímeros são empregadas principalmente em reparos de concreto armado onde a camada a ser recolocada tem espessura de até 30 mm, a partir da qual, segundo ANDREWS and SHARMA<sup>(13)</sup>, torna-se mais econômico o uso de materiais cimentícios convencionais, sem perda de eficiência. No caso de espessuras muito finas (até 12 mm), é



comum a utilização de argamassas adesivas, especialmente em concretos não armados.

Dentro da prática de construção, seja em reparos de elementos de concreto, uniões entre peças pré-moldadas ou interrupções de concretagem, é importante que o produto utilizado promova uma união que atenda aos requisitos mínimos desejáveis: que restabeleça a integridade estrutural do componente, a estética final da união e, sobretudo, a durabilidade.

Os aspectos referentes a pontes de aderência que serão abordados a seguir diz somente respeito a adesivos sintéticos, por serem estes os de uso mais corrente nos processos de reparo, recuperação estrutural e na indústria de pré-moldados.

## 2.2. FENÔMENOS INTERFACIAIS

Toda a descontinuidade em uma estrutura por interrupção de concretagem ou regiões formadas pela união de duas partes de concreto é chamada de junta. A capacidade estrutural de um concreto que apresenta uma junta, depende do grau pelo qual as tensões a que está submetido são transferidas para a nova camada através da interface, ou seja, da monoliticidade estrutural da união interfacial entre as duas partes. O emprego de pontes de aderência tem como objetivo promover uma união mais íntima e efetiva entre estas partes.

Para um perfeito conhecimento do comportamento de uma junta adesiva é importante o domínio dos fenômenos que ocorrem nesta interface.

O boletim de informação nº 162 do CEB - 1983<sup>(36)</sup> considera a resistência de uma junta não reforçada como resultante de dois fatores: adesão e atrito.

ASTM 907-91b<sup>(5)</sup> define adesão como sendo o estado no qual duas superfícies são mantidas juntas por forças interfaciais as quais podem constituir-se de forças de valência, ação de intertravamento, ou ambas. Atrito, conforme o

CEB - FIP MODEL CODE 1990<sup>(37)</sup> é o mecanismo de transferência de tensões tangenciais ao longo da interface a qual está simultaneamente sujeita à compressão normal e cisalhamento.

A ação destes dois fatores pode ser compreendida através da análise da união entre dois corpos sólidos.

O contato entre eles quando mantidos juntos dar-se-á apenas por algumas regiões, conforme mostra a figura 2.1; pois, por mais lisas que aparentem ser suas superfícies, elas apresentam uma série de irregularidades superficiais sob a forma de picos e vales.

Ao submeter estes sólidos à ação de uma carga, a área real de contato entre as duas partes envolvidas consistirá apenas de pequenas regiões ao longo das asperezas, as quais, mesmo a cargas de baixa intensidade, sofrerão elevadas pressões e conseqüentes deformações.

O concreto é considerado como um sistema bifásico composto de pasta de cimento endurecido e de agregados. As deformações geradas na pasta de cimento são parcialmente elásticas e parcialmente plásticas, sendo que, segundo WALRAVEN<sup>(113)</sup>, as plásticas predominam sobre as elásticas e são decorrentes da redução dos volumes dos poros.

As deformações plásticas concentram-se na zona de contato entre as irregularidades superficiais, conforme pode ser visto na figura 2.1.

Segundo GOLDMAN<sup>(55)</sup>, estas deformações se processarão até a total aplicação da carga, de forma que a área real de contato praticamente independe da forma macroscópica, sendo mais influenciada pela carga total aplicada

Desta forma, a união entre sólidos irá se consolidando através das ligações moleculares das camadas superficiais, apresentando um aumento da área de contato à medida que as superfícies forem se deformando, resultando no fenômeno da adesão.

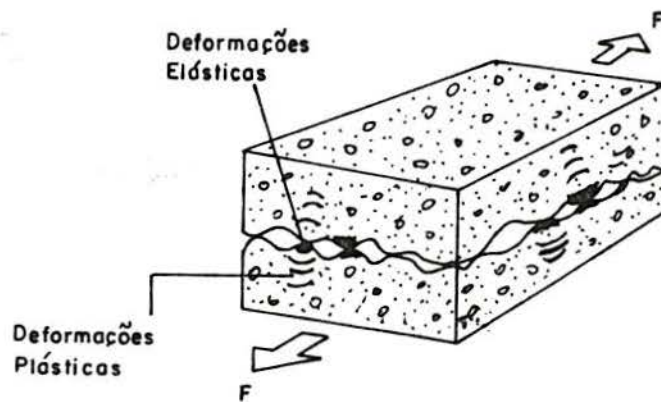


Figura 2.1 - Área real de contato entre dois corpos sólidos e tensões existentes

Se a região de interface for submetida à ação de uma carga tangencial monotonicamente crescente, as ligações químicas entre os dois corpos vão progressivamente partindo-se, de modo que a resistência ao deslizamento relativo das superfícies é dada somente pelo atrito.

A força de atrito  $Q$  para cisalhar todas as ligações é proporcional à resistência cisalhante dos materiais envolvidos. Isto pode ser expresso

$$Q = A_R \tau_R \quad (2.1)$$

onde  $Q$  é força cisalhante,  $A_R$  é a área real de contato e  $\tau_R$  é a tensão tangencial de ruptura ou resistência cisalhante nos pontos de contato do material.

A área real de contato  $A_R$  é dada somente pelos pontos de contato entre os dois corpos, obtida através de

$$A_R = P / \sigma_p \quad (2.2)$$

onde  $P$  é a carga normal aplicada e  $\sigma_p$  tensão de escoamento ou plastificação.

Substituindo (2.2) em (2.1) resulta



$$Q = \frac{P \tau_R}{\sigma_P} \quad (2.3)$$

Define-se o coeficiente de atrito  $\mu$  como sendo a razão entre a força tangencial necessária para haver o deslizamento de uma superfície sobre a outra e a carga normal aplicada

$$\mu = Q / P \quad (2.4)$$

Substituindo (2.3) em (2.4)

$$\mu = \tau_R / \sigma_P \quad (2.5)$$

Com base em alguns ensaios experimentais alguns valores de coeficientes de atrito foram encontrados para diferentes condições superficiais dos materiais envolvidos. Os valores podem ser resumidos na tabela 1.1.

TABELA 1.1. - Coeficientes de atrito para as diferentes condições superficiais

Cond. Sup.	$\mu$		
	DASCHNER <sup>1</sup>	PAULAY <sup>2</sup>	REGAN <sup>3</sup>
lisa	0,7	0,7	0,7
mediamente rugosa	0,95	0,9	0,9
rugosa	1,55	1,05	1,4

<sup>1</sup> - valores referenciados pelo boletim de informação nº 162 CEB - 1983<sup>(36)</sup>

<sup>2</sup> - valores referenciados por FOUÉ<sup>(50)</sup>

<sup>3</sup> - valores referenciados por CLÍMACO<sup>(35)</sup>

Conforme a expressão (2.5), o coeficiente de atrito é diretamente proporcional à resistência cisalhante das junções entre os materiais e inversamente proporcional à tensão de plastificação dos materiais envolvidos.

Segundo JASTRZEBSKI<sup>(65)</sup>, no caso dos materiais apresentarem durezas superficiais diferentes, adotam-se os valores referentes ao material de menor dureza.

Além da resistência à quebra dos pontos de união entre os corpos, deve-se ainda considerar a influência da resistência devido à rugosidade dos materiais. Para materiais com diferentes durezas superficiais, observa-se que, no deslocamento de uma das partes envolvidas, o material de maior dureza causará uma espécie de abertura de sulcos no outro material, o qual tem sua camada superficial fraturada, com parte da mesma depositando-se sobre a superfície da camada de maior dureza superficial.

Conforme o boletim Nº 162 - CEB<sup>(36)</sup>, agregados maiores e mais angulosos implicam em um coeficiente de atrito superior, uma vez que resultam em uma maior projeção ao longo da interface e apresentam inclinação mais acentuada.

A magnitude da carga transferida pelo atrito gerado entre a união de dois concretos na interface também é influenciada pela forma e dimensões dos agregados.

Ensaio realizados com agregados de iguais propriedades, porém de dimensões máximas 16mm e 32 mm, mostram que a tensão de escoamento ou plastificação não se apresenta sensível a esta variação. O mesmo já não acontece para a tensão de ruptura ao cisalhamento, que aumenta para agregados com dimensões maiores<sup>(113)</sup>.

A ação dos dois fatores intervenientes na resistência, atrito e adesão, pode ser ilustrada nas figuras 2.2 e 2.3.

A figura 2.2 mostra que, inicialmente, com o aumento do deslocamento relativo entre as superfícies unidas pela junta, há um aumento concomitante das tensões tangenciais suportada pela parcela de adesão, caracterizada fundamentalmente pelas ligações moleculares dos materiais na interface. À medida que

se aumentam os deslocamentos ocorre um afastamento das moléculas dos materiais que compõem a junta, levando à quebra progressiva das ligações químicas, o que faz com que os deslocamentos sejam aumentados. A partir de um deslocamento crítico em que a resistência é máxima, este fenômeno leva à ruptura de todas as ligações químicas que formavam a parcela de adesão da resistência da junta. Este comportamento só pode ser visualizado através de ensaios com deformações controladas.

Quanto à parcela referente ao atrito, à medida que vão sendo impostas deformações, diretamente associadas a tensões tangenciais, a camada superficial irá se plastificando, ocorrendo o rompimento das irregularidades superficiais que se opunham ao deslocamento, sendo requerido um incremento de tensões cada vez menor para o mesmo incremento de deformações, até o deslizamento total das duas partes.

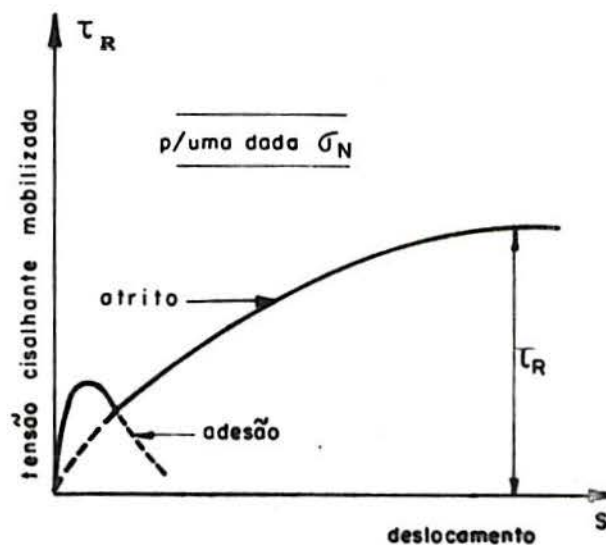


Figura 2.2 - Influência da adesão e atrito na resistência de uma junta (Boletim Nº162-CEB<sup>(36)</sup>)

A figura 2.3 ilustra todos os possíveis estados de tensões que levam a um dado deslocamento relativo "s" das superfícies de interface caracterizados por uma envoltória de tensões. Neste gráfico pode-se visualizar a resistência da junta à tração simples, a parcela de resistência ao cisalhamento dada pela adesão (mobilizada mesmo na ausência de tensões normais de compressão) e a parcela de resistência



devido ao atrito (mobilizada somente com a aplicação de tensões normais de compressão).

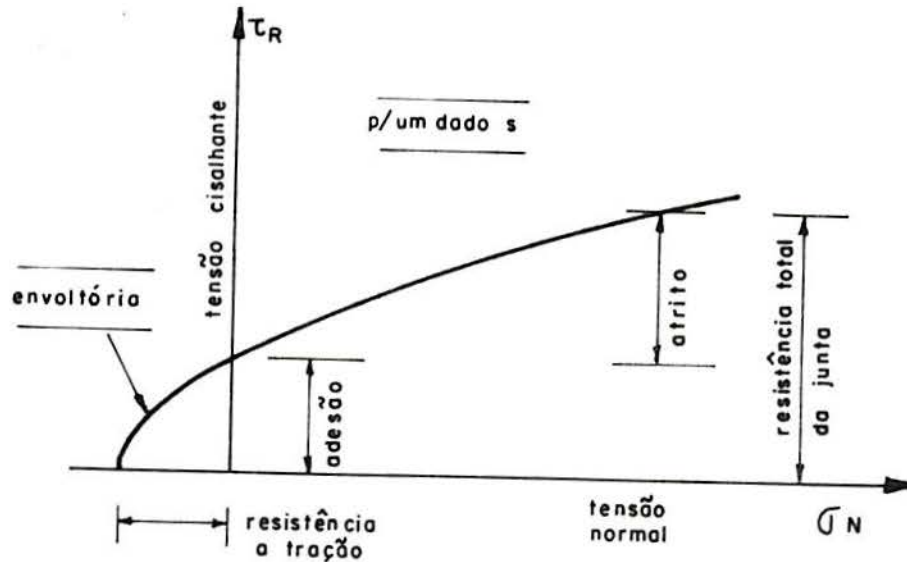


Figura 2.3 - Envoltória de ruptura de uma junta ( Boletim Nº162-CEB<sup>(36)</sup>)

### 2.3. UTILIZAÇÃO DE PONTES DE ADERÊNCIA

Inúmeros são os conceitos empregados para definir pontes de aderência. A norma americana ASTM 907 - 91b<sup>(05)</sup> define adesivo como sendo a substância capaz de manter materiais unidos através da superfície de ligação. A AFNOR T76-001<sup>(16)</sup> acrescenta que são materiais, capazes de dar, dentro de certas condições, uma aderência maior ou mais intensa às superfícies às quais eles são aplicados.

O emprego de pontes de aderência apresenta as seguintes vantagens <sup>(74,103,106)</sup>:

- União entre concretos frescos a endurecidos de forma a obter concretos monolíticos sem a necessidade de ligações mecânicas;
- melhor distribuição de tensões nas partes a serem unidas;

- apresentação de altas resistências a baixas idades devido à rápida taxa de endurecimento das resinas adotadas, efeito especialmente importante para estruturas pré-moldadas e protendidas;
- baixa retração;
- o não comprometimento do aspecto estético da estrutura uma vez que são empregadas em camadas de pequena espessura.

Segundo BUILDING COMPONENTS AND MATERIALS <sup>(24)</sup>, o emprego de uma ponte de aderência vem a favorecer o incremento da adesão, uma vez que seu emprego permitirá o acréscimo da área real de contato entre os dois materiais, devido ao seu estado de relativa fluidez quando da aplicação, evitando a concentração de tensões em apenas alguns poucos pontos pelo preenchimento do espaço inter-superficial da junta entre os materiais a serem unidos.

A força adesiva que mantém unidos dois materiais através de pontes de aderência é a soma de dois fatores chamados de adesão específica e adesão mecânica <sup>(31, 39, 48, 57, 67, 76)</sup>.

Adesão específica é consequência de forças de atração que as moléculas do adesivo e do substrato podem exercer quando mantidas juntas, sendo esta parcela responsável pela maior parte da adesão. Sua magnitude dependerá das tensões superficiais e natureza química do substrato e ponte de aderência, assim como o estado superficial do substrato.

Para COOK<sup>(39)</sup>, a adesão específica pode ser considerada como uma força ativa, contribuindo mesmo quando da ausência de esforços de tração, compressão ou cisalhante.

KAMPF<sup>(67)</sup> coloca que, no caso de uniões com emprego de argamassa, a adesão específica é de baixa ação. Entretanto, quando do uso de adesivos sintéticos, em especial sistema epóxi, a ordem de magnitude de adesão é muito mais expressiva, devido à presença dos grupos de hidroxil, substâncias empregadas para síntese destas resinas.

Já o princípio de adesão mecânica consiste na penetração do adesivo nos poros, depressões e saliências do



substrato onde já ocorria a adesão específica, propiciando um intertravamento mecânico, espécie de encunhamento devido à retenção e solificação dos adesivo dentro deles, conforme figura 2.4. Estas forças são consideradas passivas e não atuam a menos que sofram solicitações externas.

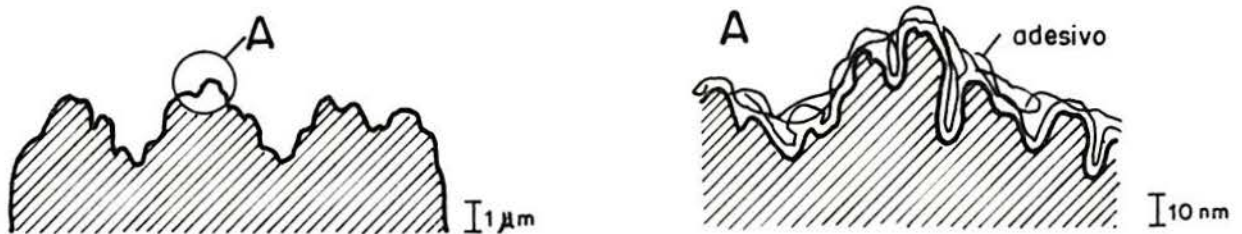


Figura 2.4 - Irregularidades Superficiais (SASSE e FIEBRICH<sup>(97)</sup>)

#### 2.4. TEORIAS DO MECANISMO DE ADESÃO

O mecanismo de adesão ainda não é muito bem compreendido e muitas teorias são propostas para explicá-lo. Segundo KINLOCH<sup>(68)</sup> isto se deve ao fato da incompatibilidade das análises teóricas e dos ensaios disponíveis empregados, uma vez que é difícil a obtenção da magnitude de algumas forças de adesão que agem através da interface ponte de aderência/substrato isoladamente.

Inúmeros trabalhos tem sido desenvolvidos no tocante à fratura da junta adesiva através de elementos finitos, porém para materiais isotrópicos <sup>(30,93)</sup>.

Quatro são as principais teorias que tentam explicar o mecanismo de adesão: intertravamento mecânico, adsorção, difusão e teoria eletrônica. Serão abordadas somente aspectos referentes às duas primeiras, por serem usualmente as mais aceitas e de melhor aplicabilidade ao concreto. A teoria da difusão diz respeito a uma gama muito estreita de materiais, sendo aplicável apenas para aqueles com alta mobilidade e solubilidade das moléculas (normalmente aderência entre

polímeros). A teoria eletrônica basea-se na formação de uma camada dupla de moléculas na camada superficial do substrato, freqüentemente aplicável para aderência entre metais.

#### 2.4.1. Intertravamento Mecânico

Esta teoria propõe que o caráter mecânico, ou seja, a penetração e a solidificação do adesivo dentro das irregularidades do substrato, é a maior fonte de adesão. Contudo, esta teoria não consegue explicar a obtenção de uma boa adesão entre as superfícies lisas.

Para alguns autores esta teoria é errônea pelo fato de que a adesão entre dois materiais é proporcional à área efetiva da união. A penetração da ponte de aderência nos poros e depressões do concreto vai apresentar uma maior área de contato para obtenção de ligações químicas, as quais são as maiores responsáveis pela adesão, não deixando de existir obviamente uma parcela referente ao intertravamento mecânico<sup>(36,39,48)</sup>.

Vários trabalhos tem sugerido que a importância da alta rugosidade superficial é devido ao acréscimo da energia dissipada viscoelasticamente e plasticamente durante a falha da junta.

Desta forma, embora em certas circunstâncias o mecanismo de intertravamento possa contribuir para a força de adesão, o freqüente aumento observado na medida da resistência da junta com o aumento da rugosidade superficial pode ser atribuído a outros mecanismos como os acima citados.

#### 2.4.2. Teoria da Adsorção

Esta teoria de adesão é a mais geralmente aceita e discutida atualmente. Esta teoria propõe que, se houver um íntimo contato molecular, o material aderirá devido às forças superficiais atuando entre os átomos das duas superfícies. As contribuições havidas nestes últimos anos quanto a estabilidade da junta adesiva mais comuns são as que dizem respeito às forças de Van der Waals. São forças atrativas de grande relevância e dotadas de grande alcance. Incluem as forças de

dispersão que são passíveis de atuarem em quaisquer materiais. Também podem atuar através da interface, as forças devidas às ligações covalentes, iônicas ou metálicas, também denominadas de forças primárias.

## 2.5. TIPOS DE RUPTURAS

Uma das formas de avaliar o comportamento de uma junta adesiva é verificando as formas passíveis de ruptura da mesma. Distinguem-se três principais tipos de ruptura de uma junta, as quais denominam-se: ruptura coesiva na resina, ruptura coesiva no concreto próximo à superfície de união e ruptura adesiva na zona de contato entre o concreto e a resina, conforme ilustrado na figura 2.5.

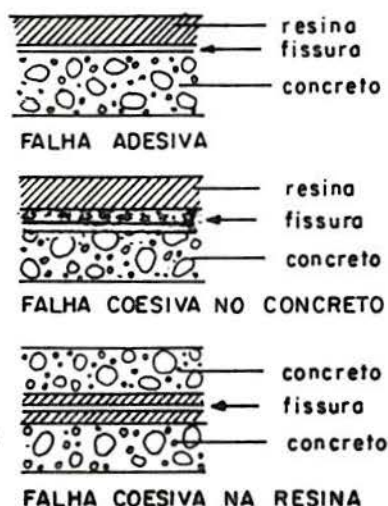


Figura 2.5 - Tipos de Ruptura (SASSE e FIEBRICH<sup>(97)</sup>)

### 2.5.1. Ruptura Coesiva na Resina

Este tipo de ruptura identifica que a coesão apresentada pelo substrato é superior ao da ponte de aderência adotada. Normalmente esta falha se deve a tensões de tração ou cisalhante.

SASSE e FRIEDRICH<sup>(97)</sup> atribuem como possíveis causas deste tipo de falha as seguintes:



- proporcionamento inadequado da resina e do endurecedor, propiciando quebra da estrutura reticulada formada devido à solidificação do polímero, atribuindo zonas internas de fraqueza;
- condições inadequadas de temperaturas para estocagem, mistura e/ ou endurecimento;
- aplicação do produto fora do tempo de utilização, podendo gerar defeitos mecânicos devido a má compactação, inclusão de ar ou aparecimento de fissuras;
- reações químicas originárias da incompatibilidade dos sistemas empregados e cimento; variações de tensões durante a fase de cura;
- escolha inadequada da resina.

#### 2.5.2. Ruptura Coesiva no Substrato

Normalmente a camada superior do concreto apresenta resistência inferior à do restante. Para SCHULZE e MUNSE<sup>(99)</sup> pode-se atribuir este comportamento principalmente a:

- existência de nata superficial, provocada por segregação ou consequência da vibração;
- problemas de cura ou cura insuficiente;
- impregnação superficial com óleos, graxas ou gordura;

Recentemente, vem sendo desenvolvido um ensaio com o objetivo de caracterizar o comportamento mecânico do concreto superficialmente<sup>(109)</sup>. O ensaio consiste, genericamente, em colar uma chapa de aço à uma superfície de concreto; a seguir é aplicada uma carga de tração, impondo-se um dado deslocamento para evitar a propagação incontrolada da fissura. Alguns dos resultados obtidos permitem avaliar a susceptibilidade do concreto a resistir à propagação de fissuras na interface concreto/adeseivo, e estabelecer um método de controle da qualidade superficial do concreto através de cálculos baseados em critérios energéticos.



### 2.5.3. Ruptura Adesiva

Este tipo de ruptura caracteriza-se por falha na região de contato entre a ponte de aderência e o concreto. As principais razões concernentes a este tipo de ruptura, as quais dizem respeito às condições superficiais do substrato e propriedades físico-químicas das pontes de aderência serão abordadas, com detalhe, ao longo do capítulo 4.

### 3. SISTEMAS EPÓXI

#### 3.1. HISTÓRICO

Os sistemas epóxi caracterizam-se, dentro dos plásticos modernos, como sendo dos mais versáteis e que vem cada vez mais destacando-se dentro da construção civil.

A descoberta destes produtos é atribuída ao norueguês LINDERMAN, datando de 1891<sup>(48)</sup>. Para a época, as resinas não apresentavam nenhum valor comercial, face não ter sido desenvolvido nenhum método prático de cura das resinas. As primeiras aplicações práticas deram-se na Alemanha e na Suíça durante a década de 1930. Atribui-se à P.Castan e S. Greenlee as descobertas referentes ao desenvolvimento e emprego da tecnologia das resinas epóxi utilizadas até os dias atuais<sup>(72)</sup>.

O desenvolvimento destes sistemas passou por um período de estagnação durante a IIª Guerra Mundial, devido à escassez da epiclorigrina, produto este utilizado em formulações epoxídicas.

Segundo ACI-503<sup>(2)</sup>, a primeira aplicação das resinas epóxi como adesivo dentro da indústria da construção civil, data de 1948 na união entre concretos endurecidos, na qual foi comprovado o seu desempenho como adesivo estrutural. Em 1954, o "State Highway Department of Califórnia" fez uso das resinas para fixar sinais de tráfego na capa de rolamento das auto-estradas. Este é considerado como o primeiro importante emprego das resinas epóxi, a partir do qual, com base nos resultados favoráveis, iniciaram-se pesquisas referentes ao uso destes materiais como materiais de reparo, pontes de aderência entre concreto endurecido e fresco, concreto endurecido e endurecido e concreto e outros materiais. De 1970 aos dias de hoje, tem-se verificado um amplo emprego dos sistemas epóxi, principalmente

em obras de grande porte, tais como, plataformas de exploração de petróleo, obras de arte e outros.

### 3.2. EPOXI

O grupo epóxi é um anel de três membros constituído de um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono da forma:



A palavra epóxi é de origem grega onde "epi" significa fora e "oxi" oxigênio, literalmente significando oxigênio entre produtos.

O termo resina epóxi refere-se usualmente a moléculas que contém no mínimo dois grupos epóxi, onde os átomos de carbono podem ser combinados a outros de diferentes maneiras, capazes de polimerizarem-se quando do emprego de agentes chamados de endurecedores.

Segundo FERNANDEZ CANOVAS, pode-se distinguir 5 grupos químicos de resinas epóxi: éteres glicéricos, ésteres glicéricos, amins glicéricas, alifáticas lineares e cicloalifáticas. Destes os mais importantes, comercialmente, são os éteres glicéricos, os quais são resultantes da reação de condensação da epiclorigrina com grupos fenólicos, normalmente difenol-propano, também chamado de bisfenol-A. A figura 3.1 ilustra a obtenção de polímeros a partir de derivados do petróleo. A estrutura destes dois principais componentes que participam da síntese das resinas epóxi pode ser visualizada nas figuras 3.2 e 3.3. A reação geral para obtenção das resinas epóxi pode ser vista na figura 3.4.

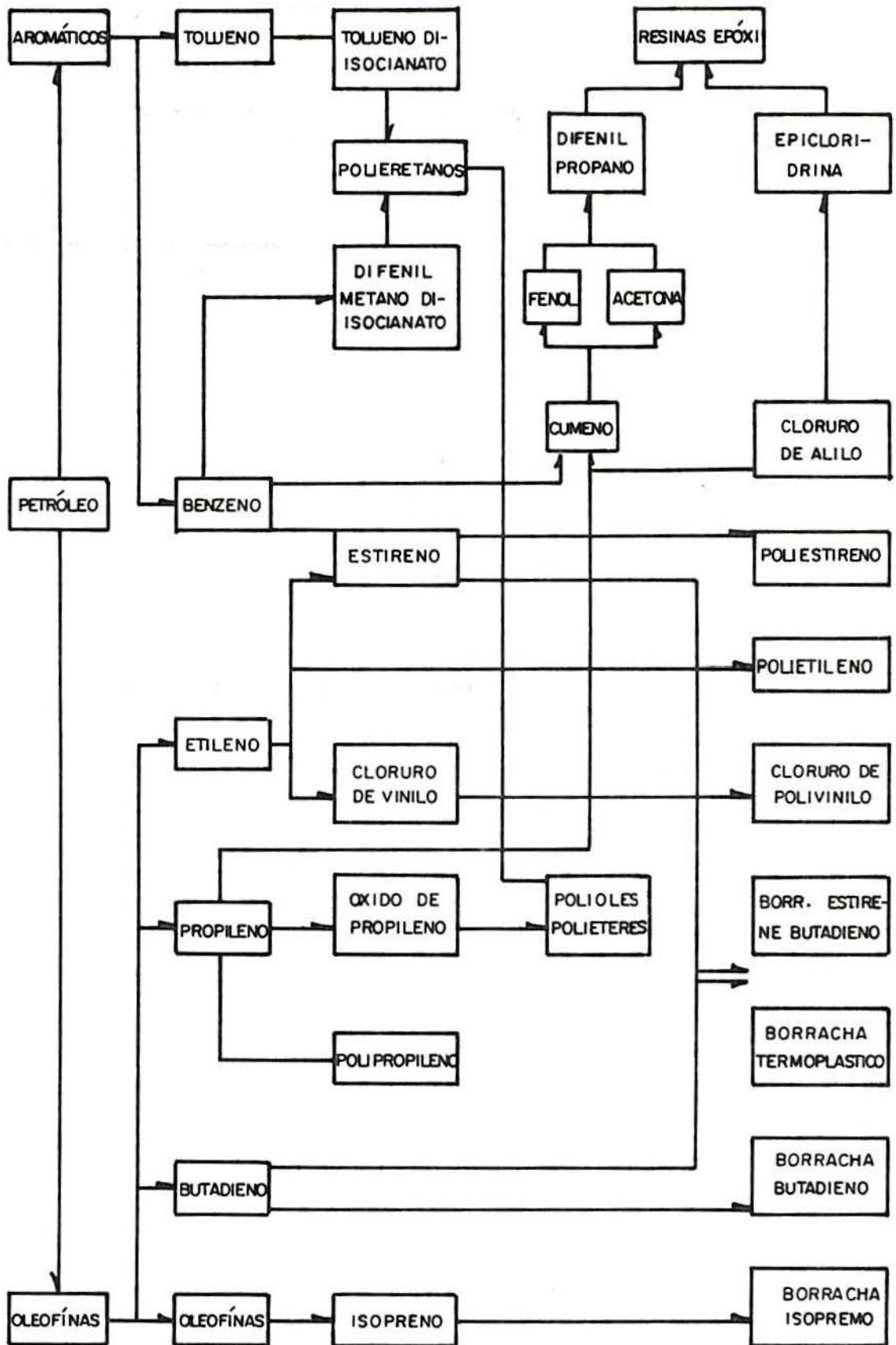


Figura 3.1 - Processo simplificado de obtenção de polímeros (FERNANDEZ CANOVAS<sup>(48)</sup>)



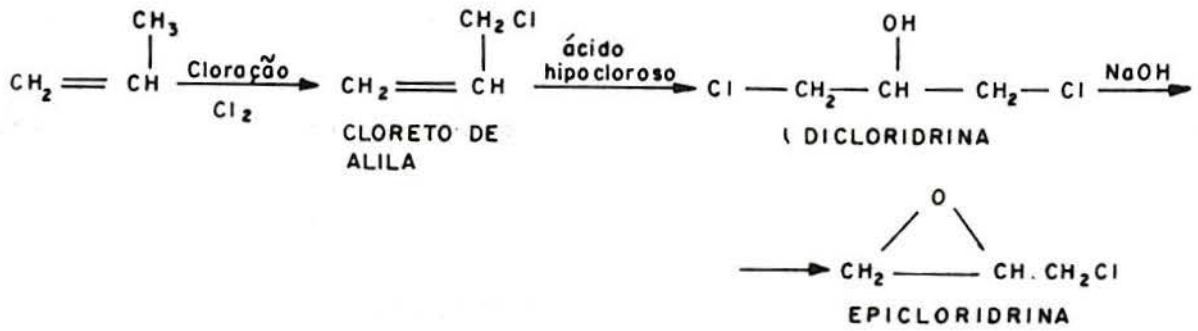


Figura 3.2 - Obtenção do componente epicloridrina (MILLES<sup>(75)</sup>)

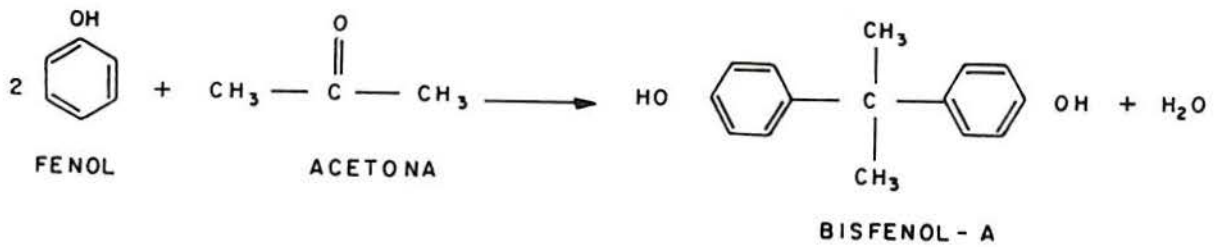


Figura 3.3 - Obtenção do componente bisfenol- A (MILLES<sup>(75)</sup>)

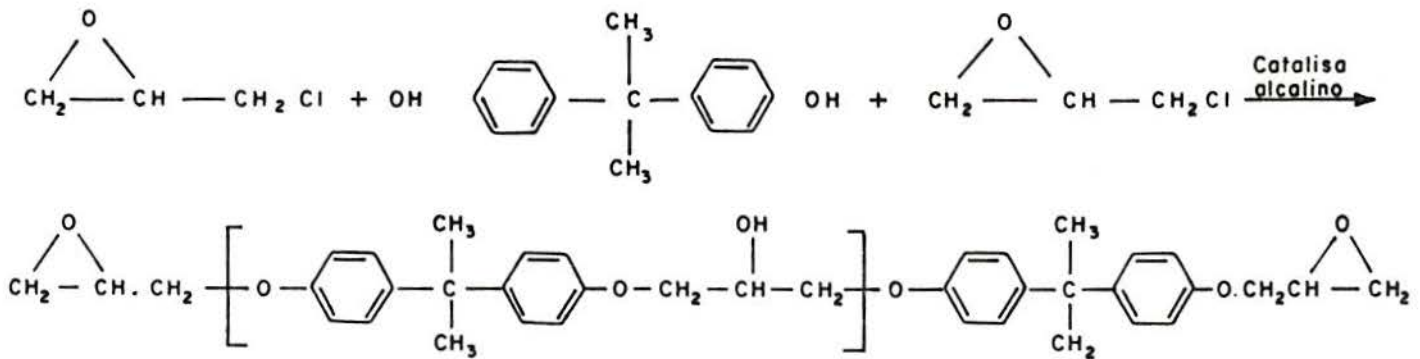


Figura 3.4 - Reação geral para a obtenção de resinas epóxi (MILLES<sup>(75)</sup>)

O sistema epóxi sempre é composto da resina epóxi e mais um componente que será responsável pela cura, também

chamado de endurecedor; ao contrário, permaneceria sempre no estado líquido. Os componentes empregados na construção civil normalmente são armazenados em dois recipientes separados e seu proporcionamento deve ser o indicado pelo fabricante, e seguido rigorosamente.

É essencial que os materiais sejam bem homogeneizados, pois para o sistema trocar de estado líquido para sólido é necessário que o endurecedor combine com a resina, através da sua dispersão na resina. Segundo SCALES<sup>(98)</sup>, todas as partículas do endurecedor devem estar conectadas a uma partícula de resina. Caso isto ocorra originar-se-á uma cadeia firme onde cada uma está ligada na próxima. Se a mistura não for bem realizada, vai acontecer uma quebra desta cadeia, gerando pontos de falha.

Existem no mercado cerca de quinze diferentes tipos de resina epóxi e aproximadamente 300 endurecedores, de modo que o número de combinações possíveis entre eles é bastante grande<sup>(87)</sup>.

### 3.3. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

As principais características potenciais apresentadas pelos sistemas epóxi são<sup>(48,72,82,87,98)</sup>:

- Excelentes qualidades adesivas: Apresentam alta resistência à adesão à maioria dos materiais. Devido à presença dos grupos hidroxil proporciona excelentes condições de adesão específica com ação de forças moleculares atuando entre os materiais em contato. As forças superficiais da resina no estado líquido chegam ao seu ápice no momento da mistura do endurecedor com a resina, quando se inicia o processo de polimerização, pois uma grande liberação de calor ocorrerá acelerando esta reação<sup>(67)</sup>;
- baixa retração à cura: esta propriedade é de grande relevância pois faz com que os pontos de contato entre a resina e o substrato não sejam afetados quando da alteração de estado líquido para sólido.

Apresenta baixa retração quando comparada com outras resinas, isto é decorrência do baixo rearranjo e reorientação das moléculas do líquido e a não volatilização dos produtos envolvidos; comparativamente às pastas, argamassas e concreto possuem maior retração;

- propriedades mecânicas altas: apresenta elevadas resistência à compressão, tração, etc. Isto se deve, em parte devido à baixa retração, que minimiza as tensões internas e devido às ligações tridimensionais que unem as moléculas;
- elevada resistência química: de maneira geral apresenta alta resistência a uma gama de ácidos, álcalis e outros agentes químicos. A resistência química de um produto epóxi curado está diretamente ligada ao agente endurecedor adotado, de forma que selecionando adequadamente o produto a ser adotado se obtém resultados satisfatórios;
- versatilidade: a grande variedade de agentes endurecedores, a possibilidade do uso de modificadores e fillers faz com que as resinas epóxi sejam um dos mais versáteis plásticos;
- facilidade de cura: apresenta cura rápida dentro de uma faixa bastante ampla de temperatura, dependendo do endurecedor empregado;
- alta capacidade isolante elétrica;
- baixa temperatura de cura;
- alta resistência ao choque/ impacto;
- baixa resistência ao fogo quando comparado ao concreto.



## 4. FATORES INTERVENIENTES NA ADERÊNCIA CONCRETO / PONTES DE ADERÊNCIA

O emprego de pontes de aderência implica em um desempenho estrutural satisfatório destes produtos, propiciando excelente desempenho e durabilidade compatível ao fim a que se destinaram. Entretanto, problemas de incompatibilidade entre os produtos e o substrato, ou condições de uso inadequadas de uma das partes pode prejudicar na monoliticidade da estrutura. Portanto, a durabilidade da junta está vinculada à integridade da ponte de aderência após seu endurecimento e à estabilidade da interface ponte de aderência/substrato.

Serão apresentados neste capítulo os fatores referentes às pontes de aderência e ao substrato que possam vir a prejudicar o desempenho da junta.

### 4.1. FATORES REFERENTES AS PONTES DE ADERÊNCIA

#### 4.1.1. Equilíbrio de molhamento

O emprego de pontes de aderência faz com que aumente a probabilidade de obtenção de uma área maior de contato real entre os corpos a serem unidos uma vez que os adesivos, antes de endurecidos, podem escorrer e adaptar-se às irregularidades das superfícies. Para o adesivo atender aos requisitos de adesão é necessário que ocorra o fenômeno chamado de molhamento, que consiste no contato das moléculas do adesivo em estado líquido com as do sólido, atraído pelas moléculas deste. A extensão de molhamento deve ser tal que os dois substratos que formam a junta estejam totalmente cobertos pela ponte de aderência.



O molhamento de um adesivo sobre uma superfície de um corpo sólido está diretamente associado ao fenômeno da tensão superficial, que é resultante do desequilíbrio das interações moleculares existentes nas superfícies dos líquidos e dos sólidos<sup>(33)</sup>.

As moléculas que se encontram no interior dos líquidos são atraídas igualmente para todos os lados, gerando uma força resultante de atração nula entre elas. O mesmo não acontece para as posicionadas nas camadas superficiais (figura 4.1). Estas não são inteiramente circundadas, possuindo assim maior energia do que as moléculas internas e forças de atração resultantes em desequilíbrio, conforme ilustra a figura 4.2, que atuarão como reforço das ligações laterais entre as moléculas, originando-se assim a tensão superficial.

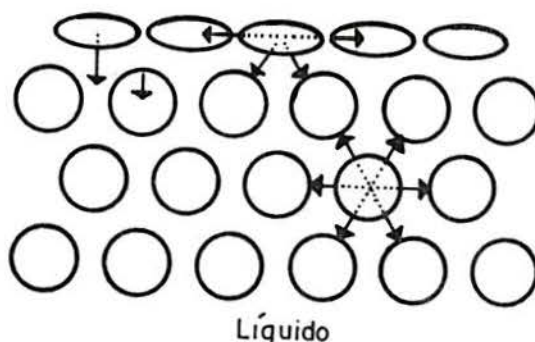


Figura 4.1 - Forças intermoleculares superficiais de um fluido (SASSE e FIEBRICH<sup>(97)</sup>)

Esta atração tende a diminuir o número de moléculas superficiais, resultando um aumento de distância intermolecular. Este fenômeno pode ser evidenciado através da propriedade apresentada pelos líquidos de se contraírem espontaneamente sob uma forma esférica, a fim de minimizar a área externa, e, conseqüentemente, a energia superficial por unidade de volume<sup>(73,79)</sup>.

Das condições energéticas é que dependerá a habilidade do substrato de atrair as moléculas do adesivo adsorvidas e construir uma ligação interfacial.

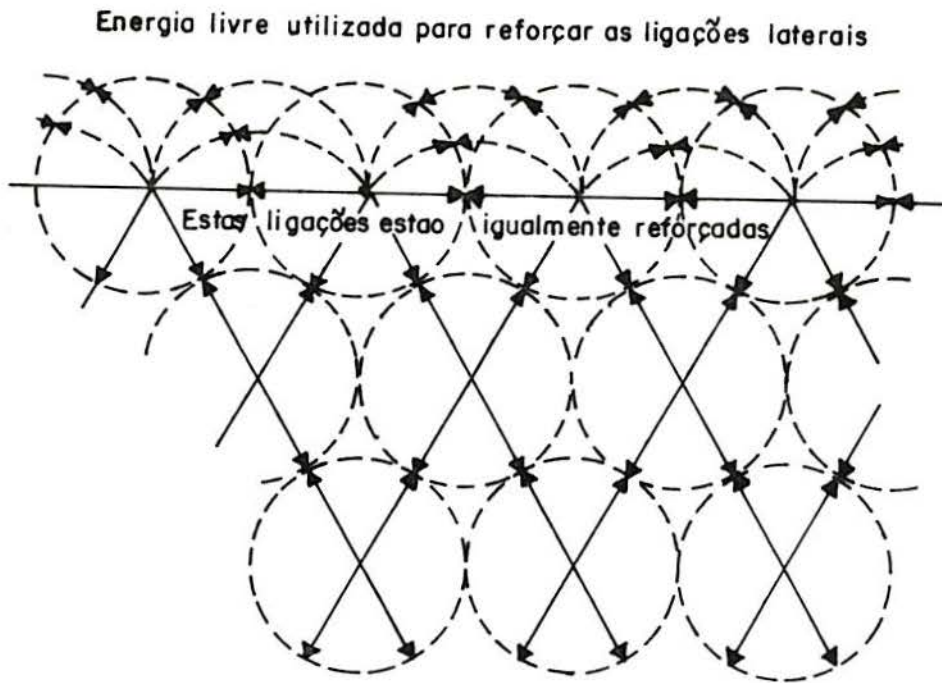


Figura 4.2 - Tensão superficial originária das ligações superficiais em equilíbrio (POLISSENI<sup>(89)</sup>)

Zisman, conforme SASSE e FIEBRICH<sup>(97)</sup>, classifica, nas interfaces sólido/líquido, as superfícies sólidas como sendo de alta e baixa energia. As primeiras atraem as moléculas do adesivo mais fortemente que elas se atraem umas as outras, ou seja, maior que a própria coesão, gerando assim uma camada mais densa de moléculas adjacentes ao sólido; desta forma a ponte de aderência se esparramará espontaneamente sobre a superfície do sólido e aderirá a este.

A figura 4.3 (a) mostra uma molécula "M" sujeita às forças de adesão "H" e forças de coesão " $C_0$ ". A força resultante "F" que atua sobre esta molécula deve ser perpendicular à superfície livre para estar em equilíbrio; para isto, a superfície livre deverá ser côncava, situação na qual o líquido molha o sólido <sup>(89)</sup>.

Quando as forças atrativas do substrato em relação ao adesivo sintético (forças de adesão) são menores em relação às forças de coesão entre as moléculas do próprio adesivo, torna-se mais difícil de verificar a formação de uma camada aderente

uniforme do fluido, conforme figura 4.3 (b); este comportamento se dá em superfícies de baixa energia. De forma análoga ao anterior a superfície do líquido adquire a forma convexa.

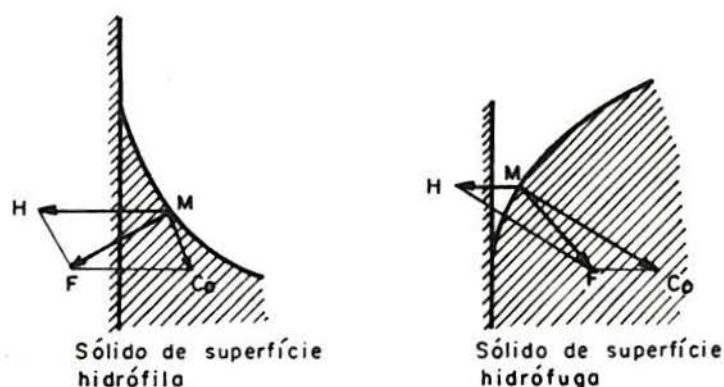


Figura 4.3 (a) e (b) - Forças atuantes sobre uma molécula de um fluido em contato com um sólido (POLISSENI<sup>(89)</sup>)

O molhamento pode ser avaliado pelo ângulo de contato de uma gota de líquido depositada sobre uma superfície lisa de concreto medido através de um goniômetro. Isto porque, quando coloca-se uma gota de um líquido sobre uma superfície de concreto, esta tende a se espalhar em maior ou menor grau. Esta gota irá formar um ângulo de contato com a superfície sólida e estará em equilíbrio. Este equilíbrio obtido implica que as 3 forças envolvidas também estejam em equilíbrio (figura 4.4).

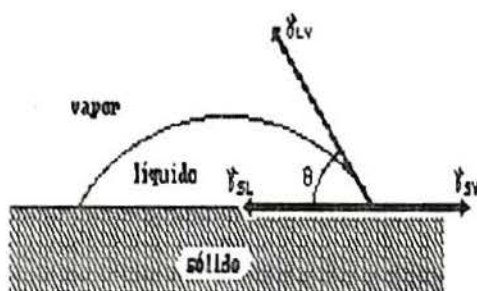


Figura 4.4. - Equilíbrio de forças atuantes em uma gota de um líquido (KINLOCH<sup>(68)</sup>)

A equação de Young exprime o equilíbrio energético na interface (22,68,97)



$$\gamma = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos \theta \quad (4.1)$$

onde  $\gamma_s$  é a tensão superficial do sólido,  $\gamma_L$  é a tensão superficial do líquido,  $\theta$  é o ângulo de contato e  $\gamma_{SL}$  a tensão interfacial entre o sólido e o líquido.

Definindo energia de adesão  $W_{SL}$  como a energia necessária para separar um sólido de um líquido, obtém-se uma equação do tipo

$$W_{SL} = \gamma_s + \gamma_L - \gamma_{SL} \quad (4.2)$$

De forma análoga, considerando a adesão do líquido a ele mesmo pode-se definir o trabalho de coesão  $W_L$  como sendo

$$W_L = 2 \gamma_L \quad (4.3)$$

A condição para que um líquido seja atraído por uma superfície sólida é que as forças de atração sejam maiores que as forças de coesão (equação 4.4)

$$W_{SL} > W_L \quad W_{SL} - W_L = 0 \quad (4.4)$$

A partir das condições de energia expressas pelas equações acima pode-se demonstrar <sup>(22,64,79,107)</sup> que se o ângulo formado entre o líquido e a superfície for menor que 90°, ocorrerá o molhamento e para  $\theta$  maiores de 90° isso não ocorrerá. O não molhamento acontece devido à elevada energia superficial do líquido, gerando menores propriedades adesivas..

Para QUENARD e SALLÉE<sup>(91)</sup>, o estudo do molhamento para materiais do tipo concreto e argamassa, necessita ser



aprofundado, uma vez que os resultados que vem sendo obtidos não são significativos devido à sua alta variabilidade .

#### 4.1.2. Viscosidade

O adesivo deve apresentar uma viscosidade adequada para permitir o molhamento do substrato. A viscosidade dos produtos adequados para utilização com concreto, oferecidos comercialmente, variam de 0,15 à 15 Pa s, à temperatura de 25°

Adesivos com alta viscosidade apresentam dificuldade na mistura, normalmente não completando-a. Sua aplicação é difícil, sendo impossível o cobrimento do substrato em alguns casos.

Por outro lado, adesivos de baixa viscosidade podem ser absorvidos pelo substrato, no caso concreto, gerando problemas de adesão, conforme figura 4.5.

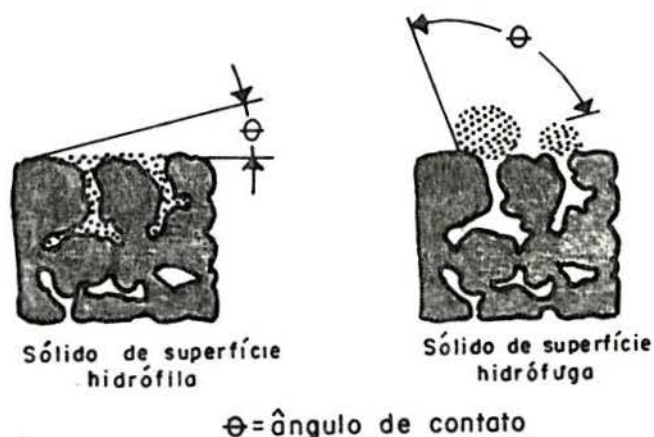


Figura 4.5 - Molhamento do substrato com poros capilares (BRUYNE<sup>(22)</sup>)

#### 4.1.3. Espessura da ponte de aderência

A espessura da ponte de aderência pode ser considerada como a distância média entre as duas partes a serem unidas. Ela deve ser de tal dimensão que permita o cobrimento da superfície desejada.

Wall e Shrive<sup>(111)</sup> tentaram modelar, através de elementos finitos, a influência da espessura na resistência da junta. Os resultados obtidos foram contrários aos dos seus ensaios experimentais e de outros pesquisadores encontrados na bibliografia, resultando valores de resistência superiores à medida que a espessura aumenta. Resultados experimentais levaram a indicar que elevados valores de espessuras podem vir a prejudicar a resistência. Espessuras entre 3 e 6 mm fornecem valores de resistência satisfatórios.

Diversos trabalhos<sup>(22,65,78)</sup> indicam que, quanto menor a espessura da camada de adesivo na junta, maior a resistência. RAINA<sup>(92)</sup> verificou experimentalmente que, com o aumento da espessura, a resistência ao cisalhamento aumenta até um valor máximo, a partir do qual começa a diminuir. Este comportamento pode ser explicado pelos seguintes fatores:

- À medida que a espessura da junta aumenta, a resistência começa a decrescer em consequência do impedimento de redução a contração transversal;
- com o aumento da espessura, as forças cisalhantes atuantes nos substratos geram esforços de flexão sobre o adesivo, o qual origina tensões normais, particularmente no final da junta, atuando perpendicularmente à interface;
- maior será a probabilidade da ocorrência de falhas as quais produzem concentrações de tensões localizadas;
- a retração e calor produzem tensões normais e tangenciais proporcionais ao aumento da espessura.

Estas conclusões foram confirmadas por este autor nos ensaios experimentais de resistência ao cisalhamento à tração, realizados por ele em peças metálicas, para valores de espessuras variando entre 0,1 e 0,6 mm. Pode-se verificar que juntas com espessuras menores apresentaram melhor desempenho quando expostas ao calor. Do ponto de vista da fluência, espessuras maiores, propiciaram maiores deformações.

HRANILOVIC<sup>(63)</sup> observou que conforme a variação de espessura as tensões máximas podem aparecer ora na extremidade da junta ora no meio desta. Para ensaios de resistência à

tração com juntas de espessuras 5mm estas surgiram no meio da junta. Para espessuras de 1mm os maiores valores de tensões apareceram nas suas extremidades, conforme ilustrado na figura 4.6.

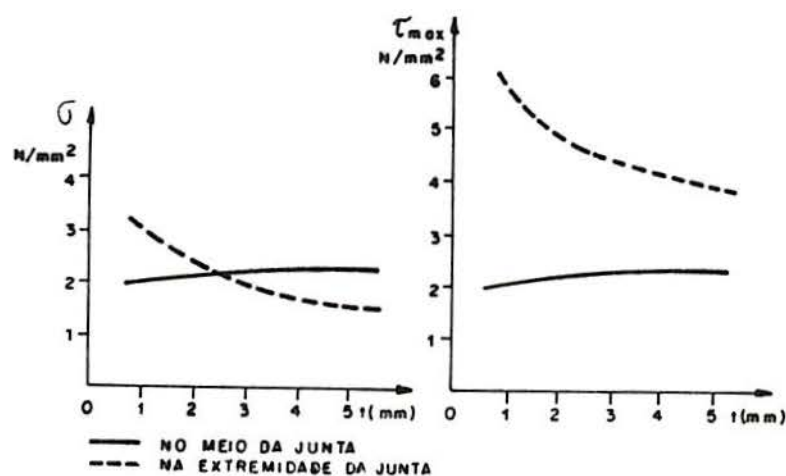


Figura 4.6 - Tensões geradas ao longo da junta (HRANILOVIC<sup>(63)</sup>)

CAMPAGNOLO<sup>(27)</sup> verificou que, no ensaio de cisalhamento misto, onde os substratos envolvidos são o aço e o concreto, a variação de espessura não apresentou influência significativa nos resultados finais da resistência. Conclui que a natureza heterogênea do concreto atribui variabilidade excessiva ao ensaio, provavelmente mascarando os efeitos da variação da espessura.

BENSIMHON<sup>(19)</sup> obteve em ensaios de resistência à compressão valores superiores de resistência em corpos de prova com juntas com espessuras de 3mm quando comparados à de 10mm.

#### 4.1.4. Tempo de utilização (*Pot life/ Gel Time*):

É o intervalo de tempo transcorrido desde o momento da mistura do endurecedor com a resina até o instante que o adesivo começa a endurecer deixando de ser trabalhável.

Aplicação sobre superfícies de concreto deve ser efetuada dentro deste intervalo de tempo; após o qual inicia o processo de polimerização com despreendimento de calor, gerando um processo irreversível.



A diminuição deste período é proporcional ao aumento da temperatura e quantidade de material empregado. Conforme PERKINS<sup>(87)</sup>, normalmente os tempos adotados são razoavelmente curtos, restringindo-se a algumas horas. Entretanto, encontram-se formulações com tempo de utilização entre 30 min a 48 horas.

No Brasil, as formulações empregadas na Construção Civil apresentam tempo de utilização que variam entre 5min a 10 h. Para temperaturas elevadas em torno de 40° C este intervalo pode sofrer redução significativa, uma vez que a reação de polimerização inicia logo após a mistura, e a temperatura agirá como agente acelerador, reduzindo assim o tempo do processo de endurecimento.

A variação do tempo de utilização dependerá além da temperatura ambiente, dos volumes misturados, da temperatura dos componentes, do tipo e da quantidade de endurecedor empregado.

MAYS e HUTCHINSON<sup>(74)</sup> sugerem que o tempo de utilização deve ser no mínimo de 40min a uma temperatura de 20°. Para FIP<sup>(47)</sup> este tempo não deve ser inferior a 20 min.

#### 4.1.5. Tempo de colagem (*OPEN TIME*)

É o tempo a partir da aplicação da ponte de aderência até o momento que a formulação é capaz de aderir a outros elementos.

MAYS e HUTCHINSON<sup>(74)</sup> sugerem como tempo mínimo 20 min à temperatura de 20° C.

Este intervalo de tempo está condicionado à temperatura do substrato, à temperatura ambiente, características dos endurecedores e do tempo transcorrido desde o início da mistura.

O tempo de colagem é superior ao tempo de utilização, isto porque, segundo FERNANDEZ CANOVAS<sup>(48)</sup>, normalmente a aplicação das pontes de aderência é feita em finas camadas proporcionando desta forma uma dissipação mais elevada de calor.

#### 4.1.6. Tempo de cura

Esta propriedade depende da formulação a ser adotada e da temperatura ambiente. O período de cura, ou seja, aquele durante o qual se dará o processo de polimerização que conferirá a resistência requerida e a durabilidade do produto final pode variar conforme o fabricante.

Para MAYS e HUTCHINSON<sup>(74)</sup> o adesivo deve ser capaz de curar suficientemente e conferir as propriedades mecânicas especificadas em não mais de 3 dias. Em novas construções o período de tempo pode ser estendido a 7 dias.

Pontes de aderência empregadas em uniões entre concretos endurecidos e frescos devem ser sistemas de cura lenta, pois segundo SCHUTZ<sup>(100)</sup>, caso a ponte de aderência cure antes do concreto ter endurecido poderá agir como impedimento da aderência.

No caso da utilização de pontes de aderência para elementos pré-moldados os sistemas empregados devem possuir cura mais rápida. A velocidade de cura das pontes de aderência deve ser de tal forma que não interrompa a velocidade sistemática de erguer os elementos pré-fabricados. Recomenda-se<sup>(47)</sup> como tempos mínimos os seguintes: 12 h, 24h e 7 dias para resistências à compressão superiores ou igual à 20, 40 e 75 MPa, respectivamente. Para MORETON<sup>(78)</sup>, a temperaturas baixas (5°C), o limite mínimo confiável para a cura é de 3 dias.

#### 4.1.7. Tempo de estocagem

Define-se como tempo de estocagem o tempo sob o qual o adesivo pode ser estocado para o uso.

MAYS e HUTCHINSON<sup>(74)</sup> indicam que os componentes da formulação epóxi devam permanecer no máximo 6 meses armazenados em seus recipientes originais para que não sofram alterações quanto às propriedades do produto endurecido. A FIP<sup>(47)</sup> recomenda que os componentes da ponte de aderência sejam guardados em ambientes arejados por um período de tempo não maior que um ano, uma vez que produtos armazenados por longo



tempo e submetidos a condições de temperaturas extremas podem gerar trocas químicas e físicas das pontes de aderência.

#### 4.1.8. Homogeneização dos componentes

Normalmente os adesivos sintéticos constituem-se de dois componentes condicionados em recipientes isolados. A mistura destes deve seguir rigorosamente as instruções fornecidas pelo fabricante referente ao proporcionamento; aconselha-se que cada componente seja preliminarmente homogeneizado.

Os componentes devem ser misturados até a homogeneização completa da mistura; produtos com componentes de diferentes cores são mais adequados, servindo de indicativo.

Velocidades de mistura elevadas podem ser prejudiciais devido à incorporação de ar na mistura, além de diminuir o tempo de utilização, em decorrência do calor excessivo produzido durante a mistura.

A FIP<sup>(47)</sup> recomenda tempo de mistura inferior a 3 min e temperatura abaixo de 40°C para formulações de médias ou rápidas reações, ou 60°C para formulações de baixas reações

#### 4.1.9. Resistência à umidade

Segundo HELENE<sup>(59)</sup>, a exigência desta propriedade visa a durabilidade da união, sendo também um bom indicativo para a resistência a ataques químicos de um material. A resistência química de um material é inversamente proporcional à capacidade de absorção do líquido agressivo em contato.

#### 4.1.10. Módulo de elasticidade

EYRE<sup>(46)</sup>, considera esta como sendo uma das propriedades mais relevantes das pontes de aderência, uma vez que apresenta significativa influência nas tensões geradas por deformações.

Quando uma ponte de aderência de diferente módulo de elasticidade em relação ao do concreto é aplicada e colocada sob a ação de uma carga normal, tensões de compressão e tração



aparecerão ora no concreto ora no adesivo, acrescidas de tensões de cisalhamento na interface.

Adesivos com módulos comparativamente menores ao do concreto tendem a expandir-se, sofrendo uma certa restrição de deslocamento por parte do concreto. A deformação de forma ampliada pode ser vista na figura 4.7.

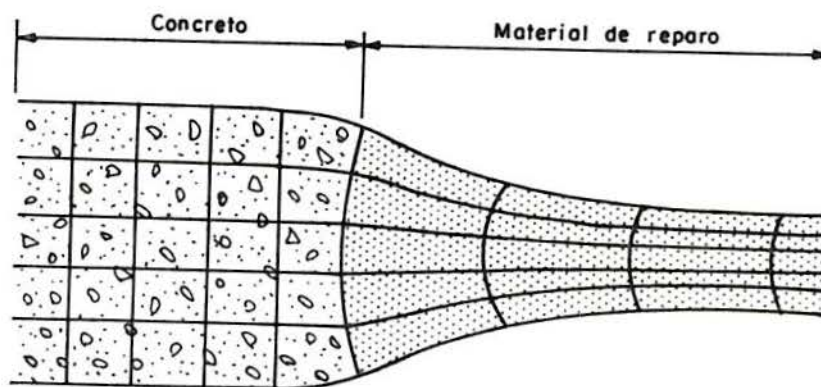


FIGURA 4.7 - Deformação da interface concreto / ponte de aderência devido tensões uniaxiais (EMBERSON and MAYS<sup>(44)</sup>)

Segundo WALL et al.<sup>(112)</sup>, as maiores tensões são verificadas nas zonas próximas à interface, aparecendo tensões de compressão e tração no concreto e na ponte de aderência. A figura 4.8 exemplifica a variação da tensão principal máxima ao longo da superfície livre de um corpo de prova de concreto unido com pontes de aderência de módulo longitudinal = 3000 MPa e  $\nu = 0,45$ , sob ação de uma força de tração axial nas extremidades.

Quanto mais assemelharem-se o módulo de elasticidade da ponte de aderência e o do concreto, menores serão as distorções que existirão na interface transversal. WALL<sup>(111)</sup>, confirma em seus ensaios o efeito dos diferentes níveis de tensões devido à variabilidade dos módulos de elasticidade. JOHNSON<sup>(66)</sup>, verificou que quanto menor a relação entre o coeficiente de Poisson e o módulo de elasticidade ( $\nu/E$ ) da ponte de aderência,

menor serão as tensões de tração geradas no concreto adjacente à junta.

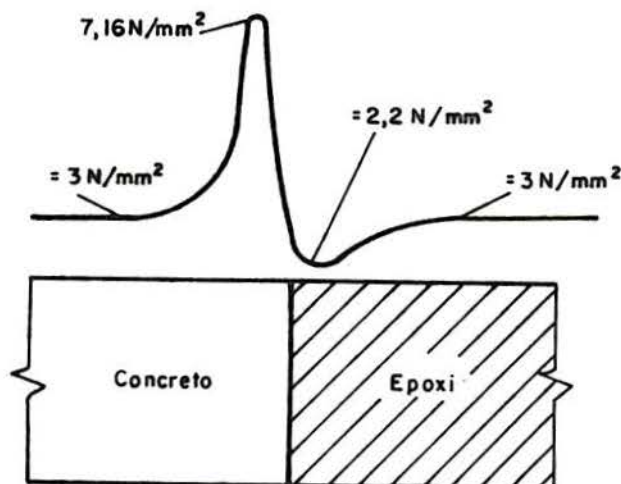


FIGURA 4.8 - Variação da tensão principal máxima na interface concreto/ponte de aderência (EMBERSON and MAYS<sup>(44)</sup>)

#### 4.1.11. Coeficiente de dilatação térmica

As maiores diferenças existentes entre o concreto e pontes de aderência são no que diz respeito aos coeficientes de expansão térmica: uma variação de temperatura levará ao surgimento de tensões na camada superficial do concreto<sup>(115)</sup>.

Em uma laje de concreto recoberta por uma camada de sistema epóxi, com um aumento de temperatura, a camada de epóxi tenderá a ter uma expansão maior que a do concreto, originando uma deformação conforme indicado na figura 4.9. No caso de haver uma diminuição de temperatura, ocorrerá uma retração maior por parte do sistema epóxi, resultando na deformação in-

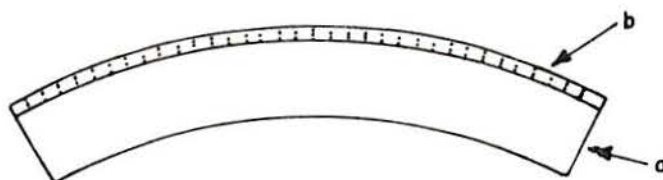


Figura 4.9. - Deformação do conjunto sistema epóxi/concreto resultante do aumento da temperatura ambiente.

dicada na figura 4.10. ou seja, o coeficiente de dilatação térmica dos sistemas epóxi é geralmente maior que o do concreto. Sendo o módulo de deformação do concreto superior ao do sistema epóxi, há uma tendência de no último serem geradas concentrações de tensões junto à interface devido à troca de temperatura.

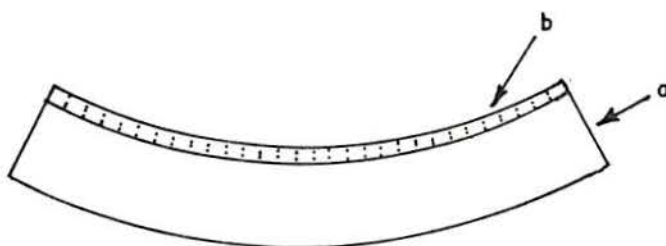


Figura 4.10. - Deformação do conjunto sistema epóxi/concreto resultante da diminuição da temperatura ambiente.

#### 4.1.12. Resistência à compressão

Esta propriedade mecânica normalmente não é de grande relevância, uma vez que os resultados apresentados por adesivos sintéticos são muito superiores aos do concreto. Exige-se que no mínimo o adesivo empregado possua mesma resistência à compressão que a apresentada pelo concreto.



## 4.2. SUBSTRATO

Independentemente do posicionamento das interfaces, alguns fatores que estão diretamente ligados à aderência devem ser levados em consideração<sup>(71)</sup>:

### 4.2.1. Rugosidade

Em concordância ao exposto no capítulo 2, item 2.4, vários trabalhos atribuem o efeito favorável da rugosidade ao aumento real da área de contato da ponte de aderência ao concreto e não ao maior intertravamento mecânico entre as partes. Entretanto, rugosidade excessiva prejudica no molhamento total superficial e dificulta a aplicação de uma camada homogênea da ponte de aderência empregada. Além do que, se o adesivo não apresentar uma viscosidade adequada, o mesmo não penetrará totalmente nas irregularidades, dificultando a aderência tanto pelo aparecimento de bolhas de ar, quanto pelo contato com uma área menor do que a área real.

O boletim nº 162 - CEB<sup>(36)</sup> mostra na figura 4.11. e 4.12. que as superfícies lisas apresentaram resultados, quanto à resistência, inferiores aos das superfícies rugosas, porém estas diferenças entre os diversos tipos de superfícies rugosas não são significativas. A mesma fonte preconiza que os melhores resultados foram obtidos com superfícies medianamente rugosas, tratadas superficialmente através de jato de areia.

PAULAY e FOURÉ, segundo CLÍMACO<sup>(35)</sup>, divergem quanto à influência da rugosidade superficial. Os ensaios à flexão realizados por FOURÉ não apresentaram diferenças significativas devido a diferentes preparos superficiais. Os resultados obtidos por PAULAY nos ensaios de cisalhamento direto com diferentes rugosidades, quando comparados com superfícies lisas, apresentaram melhor desempenho.

Os problemas que concernem à rugosidade superficial não podem ser analisados isoladamente, uma vez que sofrem influência de fatores referentes aos adesivos, como por exemplo, viscosidade.

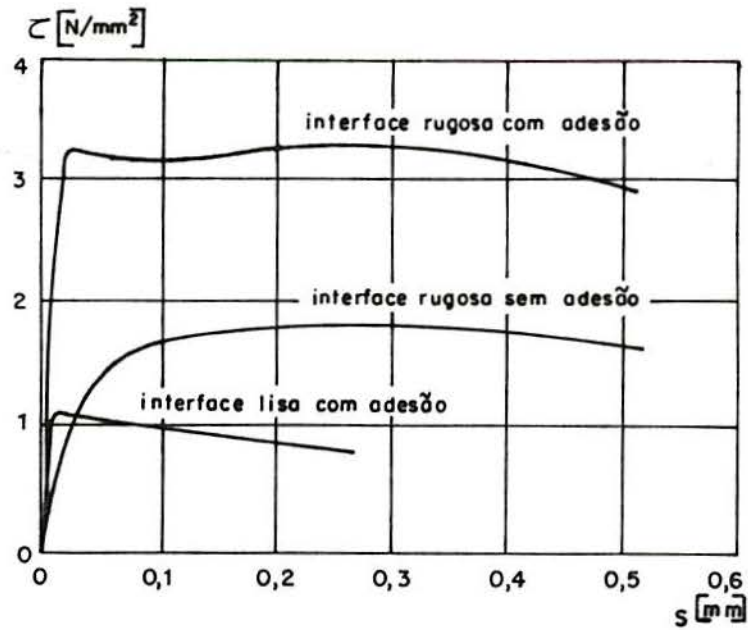


Figura 4.11. - Resistência de juntas com superfícies lisas e rugosas (BOLETIM Nº 162-CEB<sup>(36)</sup>)

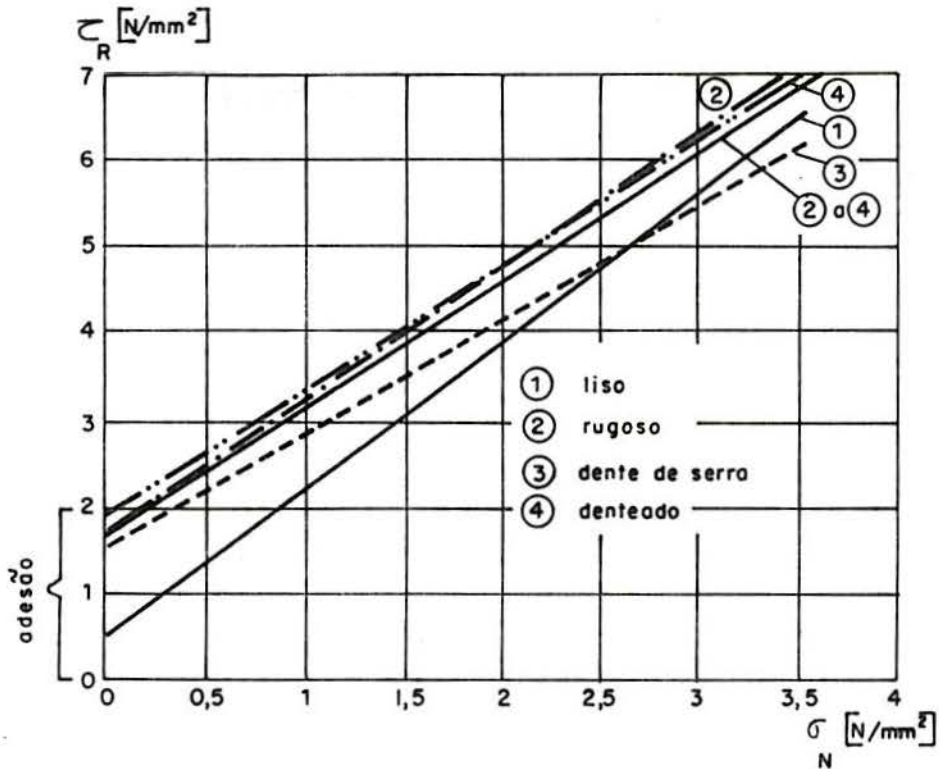


Figura 4.12. - Influência do tratamento superficial (BOLETIM Nº 162 - CEB<sup>(36)</sup>)

#### 4.2.2. Umidade superficial

FRANKE<sup>(51)</sup> considera que os valores de umidade superficial devam ser tais que não afetem o desempenho da união. Admite para seus ensaios, como valores toleráveis, até 6% de umidade (em peso). Devendo sempre realizar-se ensaios de tração direta ("Pull-out"), como referência. Os valores obtidos não devem ser inferiores à resistência à tração ( $f_{ct} - 5\%$ ) indicada pelo Eurocode Nº 2 ( $f_{ct} = 0,71 f_{ctm}$  com  $f_{ctm} = 0,27 f_c^{(2/3)}$ , onde  $f_c$  é a resistência à compressão simples).

Segundo PIMENTEL e TEIXEIRA<sup>(88)</sup> as superfícies secas apresentam melhores resultados quanto à aderência, possuindo as superfícies úmidas também bom desempenho quando aplicados produtos compatíveis a esta condição. Superfícies com umidade excessiva podem vir a apresentar resultados prejudiciais quanto à aderência.

Resultados semelhantes quanto a superfícies secas também são encontrados nos trabalhos de WATERS e FOURÉ, conforme cita CLÍMACO<sup>(35)</sup>.

FERNANDEZ CANOVAS<sup>(48)</sup> obteve em ensaios com aplicação do adesivo em concretos secos excelentes resultados, com 100% das rupturas ocorrendo no concreto. O mesmo já não aconteceu com superfícies úmidas, onde os resultados foram de 50% das rupturas na interface e 50% no concreto.

#### 4.2.3. Porosidade superficial

A penetração de uma ponte de aderência ao interior do concreto dependerá da quantidade de poros que estarão interconectados permitindo a entrada e a transferência do produto para dentro do concreto.

Não é recomendada rugosidade excessiva uma vez que o adesivo penetra nos poros ou capilares conformando-se sob a forma de agulhas, que em alguns pontos podem ser excessivamente finas, tornando-se zonas de fraqueza quando expostas a esforços de cisalhamento.



A porosidade aumenta a probabilidade de uma maior aderência tanto pelo aspecto químico quanto pelo mecânico.

Contudo, superfícies muito porosas podem vir a gerar uma espessura insuficiente de adesivo, fenômeno este dependente da viscosidade do adesivo e da porosidade e capilaridade do concreto.

Os poros capilares existentes na pasta de cimento endurecido exercem fator importante, influenciando a taxa de escoamento de fluidos dentro do concreto<sup>(83)</sup>.

O transporte de um líquido por capilaridade é consequência da força de aspiração capilar que existe dentro dos poros dos materiais hidrófilos, forças estas que dependem da tensão superficial do fluido e das forças de adsorção<sup>(33)</sup>. Estas últimas são forças de atração que existem entre as moléculas do fluido e das paredes dos poros. Para materiais hidrófugos as forças de adsorção existentes são chamadas de forças de expulsão capilar.

As forças de aspiração ou expulsão capilar de um fluido

relação água/cimento e variando a dosagem dos materiais. Nenhum resultado significativo foi obtido.

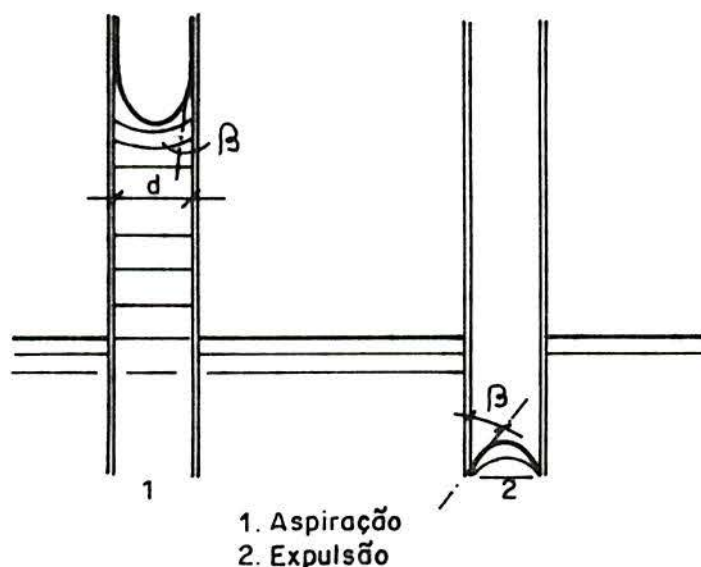


Figura 4.13 - Ângulo de contato entre as paredes dos poros ou fissuras e o fluido (C.S.T.C. (33))

#### 4.2.4. Temperatura

O adesivo nunca deve ser aplicado em substratos que apresentem temperatura menor que a temperatura ambiente. Segundo RAINA<sup>(92)</sup>, isto pode acarretar condensação de água, formando uma fina película entre o substrato e o adesivo, propiciando zonas com fraca camada de aderência. Para temperaturas ambientes inferiores a 5°C, a temperatura do concreto deve ser elevada para permitir o molhamento superficial (ACI-503<sup>(2)</sup>).

HARDING e DUVALL<sup>(58)</sup> sugerem que, quando a temperatura ambiente for inferior a 10°C, a temperatura do concreto deverá ser elevada para no mínimo 15°C e, preferencialmente, 26°C.

A fraca aderência também pode ser causada pelo resfriamento causado pela evaporação de solventes que porventura existam no adesivo causando o mesmo fenômeno.

A temperatura do substrato é relevante uma vez que influencia o processo de polimerização da ponte de aderência empregada. Temperaturas elevadas atuam como aceleradores das

reações químicas envolvidas, diminuindo o tempo de utilização ("pot-life"), podendo prejudicar o molhamento do adesivo sobre a superfície. Segundo HARDING e DUVALL<sup>(58)</sup>, problemas desta ordem podem aparecer para temperaturas superiores a 32°C.

#### 4.2.5. Condições superficiais

Para que o substrato proporcione condições adequadas de adesão é necessário que as zonas debilitadas sejam removidas assim como retirados todos os materiais estranhos à superfície, tais como materiais soltos, poeira, óleos, graxas ou gordura<sup>(52,71,95)</sup>.

#### 4.2.6. Preparo superficial

Conforme anteriormente abordado é fundamental que o substrato que receberá a aplicação da ponte de aderência esteja convenientemente preparado, de modo a fornecer condições satisfatórias para promover a adesão. Entende-se por preparo do substrato o conjunto de procedimentos efetuados antes da limpeza superficial e aplicação dos produtos propriamente dita.

A escolha do método a ser empregado dependerá da superfície a tratar, da posição em que se encontre, da acessibilidade, e da presença ou não de armadura.

As principais técnicas de preparo superficial, conforme HELENE<sup>(61)</sup>, são apresentadas a seguir:

##### 4.2.6.1. Jato de areia seca ou úmida

É um efetivo e rápido procedimento de preparo superficial, comumente empregado, pois remove os elementos frágeis que possam vir a prejudicar a aderência, não danificando as zonas mais resistentes<sup>(20,50,53)</sup>. Consiste em jatear com areia a superfície desejada.

A rugosidade final da superfície dependerá do tipo de abrasivo adotado, das características mecânicas desejadas para a colagem e do estado superficial do concreto<sup>(71)</sup>. O material abrasivo a ser empregado dependerá de:



- Características do material - diâmetro do tubo e pressão de ar que sai do tubo e potência do compressor;
- Modo de operação: distância e ângulo de aplicação; tempo e velocidade de trabalho;
- Condições superficiais do concreto: presença de nata superficial em concretos com superfícies lisas, superfícies rugosas com ou sem exposição dos agregados, etc..
- Qualidade do concreto: natureza e forma dos agregados, teor de argamassa, compactidade, etc..
- Posição e importância da peça estrutural: superfícies verticais ou horizontais de menor ou maior importância estrutural.

HELENE<sup>(61)</sup> recomenda que a aplicação deva ser realizada com o bico de jato na posição ortogonal a superfície em análise, a uma distância de aproximadamente 1,0 m, com movimentos circulares, buscando distribuir uniformemente o material abrasivo de forma a abranger toda a área.

Segundo CLÍMACO<sup>(35)</sup>, o ACI-303 apresenta uma classificação padronizada, para os diferentes graus de superfícies jateadas, que são:

- ESCOVADO (*BRUSH*) - remoção da matriz de cimento com a exposição do agregado miúdo, sem a exposição do agregado graúdo;
- LEVE (*LIGHT*) - exposição do agregado miúdo com ocasional aparecimento de saliências de aproximadamente até 1,6 mm dos agregados graúdos;
- MÉDIO (*MEDIUM*) - suficiente para a exposição do agregado graúdo com o aparecimento de saliências de até 6,0 mm.
- PESADO (*HEAVY*) - suficiente para geralmente expor o agregado graúdo com saliências na ordem de 1/3 do diâmetro do agregado (10 - 12,5 mm). A superfície é bastante rugosa e não uniforme.

Entre as vantagens apresentadas pelo processo de jato de areia, RAINA<sup>(92)</sup> cita a eliminação das partículas soltas, a

remoção de todo o material que possa prejudicar a aderência, podendo ser aplicado em médias ou grandes áreas superficiais e locais angulosos.

Em contrapartida, produz uma excessiva quantidade de poeira, necessitando especial proteção para os trabalhadores (para jatos a seco) e a não remoção de frações de camadas muito espessas, necessitando, em alguns casos, escarificação prévia.

#### 4.2.6.2. Escovamento manual

Consiste em eliminar as substâncias e depósitos pouco aderentes, através de escovamento vigoroso em direções opostas, com o auxílio de escovas de cerdas metálicas. Este método restringe-se a pequenas áreas superficiais, não necessitando de mão-de-obra especializada.

#### 4.2.6.3. Escovamento mecânico

Processo semelhante ao anterior, onde geralmente é empregado escova metálica rotativa. Este processo é mais eficiente e produtivo que o manual.

#### 4.2.6.4. Escarificação manual

Consiste em, com uma talhadeira ou ponteira, escarificar a superfície. Segundo HELENE<sup>(61)</sup>, esta operação deve ser realizada de fora para dentro, cuidando-se para evitar lascamento nas arestas e contornos da região de tratamento. Este procedimento permite a eliminação do material solto, mal compactado e segregado. O acabamento superficial final normalmente é irregular e bem rugoso, dependendo da experiência de quem executa a tarefa. Entretanto não há a necessidade de mão-de-obra especializada.

Este procedimento é adotado em pequenas áreas superficiais e em locais de difícil acesso para equipamentos maiores.

#### 4.2.6.5. Escarificação mecânica

Este método é realizado através de um rebarbador eletromecânico. É normalmente empregado na preparação de grandes superfícies, buscando a eliminação da nata superficial, material solto ou segregado. Como no processo anterior, superfícies devem ser escarificadas de fora para dentro para evitar lascamentos das arestas e cantos, devendo-se cuidar para não ocorrer o comprometimento da estrutura. O estado superficial obtido é bastante rugoso.

#### 4.2.6.6. Disco de desbaste

É o procedimento mecânico, realizado através de uma lixadeira industrial com disco aplicada a seco, com o objetivo de preparo e desbaste de grandes áreas superficiais. Apresenta um alto rendimento, devendo ser feita por mão de obra especializada. A aplicação deve ser sempre realizada de forma que o eixo de rotação que fixa o disco à lixa esteja na posição perpendicular ao plano de suporte. A superfície deve ser desbastada em camadas uniformes e de pequena espessura.

#### 4.2.6.7 Lixamento manual

O lixamento manual é um procedimento bastante simples, adotado apenas em regiões de pequena área, visto que o rendimento apresentado é muito baixo.

O preparo superficial consiste em, através de lixa d'água para concreto, esfregar a superfície vigorosamente em movimentos circulares e energéticos até obter as condições superficiais desejadas.

#### 4.2.6.8. Lixamento elétrico

Emprega-se uma lixadeira eletromecânica com um disco de lixa acoplado para a realização do preparo superficial de pequenas superfícies.

A aplicação deve ser sempre realizada com o eixo que fixa o disco na posição perpendicular ao plano de suporte



permitindo a abertura e limpeza dos poros; é possível eliminar as eflorecências, assim como outras impurezas na superfície do concreto, além de possibilitar a regularização superficial.

Apresenta o inconveniente de produzir poeira em grande quantidade.

#### 4.2.6.9. Demolição

É um método de preparo superficial bastante eficaz, empregado em grandes superfícies com o objetivo de remoção de grandes volumes de material segregado ou mal compactado com forte aderência à parte sã do concreto. A operação é realizada através de um martetele pneumático com compressor.

Apesar do alto rendimento, aconselha-se seu emprego quando outros métodos não satisfaçam o requisito desejado;

#### 4.2.6.10. Queima controlada

É um procedimento adotado em grandes áreas superficiais, para concretos com cobrimento de armadura superior à 30 mm. Realiza-se a queima, através do auxílio de um maçarico, direcionando a chama sobre a superfície com o objetivo da eliminação de impurezas, graxas e óleos. Esta técnica exige além de mão-de-obra especializada, um controle excessivo durante a execução.

#### 4.2.7. Limpeza superficial

HELENE<sup>(61)</sup> define limpeza superficial como o conjunto de procedimentos efetuados instantes antes da aplicação propriamente dita dos materiais de recuperação. As principais técnicas são as seguintes:

#### 4.2.7.1 Lavagem com ácido

Segundo MURRAY<sup>(80)</sup>, a lavagem com ácido pode ser considerada tanto como um procedimento de limpeza como de preparo superficial. Sua utilização mais frequente é para limpeza de superfícies, uma vez que, no caso de preparo, obtém resultados inferiores aos comparados com processos mecânico.

Seu uso é condicionado, segundo alguns autores<sup>(20,48,100)</sup>, à existência de um controle rigoroso do processo. O'BRIEN<sup>(84)</sup> e GEARY<sup>(53)</sup> recomendam que seu emprego deva ser evitado.

Segundo CORBETT<sup>(40)</sup>, este sistema apresenta as seguintes desvantagens:

- Quando empregado em concreto armado ou elementos pré-fabricados, gera problemas devido à penetração de íons cloretos provenientes dos ácidos empregados;
- a penetração do ácido pode ser mais profunda que o necessário, debilitando o substrato;
- liberação de gases que podem causar problemas de corrosão de armaduras, além de serem prejudiciais à saúde do operador;
- não limpam todas as substâncias contaminantes da superfície. Substratos contaminados com óleos necessitam uma pré-limpeza com detergentes. No caso de materiais depositados sobre a superfície, estes devem ser removidos antes da limpeza.

O ácido normalmente aplicado é o ácido clorídrico, comercialmente conhecido como ácido muriático. O ácido reage com a pasta de cimento endurecido expondo os agregados finos. A rugosidade obtida depende da concentração do ácido empregada. O ACI-503<sup>(2)</sup> recomenda 10/90 a 20/80 como taxa de diluição do ácido clorídrico em água, aplicado em uma quantidade de 10 litros / m<sup>2</sup>. FERNANDEZ CANOVAS<sup>(48)</sup> recomenda o ácido clorídrico diluído em água, na proporção 1 volume de HCl de 20° Baume para 2 de água. Utiliza-se, às vezes, ácido fosfórico na proporção 8 a 10/100. CORBETT<sup>(40)</sup> propõe uma diluição de 1/3 de ácido/água.

O ácido aplicado tem uma reação rápida com o concreto, caracterizada pela efervescência e troca de cor, ficando a

superfície com uma tonalidade esverdeada. Pode ser empregado equipamento spray de baixa pressão, para superfícies de grandes áreas. Para áreas menores pode-se adotar um pulverizador para aplicação do produto. Deve-se espalhar o produto sobre a superfície com escovas de cerdas metálicas de modo a espalhar uniformemente a solução ácida aplicada. Após 3 a 5 minutos de aplicação, a superfície deve ser lavada através de jato d'água de alta pressão para remoção dos resíduos obtidos. Esta lavagem deve ser repetida o número de vezes necessário para a total eliminação do ácido da superfície. A verificação da eficiência da lavagem deve ser confirmada por teste com papel tornasol ou através de papel para verificação do pH.

Conforme o CONCRETE MANUAL<sup>(36)</sup> a lavagem com ácido só deve ser utilizada com uma prévia saturação dos poros do concreto para evitar a penetração profunda do mesmo.

#### 4.2.7.2. Jato de água

Submete-se à superfície à jatos de água quente ou fria com alta pressão, de modo a eliminar partículas soltas. A destruição superficial gerada acentua a rugosidade previamente produzida. A limpeza deve ser realizada através de movimentos circulares e executado por operador especializado.

Este procedimento não deve ser aplicado em reparos que requeiram substrato seco.

#### 4.2.7.3. Jato de ar comprimido

Este método é preferencialmente empregado em superfícies submetidas a procedimentos de preparo com elevada produção de poeira e no caso de reparos que necessitem de superfícies secas. Conforme BICKLEY<sup>(20)</sup>, este método é recomendado apenas para a remoção de partículas soltas, visto o efeito abrasivo produzido não ser elevado.

A limpeza é efetuada através do direcionamento do jato de ar sobre a superfície através de uma mangueira de alta pressão. Inicialmente, são tratadas as cavidades, caso existam,



do interior para o exterior para não ocorrer o depósito de poeira naquelas regiões.

#### 4.2.7.4. Soluções alcalinas

As soluções alcalinas são empregadas em zonas que apresentem resíduos ácidos.

Segundo HELENE<sup>(61)</sup>, a técnica de limpeza consiste em, inicialmente, saturar a estrutura com água, para evitar a penetração do produto, que na presença de agregados reativos no concreto pode provocar expansão devido à reação alcali-agregado. A solução alcalina é aplicada através de pulverizador ou brocha e simultaneamente, efetua-se a lavagem da superfície.

Este método favorece as condições de aderência quando o preparo preliminar superficial adotado for a lavagem com ácido.

#### 4.2.7.5. Remoção de óleos e graxas impregnados

Este método pode ser empregado tanto para preparo como limpeza superficial.

Caso ocorra contaminação do substrato com óleos e graxas apenas a nível superficial, o procedimento consiste na aplicação de um desgraxante para uso em concreto, seguida de lavagem com sabão neutro e água limpa. Para concretos impregnados em profundidade superior a 3 mm, preliminarmente deve ser efetuado a remoção do concreto através de um dos métodos expostos anteriormente.

#### 4.2.7.6. Solventes voláteis

A limpeza das superfícies com solventes voláteis é efetuada instantes antes da aplicação das pontes de aderência. É empregado para a remoção de graxas ou quaisquer elementos gordurosos que possam vir a prejudicar à aderência. Sua aplicação é simples, podendo ser feita através de pincel, estopa ou algodão.

## 5. REVISÃO DOS ENSAIOS EXISTENTES REFERENTES A PONTES DE ADERÊNCIA

A carência existente relativa a ensaios, normalização, recomendações ou procedimentos de uso de pontes de aderência na construção civil é elevada.

TYLLER<sup>(110)</sup> acredita que isto se deve, em parte, ao fato deste assunto situar-se entre o desenvolvimento de duas tecnologias: a dos plásticos e a do concreto, ficando o efeito da interação de um sobre o outro sem ser abordado com o devido grau de importância.

Vem contribuir para esta situação o fato de que os adesivos sintéticos normalmente são produtos de composição química complexa a qual, em sua maioria, não é divulgada, por motivos de concorrência industrial. Além disso, os profundos conhecimentos da química, necessários à análise da composição de cada resina para emprego em obras civis, não são de pleno domínio dentro da engenharia civil.

A ausência de recomendações ou normalizações faz com que propriedades fundamentais das formulações não sejam efetivamente avaliadas, cabendo a cada fabricante criar e fornecer critérios de aplicação do produto, além de propiciar que as características suplementares ou irrelevantes sejam fornecidas ou usadas como termo de comparação.

As primeiras especificações relativas ao controle de adesivos com emprego na Construção Civil foram "MMM-B-350B" de março de 1973 e "MMM-B-350B" de fevereiro de 1973 da "Federal Specification" <sup>(60)</sup>.

As grandes contribuições feitas nesta área são o documento redigido em 1973, pelo *American Concrete Institute*, ACI-503<sup>(02)</sup> - "Use of Epoxy Coumpounds with Concrete" (Uso de componentes epóxi com concreto) e as recomendações elaboradas

pela FIP<sup>(47)</sup> - "Proposal for a standart for acceptance tests and verification of epoxy bonding agents for segmental construction" ( Proposta para normalização para testes de aceitação e verificação de agentes adesivos à base epóxi para construção de pré-moldados).

Outras propostas vem sendo desenvolvidas pela "RILEM Technical Comittée 52-RAC" e "Japanese Standards for some polymer Concrete"<sup>(110)</sup>.

A norma inglesa BS6319, tem nestes, últimos anos, revisado suas recomendações, introduzindo ensaios para avaliação de pontes de aderência, nos quais são analisadas propriedades e características consideradas relevantes para a comparação do desempenho entre diversos produtos empregados na Construção Civil.

A nível nacional, não existe referência de qualquer recomendação para o uso de pontes de aderência.

Buscando sanar esta lacuna, HELENE<sup>(59)</sup>, propôs uma metodologia de execução de ensaios que permite a avaliação completa das pontes de aderência para o fim a que se propõe. Os ensaios a serem executados dividem-se basicamente em: ensaios de desempenho, de controle de aceitação, de acompanhamento e de caracterização da formulação.

### 5.1. ENSAIOS DE DESEMPENHO

Inúmeras são as formulações colocadas no mercado por diversos fabricantes com a denominação de adesivos ou pontes de aderência. Entre as vantagens e propriedades fornecidas por estes produtos, todas incluem o objetivo maior pela qual são solicitadas, que é o reestabelecimento da monoliticidade da estrutura na qual serão aplicados. Entretanto, a documentação referente à qualidade dos produtos fornecida pelos fabricantes dá informações de características que tangem tanto a propriedades como comportamento dos adesivos como sistemas isolados, e não de sua aplicação com o concreto.



Nesta forma, é de suma importância que o produto seja avaliado adequadamente para certificar se realmente está atingindo aos objetivos a que se propõe. Para tanto, é fundamental a verificação do desempenho do produto, ou seja, o seu comportamento frente ao uso. Este desempenho, abordado em capítulo anterior, sofre influência do substrato a que está aplicado.

A avaliação do desempenho da aderência será representada pela relação dos resultados obtidos da ruptura de corpos de prova unidos com pontes de aderência e corpos de provas íntegros, submetidos ambos a iguais condições.

Para a avaliação do desempenho de pontes de aderência, especificamente sistemas epóxi, são realizados os chamados ensaios de desempenho, que consistem em unir concretos, normalmente não armados, com adesivos em posições estrategicamente determinadas de forma a possibilitar a verificação do comportamento quanto a solicitações às quais a estrutura estará provavelmente submetida.

Existe uma divergência muito grande quanto ao método mais adequado para avaliar corretamente o desempenho do adesivo em vista da avaliação correta dos problemas concernentes a aderência do adesivo ao concreto.

São apresentados abaixo os ensaios existentes que caracterizam o desempenho das pontes de aderência quanto a diferentes solicitações:

#### 5.1.1. Resistência à tração

Os ensaios de avaliação de desempenho quanto à resistência à tração não são considerados de grande relevância, uma vez que a capacidade resistente do concreto frente a este esforço é baixa, o que vem fazer que esta se torne uma das propriedades mecânicas de menor importância, normalmente sendo desprezada nos estados limites últimos<sup>(60)</sup>.

CLIMACO<sup>(35)</sup>, acrescenta que a dispersão da tensão de tração do concreto pode vir a mascarar uma análise dos diferentes comportamentos das diversas pontes de aderência.

Dentre os ensaios à tração pode-se distinguir ensaios de duas naturezas: ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos.

#### 5.1.1.1. Ensaio Destrutivos

##### a) TRAÇÃO DIRETA

A norma britânica BS 6319: part 7 prevê a aplicação de uma carga de tração nas extremidades dos corpos de prova de dimensões e formato iguais aos recomendados pela ASTM C190 para ensaios em argamassas<sup>(110)</sup>, conforme representado na figura 5.1.

O ensaio consiste em levar à ruptura o corpo de prova de concreto, aos 28 dias de idade. A ruptura se dará na parte mais estreita do corpo de prova e reproduz, segundo a norma britânica, uma zona de fratura semelhante às áreas a serem reparadas. As duas partes devem ser unidas através de pontes de aderência e o corpo de prova novamente ensaiado. Tal ensaio pode ser empregado tanto para uniões entre concretos endurecidos, como entre concreto fresco e endurecido.

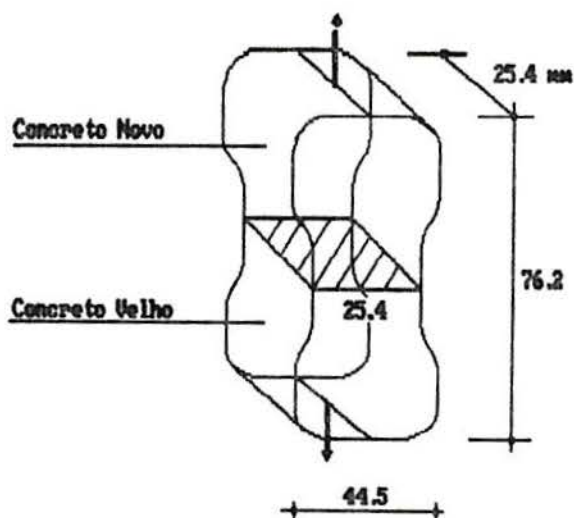


Figura 5.1 - Ensaio de tração direta (TYLLER<sup>(110)</sup>)

Segundo TYLLER<sup>(110)</sup>, o coeficiente de variação encontrado durante a elaboração do método de ensaio é de cerca de 7,0 %.

Para Judge, Cheriton and Lamble, conforme CLÍMACO<sup>(35)</sup>, o método é vantajoso pelo fato das amostras serem de pequenas dimensões, de apresentarem fácil manuseio, além de consumir pequenas quantidades de material. Entretanto, o autor questiona se as dimensões tão reduzidas dos corpos de prova representariam situações reais de reparo.

STANIVUKOVIC e KNEZEVIC-VUKSANOVIC<sup>(108)</sup>, PAILLERE e RIZOULIERES<sup>(86)</sup> adotaram a mesma filosofia do ensaio, porém com corpos de prova cilíndricos de 160 x 320 mm, apresentando a desvantagem da grande quantidade de materiais dispendida no ensaio.

#### b) TRAÇÃO INDIRETA

Este método baseia-se no ensaio brasileiro de tração por compressão. WALL et al.<sup>(12)</sup>, adotam corpos de prova com formato cúbico, visando a facilidade de confecção dos mesmos.

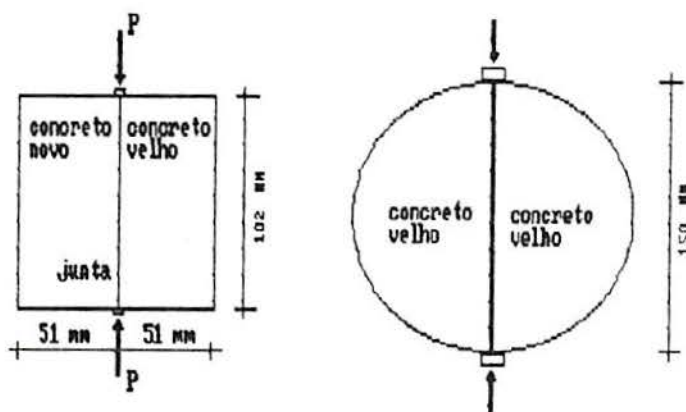


Figura 5.2 - Ensaio de tração indireta (WALL et al.<sup>(112)</sup>)

O corpo de prova é levado ao carregamento até a ruptura; após a separação destes, unem-se as partes obtidas através do emprego de pontes de aderência e novamente submete-se o corpo de prova a um carregamento de compressão, aplicado, na linha de centro, sob guias de madeira de forma a distribuir a carga, conforme ilustrado na figura 5.2.

O plano gerado na união estará sob um estado biaxial de tensões com tensões de tração na interface.



O mesmo ensaio poderia ser realizado com diferentes tratamentos superficiais, não tão rigorosos quanto os obtidos com a ruptura do corpo de prova.

### c) TRAÇÃO POR FLEXÃO

Este ensaio baseia-se no método proposto pela ASTM C-78. Consistindo na verificação da resistência à tração de uma união entre concretos através de ensaios à flexão<sup>(60)</sup>.

Os corpos de prova de dimensões 125 x 125 x 563 mm são submetidos à compressão nos terços médios, conforme indica a figura 5.3.

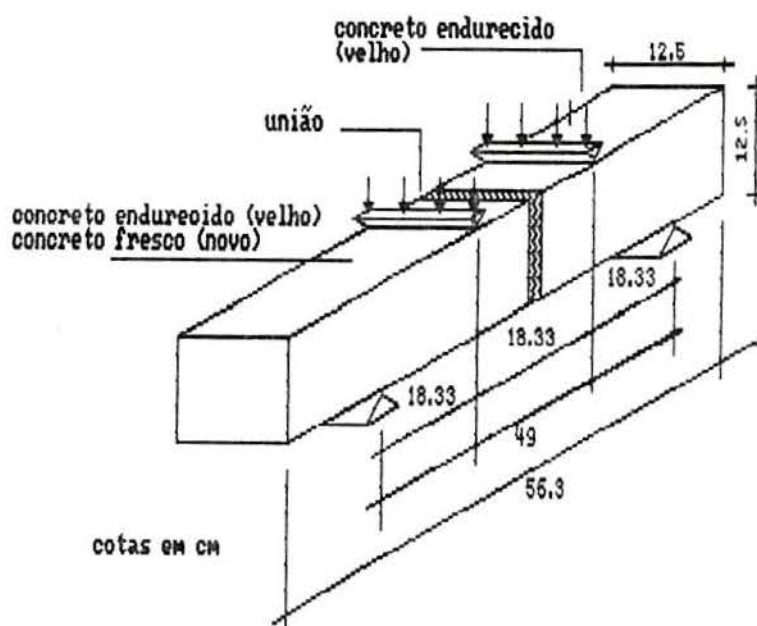


Figura 5.3 - Ensaio de tração por flexão (HELENE<sup>(59)</sup>)

Quando se tratar de uniões entre concretos endurecidos deve-se moldar o corpo de prova e após feita a cura, cortá-lo em 2 partes de igual tamanho. A superfície de contato deve sofrer algum tratamento de limpeza, antes de efetuada a união através de pontes de aderência. Após a limpeza superficial o adesivo é aplicado conforme espessura especificada e as duas partes colocadas em contato; a pressão exercida será resultante do peso próprio.

Após 24 h o corpo de prova deve retornar a câmara úmida.

A FIP<sup>(47)</sup> sugere o uso de corpos de prova de 50 x 50 x 100 mm com resistência aproximadamente de 40 MPa para a realização deste ensaio. A área a ser unida deve sofrer um tratamento superficial e ser mantido em água limpa durante 72h. Após este período, as superfícies a serem unidas devem ser secas e aplicadas com uma ponte de aderência de espessura 2mm. Os corpos de prova devem ser mantidos juntos por uma força de aproximadamente 0,20 MPa.

A avaliação do comportamento do adesivo é feita com base na comparação com os resultados obtidos no rompimento dos corpos de prova íntegros e pela observação do local de ruptura.

A norma francesa AFNOR NF P 18-853, conforme FIGUEIREDO<sup>(49)</sup>, acrescenta a este ensaio dois parâmetros, ciclos térmicos e fadiga. Estes ciclos são aplicados antes dos corpos de prova serem submetidos à carga. Os resultados obtidos no primeiro caso podem ser comparados com corpos de prova íntegros ou com corpos de prova colados que não sofreram nenhum tratamento térmico. Para o segundo caso é verificado a influência do envelhecimento por fadiga.

#### 5.1.1.2. Ensaio não-destrutivos ou parcialmente destrutivos

##### a) "BREAK-OFF" (19,43,50,62)

Este ensaio consiste, em uma maneira geral, em tentar provocar à ruptura da interface concreto/ponte de aderência/reparo pela aplicação de um esforço de tração.

Diferentes metodologias de ensaios são encontradas na bibliografia, entretanto a natureza dos resultados obtidos é a mesma.

A NTH Consults Ltd of Formington Hills, Michigan e Trow, Ltd. of Ontário, Canadá desenvolveu recentemente um ensaio visando a fácil aplicabilidade em obra. O ensaio consiste em furar parcialmente um trecho da área reparada com um núcleo diamantado de diâmetro 100 mm. O furo deve estender-se aproximadamente 50 mm além da interface concreto/ponte de aderência para o interior do concreto original.

Na camada superficial do concreto, cola-se através de um adesivo, uma chapa metálica, a qual, firmemente fixa ao concreto, será vinculada a um macaco hidráulico, que aplicará a carga na direção perpendicular à superfície, conforme ilustrado na figura 5.4.

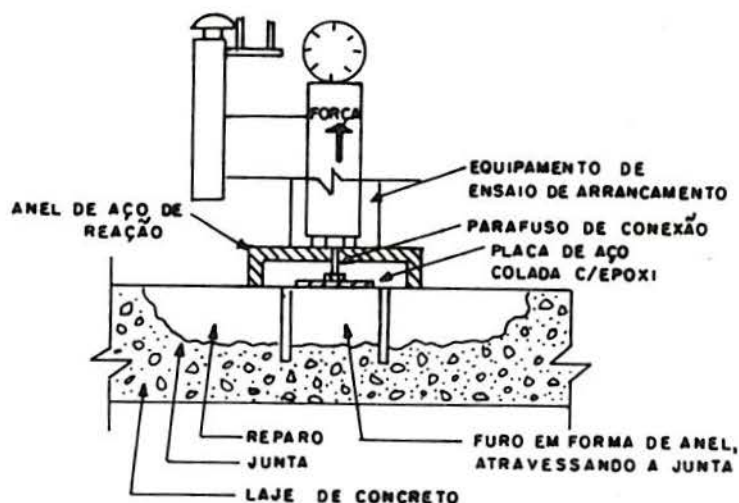


Figura 5.4 - "Break - Test" (HINDO<sup>(62)</sup>)

A resistência à tração da união é obtida pela divisão da força de ruptura do corpo de prova pela área da seção transversal.

HINDO<sup>(62)</sup>, considera vantajoso este ensaio por ser realizado "in situ", representando as condições reais de campo e por ser uma ferramenta para controle da qualidade durante a execução dos reparos indicando o plano de maior fraqueza através do local e natureza da falha

Este método mostra-se adequado para casos de reparos não estruturais, sendo recomendado no caso de recapeamento de pisos.

CLÍMACO<sup>(35)</sup> propõe uma metodologia alternativa de ensaio que consiste em após realizado o furo no concreto através do anel diamantado, abraçar o corpo de prova cilíndrico obtido com o corte, através de uma cápsula, de forma que não ultrapasse a junta com o material de reparo nem esteja em contato com o restante da estrutura. O ensaio pode ser realizado através da



aplicação de um momento na parte superior do corpo de prova, ou ainda através da aplicação simultânea de uma força de tração e um torque.

Por não ser este um ensaio normalizado existem algumas variações quanto ao diâmetro adotado e a profundidade ideal que o corte deve ser estendida além da interface. GAUL<sup>(52)</sup>, sugere a adoção de cápsulas menores de diâmetro 51 mm e a extensão de furo de aproximadamente 25 mm.

#### b) ENSAIO DE ADERÊNCIA ("Pull - Off")

Este ensaio avalia a resistência superficial do concreto em contato com a ponte de aderência.

ACI-503<sup>(02)</sup> recomenda que um tubo metálico de diâmetro 50 mm seja colado à superfície do concreto através da ponte de aderência. No caso do ensaio ser realizado no local do reparo, a superfície a ser ensaiada deve ser a que se apresentar em piores condições.

O ensaio é realizado através da aplicação de uma carga de tração lida através de um simples dinamômetro acoplado a um aparelho adequado. Este tipo de ensaio permite verificar se a falha é coesiva, por parte do adesivo ou concreto, ou adesiva.

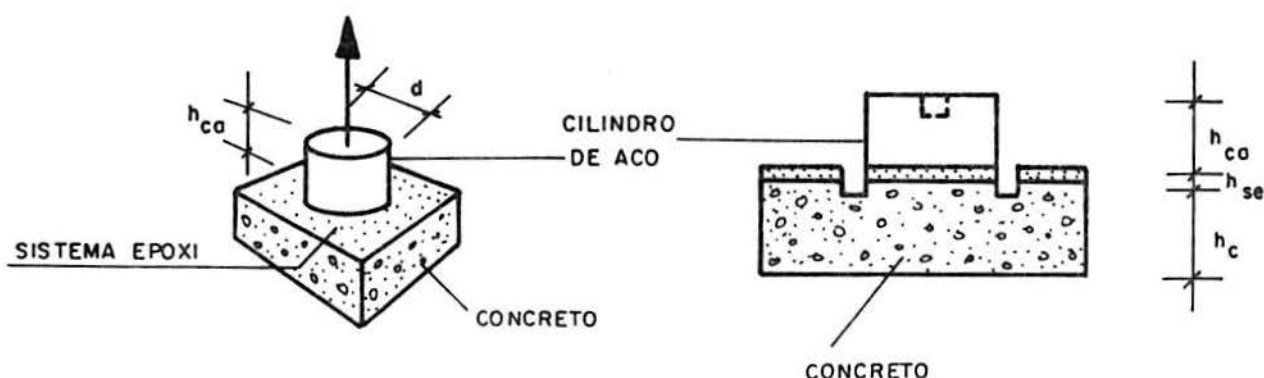


Figura 5.5 - Ensaio de aderência - AFNOR NF P 18 - 831 (FIGUEIREDO<sup>(49)</sup>)

Segundo FIGUEIREDO, a AFNOR NF P 18-831 descreve um ensaio semelhante, conforme indicado na figura 5.5. Na figura 5.6 podem ser visualizadas as distintas formas de ruptura passíveis de ocorrência.

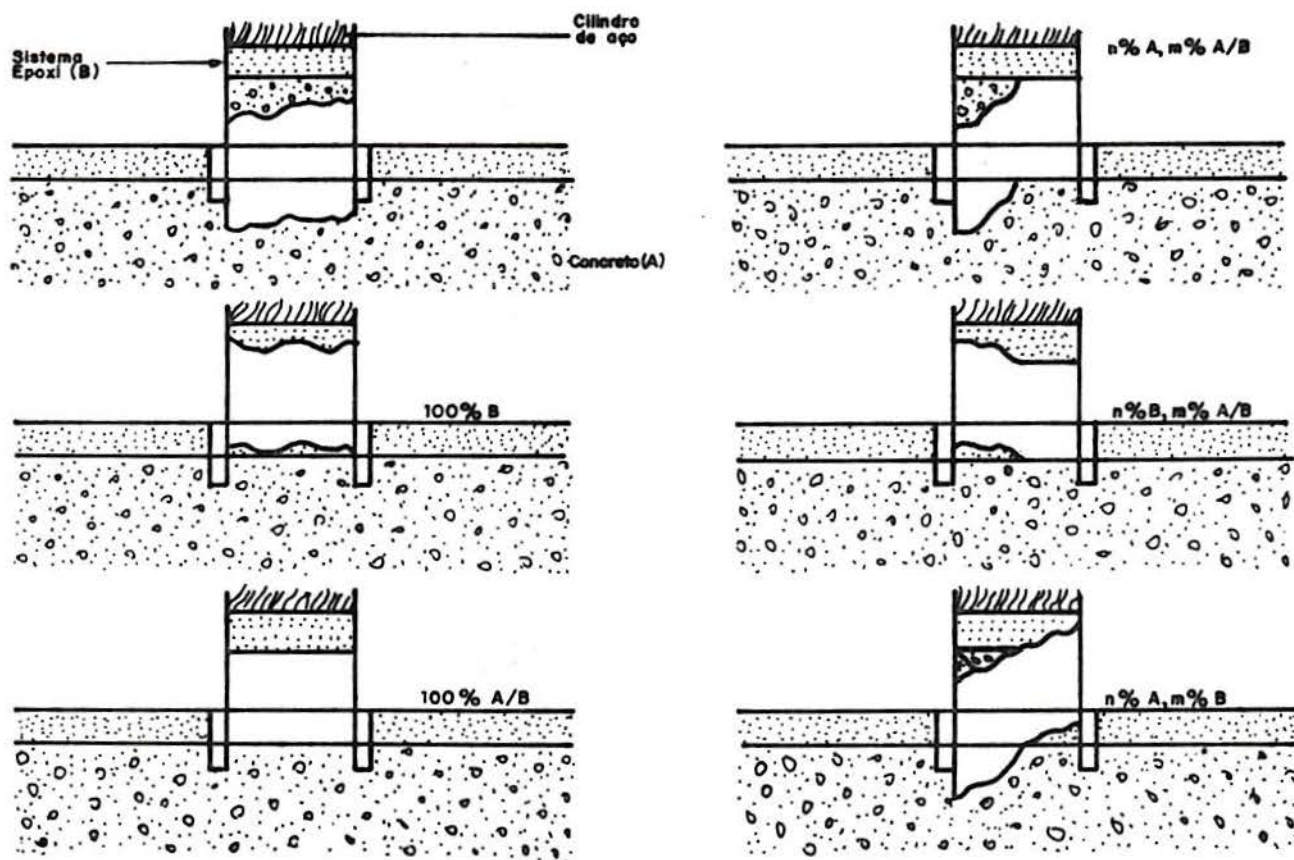


Figura 5.6 - Ruptura passíveis de ocorrer no ensaio de aderência (FIGUEIREDO<sup>(49)</sup>)

### 5.1.2. Resistência ao cisalhamento

#### 5.1.2.1. Resistência ao cisalhamento puro

Três diferentes ensaios são propostos para a avaliação do desempenho quanto à resistência ao cisalhamento puro:

#### a) ENSAIO DE CISALHAMENTO DESENVOLVIDO PELO BUREAU OF RECLAMATION ENGINEERING LABORATORIES<sup>(70)</sup>

A metodologia consiste em ensaiar corpos de prova de argamassa de dimensões 101,6 x 50,8 mm. Inicialmente molda-se 3/4 do volume total do corpo de prova deixando-o em cura úmida durante 70 dias com umidade relativa de 100 %. Após este

período, a superfície de uma das extremidades deve receber um preparo superficial retornando para o molde. Aplica-se uma camada de ponte de aderência e preenche-se logo após com argamassa até completar o volume total.

O carregamento é aplicado conforme a figura 5.7. A resistência ao cisalhamento é obtida pela razão entre a força total e a área da seção transversal do cilindro.

Este método também pode ser empregado para avaliar a resistência ao cisalhamento em uniões entre concreto endurecidos.

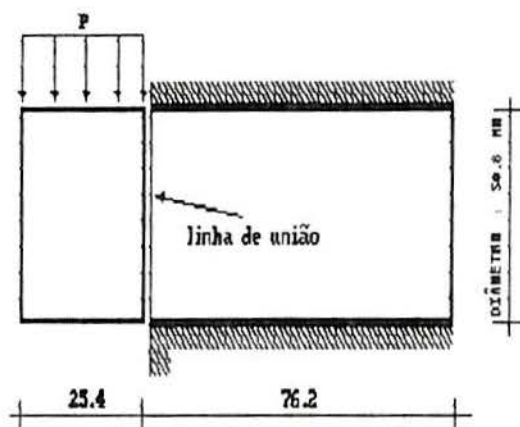


Figura 5.7 - Ensaio ao cisalhamento puro proposto pelo Bureau of Reclamation Engineering Laboratories (KRIEGH e NORDBY<sup>(70)</sup>)

A limitação apresentada quanto aos resultados obtidos por este ensaio é que as extremidades das juntas apresentam uma concentração de tensões, podendo gerar ruptura prematura do corpo de prova. A intensidade das concentrações de tensões depende da espessura do adesivo empregado, conforme verificado por HRANILOVIC<sup>(63)</sup>, tanto em análise teórica, como experimental.

b) ENSAIO DESENVOLVIDO PELO RILEM COMITÊ- TÉCNICO 52 - RA 1986, PROJETO DE RECOMENDAÇÕES ("PUSH-OFF")<sup>(34)</sup>

Este ensaio é empregado apenas para avaliar o comportamento de uniões entre concretos endurecidos.

Inicialmente molda-se corpos de prova prismáticos de dimensões 160 x 290 x 100 mm. Os corpos de prova devem ser



serrados e unidos com ponte de aderência, conforme mostra figura 5.8.

Aplica-se uma carga de compressão na direção longitudinal à ligação dos corpos de prova até a ruptura.

Os diferentes tipos de ruptura que podem ocorrer estão indicados na figura 5.9 (49).

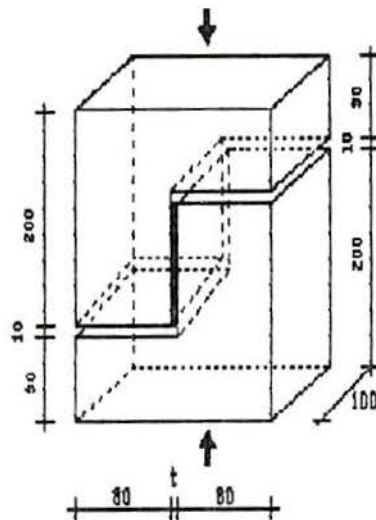


Figura 5.8 - Ensaio de cisalhamento RILEM - Comitê Técnico 52 - RA 1986 (CHUNG<sup>(34)</sup>)

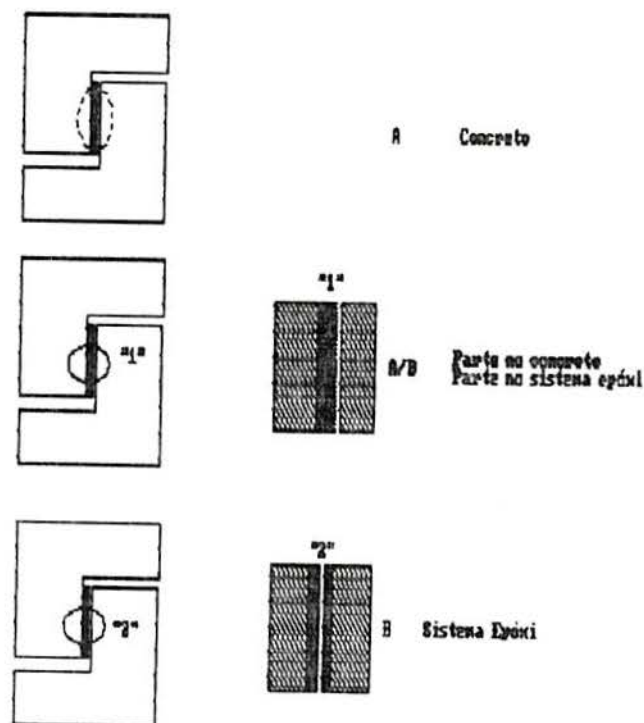


Figura 5.9 - Formas de ruptura passíveis de ocorrer no ensaio proposto pela RILEM (FIGUEIREDO<sup>(49)</sup>)

Segundo CLÍMACO<sup>(35)</sup>, este ensaio tem apresentado bons resultados em corpos de prova de concreto armado. Entretanto em uniões de concretos não armados apresenta o mesmo problema referente as altas concentrações de tensões que o método anterior.

c) ENSAIO DE CISALHAMENTO EM 3 PRISMAS RECOMENDADO PELO CORPS OF ENGINEERS - U.S ARMY, CRD - C 590 (1974) - correspondente a norma "FEDERAL SPECIFICATION MNM G- 650 B"<sup>(100)</sup>

Trata-se de avaliar a resistência ao cisalhamento através da ligação parcial de 3 corpos de prova de concreto de iguais dimensões 120 x 100 x 120 mm, submetidos a uma carga de compressão conforme a figura 5.10.

A aplicação da ponte de aderência é feita sob a superfície seca dos corpos de prova, os quais podem ser ensaiados após 7 dias, tempo este suficiente para a cura da resina. A resistência ao cisalhamento é calculada como a razão entre a carga aplicada e a área das superfícies de união.

Este ensaio é empregado para a avaliação de uniões entre concretos endurecidos .

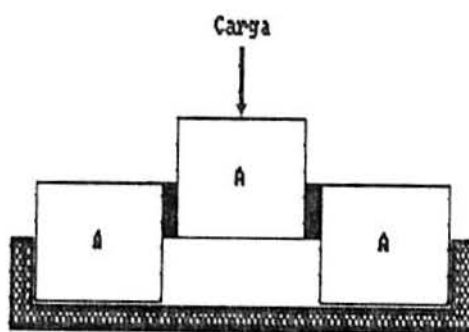


Figura 5.10 - Ensaio de cisalhamento em 3 prismas (HELENE<sup>(59)</sup>)

O maior inconveniente apresentado por este ensaio é o de possuir elevada probabilidade de aparecimento de excentricidades, que mesmo pequenas, originam esforços de tração e flexão que prejudicam a avaliação correta do cisalhamento e a reprodutibilidade dos ensaios.

Com o objetivo de facilitar a montagem da estrutura final e minimizar o aparecimento de excentricidades, empregam-se 3 corpos de prova auxiliares conforme figura 5.11.

As informações obtidas neste ensaio são de grande validade, principalmente em mísulas ou uniões de elementos pré-fabricados, para a verificação da capacidade resistente ao esforço cortante das juntas.

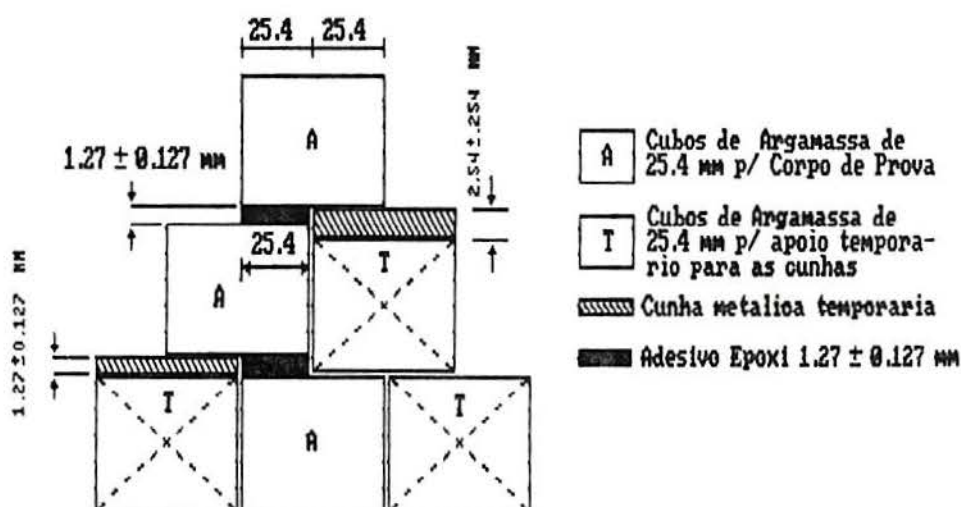


Figura 5.11 - Montagem dos corpos de prova do ensaio de cisalhamento de 3 prismas unidos com adesivo (SCHUTZ, 1968)

#### 5.1.2.2. Ensaio de cisalhamento oblíquo

Dentre todos os métodos existentes, o ensaio de cisalhamento oblíquo é o que, para um número grande de autores<sup>(34,42,46,77,96,101)</sup>, apresenta-se como o mais confiável. A metodologia consiste em avaliar a capacidade de reestabelecimento das características de monoliticidade apresentadas por corpos de prova íntegros. Os espécimes são carregados sob à ação de uma carga de compressão e levados até a ruptura (figura 5.12).

Algumas alterações a este método vem sendo apresentadas com o objetivo de oferecer um número maior de informações.



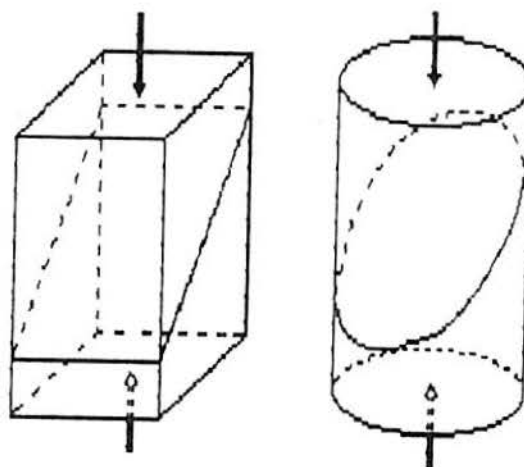


Figura 5.12 - Ensaio de cisalhamento oblíquo

KRIEGH<sup>(69)</sup> em 1976 propôs o ensaio conhecido como "*Arizona Slant Test*". Consistia em avaliar a resistência da junta de um sistema epóxi junto ao concreto através de corpos de prova cilíndricos de 150 x 300 mm de concreto. Os corpos de prova devem ser serrados de maneira a gerar uma junta com inclinação de 30° com a vertical.

ASTM C882-91<sup>(03)</sup> normalizou este ensaio. Os corpos de prova adotados são cilíndricos de argamassa de cimento portland de dimensões 76,2 x 152,4 mm apresentando resistência mínima de 19,3 MPa aos 7 dias. O corpo de prova deve ser serrado em um ângulo de 30° e após reconstituído através de pontes de aderência.

A norma britânica - BS6319 - Part 4: 1984<sup>(21)</sup> preconiza o ensaio. A superfície a ser colada deve ser obtida através de ruptura prévia. A confecção dos espécimes é feita através de placas de concreto de 150 x 150 x 55 mm as quais são ensaiadas à compressão até a ruptura, conforme indicado na figura 5.13.

O corpo de prova deve ser serrado de forma a obter a base com dimensões de 50 mm x 55mm. Desta forma está confeccionado 50 % do corpo de prova, apresentado uma junta com inclinação de 30° com a vertical. O restante do corpo de prova deve ser preenchido com concreto fresco ou endurecido.

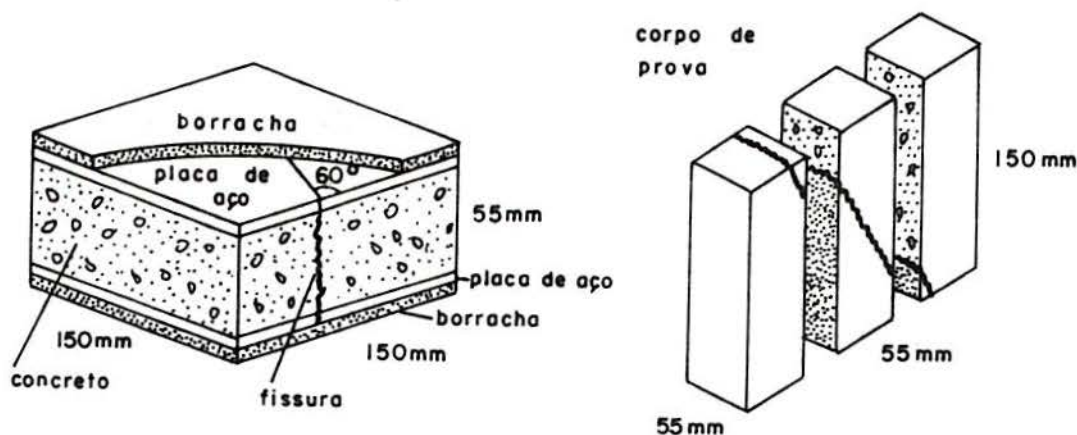


Figura 5.13 - Corte da placa de concreto à ângulo controlado (BS6319 - Part 4: 1984<sup>(21)</sup>)

Conforme CLÍMACO<sup>(35)</sup>, a norma francesa NFP-18-872 adota corpos de prova prismáticos com dimensões de 100 x 100 x 300 mm com ângulo de inclinação da junta de 30°. Na Itália, as dimensões utilizadas são 70 x 70 x 300 mm com inclinação da junta de 73°.

WALL et al<sup>(112)</sup>, em seus ensaios adotaram espécimes de 102 x 102 x 305 mm, aplicando jato de areia nas superfícies a serem unidas. CLÍMACO<sup>(35)</sup> empregou corpos de prova de iguais dimensões, porém com distintos tratamentos superficiais. FRANKE<sup>(51)</sup> ensaiou corpos de prova de argamassa (40 x 40 x 16 mm) com resistência mínima de 86 N/mm<sup>2</sup> e de concreto (100 x 150 x 700 mm) com resistência mínima de 80 N/mm<sup>2</sup>.

EYRE<sup>(46)</sup> acredita ser mais adequado ensaios com superfície sem tratamento superficial de modo a minimizar a variabilidade do ensaio e proporcionar a avaliação mais correta da ponte de aderência, classificando em especial, como excessiva a fratura requerida pelo método preconizado pela norma inglesa para obtenção das áreas superficiais a serem unidas.

### 5.1.3. Ensaio de flexão

Estes ensaios, de forma semelhante ao ensaio de resistência à tração por flexão, consiste em ensaiar vigas de concreto unidas através de pontes de aderência. A junta situa-se na zona de momento constante entre os dois pontos de aplicação de carga. O ângulo de contato entre as duas partes é variável sendo os mais comuns, os ângulos de 30, 45 e 60°<sup>(112)</sup>.

A figura 5.14 ilustra este teste, onde a junta é sujeita a tensões de compressão, tração e cisalhamento.

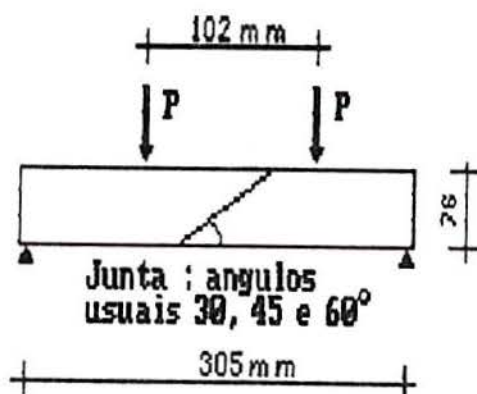


Figura 5.14 - Ensaio de flexão (CLÍMACO<sup>(35)</sup>)

CLÍMACO<sup>(35)</sup> não considera como eficaz este método, pois é muito sensível às discrepâncias geradas pelos diferentes módulos de elasticidade dos distintos materiais e pela baixa resistência à tração do concreto. O autor cita como um aprimoramento deste método, o ensaio apresentado por BASE. A figura 5.15 ilustra este ensaio onde as juntas de uma viga composta por 3 segmentos são sujeitas ao cisalhamento puro. Também é detectado nesta metodologia ruptura por tração próximo as juntas.



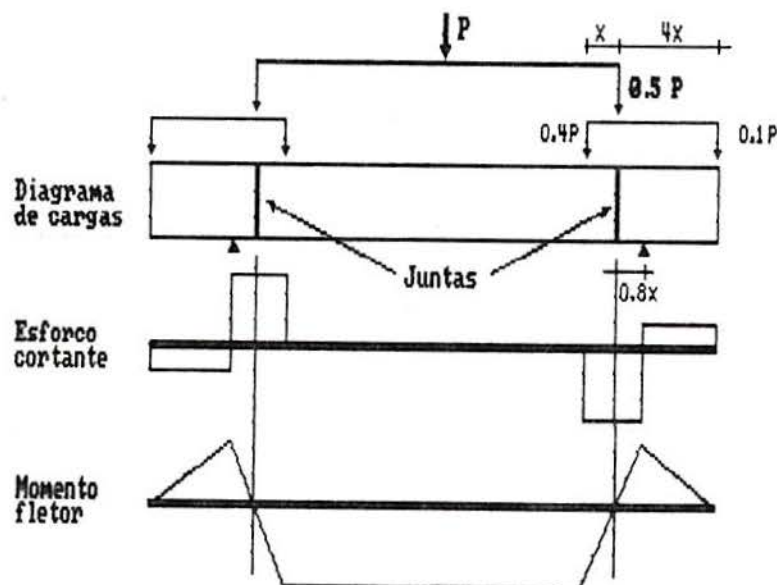


Figura 5.15 - Ensaio de flexão proposto por BASE (CLÍMACO<sup>(35)</sup>)

## 5.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS PONTES DE ADERÊNCIA

Este ensaio consiste em caracterizar e avaliar as propriedades da mistura dos sistemas adesivos enquanto fresca ou endurecida.

Segundo HELENE<sup>(59)</sup>, as informações referentes às propriedades mecânicas das resinas isoladamente não são de grande utilidade, a não ser meramente informativas. Isto porque tais ensaios são efetuados diretamente sobre as formulações, sendo que as mesmas dificilmente trabalharão nas condições a que forem submetidas nos ensaios.

Para EMBERSON and MAYS<sup>(44)</sup>, é de suma validade identificar as características desejáveis para os sistemas de reparos e a obtenção das propriedades físicas e mecânicas relevantes, uma vez que podem propiciar problemas de aderência entre os materiais envolvidos.

### 5.2.1. Tempo de Utilização (*Pot life/ Gel Time*):

A ASTM D1338<sup>(07)</sup> abrange dois procedimentos de obtenção do tempo de utilização, aplicáveis a produtos com tempos relativamente baixos, que basicamente consistem na determinação

do tempo de utilização com base na troca de consistência ou resistência, ou ambos tendo como referência o mínimo tempo de utilização especificado para o adesivo em questão. Normalmente, para este procedimento emprega-se o viscosímetro de Brookfield, obtendo-se como resposta que o tempo de utilização é o tempo no qual a mistura atinge a velocidade de 5 Pa x s à temperatura de 25° C.

Este ensaio pode ser executado na própria estrutura, trabalhando assim com condições termohigrométricas reais da estrutura.

Uma segunda metodologia seria a preconizada pela FIP<sup>(47)</sup> que sugere a determinação do tempo de utilização a partir de amostras de 100 g colocadas em containers isolados.

Os componentes são aquecidos separadamente até o limite superior máximo indicado pelo fabricante; mistura-se os dois componentes durante 3 min até a completa homogenização. Imediatamente conecta-se pares termoelétricos para determinação da temperatura, e aciona-se o cronômetro.

O ensaio estará concluído no momento que a mistura não estiver mais trabalhável. Neste momento os termoelétricos serão lidos, o que corresponderá à temperatura de aproximadamente 40°C para sistemas de médio e rápidas reações e 60°C para formulações com reações lentas.

O tempo de utilização obtido por esta metodologia de ensaio deve ser de no mínimo 20 min. A FIP<sup>(47)</sup> admite como metodologia de ensaio alternativa a adotada pela ASTM D2471 .

A norma britânica, BS-DD88-PO de 1983 segundo TYLLER<sup>(110)</sup>, propõe a determinação do tempo de utilização através do grau de molhamento do sistema em papel filtro absorvente padronizado.

### 5.2.2. Tempo de colagem (*OPEN TIME*)

Para a determinação deste tempo, podem-se empregar ensaios que simulem o comportamento em obra.

Adota-se, segundo a FIP<sup>(47)</sup>, o ensaio de tração por flexão como método de ensaio para esta avaliação de tempo. A metodologia consiste em, após transcorrido 10 min da mistura dos componentes do adesivo, aplicá-lo nas superfícies do concreto a serem unidas e mantê-los pressionados de modo a confeccionarem os corpos de prova de ensaio, durante um determinado espaço e uma dada frequência de tempo.

Se a ruptura dos corpos de prova ao serem ensaiados ocorrer no concreto é um indicativo que o adesivo foi aplicado dentro do tempo de colagem; no caso da ruptura ocorrer na interface verifica-se que o adesivo foi empregado fora do tempo de colagem.

A FIP<sup>(47)</sup> recomenda que este tempo não seja menor que 60min no limite superior de temperatura especificado pelo fabricante.

### 5.2.3. Tempo de estocagem

Produtos que já estiverem estocados por um período de tempo superior a três meses devem sofrer uma avaliação para averiguar a existência de início de cristalização. Em caso afirmativo, deve-se colocar o recipiente que armazena os componentes em água quente à temperatura de 70° durante aproximadamente 3h, mexendo durante 20 min até dissolução dos cristais brancos. No caso destes não se dissolverem o adesivo não pode ser empregado.

Esta verificação deve ser sempre efetuada alguns dias antes da utilização do produto, assim como o tempo de utilização, tixotropia e velocidade de cura.

ASTM D-1337<sup>(06)</sup> propõe a avaliação do tempo de estocagem através da avaliação da viscosidade, ou resistência da junta ou ainda ambos; esta verificação deve ser realizada antes e depois de algum período de estocagem.



#### 5.2.4. Resistência à umidade

O adesivo deve ser formulado para minimizar o transporte de umidade . O ensaio consiste em secar um corpo de prova de 40 x 40 x 160 mm e após submergí-lo em água durante 28 dias. A absorção d'água será obtida pela relação do peso úmido com o seco.

MAYS e HUCHINSON<sup>(74)</sup> sugerem, para o ensaio desta propriedade, a adoção de um filme de aproximadamente 1mm de espessura e peso mínimo de 3 g. O conteúdo de água em equilíbrio não deve exceder 3 % do peso depois de imerso em água destilada à temperatura de 20°C. A permeabilidade não deve exceder  $5,0 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s à temperatura de 20°C. A ASTM D570-77<sup>(11)</sup> apresenta a metodologia de ensaio.

#### 5.2.5 Resistência à compressão

A ASTM D695-91<sup>(10)</sup> propõe metodologia de ensaio; amostras de dimensões 12,7 mm de diâmetro x 25,4 mm de altura são confeccionadas e submetidas a esforços de compressão. A BS 6319: Part 2, segundo TYLLER<sup>(110)</sup>, adota corpos de prova cúbicos de 40 mm de lado ao invés de cilíndricos .

A FIP<sup>(47)</sup> recomenda que a resistência à compressão de corpos de prova curados por 24h no limite mínimo de temperatura de aplicação deva ser 60 MPa e 75 MPa para 7 dias.

A confecção dos corpos de prova requer que cuidados devam ser tomados quanto ao que se refere à confecção dos corpos de prova, para evitar-se a formação de bolhas de ar<sup>(59)</sup>.

#### 5.2.6 Resistência à tração

Conforme TYLLER<sup>(110)</sup> a norma britânica BS 6319 : Part 7 sugere a adoção de corpos de prova de dimensões e forma aos adotados para ensaios à tração de argamassas propostos pela ASTM C 190, como pode ser visto na figura 5.16.a

ASTM D638-91<sup>(09)</sup> sugere a adoção de corpos de prova com formato conforme figura 5.16.b.

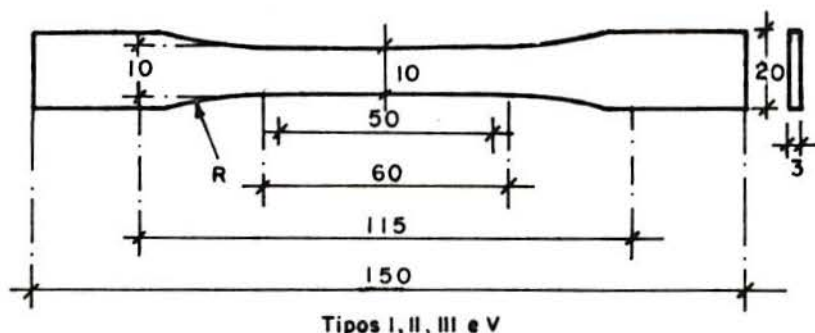


FIGURA 5.16 - Resistência à tração de pontes de aderência

Segundo HELENE<sup>(59)</sup>, resultados fornecidos em MPa nem sempre são indicativos da resistência à tração uma vez que em obra, outros fatores são de relevância quanto à aderência, tais como: procedimento de preparação superficial, condições de aplicação, cura e meio ambiente.

MAYS e HUTCHINSON<sup>(74)</sup>, propõem que o adesivo possua resistência à tração de no mínimo 12 MPa.

ASTM 1002-91<sup>(12)</sup> preconiza um ensaio em corpos de prova metálicos unidos com material a ser testado conforme indicado na figura 5.17. A resistência se dará através da média das cargas de ruptura dividida pela média das áreas de colagem.

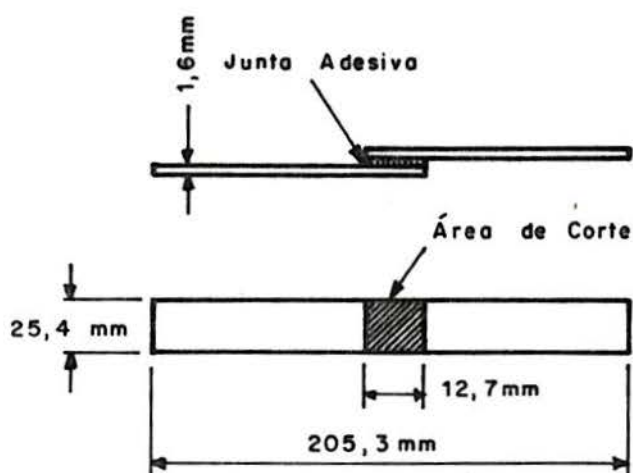


FIGURA 5.17 -- Ensaio de resistência ao cisalhamento (ASTM 1002<sup>(12)</sup>)

### 5.2.7. Resistência ao cisalhamento

Lark, conforme MAYS e HUTCHINSON<sup>(74)</sup>, sugere que corpos de prova devam ser testados conforme figura 5.18. A resistência ao cisalhamento será obtida através da carga de ruptura do ensaio, devendo ser, segundo MAYS, de 12 MPa à temperatura de 20° C.

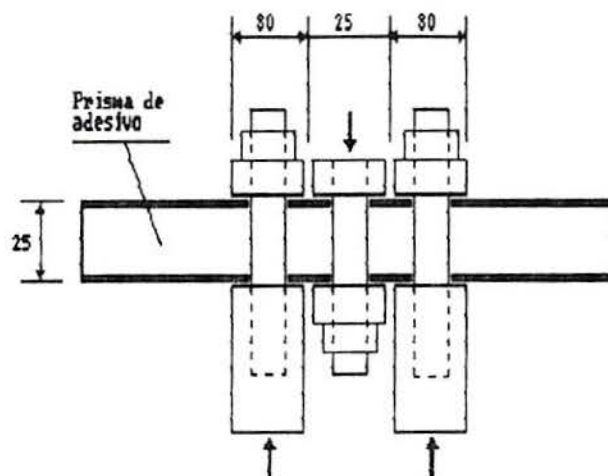


FIGURA 5.18 - Ensaio ao cisalhamento proposto por Lark ( MAYS e HUTCHINSON<sup>(74)</sup>)

A figura 5.19 ilustra o ensaio desenvolvido pela UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL com objetivo de avaliar o comportamento dos produtos quanto a esforços cisalhantes, onde o aderente não se restringe apenas a superfícies metálicas, mas também ao concreto<sup>(27)</sup>. Metodologia de ensaio semelhante foi adotada por BURKHARDT et al.<sup>(26)</sup> em corpos de prova de argamassa.

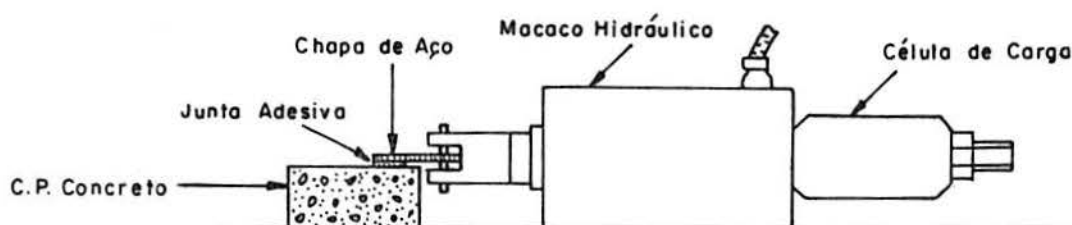


FIGURA 5.19 - Ensaio de cisalhamento misto (CAMPAGNOLO<sup>(27)</sup>)



### 5.2.8. Resistência à flexão

A resistência à flexão pode ser obtida através de ensaios de corpos de prova prismáticos apoiados em 3 ou 4 pontos. A norma britânica BS6319: part 3 recomenda a adoção de espécimes de dimensões 25 x 25 x 100 mm <sup>(110)</sup> e a ASTM D790-78<sup>(08)</sup> 12 x 25 x 200mm.

### 5.2.9. Módulo de elasticidade

Para a determinação desta propriedade a ASTM D695-91<sup>(10)</sup> adota a mesma metodologia empregada para a determinação da resistência à compressão, registrando apenas a deformação sob a ação de diferentes níveis de cargas.

A BS 6319 : Part 6, conforme TYLLER<sup>(110)</sup>, emprega corpos de prova de dimensões inferiores ao utilizados para os de concreto convencional. São usados cps de 40 x 40 x 160 mm, sendo medida a deformação longitudinal para a determinação do módulo. A FIP<sup>(47)</sup> emprega a mesma metodologia da norma acima referida. Os espécimes são colocados sob tensões de 0 a 10 MPa em 5 min ou 0 a 20 MPa em 10 min. Quando as tensões máximas, ou seja, 10 ou 20 MPa forem alcançadas deve-se mantê-la durante um período de uma hora. Conceitua-se o módulo de compressão instantâneo  $E_i$  (Figura 5.20) como sendo a reta desde a tensão zero ao limite de proporcionalidade. Por sua vez fica definido como módulo à compressão a razão entre a carga máxima e deformação total obtida desde o início do ensaio. São recomendados valores não menores que 8000 e 6000 MPa respectivamente, para o módulo instantâneo e módulo à compressão.

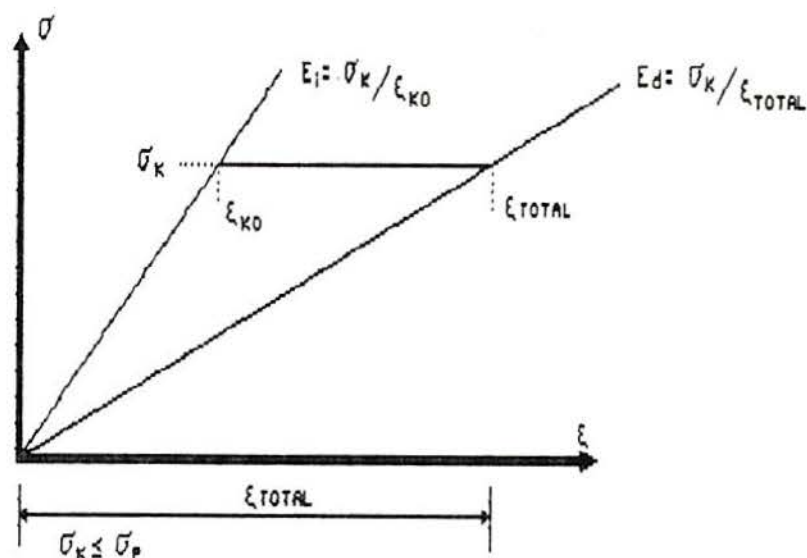


FIGURA 5.20 - Módulo de compressão instantânea (FIP<sup>(47)</sup>)

#### 5.2.10. Módulo de deformação à flexão

Adotam-se corpos de prova de dimensões 200 x 25 x 12mm apoiados em 4 pontos. O ensaio é semelhante ao de resistência à flexão. Calcula-se o módulo secante com base na curva deflexão x carga a 0,2 % de deformação.

O módulo à flexão não deve ser inferior a 2000 MPa à temperatura de 20° C. Este requisito visa fornecer informações da ponte de aderência quanto a fluência.

Segundo EMBERSON e MAYS<sup>(44)</sup>, quanto maior o módulo de deformação à flexão do adesivo, mais sensível serão às concentrações de tensões devido à incompatibilidade de deformação.

#### 5.2.11. Coeficiente de Poisson

A medida do coeficiente de poisson é feita monitorando o corpo de prova através da fixação de "strain-gage" de forma a medir a deformação lateral e longitudinal.

EMBERSON and MAYS<sup>(44)</sup>, para a obtenção do coeficiente de Poisson, realizaram ensaios em corpos de prova indicados pela norma britânica, conforme mostra a figura 5.21. Os resultados

obtidos para diferentes produtos indicaram valores semelhantes ao do concreto. A influência do coeficiente de Poisson pode ser observada no desenvolvimento de zonas de concentração de tensões nas superfícies adjacentes à interface transversal e no concreto adjacente ao local de aplicação da ponte do reparo.

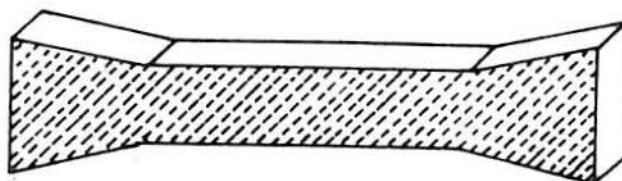


Figura 5.21 - Corpo de prova empregado para a determinação do coeficiente de poisson (EMBERSON e MAYS<sup>(44)</sup>)

#### 5.2.12. Resistência à temperatura

Pontes de aderência à base de epóxi devem apresentar temperaturas de deflexão ao calor de no mínimo 40° C .

ASTM D648 normaliza este ensaio. Consiste em um mecanismo idêntico ao de resistência à flexão . A Temperatura de deflexão ao calor (*HDT - Heat deflection Temperature*) é a temperatura obtida a partir de um corpo sujeito a uma deformação de 0,25 mm e submetida a taxa de calor de 0,5° C por min.

Posteriormente à escolha do produto, com base nos critérios de desempenho mínimo, obtidos nos ensaios de desempenho e determinação das suas características relevantes, com o auxílio dos ensaios de caracterização, ensaios de controle devem ser realizados quando do recebimento destes produtos em obra para a aceitação ou rejeição dos mesmos.

Normalmente, são ensaios expeditos realizados sobre os componentes dos adesivos, resinas e endurecedores; em geral são analisados aspectos referentes aos teores de epóxi ( no caso de sistemas epóxi), carga mineral e voláteis, viscosidade, espectrometria infravermelha e aspecto; em relação aos



endurecedores, teores de carga mineral e voláteis, espectrometria infra-vermelha e massa específica.

### 5.3. ENSAIOS DE ACOMPANHAMENTO

Estes ensaios dizem respeito ao acompanhamento dos trabalhos de recuperação e liberação de uma etapa para o início da outra<sup>(49)</sup>. São realizados no canteiro de obra sempre em situações onde detecta-se a existência de variações significativas das condições termohigrométricas; tratam-se tanto de ensaios de caracterização ou desempenho já realizados anteriormente. A partir de resultados obtidos em serviço é possível estabelecer uma correlação com os resultantes de ensaios realizados em laboratório.

HELENE<sup>(59)</sup>, exemplifica a importância deste tipo de ensaio, em uniões entre aduelas, onde a liberação do cimbramento de compressão entre as aduelas de uma ponte em balanços sucessivos só é efetuada no momento que 5 corpos de prova prismáticos 20 x 20 x 80 mm alcançarem a resistência mínima à tração por flexão de 20 MPa. O ensaio deve ser sempre realizado próximo ao local de colagem, de maneira a proporcionar experimentalmente a comprovação de quando a resina pode ser colocada em uso.

## 6. ANALISE DO ENSAIO DE CISALHAMENTO OBLÍQUO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ADESIVOS

### 6.1. INTRODUÇÃO

A utilização de pontes de aderência na união de concretos tem por objetivo melhorar a aderência entre as partes a serem unidas e garantir a monoliticidade, nos casos de união de concreto endurecido com concreto fresco, e de agir como elo de ligação na união de peças de concreto endurecido.

Uma ponte de aderência só poderá ser considerada efetiva como elo de ligação, para um determinado material a ser unido, se apresentar resistência superior à do material do substrato nos mais diversos estados de tensões a que o mesmo possa ser submetido. Esta condição deverá ser satisfeita não somente pela ponte de aderência, mas pelo conjunto ponte de aderência-substrato, o qual será denominado de junta.

Um ensaio para avaliação do desempenho de uniões entre concretos endurecidos ou concreto fresco e concreto endurecido deverá permitir a avaliação do comportamento da junta segundo diferentes estados de tensões, além de não ser demasiadamente complexo e de não exigir um número elevado de equipamentos laboratoriais específicos, a fim de permitir sua reprodutibilidade e difusão por um grande número de centros de ensaio de concreto atualmente existentes no país.

Dos ensaios descritos na literatura e os recomendados pelas normas internacionais, expostos no capítulo anterior, o ensaio de cisalhamento oblíquo (*slant shear test*) parece ser o que melhor contempla os requisitos de poder reproduzir uma gama razoável de estados de tensão na junta, simplicidade de

execução e adequação ao equipamentos geralmente disponíveis nos laboratórios existentes. Apesar deste tipo de ensaio possibilitar somente combinações de tensões normais de compressão e tensões de cisalhamento, não reproduzindo estados de tensão normal de tração na junta, esta limitação não afeta sua aplicabilidade na avaliação de juntas de concreto-epóxi, visto que os projetos das estruturas de concreto armado desprezam totalmente a resistência do concreto à tração.

Conforme abordado no capítulo 5, o ensaio de cisalhamento oblíquo consiste em unir duas partes de um prisma seccionado ao longo de um plano oblíquo ao seu eixo longitudinal com uma ponte de aderência qualquer que garanta a união efetiva das partes, e submeter o prisma reconstituído a um esforço normal de compressão ao longo de seu eixo longitudinal, conforme figura 6.1.

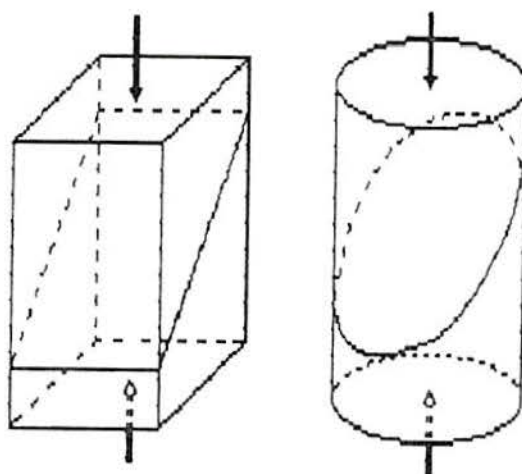


Figura 6.1 - Ensaio de cisalhamento oblíquo

## 6.2. ANÁLISE DE TENSÕES

Localizando-se a junta em uma região suficientemente afastada dos pontos de aplicação das cargas, pode-se considerar válido o princípio de Saint-Venant, que consiste em que a distribuição de tensões normais de compressão será uniforme e não existirão tensões de cisalhamento ao longo das seções



transversais<sup>(18)</sup>. Ao variar-se o ângulo de inclinação da junta, obtém-se ao longo do plano de união, distribuições uniformes de tensão normal e tangencial à superfície, conforme figura 6.2, dadas pelas expressões:

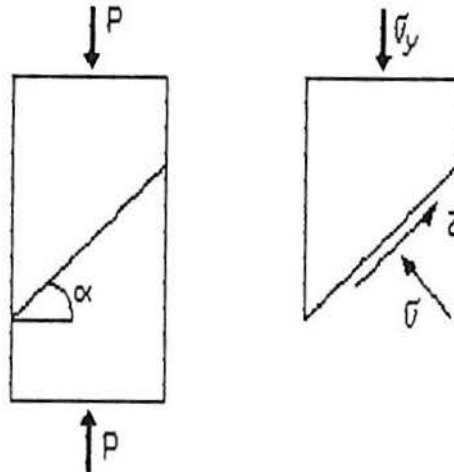


Figura 6.2 - Combinações de tensões

$$\sigma = f_c \cos^2 \alpha \quad (6.1)$$

$$\tau = f_c \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha \quad (6.2)$$

onde  $f_c$  é a tensão de compressão aplicada nas faces inferior e superior do prisma e  $\alpha$  é o ângulo que o plano de união faz com um plano transversal (plano normal ao eixo longitudinal do prisma, segundo o qual a carga é aplicada).

A maioria dos estudos sobre o assunto<sup>(28,35,51,54,56,111)</sup> admite uma envoltória de ruptura para o concreto do tipo MOHR-COULOMB.

Esta envoltória baseia-se na teoria proposta por COULOMB, que atribui o colapso de um dado material ao deslizamento, que ocorrerá em qualquer estado de tensão quando o máximo valor em módulo da tensão de cisalhamento para aquele estado de tensão atingir um valor crítico<sup>(116)</sup>. A teoria de MOHR - COULOMB, acrescenta à teoria acima, a ruptura devido à separação do material.

Segundo esta teoria, o concreto sob o estado múltiplo de tensões, apresenta dois tipos distintos de ruptura: ruptura por separação e por deslizamento. Segundo CARNEIRO<sup>(29)</sup>, no primeiro caso, a superfície de ruptura é bastante nítida coincidindo com a direção de maior tensão principal de tração. Na ruptura por deslizamento, verifica-se a desagregação do material ao longo de uma faixa que acompanha a superfície média de deslizamento<sup>(29)</sup>.

As tensões geradas podem ser representadas através do método gráfico conhecido como CÍRCULO DE MOHR para o estado plano de tensões, onde cada ponto do círculo corresponde a um par de tensões normais e cisalhantes.

A envoltória de ruptura, obtida é uma função do tipo circular-retilínea que tangencia os círculos de Mohr correspondentes à tração simples e compressão simples no gráfico  $\tau \times \sigma$ , conforme Figura 6.3<sup>(56)</sup>. Os trechos retos da envoltória correspondem à teoria do atrito; a parte curva à ruptura por separação

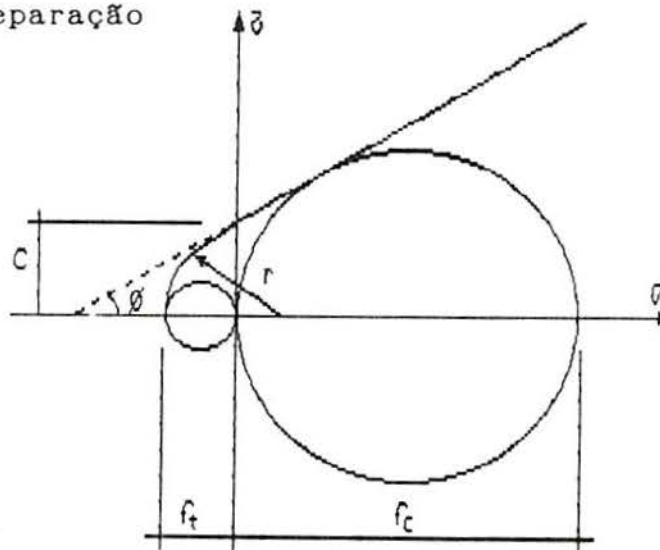


Figura 6.3 - Envoltória de ruptura do concreto íntegro (GUBERMAN<sup>(56)</sup>)

O trecho retilíneo da envoltória pode ser expresso pelas equações

$$\tau = c + \mu \sigma \quad (6.3)$$

$$\mu = \tan (\phi) \quad (6.4)$$

onde  $c$  é o coeficiente de coesão do material,  $\mu$  é o ângulo de atrito interno do material,  $\sigma$  e  $\tau$  são as tensões normal e tangencial, respectivamente, em uma dada seção do material. Segundo CAMPOS<sup>(28)</sup>, os coeficientes  $c$  e  $\varphi$  das equações (6.3) e (6.4) e o parâmetro  $r$  da figura 6.3 podem ser obtidos exclusivamente em função das tensões limites à tração ( $f_t$ ) e à compressão ( $f_c$ ) do concreto:

$$c = \sqrt{\frac{f_c \cdot f_t}{2}} \quad (6.5)$$

$$\varphi = \text{arc sen} \left[ \frac{f_c - 2f_t}{f_c + 2f_t} \right] \quad (6.6)$$

$$r = \left[ (f_c + 2f_t)/4 \right] \quad (6.7)$$

Em estados uniaxiais de tensão, tais como os existentes em corpos de prova submetidos a esforços normais de compressão, a tensão normal máxima de compressão está limitada à tensão de ruptura à compressão simples, passando a envoltória de ruptura a ser limitada pelo trecho circular correspondente ao círculo de Mohr do ensaio de compressão simples, conforme figura 6.4

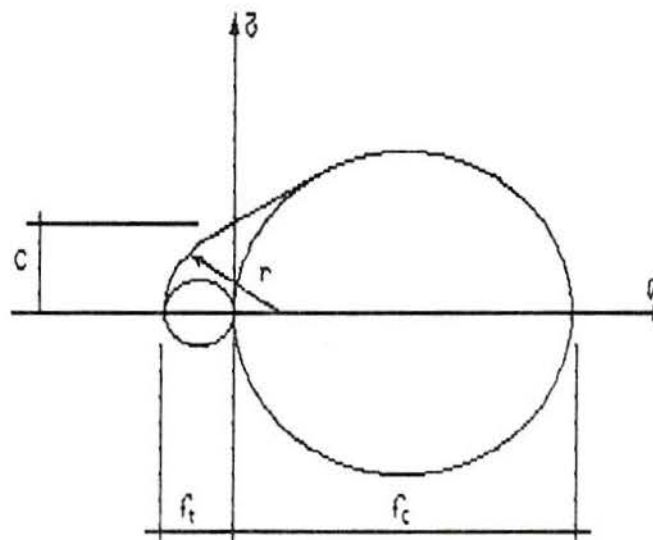


Figura 6.4 - Envoltória de ruptura do concreto limitada à compressão (CAMPOS<sup>(28)</sup>)

No caso de um corpo com possível plano de fraqueza, tal como juntas de união entre pontes de aderência - concreto, a



envoltória de ruptura também é considerada como sendo do tipo Coulomb, onde o coeficiente de atrito  $\mu$  e a coesão são governados pela rugosidade das superfícies de concreto e afetado pela material de união (ponte de aderência).

Conforme CLÍMACO, a resistência à compressão, governada pelo plano de fraqueza, é obtida substituindo-se (6.1) e a (6.2) em (6.3), resultando

$$f_c = \frac{c (1 + \tan^2 \alpha)}{\tan \alpha - \mu} \quad (6.8)$$

O ângulo crítico para o plano de fraqueza é aquele correspondente à uma resistência a compressão mínima. Considerando  $c$  constante em relação à  $\alpha$  e derivando-se a expressão (6.8) com relação à  $\alpha$ , obtém-se

$$\alpha_{crit} = \tan^{-1} \left[ \mu + \sqrt{\mu^2 + 1} \right] \quad (6.9)$$

$$f_{cmin} = \frac{c \left[ 1 + \left[ \mu + \sqrt{\mu^2 + 1} \right] \right]}{\sqrt{\mu^2 + 1}} \quad (6.10)$$

Regan, conforme CLÍMACO, apresenta valores médios para os coeficientes  $c$  e  $\mu$  e os correspondentes  $\alpha_{crit}$  e  $f_{cmin}$  para superfícies de substrato lisas, medianamente rugosas e rugosas, conforme tabela 6.1. CLÍMACO<sup>(35)</sup> apresenta o gráfico da figura 6.5, onde a equação (6.10) é graficada em função de  $\alpha$  para diversos coeficientes de atrito  $m$ . Nesta figura vê-se que os ângulos críticos de junta situam-se na faixa entre 55° e 70°.

Tabela 6.1 - Valores críticos do ângulo da junta e resistência mínima à compressão de prismas compostos

Interface	c	$\mu$	$\alpha_{crit}$	$f_{cmin}$
Áspera	$0,25f_{cc}^{2/3}$	1,4	$72,2^\circ$	$1,56f_{cc}^{2/3}$
Média	$0,25f_{cc}^{2/3}$	0,9	$66,3^\circ$	$1,12f_{cc}^{2/3}$
Lisa	0,5 MPa	0,7	$62,5^\circ$	$1,92f_{cc}^{2/3}$

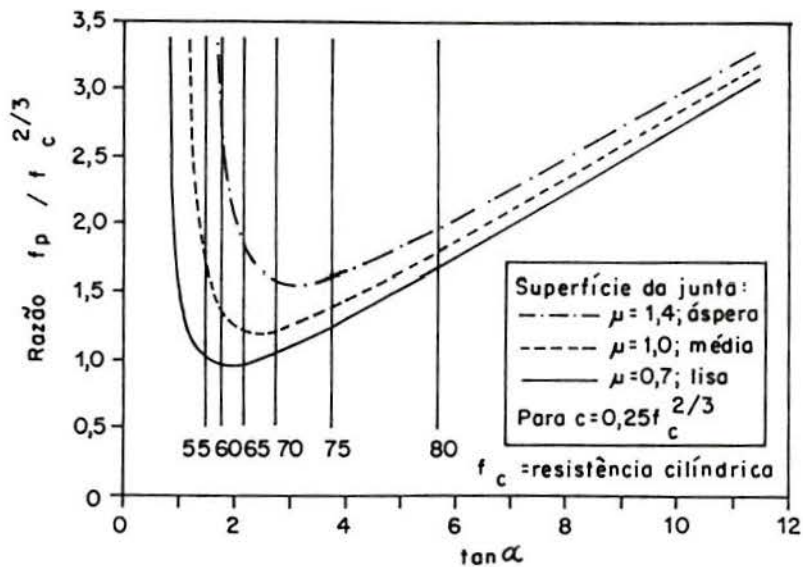


Figura 6.5 - Resistências mínimas em função do ângulo da junta (CLÍMACO<sup>(35)</sup>)

FRANKE<sup>(51)</sup> obtém em seus ensaios um ângulo crítico de  $63,3^\circ$ , tendo adotado, por simplicidade, o ângulo de  $60^\circ$ .

### 6.3. TIPOS DE RUPTURA

Em um ensaio de cisalhamento oblíquo, duas situações de ruptura poderão ocorrer, conforme a resistência da ponte de aderência aos mais variados estados de tensão seja maior ou menor que a resistência do concreto:

### 6.3.1. Resistência da junta é superior à do concreto

Neste caso, a envoltória correspondente a uma ruptura no plano da junta é superior à correspondente ao corpo de prova íntegro para todos os estados de tensões. O conjunto ponte de aderência-concreto, sendo mais resistente que o próprio concreto no entorno da junta, age não como um plano de fraqueza, mas como um reforço, garantindo um possível confinamento lateral ao concreto e, quando posicionada sobre o plano de fraqueza natural do concreto íntegro, forçando a um modo de ruptura diferente, ou seja, sob maior tensão.

A figura 6.6(a) ilustra este tipo de ruptura:

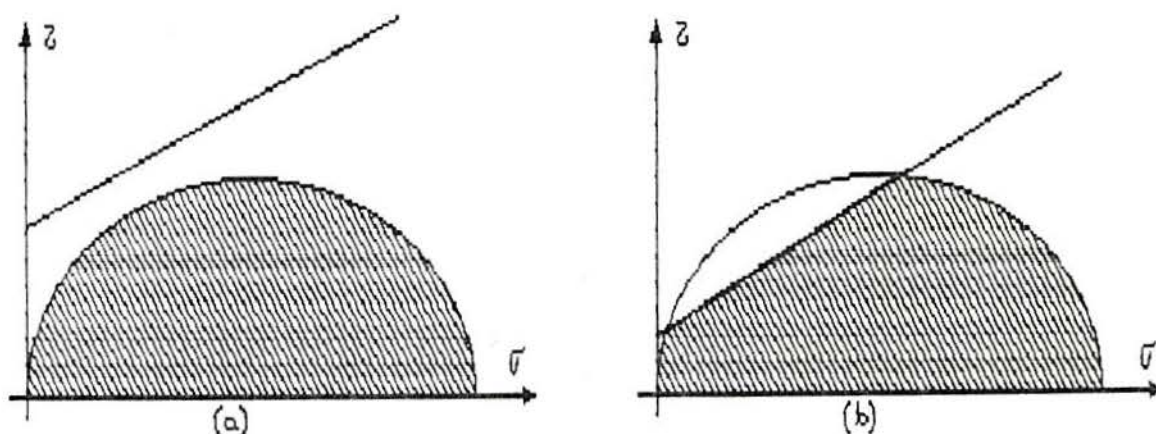


Figura 6.6 (a) e (b) - Modos de ruptura do ensaio de cisalhamento oblíquo

### 6.3.2. Resistência da junta inferior à do concreto

Neste caso a envoltória de ruptura da junta é inferior à do concreto, levando à ruptura em níveis inferiores de tensão suportados pelo concreto íntegro, dependendo da inclinação da junta, conforme mostra a figura 6.6(b). A ponte de aderência não deve ser considerada adequada à união do concreto, uma vez que não garante monoliticidade com mesma resistência do concreto íntegro.

EYRE<sup>(46)</sup> apresenta uma série de envoltórias de ruptura para uniões entre concretos com diferentes materiais de reparo para ensaios realizados por diversos autores. Estas envoltórias apresentam trechos lineares correspondentes à equação (6.10) para falha ao longo da junta. Nestes casos, a junta realmente funcionou como plano de fraqueza, uma vez que o substrato



apresentava elevada resistência (concretos de alta resistência), recaindo no caso exposto no item 6.3.2.

Como a ruptura ocorre por falha da junta e não no substrato é possível, através de ensaios com diferentes inclinações de juntas, estabelecer os coeficientes  $\mu$  e  $c$  da envoltória de ruptura da junta, e conseqüentemente a tensão mínima que pode levar à ruptura, correspondente a uma inclinação crítica.

A figura 6.7 ilustra os diferentes ângulos críticos de ruptura para distintos materiais de reparo.

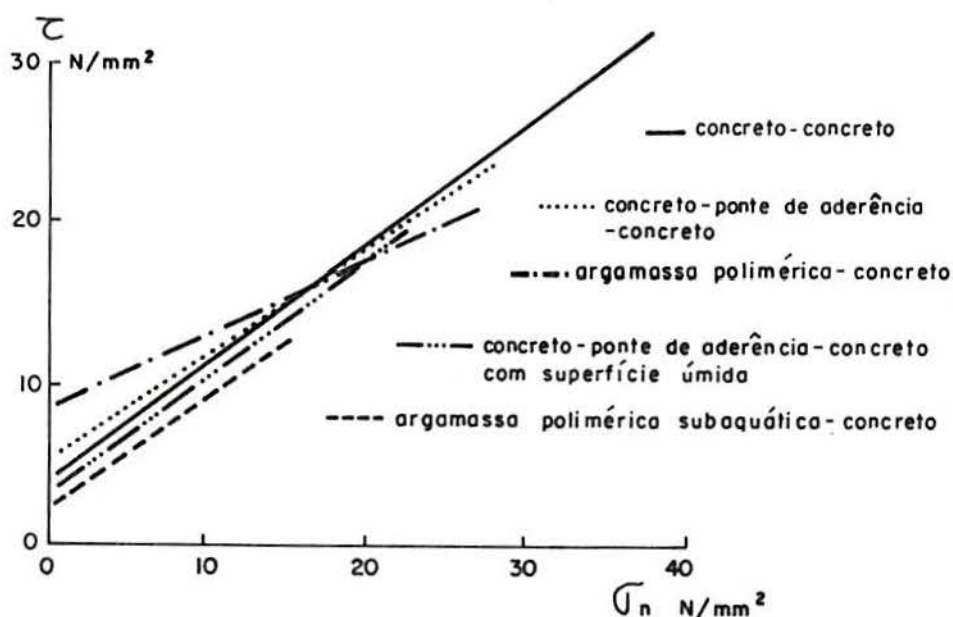


Figura 6.7 - Critérios de ruptura para distintos materiais de reparo (EYRE<sup>(46)</sup>)

Uma proposta para aceitação ou caracterização da ponte de aderência empregada é a comparação da resistência à compressão do concreto monolítico com a tensão mínima de ruptura da junta, de modo que a aceitação se dará sempre que  $f_c$  for menor que  $f_{cmin}$ . O que significa que a junta deve ter resistência igual ou superior ao concreto monolítico para qualquer estado de tensões.

Neste caso a ponte de aderência nunca será adequada para a utilização com os concretos utilizados nos ensaios, pois a obtenção dos parâmetros  $\mu$  e  $c$  só é possível se a junta for

o plano de fraqueza e, conseqüentemente, menos resistente que o substrato para o qual deveria garantir a monoliticidade.

Para concretos de resistências mais baixas, a falha pode ocorrer tanto no substrato quanto na junta, dependendo do estado de tensões a que a mesma estará submetida. A obtenção da envoltória de ruptura fica condicionada, desta forma, a ensaios varrendo uma gama muito grande de inclinações e, conseqüentemente, um número excessivo de corpos de prova sem que haja a garantia da existência de um trecho linear correspondente à falha na junta.

Quando utilizam-se concretos de resistências mais baixas, torna-se na prática bastante oneroso a obtenção da envoltória de ruptura do conjunto ponte de aderência/ concreto, de maneira que  $f_{cm1n}$ ,  $\alpha_{crit}$ ,  $\mu$  e  $c$ , não podem ser obtidos em geral com um número reduzido de ensaios.

Além disso, quanto mais baixa for a resistência do concreto, maior será a variação de combinação de diversos fatores tais como porosidade, fator a/c, granulometria, tipo de agregado, cimento empregado, etc. de forma que a utilização dos dados obtidos para resistências mais altas pode não ser confiável.

#### 6.4. DETERMINAÇÃO DA FORMA DO ENSAIO DE CISALHAMENTO OBLÍQUO

Para a determinação a realização do ensaio de cisalhamento oblíquo quatro principais fatores devem ser analisados: o tipo de substrato, o tratamento das superfícies a serem unidas, a forma do corpo de prova e a inclinação da junta.

##### 6.4.1. Tipo de substrato

Inúmeros trabalhos sobre ensaios de cisalhamento oblíquo já foram realizados com os mais diversos tipos de substrato para a avaliação de pontes de aderência na união de concretos.

CLÍMACO<sup>(35)</sup> e FRANKE<sup>(51)</sup> utilizam concretos de alta resistência como substrato nos ensaios de avaliação de



desempenho de juntas epóxi para garantir que a ruptura ocorra sempre na junta, e não em regiões do corpo de prova de concreto. Desta forma é possível a determinação da envoltória de MOHR-COULOMB referente à resistência da junta.

CAMPOS<sup>(28)</sup> e EYRE<sup>(46)</sup> empregam corpos de prova de argamassa, partindo do pressuposto de que, em concretos de alta resistência, a pasta de cimento é a grande responsável pela resistência total do concreto, superando a resistência do agregado. Objetivando, da mesma forma, forçar a ruptura na junta argamassa-ponte de aderência.

Contudo, é importante considerar que os concretos usuais em obras correntes no país apenas recentemente superam a resistência de 20 MPa. A resistência do concreto está intimamente ligada à relação água-cimento, dependendo a porosidade do concreto da quantidade de água empregada. Para a determinação da adequabilidade de uma determinada ponte de aderência para garantir a união de concretos usuais, deve-se realizar um ensaio com o próprio substrato que o produto deverá unir, visto que ensaios em substratos de concretos de alta resistência e/ou argamassas não reproduzem as características de resistência, porosidade superficial e tipo de agregado do material a ser colado. Desta forma, verifica-se que o ensaio deverá ser feito tanto com as pontes de aderência a serem utilizadas como com o tipo de concreto a ser unido, e não um substrato diferente. Só assim estarão excluídas possíveis variações de comportamento entre o concreto utilizado e argamassas ou concretos de resistência superior.

Este tipo de consideração para fins de ensaio não garante que a ruptura do corpo de prova estará relacionada com falha da junta. Entretanto, o objetivo do ensaio será garantir que concretos unidos com uma determinada ponte de aderência apresente resistência igual ou superior ao apresentado pelo concreto monolítico. Se os produtos testados apresentarem resistência superior à do substrato, a ruptura ocorrerá no concreto. Neste caso, outros parâmetros podem auxiliar para a escolha do produto mais adequado, tais como tempo de utilização, viscosidade e outros.



#### 6.4.2. Tratamento superficial

O ensaio para a avaliação do desempenho de pontes de aderência de uniões entre concretos deve apresentar fácil reprodutibilidade, pequena dispersão de resultados e reprodução o mais fielmente possível das condições nas quais o adesivo será empregado em obra.

Alguns trabalhos<sup>(108,28)</sup> sugerem que as partes componentes do prisma que formará o corpo de prova sejam moldadas individualmente, através da colocação de um anteparo de plástico, madeira ou material metálico com a inclinação indicada para o ensaio. O tipo de superfície gerada por este sistema de moldagem, apesar da fácil reprodutibilidade, constitui-se apenas de pasta de cimento, de modo que a ponte de aderência nunca entrará em contato com o agregado graúdo. Conforme exposto no capítulo 4, os métodos de preparo superficial devem ser tais, que a camada superficial seja removida até que o agregado graúdo seja exposto, o que melhora consideravelmente a eficiência da união. Esta metodologia seria representativa apenas nos casos de união concreto endurecido-concreto endurecido, como por exemplo estruturas pré-moldadas.

Outros autores<sup>(51,69)</sup> sugerem que a superfície a ser unida deva receber um tratamento superficial de forma a reproduzir a rugosidade normalmente obtida em casos de reparo; a escarificação da superfície deve ser tal que exponha o agregado, podendo ser obtida através de jato de areia ou de granilha metálica, como pela utilização de marteletes pneumáticos ou talhadeiras. Segundo Clímaco<sup>(34)</sup> o tipo de superfície obtida tem pouca influência nos resultados finais desde que seja removida a camada superficial até a exposição dos agregados. Este tipo de tratamento superficial traz alguns inconvenientes quanto à reprodutibilidade entre diversos ensaios, além de ser consideravelmente oneroso (jato de areia) ou trabalhoso (marteleto ou talhadeira).

Com base no exposto anteriormente, acredita-se ser mais adequado adotar-se superfícies obtidas pela moldagem de um corpo de prova íntegro e seu posterior corte com serra adiamantada na inclinação desejada, visto ser de relativamente

fácil execução, ter reprodutibilidade garantida e expor o agregado graúdo à ponte de aderência, e não somente a argamassa ou nata de cimento. Este processo apresenta a desvantagem de não reproduzir o tipo de tratamento superficial que será empregado em condições reais.

Diversos estudos<sup>(88)</sup> tem demonstrado que superfícies com pequena rugosidade resultam em uma junta de menor resistência, de modo que os resultados obtidos são conservativos e a favor da segurança.

#### 6.4.3. Dimensões do corpo de prova

Conforme exposto anteriormente, a junta deve estar afastada do ponto de aplicação da carga de compressão para que a distribuição de tensões seja dada pelas equações (6.1) e (6.2). Para tanto, é necessário que o comprimento dos corpos de prova empregados seja bem maior que as dimensões da seção transversal, minimizando também o efeito de confinamento dos pratos da prensa.

Pequenas dimensões de corpos de prova implicam em seções transversais de dimensões também reduzidas; isto pode vir a prejudicar a reprodução de concretos de igual resistência e características semelhantes às das peças a serem unidas ou recuperadas, visto que o tamanho máximo do agregado graúdo fica restrito.

É importante ressaltar que uma nova metodologia de avaliação deve se adequar, o máximo possível, às condições já existentes nos laboratórios atualmente existentes nacionalmente, de forma a empregar o material disponível, sem a necessidade de custos extras.

Nos ensaios realizados foram executados corpos de prova cilíndricos de dimensões 95 x 190 mm, dimensões normalmente empregadas para ensaios de compressão simples de concretos de alta resistência. Este corpo de prova apresenta dimensões transversais que permitem uniformidade do material na seção de ensaio, mas tem a desvantagem de apresentar pequena altura, o que compromete a hipótese da distribuição uniforme de tensões e limita a faixa de inclinações que podem ser ensaiadas. Contudo,



é de fundamental importância considerar que, para utilizar corpos de prova de maior altura (além dos 300 mm), é necessário que a prensa que aplicará as cargas tenha capacidade para ensaiá-los no que se refere a espaço disponível para os corpos de prova. Constata-se que poucas prensas apresentam capacidade para ensaiar corpos de prova de dimensões maiores que o corpo de prova normalizado de 150 x 300 mm.

O corpo de prova de 95 x 190 mm tem manuseio mais fácil e resulta em menor consumo de materiais que o de 150 x 300 mm, além de permitir a mesma gama de inclinações de junta devido à semelhança dimensional, o que motivou a sua escolha. Uma possível opção seria corpos de prova cilíndricos de 100 x 300 mm, mas com a desvantagem de não utilizar formas normalizadas atualmente existentes.

#### 6.4.4. Inclinação da junta

Alguns autores e normas existentes recomendam o ensaio de cisalhamento oblíquo com uma única inclinação de junta. Contudo, pode-se demonstrar pelas equações (6.5) e (6.6) e visualizar na figura 6.7 que, em função da resistência do concreto e do tipo de ponte de aderência utilizados, a envoltória de ruptura para a junta se altera em função da alteração dos parâmetros  $c$  e  $\mu$ , o que leva a inclinações de junta críticas diferentes para cada caso.

Como deseja-se garantir que a junta epóxi-concreto apresente maior resistência que o concreto íntegro para qualquer combinação de tensão tangencial e tensão normal de compressão, é importante que seja ensaiado o maior número de combinações possíveis. Em função da envoltória de ruptura de um corpo qualquer unido em uma junta por um adesivo poder apresentar um trecho linear devido à falha na junta e um trecho circular devido à falha no concreto íntegro (Figura 5.3), duas inclinações somente não parecem ser suficientes, ao contrário do que sugere CAMPOS<sup>(28)</sup>.

Em função das limitações de tamanho do corpo de prova e a disponibilidade de recursos, nos ensaios realizados foram consideradas juntas com inclinações de 30°, 45° e 60° com a seção transversal, constituindo-se em uma solução a ser



testada, uma vez que não há garantias de que estas faixas de inclinação efetivamente propiciem os estados de tensão mais críticos.

## 7. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Conforme exposto anteriormente, os ensaios que fornecem um número maior de informações concernentes à utilização final das pontes de aderência na engenharia civil são os ensaios de desempenho. Entretanto, ainda existe divergência no que tange à exequibilidade, às condições de tensões a que são submetidos os produtos em serviço e à análise dos resultados. Verificou-se que a tendência atual, à nível internacional, é a adoção do ensaio de cisalhamento oblíquo como indicativo do desempenho de pontes de aderência para concreto. À nível nacional, escassos são os trabalhos referentes aos produtos encontrados no mercado, apesar da crescente utilização dos mesmos.

FIGUEIREDO<sup>(49)</sup> sugere que a avaliação de novos produtos deva seguir a metodologia apresentada na figura 7.1, onde são realizados ensaios de avaliação não para averiguar a conformidade com os parâmetros relevantes ao controle de qualidade e desempenho a nível industrial, mas sim formular critérios mínimos de desempenho exigidos para o produto frente às condições de uso.

Com o objetivo de fornecer dados para avaliação do desempenho de pontes de aderência para concreto, e buscando validar, para produtos nacionais, a tendência de ensaios adotados em outros países, desenvolveram-se ensaios de cisalhamento oblíquo em corpos de prova de distintas resistências unidos através de diferentes pontes de aderência de base sintética, visando fornecer subsídios para uma possível proposta de recomendação ou normalização de ensaios de avaliação de desempenho de pontes de aderência para concreto.

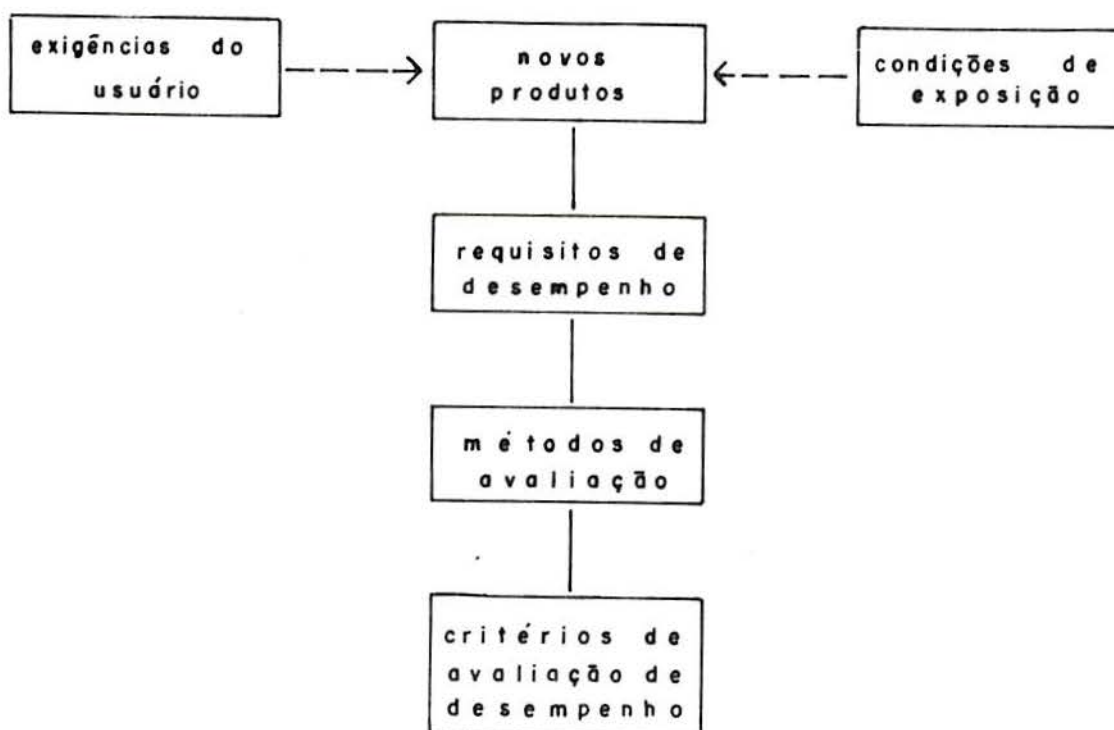


Figura 7.1 - Método de avaliação de novos produtos (FIGUEIREDO<sup>(49)</sup>)

### 7.1. MATERIAIS EMPREGADOS

Os materiais adotados no presente estudo encontram-se relacionados abaixo:

#### 7.1.1. Pontes de aderência

Foram empregados três produtos existentes no mercado nacional, indicados pelos fabricantes como produtos que promovem a aderência em uniões entre concretos.

As pontes de aderência adotadas foram todas à base de resinas epóxi, devido ao exposto nos capítulos 2 e 3. Os produtos empregados foram:

- ADESIVO 01 STRUCTURAL - Fabricante CIBA-GEYGY
- ADESIVO NITOBOND EP - Fabricante FOSECO
- ADESIVO SIKADUR 32 - Fabricante SIKA

As características dos distintos produtos fornecidas pelo fabricante encontram-se no Anexo 1.



Os produtos acima mencionados serão identificados através dos códigos E1, E2 e E3, aleatoriamente distribuídos, a fim de evitar-se a utilização dos resultados obtidos para fins de propaganda da superioridade de algum produto sobre os demais. Corpos de prova com juntas que não receberam aplicação de nenhuma ponte de aderência são identificados como E0.

#### 7.1.2. Solvente

O solvente empregado para a limpeza das camadas superficiais do concreto, preliminarmente à aplicação das pontes de aderência foi acetona. Superfícies que não receberam aplicação de nenhum produto, foram umidecidas antes de cada nova concretagem.

#### 7.1.3 Cimento

O cimento empregado para a confecção dos corpos de prova de concreto foi o cimento portland comum - CP32. A respectiva caracterização das propriedades químicas e físicas constam no ANEXO 2.

#### 7.1.4 Areia

Foi utilizada areia de rio normalmente encontrada nas proximidades de Porto Alegre, cuja granulometria está indicada no Anexo 2.

#### 7.1.5 Agregado Graúdo

O agregado graúdo empregado é de origem basáltica com dimensão máxima de 25 mm. A granulometria e as características físicas estão apresentadas no Anexo 2.

### 7.2. METODOLOGIA DE ENSAIO

Preliminarmente ao início dos ensaios propriamente ditos, foi realizada uma amostra piloto com 20 corpos de prova de concreto com o objetivo de determinar o número de exemplares necessários para que o ensaio tivesse validade estatística. O tamanho da amostra piloto foi determinado em função do desconhecimento do desvio padrão que o ensaio apresenta<sup>(81)</sup>.

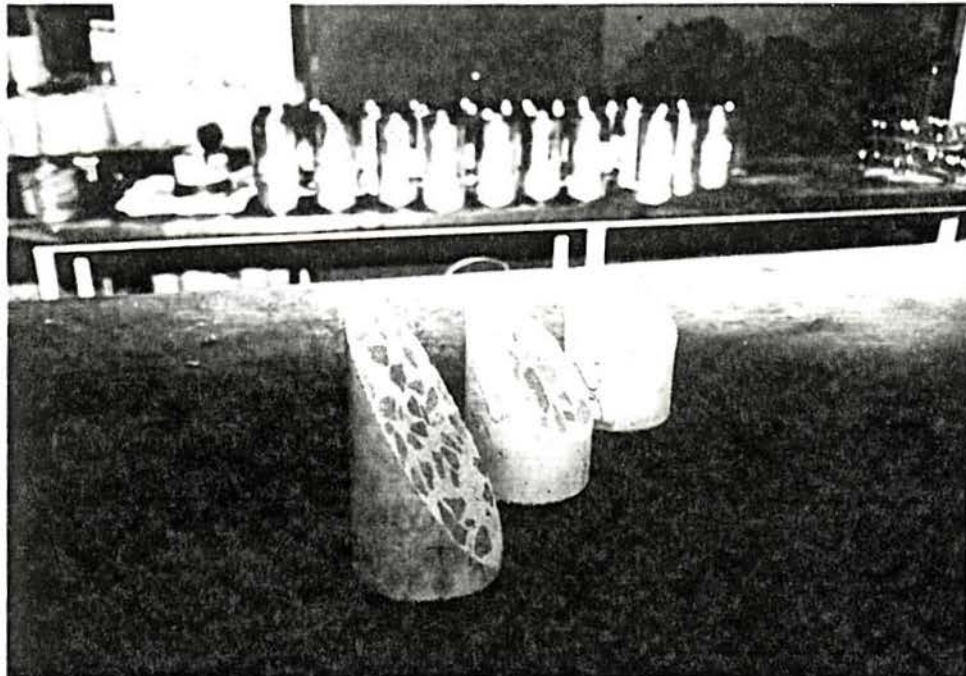
Como o objetivo era determinar variabilidade do ensaio, os corpos de prova foram serrados com uma inclinação de  $60^\circ$  em relação à seção transversal, por ser este o ângulo, dentre dos que seriam adotados no ensaio, que poderia causar maior variabilidade por ser mais propício a problemas durante o corte, possuir maior área de aplicação do produto e ser aquele que, provavelmente, estará sujeito a combinações de tensões mais rigorosas.

A variabilidade fornecida pela amostra apresentou como indicativo um número mínimo de 4 corpos de prova para a confiabilidade da análise dos resultados no ensaio a ser realizado.

Genericamente, o ensaio consistiu em:

- confecção de corpos de prova de concreto com distintas resistências e posterior cura em câmara úmida por 7 ou 28 dias;
- corte dos corpos de prova em duas metades iguais através de serra diamantada nas inclinações de  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $60^\circ$ , conforme fotografia 7.1;
- limpeza da superfície a ser unida através de solvente volátil;
- aplicação do produto destinado como ponte de aderência, exceto nos casos dos corpos de prova em que não foi adotado nenhum produto;
- retorno das metades resultantes do corte novamente para os moldes e preenchimento com concreto fresco até o enchimento completo do molde.
- cura dos corpos de prova em câmara úmida durante 7 ou 28 dias;
- ensaio à compressão simples;

Foram moldados corpos de prova cilíndricos de dimensões 95 x 190 mm com três diferentes níveis de resistência à compressão aos 28 dias: 41, 33 e 23 MPa. As dimensões adotadas para os corpos de prova foram escolhidas em função de:



Fotografia 7.1 - Superfícies de união obtidas pelo corte de corpos de prova íntegros nas inclinações de 60, 45° e 30°

- Conservarem a mesma relação dimensional dos corpos de prova recomendados por norma para avaliação da resistência à compressão do concreto;
- serem as dimensões que estão sendo adotadas para ensaios de compressão simples de concreto de alta resistência e por requisitarem um volume bem menor de concreto, principalmente devido ao elevado número de corpos de prova que foram moldados para o presente trabalho;
- permitirem a execução de juntas com as mesmas inclinações que as possíveis de serem realizadas nos corpos de prova de 150 x 300 mm.

As resistências adotadas foram escolhidas partindo da premissa que nacionalmente pouco se trabalha com resistências mais altas que estas, buscando-se desta forma resistências semelhantes às obtidas nos canteiros de obras.

Para a execução do ensaio foram obedecidas as exigências da Norma Brasileira NBR-5738<sup>(15)</sup> quanto à velocidade



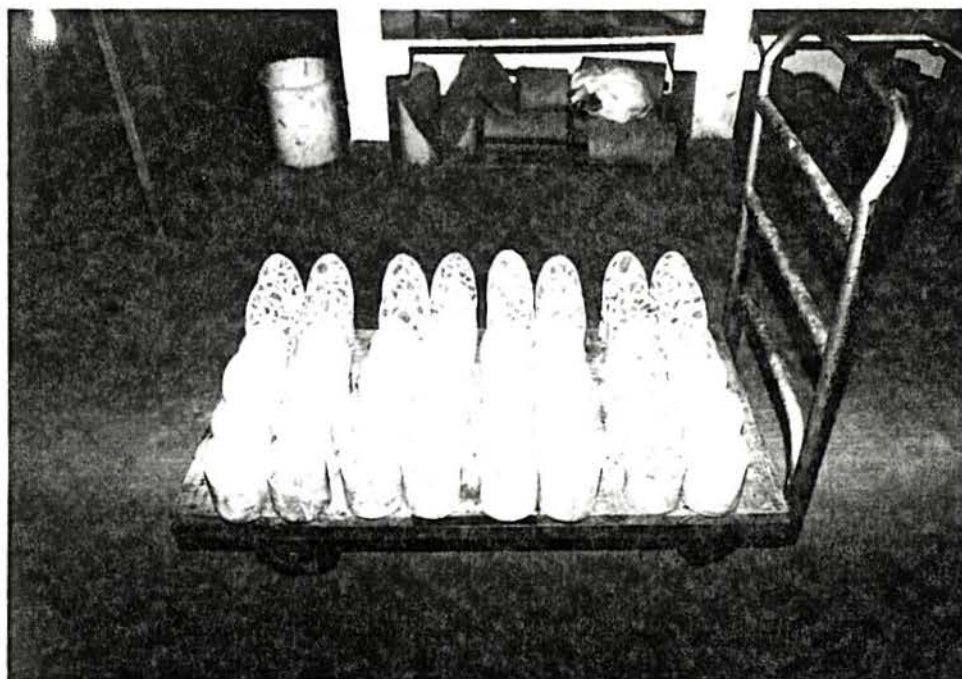
de aplicação de carga e equipamentos empregados, bem como as dimensões máximas dos agregados. Os corpos de prova receberam capeamento de enxofre e foram ensaiados em uma prensa elétrica de 100 toneladas de capacidade.

Por questões da capacidade da betoneira empregada e do número dos diferentes ângulos para a confecção da junta, a aleatorização total do ensaio somente foi possível com a realização da concretagem em três betonadas para cada nível de resistência à compressão analisada, de forma que trabalhou-se com 6 corpos de prova para cada resistência do substrato, tipo de ponte de aderência e inclinação de junta, número maior do que o mínimo exigido estatisticamente.

De cada betonada foram confeccionados 36 corpos de prova, distribuídos da seguinte forma:

- a) Seis corpos de prova foram retirados como corpos de prova de controle para ruptura à compressão, dos quais três destinaram-se à ruptura aos 7 dias e três aos 28 dias;
- b) seis corpos de prova foram retirados como corpos de prova de controle para ruptura à tração, dos quais três destinaram-se à ruptura aos 7 dias e três aos 28 dias;
- c) dos 24 corpos de prova restantes para a confecção de corpos de prova com juntas intermediárias (fotografia 7.2), 12 eram destinados a ruptura aos 7 dias e 12 aos 28 dias;
- d) para cada idade, foram separados para cada produto a ser empregado 3 corpos de prova, os quais cada um possuiria uma inclinação de junta diferente, conforme mostra a figura 7.2.

Como foram realizadas 3 betonadas, e cada corpo de prova posteriormente seria serrado para que cada metade obtida após a aplicação do respectivo produto de união fosse concretada, obteve-se para cada resistência e para cada inclinação de junta um total de 6 corpos de prova.



Fotografia 7.2 - Corpos de prova empregados na confecção dos corpos de prova reconstituídos (com junta)

### 7.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

As pontes de aderência são utilizadas para garantir a perfeita união e monoliticidade de partes de concreto, sem levar a perdas de resistência. O parâmetro de comparação do desempenho das mesmas é então a envoltória de ruptura do concreto íntegro que está sendo unido. Se um determinado produto resultar em pontos no diagrama  $\sigma \times \epsilon$  acima ou sobre a envoltória do concreto para todos os estados de tensão considerados, significa que a união é tão ou mais resistente que o concreto a ser unido, podendo a ruptura ocorrer tanto na junta quanto fora dela. Ambos os casos garantem a adequabilidade da ligação. Se os pontos obtidos com o ensaio estiverem abaixo da envoltória de ruptura, a resistência do conjunto epóxi-concreto é inferior ao concreto íntegro, e o

adesivo não é adequado para a efetivação da união das partes de concreto, devendo ser rejeitado ou utilizado sob níveis de tensão inferiores àqueles capazes de serem suportados pelo substrato.

Quanto mais afastados estiverem os pontos da envoltória de ruptura original, mais resistente é o conjunto ponte de aderência-concreto obtido. Desta observação resulta, numa comparação de diversos produtos disponíveis no mercado, qual o mais eficiente. Contudo, critérios econômicos e construtivos devem ser considerados na escolha final do produto, visto que resistências muito acima da envoltória de ruptura do concreto a ser unido não significam um ganho de resistência global da peça como um todo, pois a ruptura poderá ocorrer em regiões de concreto íntegro afastadas da zona de colagem.

#### 7.3.1 Dados obtidos

A seguir são apresentados os dados obtidos nos ensaios dos corpos de prova cilíndricos recuperados com sistemas epóxi ou sem aplicação de nenhuma ponte de aderência. Estes dados são apresentados nas tabelas 7.1-7.12, nas quais foram empregadas as seguintes simbologias:

- P : Carga de ruptura
- P<sub>m</sub> : Carga de Ruptura média
- f<sub>cj</sub> : Resistência à compressão simples a j dias
- f<sub>ck</sub> : Resistência característica à compressão
- s<sub>d</sub> : desvio padrão amostral
- CV : coeficiente de variação amostral
- E0 : nenhuma ponte de aderência utilizada
- E1 : Produto do Fabricante 1
- E2 : Produto do Fabricante 2
- E3 : Produto do Fabricante 3



**Tabela 7.1 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias**

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						1 Conc	2 Conc	GLOBAL	
1a Concretagem			2a Concretagem			Pm	29.33	28.78	29.09
27.80	36.00	27.40	33.30	22.00	30.80	fcj	41.38	40.60	41.04
26.30	30.40	29.80	35.20	21.80	25.60	sd	3.04	6.13	4.70
30.50	29.80	26.00	35.30	21.00	34.00	CV	10.35	21.31	16.16

**Tabela 7.2 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias**

Fábri- cante	Inclin. Junta	P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						Pm	fcj	fck	sd	CV
E0	60	29.70	21.10	17.20	17.10	23.40	21.80	21.72	30.64	22.95	4.66	21.47
	45	29.70	34.30	23.90	26.60	30.30	30.80	29.27	41.29	35.35	3.80	12.31
	30	31.50	34.40	25.40	25.70	34.60	34.10	30.95	43.66	36.52	4.33	14.00
E1	60	28.30	28.80	21.40	21.20	24.00	28.90	25.43	35.88	29.80	3.68	14.48
	45	33.40	31.10	23.40	25.80	29.60	28.80	28.68	40.47	34.51	3.61	12.59
	30	31.80	33.80	25.90	25.40	27.20	32.40	29.42	41.50	35.45	3.67	12.46
E2	60	18.60	18.10	17.80	18.40	14.70	14.70	17.05	24.05	21.02	1.84	10.79
	45	27.10	28.40	25.30	23.20	22.00	20.90	24.48	34.54	29.67	2.95	12.05
	30	32.80	35.20	25.70	26.70	33.30	32.00	30.95	43.66	37.33	3.84	12.41
E3	60	22.20	24.90	20.80	20.80	17.50	21.60	21.30	30.05	26.09	2.40	11.27
	45	21.60	25.70	23.50	22.70	24.60	21.40	23.25	32.80	30.01	1.69	7.28
	30	32.50	19.30	24.70	25.40	27.90	27.20	26.17	36.92	29.76	4.34	16.58

Tabela 7.3 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)							1 Conc	2 Conc	GLOBAL
1a Concretagem			2a Concretagem			Pm	24.16	24.38	24.28
27.90	25.60	20.60	28.80	17.40	29.50	fcj	34.08	34.39	34.25
21.80	26.80	21.60	29.70	17.60	22.60	sd	2.97	5.92	0.00
22.90	28.20	22.00	31.40	16.80	25.60	CV	12.28	24.27	0.00

Tabela 7.4 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28

Fabr. cante	Inclin. Junta	P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						Pm	fcj	fck	sd	CV
E0	60	21.80	19.50	13.60	13.00	21.00	22.30	18.53	26.15	19.27	4.17	22.49
	45	25.90	30.20	18.40	19.00	27.95	29.10	25.09	35.40	26.89	5.16	20.54
	30	26.80	28.60	19.00	19.20	26.80	27.80	24.70	34.85	27.60	4.39	17.78
E1	60	25.80	25.70	15.40	17.20	24.10	22.80	21.83	30.80	23.44	4.46	20.44
	45	27.40	28.50	19.60	19.80	23.00	29.50	24.63	34.75	27.46	4.42	17.94
	30	29.50	30.00	18.40	19.70	30.00	31.40	26.50	37.39	27.78	5.82	21.96
E2	60	20.30	23.90	15.20	15.20	11.50	15.60	16.95	23.91	16.64	4.41	26.01
	45	25.10	24.00	18.60	18.00	23.00	18.80	21.25	29.98	24.81	3.13	14.74
	30	27.30	21.10	20.00	20.60	28.10	26.20	23.88	33.69	27.59	3.70	15.49
E3	60	17.70	20.30	16.20	17.20	15.40	17.20	17.33	24.45	21.69	1.67	9.65
	45	21.90	21.80	18.10	19.10	24.90	22.60	21.40	30.19	26.13	2.46	11.50
	30	29.10	26.40	18.60	18.60	27.70	29.50	24.98	35.25	26.89	5.06	20.27

Tabela 7.5 - Cargas de ruptura à tração simples aos 28 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistên-ia de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)							1 Conc	2 Conc	GLOBAL
1a Concretagem			2a Concretagem						
						Pm	10.32	8.43	9.38
10.70	11.70	10.20	8.80	6.40	9.00	fcj	3.64	2.97	3.31
9.30	10.25	10.00	9.80	7.20	8.00	sd	0.72	1.46	1.48
10.40	9.50	10.80	10.50	6.60	9.60	CV	6.96	17.37	4.48

Tabela 7.6 - Cargas de ruptura à tração simples aos 7 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistência de dosagem de 40,0 MPa aos 28 dias

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)							1 Conc	2 Conc	GLOBAL
1a Concretagem			2a Concretagem						
						Pm	9.98	9.34	9.66
10.70	7.80	7.90	12.30	6.60	7.80	fcj	3.52	3.30	3.41
12.00	8.60	11.00	11.00	8.50	9.30	sd	1.53	1.71	1.61
11.30	10.60	9.90	10.00	8.70	9.90	CV	15.33	18.25	16.67



Tabela 7.7 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)							1 Conc	2 Conc	GLOBAL
1a Concretagem			2a Concretagem			Pm	21.25	24.48	23.81
21.80	21.90	24.00	28.80	24.80	21.00	fcj	29.98	34.54	33.59
24.20	21.40	25.80	29.70	24.80	18.80	sd	6.85	4.44	3.08
24.20	21.02	24.50	31.40	24.90	18.00	CV	32.24	18.14	12.94

Tabela 7.8 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias

Fabri- cante	Inclin. Junta	P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						Pm	fcj	fck	sd	CV
E0	60	24.70	24.60	21.30	20.20	20.60	18.40	21.63	30.52	26.35	2.53	11.67
	45	25.30	27.20	23.60	24.10	20.80	21.20	23.70	33.44	29.42	2.43	10.27
	30	26.80	27.90	25.30	21.60	21.30	21.10	24.00	33.86	28.84	3.04	12.67
E1	60	25.10	25.70	21.30	21.40	19.60	20.00	22.18	31.30	27.01	2.60	11.70
	45	24.90	24.70	23.80	23.80	22.00	20.40	23.27	32.82	29.96	1.74	7.47
	30	25.30	27.20	23.90	20.40	20.70	21.40	23.15	32.66	28.10	2.76	11.94
E2	60	24.60	23.50	23.60	22.10	19.40	20.50	22.28	31.44	28.13	2.01	9.00
	45	25.90	23.40	22.20	23.10	20.80	22.10	22.92	32.33	29.49	1.72	7.51
	30	24.70	25.60	23.20	24.40	21.50	22.00	23.57	33.25	30.59	1.61	6.84
E3	60	22.90	25.30	22.00	20.80	18.20	18.20	21.23	29.96	25.38	2.77	13.07
	45	25.90	23.10	24.00	24.10	21.40	18.50	22.83	32.21	27.96	2.58	11.30
	30	26.60	25.60	26.40	25.20	20.80	20.80	24.23	34.19	29.72	2.71	11.18

Tabela 7.9 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)							1 Conc	2 Conc	GLOBAL
1a Concretagem			2a Concretagem			Pm	16.25	20.89	19.03
17.60	16.58	---	24.10	22.40	13.20	fcj	22.92	29.47	26.85
15.00	17.40	---	25.10	24.00	14.70	sd	1.13	5.17	0.00
15.10	15.80	---	26.60	23.20	14.70	CV	6.93	24.74	0.00

Tabela 7.10 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28

Fabri- cante	Inclin. Junta	P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						Pm	fcj	fck	sd	CV
E0	60	22.30	22.30	18.10	15.30	14.80	16.60	18.23	25.72	20.19	3.35	18.38
	45	22.80	17.00	24.70	21.00	18.10	19.10	20.45	28.85	24.00	2.94	14.36
	30	23.90	25.40	24.00	25.00	17.90	18.50	22.45	31.67	26.15	3.35	14.91
E1	60	21.80	22.90	23.00	21.00	16.20	15.80	20.12	28.38	22.98	3.28	16.28
	45	23.30	24.10	22.10	19.80	17.60	16.80	20.62	29.09	24.09	3.03	14.69
	30	24.10	25.00	22.40	23.20	16.70	19.50	21.82	30.78	25.61	3.14	14.37
E2	60	21.70	22.80	22.50	22.70	16.70	16.60	20.50	28.92	23.96	3.01	14.67
	45	21.40	23.80	23.20	25.00	18.90	18.50	21.80	30.76	26.35	2.67	12.25
	30	21.20	24.40	24.00	25.20	20.10	19.00	22.32	31.48	27.27	2.56	11.45
E3	60	19.30	21.60	20.90	20.10	15.60	15.90	18.90	26.66	22.44	2.56	13.55
	45	23.10	23.50	22.30	20.80	17.50	18.60	20.97	29.58	25.51	2.47	11.76
	30	23.90	24.50	22.30	25.40	17.80	19.50	22.23	31.37	26.41	3.00	13.50

Tabela 7.11 - Cargas de ruptura à tração simples aos 28 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistên-ia de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						1 Conc	2 Conc	GLOBAL	
1a Concretagem			2a Concretagem			Pm			
7.40	8.50	10.20	9.00	6.80	6.00	fcj	2.85	2.58	2.69
9.30	7.30	10.00	7.40	8.00	6.00	sd	0.74	1.17	3.69
8.00	8.00	10.80	8.70	7.90	6.00	CV	9.16	16.06	48.36

Tabela 7.12 - Cargas de ruptura à tração simples aos 7 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistência de dosagem de 30,0 MPa aos 28 dias

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						1 Conc	2 Conc	GLOBAL	
1a Concretagem			2a Concretagem			Pm			
8.90	7.60	9.80	11.40	8.50	6.00	fcj	2.19	2.94	2.51
7.80	8.80	8.10	8.60	8.00	8.30	sd	3.87	1.71	2.76
9.60	7.80	6.20	10.40	7.00	6.80	CV	62.22	20.55	38.73



Tabela 7.13 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						1 Conc	2 Conc	GLOBAL	
1a Concretagem			2a Concretagem			Pm			
16.70	17.20	15.55	18.00	15.80	17.80	fcj	23.79	24.00	23.89
16.20	20.80	14.60	19.40	14.70	16.80	sd	1.93	1.34	1.61
17.00	19.00	14.90	17.00	18.40	17.40	CV	11.45	7.89	9.54

Tabela 7.14 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 28 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias

Fabri- cante	Inclin. Junta	P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						Pm	fcj	fck	sd	CV
E0	60	19.20	15.40	16.70	17.00	18.50	17.60	17.40	24.55	15.47	1.35	7.77
	45	18.40	18.60	15.90	18.40	16.80	17.80	17.65	24.90	15.83	1.08	6.12
	30	18.40	18.20	18.70	17.20	17.20	16.20	17.65	24.90	15.83	0.95	5.36
E1	60	16.60	17.80	15.00	15.00	17.60	19.00	16.80	23.70	14.63	1.59	9.46
	45	18.00	19.40	16.80	19.30	18.60	18.20	18.38	25.94	16.86	0.96	5.22
	30	17.40	18.80	19.40	19.00	17.40	18.20	18.37	25.91	16.84	0.84	4.59
E2	60	16.00	19.00	16.70	17.80	16.80	16.60	17.15	24.20	15.12	1.08	6.28
	45	21.60	19.40	18.00	18.20	16.20	19.00	18.73	26.43	17.35	1.79	9.54
	30	19.20	20.20	17.00	18.40	17.40	16.20	18.07	25.49	16.41	1.48	8.21
E3	60	7.20	6.00	4.70	4.90	17.60	17.40	9.83	13.59	4.52	6.16	63.93
	45	7.60	9.80	9.80	6.80	18.60	19.40	12.00	16.93	7.85	5.56	46.31
	30	17.80	18.40	15.00	14.20	18.70	18.50	17.10	24.12	15.05	1.98	11.55

Tabela 7.15 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova integros de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)							1 Conc	2 Conc	GLOBAL
1a Concretagem			2a Concretagem			Pm	13.51	13.59	13.55
15.40	11.50	11.95	14.00	13.10	12.40	fcj	19.06	19.17	19.12
13.80	14.90	11.55	13.80	13.00	14.20	sd	1.79	0.90	1.38
15.10	15.60	11.80	14.60	12.40	14.80	CV	13.27	6.63	10.16

Tabela 7.16 - Cargas de ruptura à compressão simples aos 7 dias de corpos de prova reconstituídos de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias

Fabri- cante	Inclin. Junta	P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						Pm	fcj	fck	sd	CV
E0	80	12.40	15.40	13.80	13.70	13.60	13.40	13.72	19.35	17.75	0.97	7.06
	45	17.80	16.20	15.00	14.40	12.80	14.60	15.13	21.35	18.54	1.70	11.27
	30	17.00	17.40	15.00	16.00	15.40	14.60	15.90	22.43	20.59	1.12	7.01
E1	80	13.00	13.00	11.50	12.60	13.40	16.40	13.32	18.79	16.07	1.64	12.35
	45	16.40	15.60	16.50	15.60	14.80	16.40	15.88	22.41	21.30	0.67	4.22
	30	17.40	16.30	15.30	16.60	15.20	15.80	16.10	22.71	21.33	0.84	5.21
E2	80	16.20	15.80	16.00	14.30	15.40	14.00	15.28	21.56	20.04	0.92	6.03
	45	17.20	16.90	15.80	16.00	14.40	14.80	15.85	22.36	20.53	1.11	7.00
	30	16.60	18.40	15.40	16.20	14.60	15.20	16.07	22.67	20.44	1.35	8.39
E3	80	9.20	8.80	7.00	7.80	15.40	14.60	10.47	14.77	8.82	3.60	34.43
	45	9.50	8.80	11.30	9.80	16.00	14.80	11.70	16.51	11.55	3.00	25.68
	30	16.30	15.80	14.30	13.80	15.20	14.60	15.00	21.16	19.60	0.94	6.30

Tabela 7.17 - Cargas de ruptura à tração simples aos 28 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistên-ia de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						1 Conc	2 Conc	GLOBAL	
1a Concretagem			2a Concretagem			Pm	6.91	6.48	6.69
7.00	6.40	7.10	5.50	6.20	8.00	fcj	2.44	2.28	2.36
6.90	7.50	6.40	7.20	6.00	6.30	sd	0.44	0.80	0.66
7.00	7.50	6.40	6.85	5.60	6.65	CV	6.33	12.29	9.89

Tabela 7.18 - Cargas de ruptura à tração simples aos 7 dias de corpos de prova íntegros de concreto com resistência de dosagem de 21,0 MPa aos 28 dias

P ( CARGAS DE RUPTURA - ton)						1 Conc	2 Conc	GLOBAL	
1a Concretagem			2a Concretagem			Pm	8.59	7.33	7.96
8.30	8.00	7.95	5.80	7.20	7.20	fcj	3.03	2.59	2.81
8.00	10.00	7.75	8.40	6.40	6.60	sd	0.83	1.15	1.17
9.20	9.70	8.40	9.60	6.90	7.90	CV	9.67	15.68	14.67



#### 7.4. APRECIACÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados de resistência à compressão e de resistência à tração dos corpos de prova de controle íntegros, separados ao longo dos ensaios, foi possível definir a envoltória de ruptura do concreto para cada uma das três resistências adotadas.

Estas envoltórias foram obtidas à partir dos valores médios de resistência à compressão e tração simples, resultando nos valores (3,30 / 40,6), (2,94 / 32,87) e (2,59 / 23,79) para  $f_{tj}$  e  $f_{cj}$  em MPa, respectivamente.

Nos ensaios de cisalhamento oblíquo realizados, obteve-se a tensão normal de ruptura de cada corpo de prova reconstituído e o tipo de ruptura ocorrida, se no concreto ou na junta (quer na interface, quer no adesivo).

A partir destes resultados, graficou-se sobre as envoltórias de ruptura dos concretos íntegros os estados de tensão  $\sigma$ ,  $\tau$  médios correspondentes a cada ruptura verificada na junta, conforme figuras 7.2, 7.3 e 7.4. Procurava-se, com isto, tentar definir com exatidão as envoltórias de ruptura das juntas, caso as mesmas apresentassem-se da forma explicada em 6.3.2.

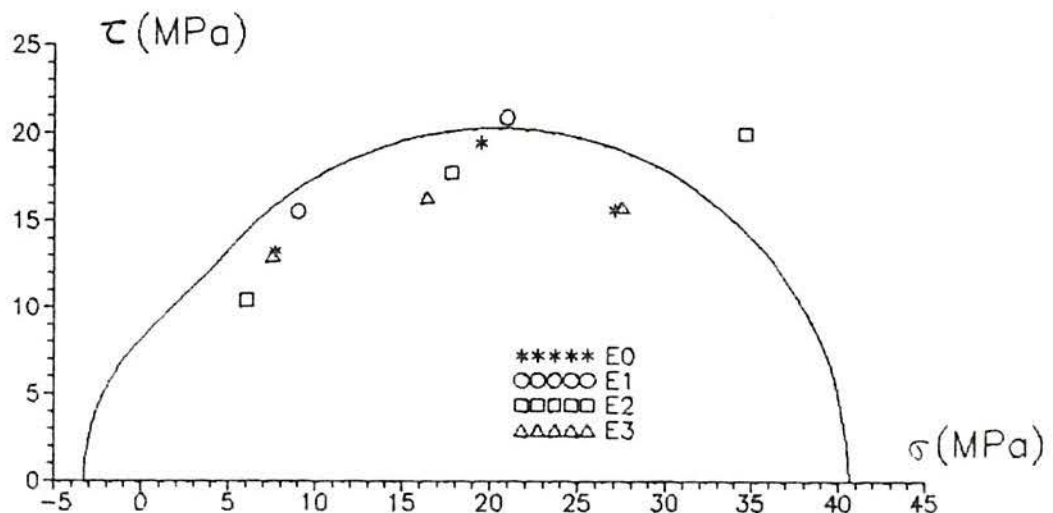


Figura 7.2 - Envoltória de ruptura média para concreto  $f_{tj} = 3,3$  MPa,  $f_{cj} = 40,6$  MPa e respectivas rupturas nas juntas para corpos de prova reconstituídos (28 dias)

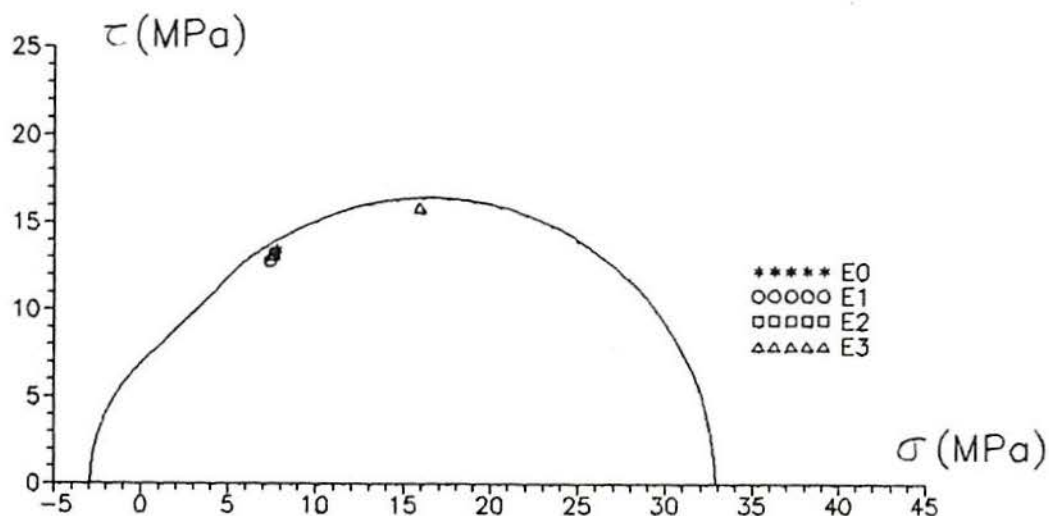


Figura 7.3 - Envolvória de ruptura média para concreto  $f_{tj} = 2,9$  MPa,  $f_{cj} = 32,9$  MPa e respectivas rupturas nas juntas para corpos de prova reconstituídos (28 dias).

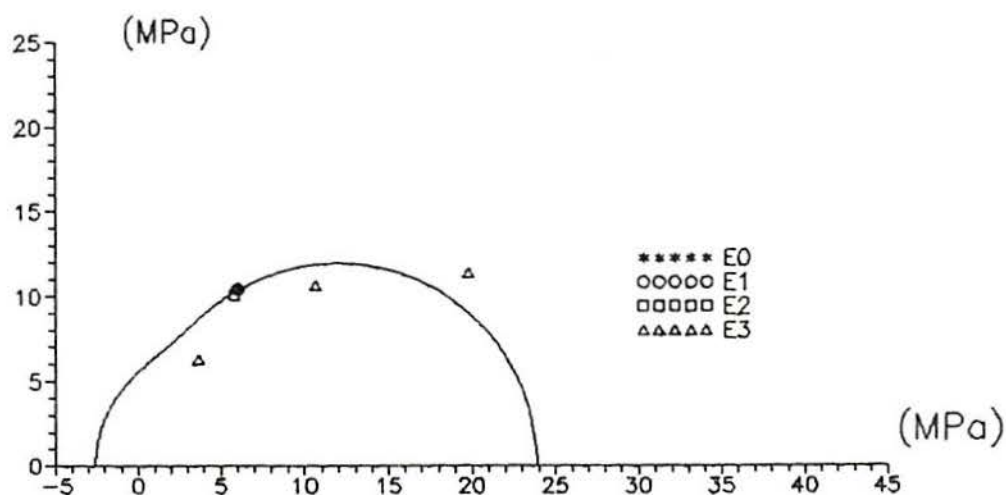


Figura 7.4 - Envolvória de ruptura média para concreto  $f_{tj} = 2,6$  MPa,  $f_{cj} = 23,8$  MPa e respectivas rupturas nas juntas para corpos de prova reconstituídos (28 dias).

Com exceção do adesivo E3 para o concreto de resistência mais baixa e E2 para a mais alta (figuras 7.5 e 7.6), não foi possível visualizar uma envolvente do tipo Coulomb para as juntas adesivo-concreto ensaiadas. Na maioria das vezes, exceto os casos acima descritos, as rupturas nas juntas verificadas ocorreram, em sua maioria, apenas em alguns ensaios para a inclinação de  $60^\circ$ , de forma que os dados

disponíveis eram muito reduzidos para a definir o comportamento das juntas segundo uma envoltória de Coulomb com um nível adequado de certeza.

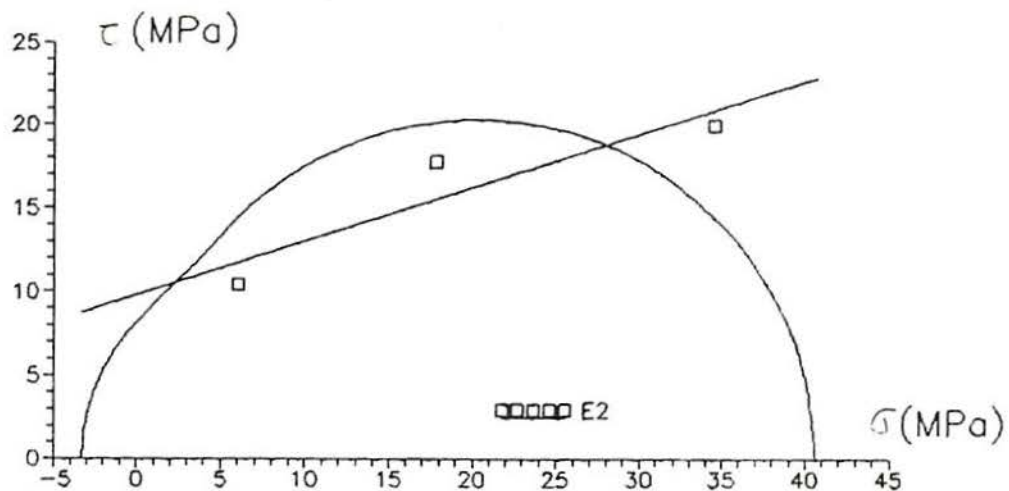


Figura 7.5 - Envoltórias de ruptura médias para o concreto  $f_{tj} = 3,3$  MPa,  $f_{cj} = 40,6$  MPa e para a junta E2-concreto - ruptura nas juntas (28 dias)

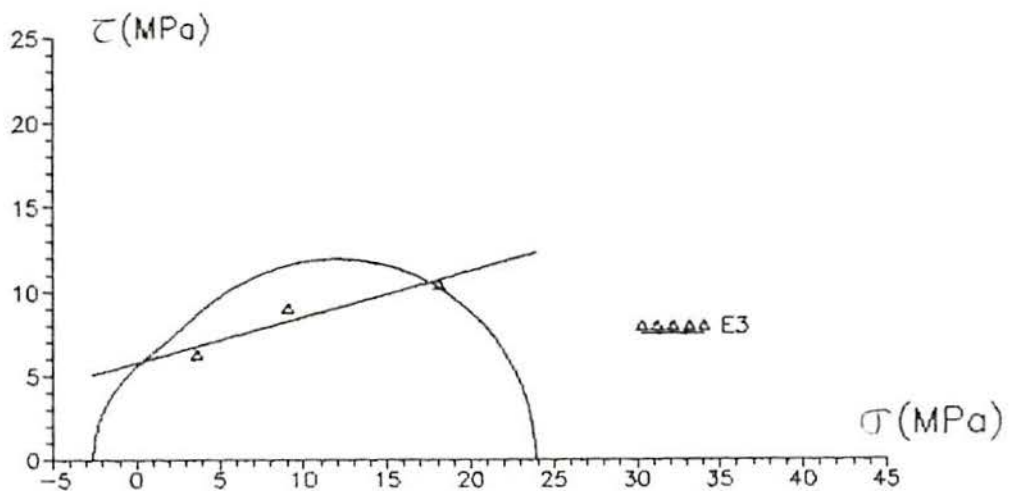


Figura 7.6 - Envoltórias de ruptura médias para o concreto  $f_{tj} = 2,6$  MPa,  $f_{cj} = 23,8$  MPa e para a junta E3-concreto - ruptura nas juntas (28 dias)

Uma vez que tanto a ponte de aderência empregada quanto o concreto do substrato apresentam variabilidade em suas características e propriedades, de um para outro ensaio, é importante levar em consideração todos os estados de tensões obtidos nas juntas para cada inclinação, tenham ocorrido as



rupturas nas interfaces ou no concreto monolítico. Como o adesivo apresenta resistência mecânica superior à do concreto, caso tenha aderência compatível para formar uma junta que age como reforço e não como plano de fraqueza, as rupturas no concreto do substrato também são indicativos importantes da efetividade de sua ligação.

Com o objetivo de avaliar o comportamento da ponte de aderência aplicada aos diversos concretos, foram marcados sobre as envoltórias de ruptura médias dos concretos os valores médios correspondentes às tensões nas juntas dos corpos de prova reconstituído quando de sua ruptura, independentemente do local e tipo da ruptura, o que pode ser visualizado nas figuras 7.7, 7.8 e 7.9.

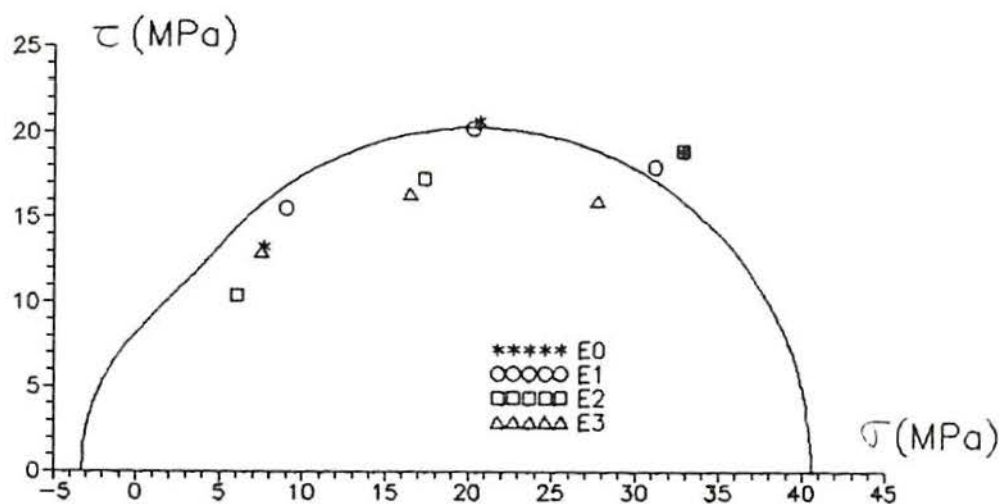


Figura 7.7 - Envoltória de ruptura média para concreto  $f_{tj} = 3,3$  MPa,  $f_{cj} = 40,6$  MPa e valores médios de tensões nas juntas dos corpos de prova reconstituídos (28 dias)

Também neste caso foi possível visualizar uma envoltória tipo Coulomb para as combinações E2/concreto mais resistente e E3/concreto menos resistente, como pode ser visto nas figuras 7.10 e 7.11

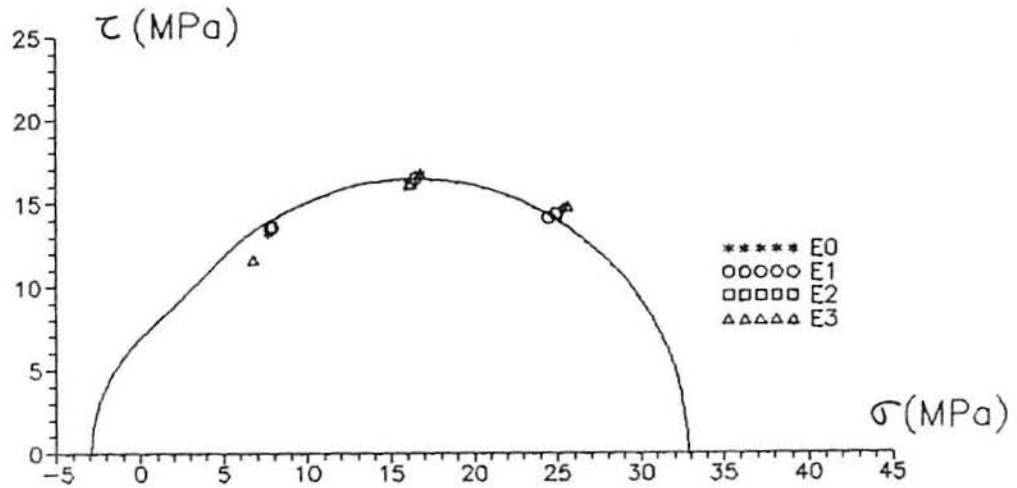


Figura 7.8 - Envoltória de ruptura média para concreto  $f_{tj} = 2,9$  MPa,  $f_{cj} = 32,9$  MPa e respectivas rupturas nas juntas para corpos de prova reconstituídos (28 dias).

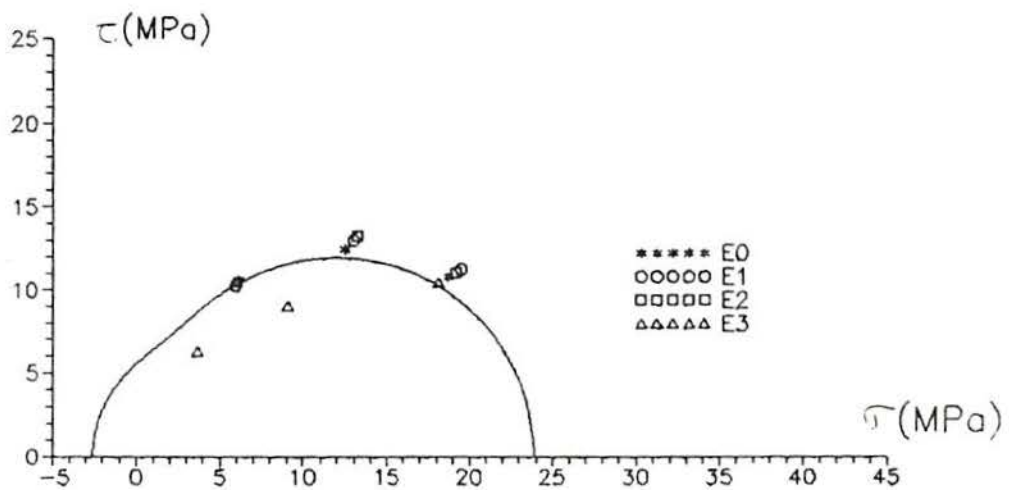


Figura 7.9 - Envoltória de ruptura média para concreto  $f_{tj} = 2,6$  MPa,  $f_{cj} = 23,8$  MPa e respectivas rupturas nas juntas para corpos de prova reconstituídos (28 dias).

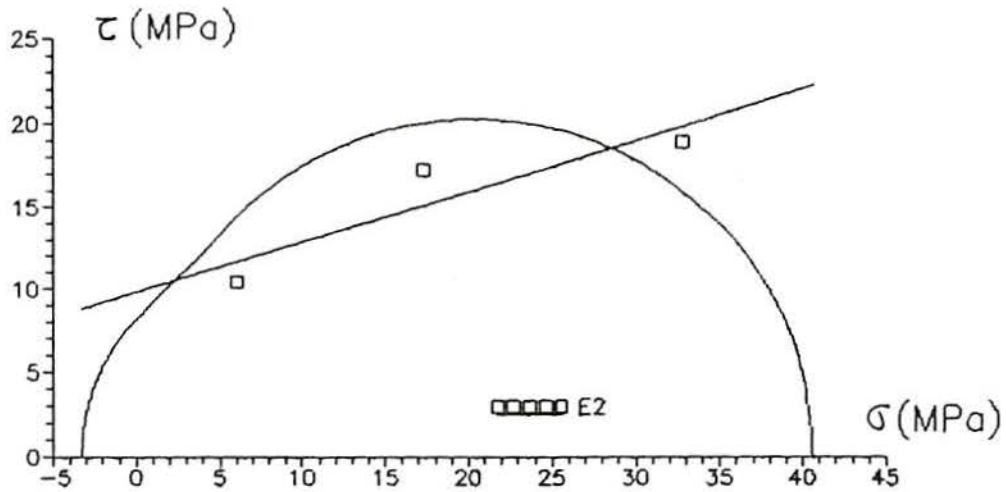


Figura 7.10 - Envolvórias de ruptura médias para o concreto  $f_{tj} = 3,3$  MPa,  $f_{cj} = 40,6$  MPa e para a junta E2-concreto (28 dias)

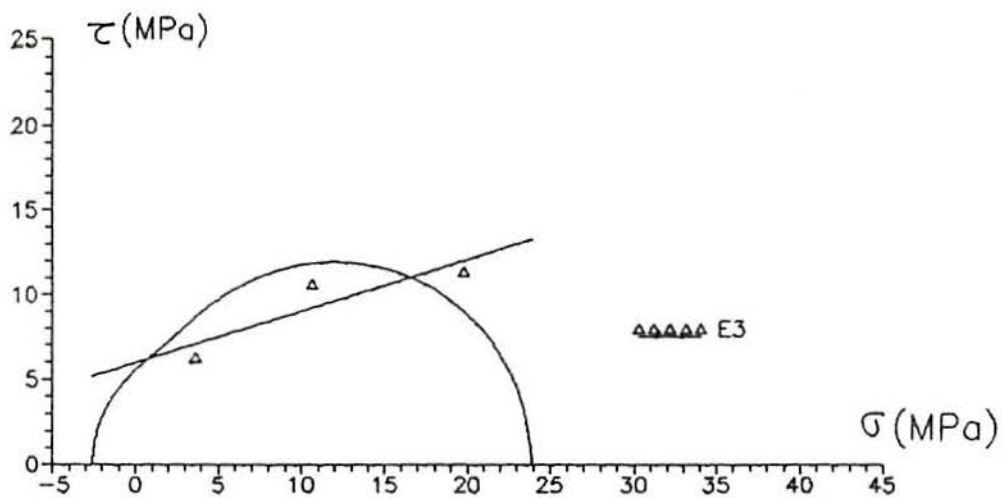


Figura 7.11 - Envolvórias de ruptura médias para o concreto  $f_{tj} = 2,6$  MPa,  $f_{cj} = 23,8$  MPa e para a junta E3-concreto (28 dias)

Devido ao número e complexidade diferente dos processos envolvidos para a confecção dos corpos de prova integros e reconstituídos, a variabilidade apresentada por estes dois grupos em relação aos resultados finais foi diferente, de modo que um critério de aceitação ou rejeição baseado nos valores médios não parece ser adequado quanto ao nível de significância estatística do mesmo.



Buscando eliminar possíveis efeitos de variabilidade nos resultados dos ensaios obtidos, tanto a envoltória de ruptura quanto os pontos correspondentes às diversas inclinações dos ensaios não devem ser graficados à partir de valores individuais ou médios, mas a partir de valores característicos, que garantam estatisticamente um nível de significância compatível com aquele exigido no próprio concreto a ser unido. Nos ensaios, foram graficados valores correspondentes a:

$$v = m - 1.65 s \quad (7.1)$$

onde  $v$  é o valor a ser graficado,  $m$  é a média amostral e  $s$  é o desvio padrão amostral, o que, dentro da hipótese de distribuição normal, garante um nível de significância de 95%, o mesmo exigido para o concreto.

Foram obtidos, desta forma, resistências características à compressão de 30,5, 27,2 e 21,8 MPa aos 28 dias para o concreto íntegro. Sobre as envoltórias obtidas a partir destas resistências, foram graficadas as tensões normal e tangencial existentes nas juntas dos corpos de prova reconstituídos, as quais foram calculadas utilizando-se as resistências à compressão características dos respectivos ensaios com corpos de prova reconstituídos, o que pode ser visto nas figuras 7.12, 7.13 e 7.14. O comportamento evidenciado para as combinações E2/concreto mais resistente e E3/concreto menos resistente nas figuras 7.5, 7.6, 7.10 e 7.11 continua ocorrendo para os valores característicos.

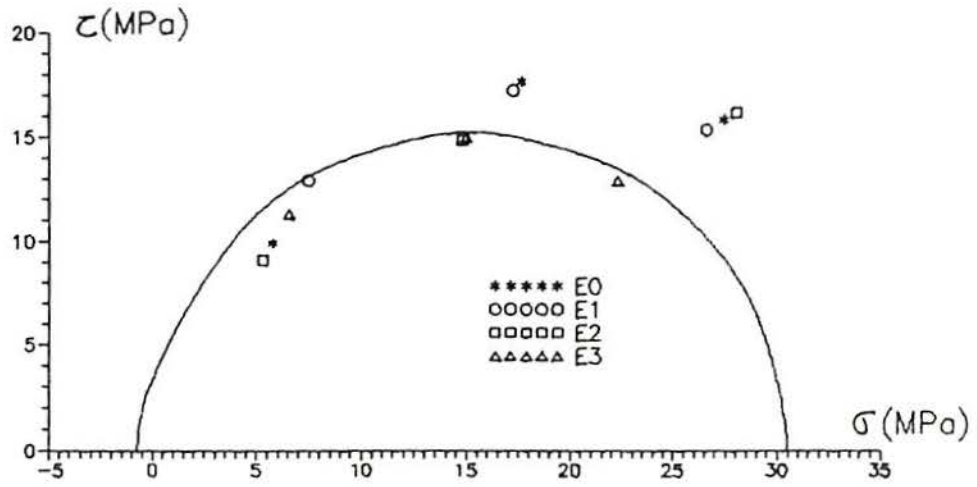


Figura 7.12 - Envoltória de ruptura -  $f_{ck} = 30.5$  MPa (28 dias)

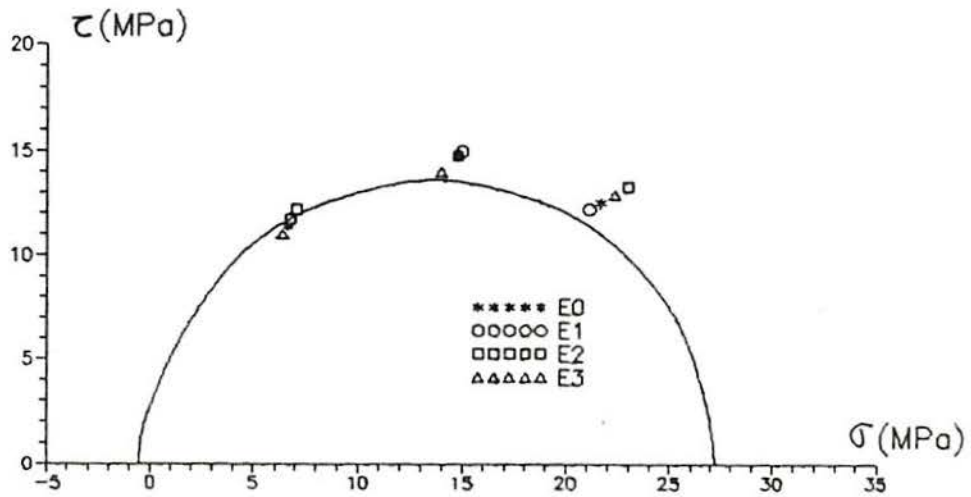


Figura 7.13 - Envoltória de ruptura -  $f_{ck} = 27.2$  MPa (28 dias)

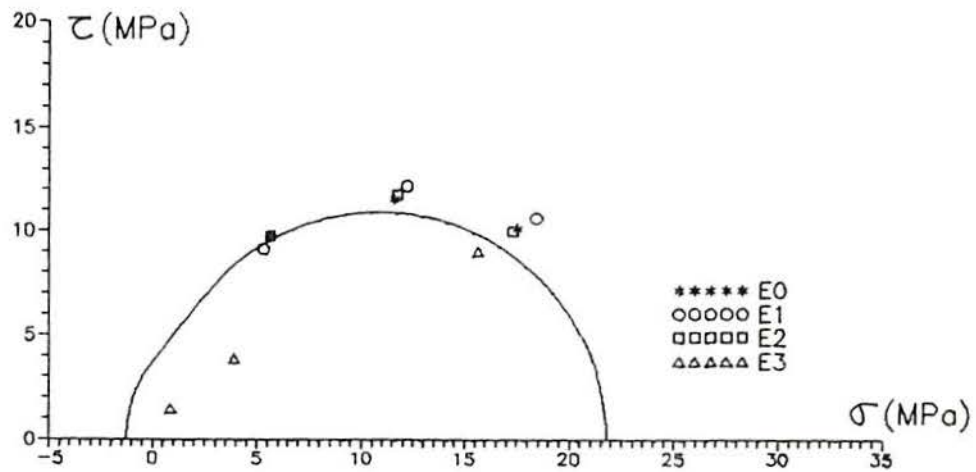


Figura 7.14 - Envoltória de ruptura -  $f_{ck} = 21.8$  MPa (28 dias)

Os valores graficados nas figuras anteriores foram obtidos através das seguintes equações:

$$\sigma = f_c \cos^2 \alpha \quad (7.2)$$

$$\tau = f_c \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha \quad (7.3)$$

A mesma metodologia descrita anteriormente foi aplicada para os resultados obtidos aos 7 dias, conforme figuras 7.15, 7.16, 7.17, 7.18, 7.19 e 7.20.

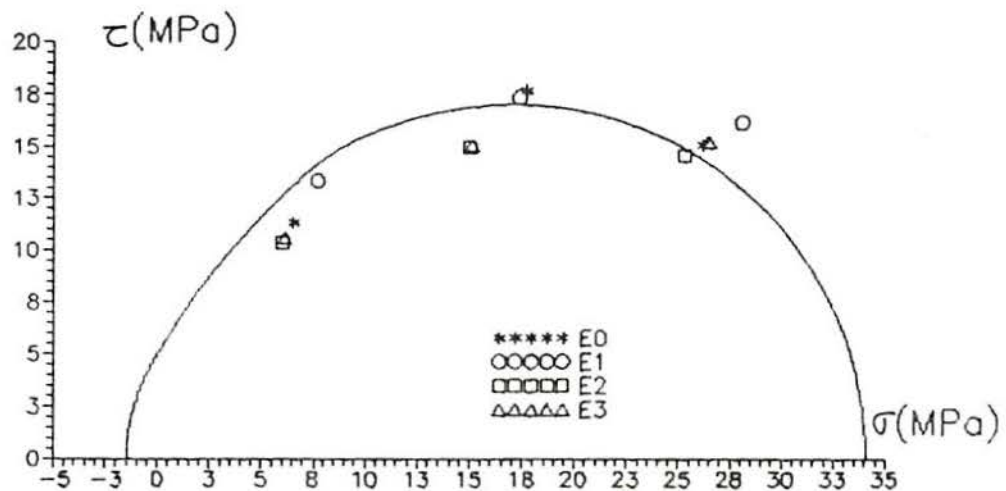


Figura 7.15 - Envoltória de ruptura média  $f_{cj} = 34.1$  MPa (7 dias)



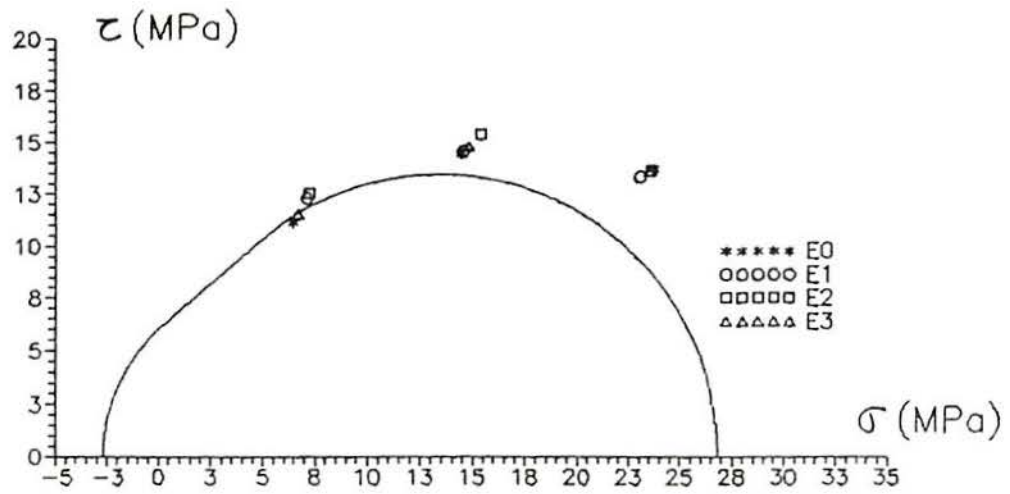


Figura 7.16 - Envoltória de ruptura média  $f_{cJ} = 22.9$  MPa (7 dias)

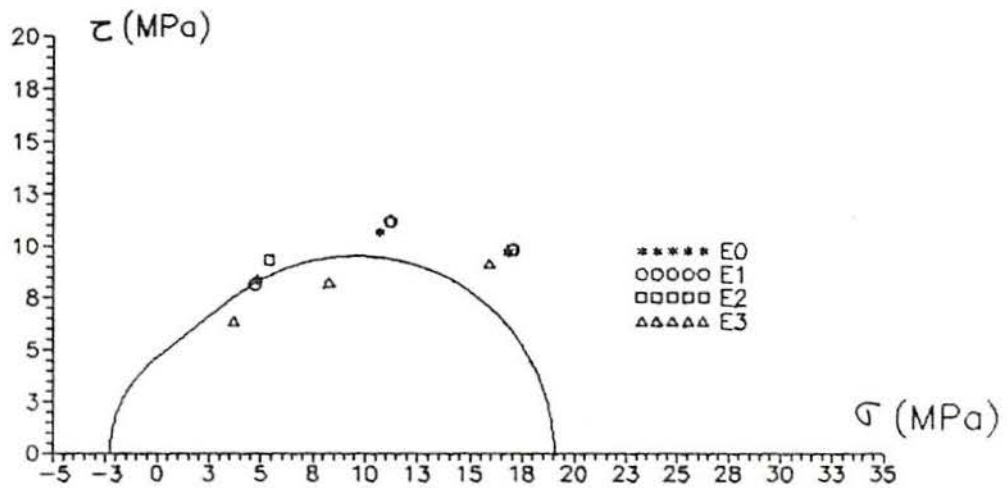


Figura 7.17 - Envoltória de ruptura média  $f_{cJ} = 19.2$  MPa (7 dias)

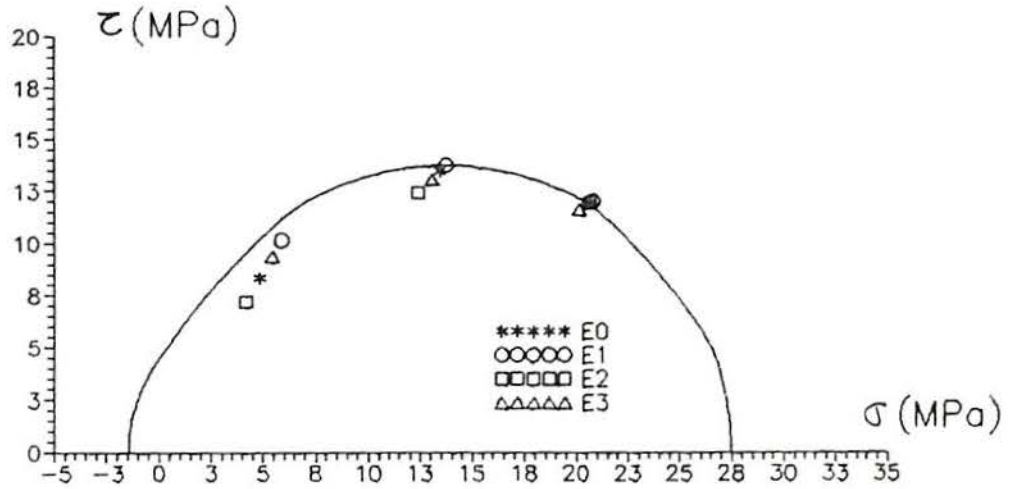


Figura 7.18 - Envoltória de ruptura característica  $f_{ck} = 26.7$  MPa (7 dias)

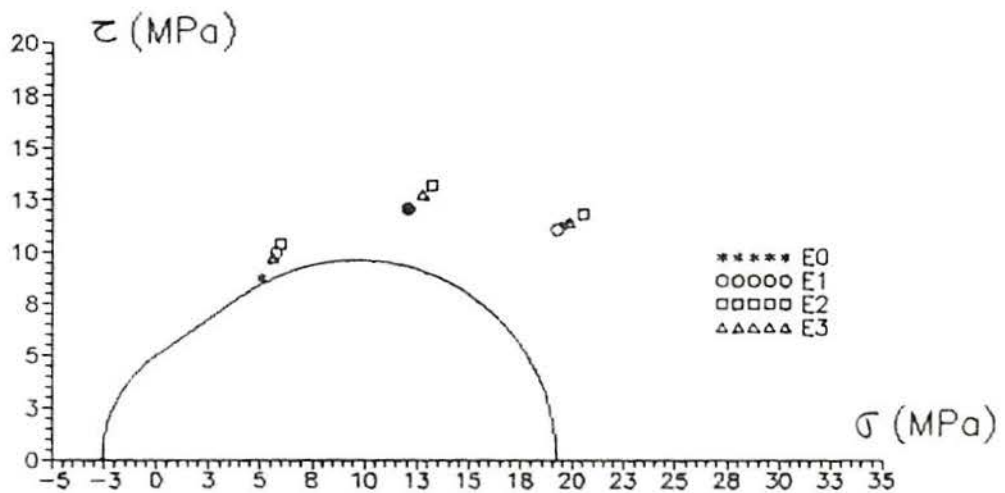


Figura 7.19 - Envoltória de ruptura característica  $f_{ck} = 19.2$  MPa (7 dias)

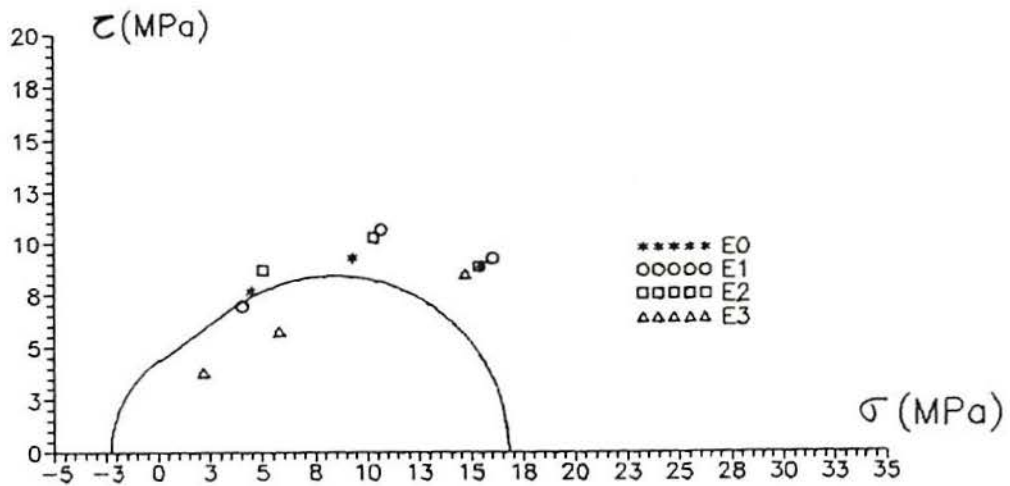


Figura 7.20 - Envoltória de ruptura característica  $f_{ck} = 16.9$  MPa (7 dias)

Objetivando determinar a existência ou não de diferenças significativas entre os resultados obtidos para as distintas pontes de aderência, avaliou-se estatisticamente os dados através do programa computacional COMPVAR. A análise consiste em averiguar se existe estatisticamente diferença significativa entre as médias dos valores obtidos, e que grupos de resultados diferenciam-se entre si. Concomitantemente, provas de normalidade (Kolmogorov-Sminov e Wilk-Shapiro) foram realizadas para verificar se os resultados experimentais seguem a distribuição normal. Os resultados encontram-se resumidos nas tabelas 7.19 e 7.20.

A fim de verificar a influência da rugosidade superficial na metodologia de ensaio, foram comparados resultados obtidos para o concreto com maior resistência entre superfícies lisas, obtidas pelo processo de corte descrito anteriormente, e superfícies escarificadas manualmente. Da avaliação estatística dos resultados, segundo o programa COMPVAR, constatou-se que, com exceção da junta sem ponte de aderência a  $45^\circ$ , não houve diferença significativa entre os tratamentos superficiais.



Tabela 7.19 - Grupos com diferenças estatisticamente significativas (28 dias)

	$f_{cj}=23,8$ MPa	$f_{cj}=32,9$ MPa	$f_{cj}=40,6$ MPa
60°	D.S		D.S.
	E0, E1 E2	E3	E1, E3 E0 E2
45°	N.D.S.		D.S.
	N.D.S.		E1 E2 E0 E3
30°	N.D.S.		D.S.
	E1, E2 E0	E3	E0 E3 E1 E2

Tabela 7.20 - Grupos com diferenças estatisticamente significativas (7 dias)

	$f_{cj}=19,2$ MPa	$f_{cj}=22,9$ MPa	$f_{cj}=34,1$ MPa
60°	D.S.		N.D.S.
	E2, E1 E0	E3	N.D.S.
30°	D.S.		N.D.S.
	E1, E0 E2	E3	N.D.S.
45°	N.D.S.	N.D.S.	N.D.S.

N.D.S. médias sem diferenças significativas entre si.  
D.S. médias com diferenças significativas entre si.  
Nas tabelas acima, quando houve diferença significativa entre uma ou mais pontes de aderência e as restantes, as mesmas apresentam-se separadas em grupos.

Na avaliação do desempenho dos diferentes produtos empregados como pontes de aderência, para a idade de 28 dias, chegou-se às seguintes conclusões:

**a) Resistência característica de 30.5 MPa**

Para esta resistência, somente a ponte de aderência E1 mostrou-se adequada para garantir monoliticidade aos mesmos níveis do concreto íntegro que estava sendo unido, uma vez que apresentou bom desempenho aos diferentes estados de tensões a que foi submetido. Dentre os produtos empregados, o E2 foi o que apresentou pior desempenho. O produto E3 apresentou comportamento semelhante aos demais para estados de tensão com predominância de tensões tangenciais, mas teve um desempenho significativamente pior para estados de tensão com preponderância das tensões normais.

Verifica-se também que, para este nível de resistência, é importante o emprego de pontes de aderência para garantir a monoliticidade, visto que a união entre concretos sem o emprego de nenhum produto mostrou-se insatisfatória (abaixo da envoltória de ruptura)

**b) Resistência característica de 27.2 MPa**

Para este nível de resistência, todos os tipos de união ensaiados apresentaram resistência satisfatória, não sendo, portanto, necessário o emprego de qualquer ponte de aderência.

**c) Resistência característica de 21.8 MPa**

Para esta resistência, todos tipos de união mostraram-se satisfatórios, com exceção do produto E3, que apresentou resultados bastante inferiores aos da envoltória de ruptura original, sendo portanto inadequado para emprego com este tipo de concreto.

Novamente não seria necessário nenhum adesivo para garantir a monoliticidade.

Basicamente os mesmos resultados foram obtidos nos ensaios dos mesmos concretos com a idade de 7 dias. Contudo, as rupturas ocorreram sempre no concreto, de modo que o ensaio a baixas idades pode mascarar os resultados finais, dependendo do tipo de cimento e resistência de concreto empregados.

É importante ressaltar o fenômeno ocorrido com o adesivo E3. Este adesivo apresentou desempenho satisfatório para resistências médias (27.2 MPa), e mesmo para resistência mais elevada (30.5 MPa) seu comportamento foi bastante próximo ao das demais resinas. Seu comportamento com o concreto de resistência 21.8 MPa não pôde ser considerado expúrio por critérios estatísticos.

As hipóteses de falhas na estocagem do produto ou de sua utilização fora das condições ideais de emprego na resistência de 21.8 MPa estão excluídas pelo processo de aleatorização empregado nos ensaios, devendo o fenômeno manifestar-se para as demais resistências.

A possível explicação para o comportamento detectado pode estar relacionada com a incompatibilidade entre as características do substrato e do adesivo. O produto E3, dentre os adesivos ensaiados, foi o que apresentou maior diferença tixotrópica, sendo bastante menos viscoso que os demais. Este fato, associado à maior porosidade do concreto de mais baixa resistência, sugere a penetração do adesivo no substrato sob a forma de agulhas muito finas, com prejuízo à resistência, conforme descrito no capítulo 4.

Deve-se ressaltar que esta incompatibilidade não seria verificada caso fossem feitos ensaios somente com substratos de resistência superior (27.2 MPa) e a extrapolação dos resultados para concretos de resistência inferior. Isto mostra a importância de se realizar o ensaio com o(s) adesivo(s) e o substrato que efetivamente serão utilizados na recuperação ou reparo estrutural.



## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

São apresentadas a seguir as conclusões obtidas ao longo deste trabalho, bem como recomendações para futuras pesquisas nesta área.

### 8.1. CONCLUSÕES

- a) Para garantir a perfeita união entre uma ponte de aderência e o substrato sobre a qual ela será utilizada, é importante o conhecimento das propriedades destas duas partes, sejam elas relevantes para os processos de fabricação industrial (composição química, endurecedores, etc.), seja para sua utilização final dentro das condições específicas de cada aplicação (tempo de utilização, tempo de colagem, rugosidade, porosidade, umidade superficial, etc.).
- b) Apesar de existirem inúmeros ensaios para a avaliação do emprego de pontes de aderência para o concreto, poucos são os que avaliam as propriedades efetivamente importantes para o desempenho dos produtos, especialmente no que se refere às solicitações a que os conjuntos adesivo-substrato estarão submetidas.
- c) O ensaio de cisalhamento oblíquo se destaca, a nível internacional, como o que melhor reproduz as condições de operação das pontes de aderência no concreto. A nível nacional são escassos os trabalhos no assunto.
- d) Parece ser relevante que o ensaio de cisalhamento oblíquo seja realizado com substratos com características similares as do concreto a ser efetivamente unido, visto que a eficiência de uma ponte de aderência pode variar significativamente

com a mudança de resistência e, conseqüentemente, com as demais características do substrato empregado.

- e) A metodologia empregada permite determinar quais os produtos adequados para o restabelecimento da monoliticidade original do substrato a ser recuperado, permitindo tanto a seleção do melhor produto (pelo afastamento quanto à envoltória de ruptura) quanto um critério do tipo aceitação / rejeição, cabendo a decisão final a outros fatores intervenientes (características de aplicabilidade do produto como tempo de utilização, tempo de cura, custos, disponibilidade no mercado, etc.).
- f) Parece ser necessário o emprego de adesivos para a união efetiva de concretos de mais alta resistência.
- g) O uso de adesivos em concretos de mais baixa resistência parece não ser necessário para garantir a resistência da junta nos mesmos níveis do concreto monolítico. O emprego de adesivos pode melhorar consideravelmente a resistência da junta, garantindo um maior coeficiente de segurança nesta zona crítica, desde que as características dos mesmos sejam adequadas às do substrato.
- h) Incompatibilidade entre o adesivo e o substrato pode resultar ser extremamente prejudicial à resistência da junta.
- i) Para todos os casos ensaiados, o ângulo de  $60^\circ$  foi o que resultou em pontos mais próximos ou abaixo da envoltória de ruptura original do concreto, mas não há garantias de que este seja o ângulo mais crítico. Uma análise mais minuciosa entre  $45^\circ$  e  $70^\circ$  faz-se necessária. Contudo, as dimensões do corpo de prova adotado não permitem ângulos maiores que  $60^\circ$ . Sugere-se, portanto, a adoção de corpos de prova cilíndricos de 100 x 300 mm. Esta escolha acarreta prejuízo quanto à difusão e facilidade de execução do ensaio, visto ser o molde do corpo de prova não

normalizado. Contudo, o ganho em confiabilidade do ensaio torna esta opção altamente recomendável.

## 8.2. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- a) Execução de ensaios de cisalhamento oblíquo em corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 x 300 mm com juntas com inclinações entre 30° e 70°, com o objetivo de verificar a existência de condições de tensões mais críticas do que as utilizadas neste trabalho.
- b) Execução de ensaios de cisalhamento puro, a fim de determinar a parcela de adesão das interfaces ponte de aderência/concreto, de modo a melhor definir a envoltória de ruptura das mesmas.
- c) Execução de ensaios de envelhecimento acelerado para verificar a durabilidade e o desempenho das pontes de aderência frente a ambientes agressivos ao longo do tempo.
- d) Avaliar o comportamento das pontes de aderência como elemento de ligação entre concretos endurecidos, de forma a validar sua aplicação em estruturas pré-moldadas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLEN, R.T.L., EDWARDS, S.C. **The repair of Concrete Structures.** 1ed. Blackie: Glasgow and London. 1987. 204p
2. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI manual of concrete Practice.** Detroit, 1991. v.5: Masonry, precast concrete - special process.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method of Epoxy-Resin Systems Used with Concrete by Slant Shear: ASTM C882-91.** 3p.
4. \_\_\_\_\_. **Standard Specification for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete: ASTM C881-90.** **Annual book of ASTM standards.** Philadelphia, Pa., 1991. p.443-447
5. \_\_\_\_\_. **Standard Terminology of Adhesives: ASTM D907-91b.** **Annual book of ASTM standards.** Philadelphia, Pa., 1991. p.34-41.
6. \_\_\_\_\_. **Standard Test Method for Storage Life of Adhesives by Consistency and Bond Strength: ASTM D1337-91.** **Annual book of ASTM standards.** Philadelphia, Pa., 1991. p76-77.
7. \_\_\_\_\_. **Standard Test Method for Working Life of Liquid or Paste Adhesives by Consistency and Bond Strength: ASTM D1338-91.** **Annual book of ASTM standards.** Philadelphia, Pa., 1991. p.78-79
8. \_\_\_\_\_. **Standard Practice for Flexural Properties of Plastics and Electrical Insulating Materials: ASTM D790-91.** **Annual book of ASTM standards.** Philadelphia, Pa., 1991.
9. \_\_\_\_\_. **Standard Practice for Tensile of Plastics: ASTM D638-91.** **Annual book of ASTM standards.** Philadelphia, Pa., 1991.

10. \_\_\_\_\_. Standard Practice for Compressive Properties of Rigid Plastics: ASTM D695-91. Annual book of ASTM standards. Philadelphia, Pa., 1991.
11. \_\_\_\_\_. Standard Practice for Water Adsorption of Plastics: ASTM D570-91. Annual book of ASTM standards. Philadelphia, Pa., 1991.
12. \_\_\_\_\_. Standard Test Method Strength properties of adhesives in shear by tension loading (Metal-to-Metal): ASTM D1002-72. 3p.
13. ANDREWS, G., SHARMA, A.K. Repaired reinforced concrete beams failing in shear. *Concrete International*, v.12, n.3, p.53-57, Mar. 1990.
14. ANDRIES, S., STANESCU, A. Les déformations sous charges de courte et longue durée des mélanges à base de résines époxydes. *Matériaux et Constructions*, v.8, n.46, p.279-290, Juil./août 1975.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto: NBR 5739. Rio de Janeiro, 1982. 6p.
16. ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. Adhésifs - Vocabulaire: AFNOR T76-001, 1973. 13p.
17. \_\_\_\_\_. Moldagem e cura de corpos de prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos: NBR 5738. Rio de Janeiro, 1984. 11p.
18. BEER, Ferninand P., JOHNSTON, Jr., E. Russel *Resistência dos Materiais*. São Paulo: McGraw-Hill, 1989. 654p.
19. BENSIMHON, Joseph, MESUREUR, B. Caractéristiques mécaniques des assemblages entre poteaux et poutres réalisés par collage. *Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, v.266, n.2053.2, Jan./fév. 1986.
20. BICKLEY, J.A., LISCIO, R. Repair and protection systems for parking structures. *Concrete International*, v.10, n.4, p.21-28, Apr. 1988.
21. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. British Standard Testing of resin compositions for use in construction. Part 4.

- Method for measurement of bond strength ( Slant shear method). 1984. 10p.
22. BRUYNE, N.A. de. **Adhesion and adhesives.** New York: Elsever, 1951. 517p.
  23. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Design and site procedures defects and repairs.** London: Her Majesty's Stationery Office, 1989. (BRE Digests, 4)
  24. \_\_\_\_\_. **Building components and materials.** London: Her Majesty's Stationery Office, 1989. (BRE Digests, 2)
  25. BULLOCK, R.E. **Factors influencing concrete repair materials.** *Concrete International*, v.2, n.9, p.67-68, Sept. 1980.
  26. BURKHARDT, P., HERTIG, H.U., AESCHLIMANN, H.U. **Expériences sur les poutres mixtes en acier - béton liées à l'aide d'adhésifs époxydes.** *Matériaux et Constructions*, v.8, n.46, p.261-277, Juil/aout 1975.
  27. CAMPAGNOLO, J.L., FILHO, L.C.P. - **Avaliação do desempenho de formulações epoxi visando sua utilização como reforço de estruturas.** Simpósio sobre Patologia das Edificações. UFRGS. 1989.
  28. CAMPOS, Eliana Silva. **Contribuição à avaliação da eficiência de materiais de colagem concreto/concreto.** Niterói: Universidade Federal Fluminense, 1989. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Centro Tecnológico, UFF.
  29. CARNEIRO, Fernando Luiz Lobo B. **Aplicações da teoria da plasticidade ao concreto.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1968. 85p.
  30. CARPINTERI, A., INGRAFFEA, A.R. **Fracture mechanics of concrete: material characterization and testing.** Hague: Martinus Nijhoff, 1984. 202p.
  31. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. **Collage des pierres et des marbres.** Paris, 1983. 40p. (Note d'Information Technique, 148)



32. \_\_\_\_\_. **Les colles a bois et leur emploi.** Paris, 1966. 24p.  
(Note d'Information Technique, 64)
33. \_\_\_\_\_. **Transport de l'humidité dans les materiaux poreux. Bases theoriques.** Paris, 1982. 12p. (Revue)
34. CHUNG, H.W., LUI, L.M. **Epoxy - repaired concrete joints.** *Journal of the American Concrete Institute*, v.74, n.6, p.264-268, June 1977.
35. CLIMACO, João Carlos T.S. **Repair of structural concrete involving the addition of new concrete.** London: The Polytechnic of Central London, 1990. Thesis (Doctor of Philosophy) - Faculty of Engineering, Council for National Academic Awards.
36. COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON - CEB: **Bulletin D'Information N° 162, Mechanisms of load transfer between old and added materials.** August 1983
37. \_\_\_\_\_. **Bulletin D'Information N° 205, CEB - FIP MODEL CODE 1990 - Final Draft - Chapters 11-14 - July - 1991.**
38. **CONCRETE MANUAL.** 8ed: U.S.Department of The Interior Water and Power Resourchers service.1981.
39. COOK, John Philip. **Seladores y adhesivos para construccion.** Mexico: Limusa, 1978. 294p.
40. CORBETT, L.V., ALVEVEY, F.B. In: **SYMPOSIUM ON EPOXIES WITH CONCRETE,** New Orleans, 1966. **Papers...** Detroit: ACI, 1968. p.37-52. (ACI SP, 21)
41. CUSENS, A.R., SMITH, D.W. **A study of epoxi resin adhesive joints in shear.** *The Structural Engineer*, v.58A, n.1, p.13-18, Jan. 1980.
42. DIXON, J.F., SUNLEY, V.K. **Use of bond coats in concrete repair.** *Concrete*, v.17, n.8, p.34-35, Aug. 1983.
43. DRUON, Michel. **L'essai d'adhérence sur les chapes en femille de bitume polymère.** *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n.159, p.23-26, jan./fév. 1989.

44. EMBERSON, N. K., MAYS, G.C., Significance of property mismatch in the patch repair of structural concrete. Part 1: Properties of repair systems. **Magazine of Concrete Research**, v.42, n152, p147-160, Sep. 1990
45. \_\_\_\_\_. Significance of property mismatch in the patch repair of structural concrete. Part 2: Axially loaded reinforced concrete members. **Magazine of Concrete Research**, v.42, n152, p161-170, Sep. 1990
46. EYRE, J.R. The engineering significance of results from the slant shear test. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, 30, Rio de Janeiro, 19... **Anais...** São Paulo: Ibracon, 19..., p.230-241.
47. Federation Internationale de la Précontrainte - FIP - Proposal for a standard for acceptance tests and verification of epoxy bonding agents for segmental construction. 1978. 24 p.
48. FERNANDEZ CANOVAS, M. Las resinas epoxi en la construcción. 2.ed. ampl. Madrid: Instituto Eduardo Toroja de la Construcción y del Cemento, 1981. 334p.
49. FIGUEIREDO, Enio J.P. **Terapia das construções de concreto: metodologia de avaliação de sistemas epoxi destinados à injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto.** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1989. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia.
50. FOURÉ, Bernard. Comportement des surfaces de reprise de bétonnage vis-a-vis du cisaillement. **Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics**, n.462, p.109-133, fev. 1988.
51. FRANKE, L. The dimensioning of adhesive-bonded joints in concrete building components. In: RILEM INTERNAT SYMPOSIUM ON ADHESION BETWEEN POLYMERS AND CONCRETE, 1986, Aix-en-Provence. **Proceedings...** London: Chapman and Hall, 1986. p.461-473.
52. GAUL, Robert W. Preparing concrete surfaces for coatings. **Concrete International**, v.6, n.7, p.17-22, July 1984.

53. GEARY, Thomas C. Improving bonding to concrete surfaces. *Concrete International*, v.11, n.4, p.55-56, Apr. 1989.
54. GODART, B., LAFUENTE, R. Etude experimentale de l'adhesion entre un beton et une resine epoxydique lors de l'assemblage par collage de voussoirs prefabriques dans les ponts en beton precontraint. In: RILEM SYMPOSIUM ON ADHESION BETWEEN POLYMERS AND CONCRETE, 1986. Aix-en-Provence. *Proceedings...* London: Chapman and Hall, 1986. p.474-483.
55. GOLDMAN, J.L. (Ed.) *The science of engineering materials*. New York: John Wiley, 1957. 528p.
56. GUBERMAN, Jorge Alberto, HECKSHER, Magno José. Aplicação do círculo de Mohr na avaliação da resistência do concreto. In: REUNIÃO ANUAL DO IBRACON, , , 19... , *Anais...* São Paulo: Ibracon, 19... , p.314-329.
57. HANDISYDE, Cecil, C. *Building materials: Science and practice*. 3.ed. London: Architectural Press, 1958.
58. HARDING, G. N., DUVALL, B. U. *Application Specifications Guidelines*. In: SYMPOSIUM ON EPOXIES WITH CONCRETE, New Orleans, 1966. *Papers...* Detroit: ACI, 1968. p.119-135. (ACI SP, 21)
59. HELENE, Paulo R. do Lago. Algunos ensayos para evaluacion y control de adhesivos epoxi para hormigon. *Informes de la Construcción*, n.328, p.47-60, Mar. 1981.
60. \_\_\_\_\_. Ensaio para controle de adesivos epóxi destinados a estruturas de concreto. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Tecnologia de edificações*. São Paulo, 1988. p.45-52.
61. \_\_\_\_\_. *Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto*. 1.ed. Ed. PINI. 1988. 119p.
62. HINDO, Kal R. In-place bond testing and surface preparation of concrete. *Concrete International*, v.12, n.4, p.46-48, Apr. 1990.
63. HRANILOVIC, Marko. Failure criteria for structural joints. In: RILEM SYMPOSIUM ON ADHESION BETWEEN POLYMERS AND



- CONCRETE, 1986, Aix-en-Provence. Proceedings...  
London: Chapman and Hall, 1986. p.650-660.
64. HUGENSCHMIDT, F. Reforço de construções existentes de concreto mediante armações coladas. Trabalho apresentado no Seminário sobre Utilização de Resinas Epoxi na Construção Civil, 33p.
65. JASTRZEBSKI, Z.D. Nature and properties of engineering materials. New York: John Wiley, 1959. 571p.
66. JOHNSON, R.P. The properties of an epoxy mortar and its use structural joints. *The Structural Engineer*, v.48, n.6, p130-233, June 1970.
67. KAMPF, L. Repair of concrete bridge pavements. In: SYMPOSIUM ON EPOXIES WITH CONCRETE, New Orleans, 1966. Papers... Detroit: ACI, 1968. p.53-66. (ACI SP, 21)
68. KINLOCH, A.J. Review the science of adhesion. Part 1: Surface and interfacial aspects. *Journal of Materials Science*, v.15, n.9, p.2141-2166, Sept. 1980.
69. KRIEGH, James D. Arizona slant shear test: a method to determine epoxy bond strength. *Journal of the American Concrete Institute*, v.73, n.7, p.372-373, July 1976.
70. KRIEGH, J. D., NORDBY, G. M. In: SYMPOSIUM ON EPOXIES WITH CONCRETE, New Orleans, 1966. Papers... Detroit: ACI, 1968. p.107-118. (ACI SP, 21)
71. LAVAL, Georges. Préparation des surfaces des supports en béton et en acréir en vue des collages structuraux. *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, n.349, p.26-41, avr. 1977.
72. LEE, Henry, NEVILLE, Kris. *Handbook of epoxy resins*. New York: McGraw-Hill, 1982.
73. LEWIS, T.J., SECKER, P.E. *Science of materials*. New York: Reinhold, 1965. 256p.
74. MAYS, G.C., HUTCHINSON, H.C. Engineering property requirements for structural adhesives. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Part 2 Research and Theory*, vol. 85, p.485-502, September 1988.

75. MILLES, D.C, BRISTON, J.H. *Tecnologai dos Polímeros*. São Paulo: Polígono, 1975. 573p.
76. MILLS, Adilbert P. *Materials of construction: their manufacture and properties*. 6.ed. New York: John Wiley, 1955. 650p.
77. MOKSNES, J. Resins in construction and repair of North-Sea oil structures. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, v.3, n.3, p.203-211, Aug. 1981.
78. MORETON, A. J. Epoxy glue joints precast concrete segmental bridge construction. *The Institution of Civil Engineers. Proceedings... Part 1. Design and Construction*. v.70, 163-178. 1981
79. MOUTON, Yves, DURRIEU, Françoise, PRIN, Dominique Efficiency of cracked concrete repair by epoxy binder injection. In: *PLASTICS IN MATERIAL AND STRUCTURAL ENGINEERING - DEVELOPMENTS IN CIVIL ENGINEERS*. (5). 1982. p.527-532.
80. MURRAY, Myles A. Surface preparation for adhesives. *Concrete International*, v.11, n.9, p.69-71, Sept. 1989.
81. NANNI, L.F. *Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais*. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1986. 178p. (Caderno Técnico, 30).
82. NEFFGEN, B. Epoxy resins in the building industry - 25 years of experience. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, v.7, n.4, p.253-260, Nov. 1985.
83. NEVILLE, Adam M. *Propriedades do Concreto*. São Paulo: Pini, 1982. 738p.
84. O'BRIEN, Turlogh. Resins in construction: feedback from structural applications. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, v.7, n.4, p.233-239, Nov. 1985.
85. OHMA, Y. Polymer-modified mortars and concretes. In: *RAMACHANDRAN, V.S. Concrete Admixtures Handbook* -

- Properties, Science and Technology.** 1.ed. USA: Noyes Publications, 1984. p337-422.
86. PAILLIERE, A.M., RIZOULIERES, Y. Effectiveness of products used for repairing concrete structures. In: PLASTICS IN MATERIAL AND STRUCTURAL ENGINEERING - DEVELOPMENTS IN CIVIL ENGINEERS, 5. London: Elsevier, 1982. p.73-78.
87. PERKINS, Philip H. **Repair, protection and water proofing of concrete structures.** London: Elsevier, 1986. 302p.
88. PIMENTEL, Celso Correa Dias, TEIXEIRA, Lívio. Injeções em estruturas de concreto. In: COLÓQUIO SOBRE PATOLOGIA DO CONCRETO E RECUPERAÇÃO DAS ESTRUTURAS, São Paulo, 1978. São Paulo: IBRACON, 1978. p.143-156.
89. POLISSENI, A.E. **Método de Campo para Avaliar a Capacidade Impermeabilizante de Revestimentos de Paredes - Método do cachimbo.** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1986. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia.
90. POPOVICS, Sandor, TAMAS, Ferens. In: POLYMERS IN CONCRETE, Detroit, 1978. **Papers...** Detroit. ACI 1978. p.357-363 (ACI SP,58).
91. QUÉNARD, Daniel, SALLÉE, Hébert. Étude du comportement mécanique d'un assemblage réalisé par collage. **Calneis du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment**, v.266, n.2053.1, jan./fév. 1986.
92. RAINA, V.K. **Concrete for construction - facts and practice.** McGraw-Hill. p.227-258. 1988.
93. REDDY, J.N., ROY, S. Non-linear analysis of adhesively bonded joints. **International Journal of Non-Linear Mechanics**, v.23, n.2, p.97-112, 1988.
94. REINHARDT, Hans W., ELFGREN, L. **Fracture Mechanics of Concrete Structures from theory to applications.** 1 ed: Chapman and Hall. 1989. p.363-368.
95. RICHOU, Jean-Claude. Le collage des alliages d'aluminium. **Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics**, n.350, p.52-60, mai. 1977.



96. RIZZO, Edward M., SOBELMAN, Martin B. Selection criteria for concrete repair materials. **Concrete International**, v.11, n.9, p.46-49, Sept. 1989.
97. SASSE, H.R., FIEBRICH, M. Bonding of polymer materials to concrete. **Matériaux et Constructions**, v.16, n.94, p.293-301, 1983.
98. SCALES, G. M. Epoxy Resins. In: SYMPOSIUM ON EPOXIES WITH CONCRETE, New Orleans, 1966. **Papers...** Detroit: ACI, 1968. p.01-04. (ACI SP, 21)
99. SCHULZE, W., MUNSE, M. Caractérisation de la surface du béton considérée dans le cas d'une liaison béton/résine synthétique. **Matériaux et Constructions**, n.63, p.185-190, mai/juin 1978.
100. SCHUTZ, R.J. Epoxy resin adhesives for bonding concrete to concrete. In: SYMPOSIUM ON EPOXIES WITH CONCRETE, New Orleans, 1966. **Papers...** Detroit: ACI, 1968. p.19-28. (ACI SP, 21)
101. \_\_\_\_\_. On new ASTM standards - epoxy resins. **Concrete International**, v.4, n.1, p.33-37, Jan. 1982.
102. SHAW, J.D.N. Polymers for concrete repair. In: ALLEN, R.T.L., EDWARDS, S.C. (Eds.). **The repair of concrete structures**. Glasgow: Blackie, 1987. Cap.4. p.37-52.
103. \_\_\_\_\_. Resins in construction. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v.74, n.4, p.217-223, Nov. 1985.
104. SIFWERBRUND, J. Improving concrete bond in repaired bridge decks. **Concrete International**, v.12, n.9, p.61-66, Sept. 1990.
105. SIMS, F.A. Applications of resins in bridge and structural engineering. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v.7, n.4, p.225-232, Nov. 1985.
106. \_\_\_\_\_. The use of resins in bridges and structural engineering in West Yorkshire. **The International**

*Journal of Cement Composites*, v.2, n.4, p.193-203, Nov. 1980.

107. SKEIST, Irving. Handbook of Adhesives
108. STANIVUKOVIC, B., KNEZEVIC-VUKSANOVIC, N. Effects de l'application de l'enduit epoxyde sur la resistance l'adherence lois de la continuation du betonage. In: RILEM SYMPOSIUM ON ADHESION BETWEEN POLYMERS AND CONCRETE, 1986, Aix-en Provence. Proceedings... London: Chapman and Hall, 1986. p.320-325.
109. THEILLOUT, Jean-Noël. Vérification de l'aptitude au collage des surfaces en béton. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n.167, p.5-12, mai/juin 1990.
110. TILLYER, R.B. Resin compositions in the construction industry, development of test methods. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, v.7, n.4, p.249-252, Nov. 1985.
111. WALL, J.S., SHRIVE, N.G. Factors affecting bond between new and old concrete. ACI Materials Journal, v.85, n.2, p.117-125, Mar./Apr. 1988.
112. WALL, J.S., SHRIVE, N.G., GAMBLE, B.R. Testing of bond between fresh and hardened concrete. In: RILEM SYMPOSIUM ON ADHESION BETWEEN POLYMERS AND CONCRETE, 1986, Aix-en-Provence. Proceedings... London: Chapman and Hall, 1986. p.335-344.
113. WALRAVEN, Joost C. Fundamental analysis of aggregate interlock. Journal of the Structural Division, ASCE, v.107, n.11, p.2245-2270, Nov. 1981.
114. WALRAVEN, Joost, FRENAY, J., PRUIJSSERS, Arjam. Influence of concrete strength and load history on the shear friction capacity of concrete members. Journal of the Precast/Prestressed Concrete Institute, v.32, n.1, p.66-84, Jan./Feb. 1987.
115. WHITESIDES, G. W. Stress in Epoxy Compounds for Portland Cement Concrete. In: SYMPOSIUM ON EPOXIES WITH

- CONCRETE, New Orleans, 1966. Papers... Detroit: ACI, 1968. p.93-106. (ACI SP, 21)
116. WILLEMS, Nicholas, EASLEY, John T., ROLFE, Stanley T. Resistência dos materiais. São Paulo: McGraw-Hill, 1983. 497p.
117. ZICHY, Jacques. Calcul des joints collés. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, n.350, p.68-77, mai 1977.



## ANEXO 1

CARACTERÍSTICAS DAS PONTES DE ADERÊNCIAS EMPREGADAS NA  
PARTE EXPERIMENTAL

## SIKADUR 32

### Adesivo estrutural à base de epóxi

● Pasta cinza

Densidade = 1,6

SIKADUR 32 é um adesivo à base de epoxi fornecido em dois componentes (A e B).

SIKADUR 32 é um adesivo próprio para garantir aderência perfeita entre o concreto fresco e o endurecido (juntas de concretagem) ou entre duas superfícies de concreto endurecido. Pode ser utilizado, ainda, para a fixação de cerâmica, azulejo, mármore, ferro, alumínio, chumbadores, calhas, guias, bem como para serviços de reforços, inclusive com colocação de ferragem adicional (lajes, vigas, colunas, etc.).

#### PROPRIEDADES

A junta colada com SIKADUR 32 tem altas resistências (maiores que as do concreto), e após endurecido, possui ótima resistência química e extraordinária estabilidade térmica.

#### Características

Duração de vida: 40-60 minutos (25°C)

Cura inicial: 5 horas

Cura final: 7 dias

#### EMPREGO

##### Preparo da Superfície

A superfície deve estar isenta de poeira, nata de cimento, graxa, parafina, etc. e, ao mesmo tempo, apresentar-se firme. As manchas de óleo e graxa serão removidas com detergente e água. A superfície deverá estar seca antes da aplicação do SIKADUR 32.

##### Preparo do Produto

O conteúdo total do componente B deve ser adicionado ao componente A e misturado, preferivelmente, com um agitador mecânico, por 3 minutos, ou manualmente, de forma enérgica, por 5 minutos.

##### Aplicação do Produto

A aplicação deve ser feita com pincel, espátula ou por outros meios equivalentes, tendo-se o cuidado de encher bem todas as cavidades. Uma camada de 1-2 mm de espessura é suficiente.

**CONSUMO:** 1-3 kg/m<sup>2</sup> variando com a espessura da camada e com o estado da superfície.

**EMBALAGEM:** Unidade de 1 Kg (componente A e B misturados).

**ARMAZENAMENTO:** Até 12 meses em embalagens originais intactas.

**OBSERVAÇÃO:** Dispomos também de SIKADUR 32 LP, adesivo Epoxi de longo Pot-Life (3 a 4 horas), para colagem de concreto velho/novo em áreas densamente armadas.

#### PRECAUÇÕES

O produto contém aminas orgânicas. Aconselha-se o uso de luvas e óculos. Em caso de contato com a pele, lavar com água e sabão. Em caso de contato com os olhos, lavar com água e consultar um médico.

**CIBA-GEIGY**  
**Strutural\***  
**ADESIVO**  
**01 A/B**

Para uma perfeita ligação entre concreto velho e concreto novo, a solução é STRUTURAL ADESIVO 01 A/B, seja em reparos de falhas de concretagem ou execução de juntas de concretagem. STRUTURAL ADESIVO 01 A/B é apresentado em forma pastosa de fácil mistura e aplicação à espátula.

Também recomendado para a colagem de peças de cimento/amianto, fixação de cerâmica, mármore, ferro, alumínio, azulejos e diversos outros tipos de materiais de construção.

<b>FINALIDADE</b>	<b>ADESIVO ESPECIALMENTE FORMULADO PARA COLAGEM DE CONCRETO VELHO COM CONCRETO NOVO.</b>
Tipo de veículo Aplicação Preparo da superfície Rendimento Viscosidade do Componente A Viscosidade do Componente B Viscosidade da Mistura Peso Específico da Mistura Proporção da Mistura  Open Time a 25° C Aspecto do Componente A Aspecto do Componente B Aspecto da Mistura Tempo de uso a 25° C (100 g.) Embalagens	Resina Epóxi Araldite <sup>®</sup> Espátula Escovamento, picotamento ou jato de Areia Aproximadamente 1,5 kg/ m <sup>2</sup> 48.000 mPas 440.000 mPas 128.000 mPas 1,83g/cm <sup>3</sup> Componente A: 1 parte em peso Componente B: 1 parte em peso 6 horas Pasta Cinza Bege Cinza Esverdeado 5 horas Componente A: 500 g. Componente B: 500 g.

**PREPARO DA SUPERFÍCIE:**

A superfície a ser tratada deverá estar totalmente seca e curada, livre de partículas soltas, poeira, nata de cimento, manchas de óleo, graxas ou agentes desformantes.

De acordo com o estudo de substrato e tipo de equipamento disponível na obra, recomendamos, para melhores resultados, picotamento, escovamento ou jato de areia.

**PREPARO DA MISTURA:**

1. Despejar o conteúdo do Componente B dentro da embalagem do Componente A.
  2. Misturar vigorosamente até conseguir-se uma perfeita homogeneização.
- Não adicionar qualquer tipo de solvente.



# NITOBOND EP

## ADESIVO ESTRUTURAL À BASE DE RESINA EPOXI

### CARACTERÍSTICAS GERAIS

Material à base de resinas epoxídicas, sem solvente, fornecido em componentes A + B pré pesados.

### USOS

Para a colagem de produtos à base de cimento (concreto argamassa, etc.) em superfícies horizontais e verticais, podendo ainda ser utilizado para a colagem de aço, vidro, alumínio, mármore, etc., desde que tenham as superfícies convenientemente tratadas (consulte nosso departamento técnico).

### VANTAGENS

- Pode ser aplicado em superfícies secas e úmidas
- Aplicado com pincel ou trincha
- Fornecido com pega normal (45 minutos) e pega lenta (10 horas)
- Excelente poder de adesão
- Alta resistência física

### APLICAÇÃO

#### Preparo da superfície

Todas as superfícies a serem tratadas devem estar firme, sem poeira e limpas.

Todos os resíduos e partículas devem ser removidos com ataque de REEBAKLENS ou com escovas de cerdas de aço. No caso de superfícies contaminadas por óleos ou graxas, estes devem ser removidos com um tratamento com REEBEXOL SUPER seguido de limpeza a água ou a vapor, antes do uso de REEBAKLENS.

A superfície deve ser lavada com água limpa e toda a água da superfície deve ser removida.

### MISTURA

Todo o conteúdo da lata de endurecedor deve ser despejado no recipiente de resina e os dois materiais completamente misturados

até que se obtenha uma cor uniforme.

A mistura do NITOBOND EP deve ser aplicada com pincel ao substrato preparado e deve penetrar bem na superfície assegurando que toda a área esteja completamente molhada. O concreto novo ou camada de cimento deve ser aplicado ao NITOBOND EP dentro de no máximo 90 min. a 20°C ou 30 min. a 30°C.

### SISTEMAS DE PEGA LENTA

O NITOBOND EP pode ser fornecido com um endurecedor especial de pega lenta, para permitir a aplicação antes da fixação das formas ou reforços. O concreto ou camada de argamassa podem então ser colocados até 24 horas depois da aplicação de NITOBOND EP.

### LIMPEZA

Deve-se limpar as ferramentas e o equipamento com solvente imediatamente após o uso.

### PRECAUÇÕES

Deve-se evitar o contato com a pele. Se houver contato com a resina, deve-se lavar a pele imediatamente com quantidades grandes de água e NÃO SOLVENTE. De preferência deve-se usar um creme removedor de resina. A contaminação dos olhos deve ser lavada imediatamente com água em abundância, devendo-se procurar um médico em seguida. Deve-se usar máscaras e óculos ao pulverizar NITOBOND EP. As áreas de trabalho devem ser bem ventiladas. Não é permitido fumar nem a proximidade de chamas expostas.

### EMBALAGEM

NITOBOND EP e PL  
Pacote prático de 0,80 kgs ou 2,5 kgs

### COBERTURA

1,0 a 1,4 m<sup>2</sup> por kg

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - (20°)

	NITOBOND EP (PEGA NORMAL)	NITOBOND EP PL (PEGA LENTA)
Vida no recipiente	30 a 45 minutos	4 a 5 horas
Dureza inicial	24 horas	48 horas
Cura completa	7 dias	7 dias
Tempo máximo para o revestimento	90 minutos	24 horas

### ARMAZENAGEM

No mínimo 6 meses a 30°C

### PROPRIEDADES FÍSICAS DO MATERIAL CURADO

Resistência à compressão - MPa*	98,0
Resistência à tração na flexão - MPa*	40,8
Resistência à tração - MPa*	24,5
Resistência ao cisalhamento - MPa*	30,6

\* 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup> = 10 kgf/cm<sup>2</sup>

## ANEXO 2

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

**AREIA**

- Areia do Rio Gravataí -

GRANULOMETRIA		
PENEIRA SÉRIE NORMAL	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
9,5	-	-
4,8	0	0
2,4	11,6	11,6
1,2	23,8	35,4
0,6	25,6	61,0
0,3	32,7	93,7
0,15	2,1	95,8
< 0,15	4,2	100

Massa Específica Absoluta = 2,63 kg/dm<sup>3</sup>

Massa Específica Aparente = 1,51 kg/dm<sup>3</sup>

Módulo de Finura = 2,98

**BRITA**

- Brita basáltica -

GRANULOMETRIA		
PENEIRA SÉRIE NORMAL	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
25	0	0
19	55	55
9,5	45	100
4,2	0	100
2,4	0	100

Massa Específica Absoluta = 3,03 kg/dm<sup>3</sup>

Massa Específica Aparente = 1,47 kg/dm<sup>3</sup>

Dimensão Máxima = 25 mm



## CIMENTO

- Cimento Portland Comum - CP 32

CARACTERIZACAO QUÍMICA	
Perda ao Fogo .....	3,07 %
Resíduo Insolúvel.....	0,53 %
Óxido de Silício.....	18,60 %
Óxido de Alumínio.....	4,60 %
Óxido de Ferro.....	4,01 %
Óxido de Cálcio Total.....	60,90 %
Óxido de Magnésio.....	1,90 %
Óxido de enxofre.....	2,22 %
Óxido de Sódio .....	0,13 %
Óxido de Potássio.....	0,72 %
Óxido de Cálcio.....	0,46 %

CARACTERIZACAO FÍSICA	
Massa Específica Absoluta.....	3,16Kg/dm <sup>3</sup>
Superfície Específica "Blaine" ..	331m <sup>2</sup> /kg
Expansibilidade à Frio.....	0,4mm