

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas

Dissertação de Mestrado

“Estudo do comportamento de aderência de argamassas
de chapisco para revestimentos sobre superfícies
de concreto de cimento Portland CPIII”

Autor: Otavio Luiz do Nascimento

Orientador: Prof. Herman Mansur

Setembro / 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas

Otavio Luiz do Nascimento

“ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS DE
CHAPISCO PARA REVESTIMENTOS SOBRE SUPERFÍCIES DE CONCRETO DE
CIMENTO PORTLAND CPIII”

Dissertação de mestrado apresentada
ao Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Metalúrgica e de Minas
da Universidade Federal de Minas Gerais

Área de concentração: Ciência e Engenharia de Materiais

Orientador: Prof. Herman Mansur

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2005

AGRADECIMENTOS

- À meus familiares, pela ausência, paciência e compreensão;
- Ao Prof. Orientador Herman Sander Mansur, pela dedicação e ensinamentos;
- Ao Alexandre Batista Ribeiro, pelo companheirismo e boa vontade;
- Aos funcionários do LASMAT, principalmente à colega Alexandra A. P. Mansur;
- À banca examinadora da proposta, que muito colaborou para a melhoria do trabalho;
- À CONSULTARE, pelo apoio e colaboração;
- À Universidade FUMEC, pelo apoio e incentivo;
- Aos fornecedores de produtos e materiais, Holcim, Otto Baumgart, Precon, Construtora Melmor, Mineração Gerais;
- E a Deus, por tornar esta etapa possível.

SUMÁRIO:

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xvii
LISTA DE NOTAÇÕES	xxii
RESUMO.....	xxviii
ABSTRACT.....	xxix
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - OBJETIVOS.....	4
3 - REVISÃO TEMÁTICA	5
3.1 – BASE - CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	5
3.1.1 – Introdução.....	5
3.1.2 – Classificações e tipos de concreto	6
3.1.3 – Estrutura do concreto	8
3.1.4 – Fatores que influenciam a qualidade do concreto	9
3.2 – MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA.....	11
3.2.1 – Cimento Portland.....	11
3.2.1.1 – Hidratação do cimento Portland	16
3.2.2 – Principais agregados.....	23
3.2.3 – Principais adições.....	29
3.2.4 – Principais aditivos	33
3.2.4.1 – Incorporadores de ar	33
3.2.4.2 – Retentores de água	35
3.2.4.3 – Hidrofugantes.....	36
3.2.4.4 – Espessantes	36
3.2.4.5 – Plastificantes	36
3.2.4.6 – Impermeabilizantes	37
3.2.4.7 – Adesivos.....	37
3.2.5 – Principais características da água.....	37
3.3 – ARGAMASSAS MODIFICADAS COM POLÍMEROS	39

3.4 – IDENTIFICAÇÃO DA ARGAMASSA SEGUNDO A FORMA DE PREPARO OU FORNECIMENTO	44
3.4.1 – Argamassa de preparo de superfícies (chapisco) misturada em obra.....	45
3.4.2 – Argamassa industrializada (ensacada)	45
3.5 – EFEITO DOS ADITIVOS POLIMÉRICOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS	47
3.5.1 – Propriedades no estado fresco	47
3.5.1.1 – Consistência	48
3.5.1.2 – Retenção de água	49
3.5.1.3 – Teor de ar incorporado.....	49
3.5.1.4 – Tempo de pega.....	50
3.5.2 – Propriedades no estado endurecido	51
3.6 – INTERAÇÃO ADITIVOS POLIMÉRICOS E O CIMENTO	53
3.7 – TÉCNICAS PARA CONFECÇÃO E APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS	57
3.7.1 – Preparação da argamassa.....	57
3.7.2 – Preparação da base de revestimento.....	59
3.7.3 – Aplicação da argamassa de revestimento.....	60
3.8 – ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS COM ARGAMASSAS INORGÂNICAS	62
3.8.1 – Classificação.....	62
3.8.2 – Especificação.....	62
3.9– SISTEMAS DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA À BASE.....	66
3.9.1 – Sistema de aderência mecânico.....	66
3.9.2 – Sistema de aderência químico	73
3.10 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	73
3.10.1 – Ensaios de caracterização do concreto da base	74
3.10.2 – Ensaios de caracterização da argamassa de chapisco.....	81
3.10.2.1 – Ensaios no estado plástico	81
3.10.2.2 – Ensaios no estado endurecido	85
3.10.2.3 – Ensaios da argamassa aplicada sobre a base.....	87

3.11 - CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL	90
3.11.1 – Difração de Raios-X (DRX).....	90
3.11.2 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	93
3.11.3 – Espectroscopia no Infravermelho.....	95
4 – MATERIAIS E MÉTODOS	96
4.1 – IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA REVESTIMENTO / BASE.....	96
4.2 – SELEÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DA BASE DE CONCRETO	98
4.2.1 – Composição da base de concreto	98
4.2.2 – Materiais constituintes.....	98
4.2.2.1 – Cimento Portland	98
4.2.2.2 – Agregado miúdo	99
4.2.2.3 – Agregado graúdo.....	100
4.2.2.4 – Aditivo	101
4.3 – IDENTIFICAÇÃO DO DESMOLDANTE.....	102
4.4 – IDENTIFICAÇÃO DAS FÔRMAS PARA CONCRETO.....	103
4.5 – IDENTIFICAÇÃO DA ARGAMASSA DE CHAPISCO UTILIZADA.....	103
4.5.1 – Materiais constituintes.....	103
4.5.1.1 – Cimento Portland	103
4.5.1.1.1 – Cimento Portland Composto CPII-E-32.....	104
4.5.1.1.2 – Cimento Portland Alto Forno CPIII-32 RS	105
4.5.1.1.3 – Cimento Alta Resistência Inicial CPV ARI.....	106
4.5.1.2 – Agregado miúdo	106
4.5.1.3 – Aditivo adesivo	108
4.5.1.4 – Adição mineral.....	109
4.6 –METODOLOGIA DE ESTUDO.....	110
4.6.1 – Fluxograma de atividades.....	110
4.6.2 – Procedimentos e técnicas executivas.....	111
4.6.3 – Aplicação de desmoldante, montagem das fôrmas e concretagem ..	112
4.6.4 – Limpeza e preparo da superfície da base	114

4.6.5 – Combinações de traços de argamassa de chapisco utilizados	115
4.6.6 – Forma de aplicação da argamassa de chapisco sobre a base e confecção de painéis de teste em pilares de concreto em obra	116
4.6.7 – Aplicação da argamassa de regularização nos painéis de teste da obra.....	117
4.6.8 – Confecção de painéis de teste em laboratório	118
4.6.9 – Avaliação da aderência do sistema revestimento/base.....	119
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	122
5.1 – ENSAIOS NA BASE DE CONCRETO.....	122
5.1.1 – Resistência à compressão e consistência.....	122
5.1.2 – Absorção de água por imersão	122
5.1.3 – Absorção de água por capilaridade	125
5.1.4 – Permeabilidade à água.....	129
5.1.5 – Permeabilidade por difusão ao ar na camada superficial de concreto	131
5.2 – CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO-PADRÃO.....	132
5.3 – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DA ARGAMASSA DE CHAPISCO	132
5.3.1 – Análise química dos materiais.....	132
5.3.2 – Fluorescência de raios-X dos cimentos.....	136
5.3.3 – Granulometria a laser dos cimentos	136
5.3.4 – Determinação do teor de escória granulada de alto forno no cimento da argamassa de chapisco.....	137
5.4 – ENSAIOS NA ARGAMASSA DE CHAPISCO	140
5.4.1 – Massa específica da argamassa	140
5.4.2 – Teor de ar incorporado	141
5.4.3 – Capacidade de retenção de água.....	143
5.4.4 – Resistência à compressão	144
5.4.5 – Tempo de pega	145
5.4.5 – Resistência à tração por compressão diametral.....	147

5.5 – ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ADERÊNCIA DO SISTEMA REVESTIMENTO / BASE	148
5.5.1 – Ensaio de resistência de aderência à tração em painéis de teste com base de concreto (em campo)	149
5.5.1.1 – Resultados do ensaio de aderência para cada cimento utilizado variando-se a relação polímero/cimento	149
5.5.1.2 – Resultados do ensaio de aderência para cada uma das relações polímero/cimento com variação do teor de escória de alto forno.....	161
5.5.2 – Ensaio de resistência de aderência à tração em painéis de teste com substrato padrão como base (em laboratório)	169
5.5.2.1 – Resultados do ensaio de aderência para cada cimento utilizado variando-se a relação polímero/cimento	169
5.5.2.2 – Resultados do ensaio de aderência para cada uma das relações polímero/cimento com variação do teor de escória de alto forno.....	181
5.6 – CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL	189
5.6.1 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	189
5.6.1.1 – Superfície da base de concreto.....	189
5.6.1.2 – Superfície da argamassa de chapisco em contato com a base de concreto	200
5.6.1.3 – Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco	206
5.6.2 – Difração de raios-x (DRX).....	210
5.6.3 – Espectroscopia no Infravermelho.....	216
6 – ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS.....	218
6.1 – ENSAIOS NA BASE DE CONCRETO EM CAMPO E SUBSTRATO-PADRÃO NO LABORATÓRIO	218
6.1.1 – Resistência à compressão e consistência.....	218
6.1.2 – Absorção de água por imersão e capilaridade.....	218
6.1.3 – Permeabilidade por difusão ao ar na camada superficial de concreto	219
6.2 – ENSAIOS NA ARGAMASSA DE CHAPISCO	219

6.2.1 – Massa específica da argamassa	219
6.2.2 – Teor de ar incorporado	220
6.2.3 – Retenção de água.....	220
6.2.4 – Resistência à compressão	221
6.2.5 – Tempo de pega	221
6.3 – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DA ARGAMASSA DE CHAPISCO	222
6.3.1 – Análise química dos materiais.....	222
6.3.2 – Granulometria a laser dos cimentos	222
6.3.3 – Determinação do teor de escória granulada de alto forno nos cimentos da argamassa de chapisco.....	222
6.4 – ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ADERÊNCIA DO SISTEMA REVESTIMENTO / BASE	223
6.4.1 – Ensaio de resistência de aderência à tração em painéis de teste com base de concreto (em campo).....	223
6.4.1.1 – Avaliação da relação polímero/cimento	223
6.4.1.2 – Avaliação da influência do teor de escória de alto forno do cimento.....	228
6.4.2 – Ensaio de resistência de aderência à tração em painéis de teste com base de concreto (em laboratório).....	232
6.4.2.1 – Avaliação da relação polímero/cimento	232
6.4.2.2 – Avaliação da influência do teor de escória de alto forno do cimento.....	236
6.4.3 – Comparativo do comportamento de ruptura com base de concreto e substrato padrão)	240
6.4.3.1 – Avaliação da relação polímero/cimento	240
6.4.3.2 – Avaliação da influência do teor de escória de alto forno do cimento.....	244
7 – CONCLUSÕES	248
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	250

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Destacamento de chapisco em fachadas de edifícios (ARQUIVO CONSULTARE, 2005).....	1
Figura 1.2 – Destacamento do chpisco na região da viga de concreto (ARQUIVO CONSULTARE, 2005).....	2
Figura 1.3 – Desplacamento do revestimento cerâmico em fachada de edifício (ARQUIVO CONSULTARE, 2005).....	3
Figura 3.1 – Seção polida de um corpo-de-prova de concreto (MEHTA & MONTEIRO,1994).....	9
Figura 3.2 – Ilustração esquemática da formação dos grãos de Hadley ("cascas vazias") em função do tempo e da dimensão do grão (SCRIVENER,2004), apud. (MANSUR, 2004).....	22
Figura 3.3 – Sistemas e classificações dos compósitos de concreto-polímero (MANSUR,2004).....	41
Figura 3.4 – Classificação de misturas poliméricas para concretos e argamassas modificados com polímeros (OHAMA, 1998).....	42
Figura 3.5 – Método do cachimbo proposto pelo CSTC (NIT nº140/1982).....	76
Figura 3.6 – Detalhe esquemático das duas câmaras de sucção (REGATTIERI et al,1995).....	78
Figura 3.7 – Vista geral do equipamento Torrent Permeability Tester.....	78
Figura 3.8 – Vista geral equipamento utilizado no ensaio de compressão axial.....	81
Figura 3.9 – Princípio do ensaio da resistência à tração por compressão diametral.....	87
Figura 3.10 – Algumas das etapas do ensaio de aderência.....	89
Figura 3.11 – Representação esquemática tubo de raios X (PAULON, 1991).....	91
Figura 3.12 – Difração de raios X em um cristal.....	92
Figura 3.13 – Processos de interações possíveis durante a incidência de um feixe de elétrons em uma amostra sólida.....	94

Figura 4.1 – Identificação do sistema revestimento/base – desenho esquemático.....	97
Figura 4.2 – Identificação do sistema revestimento/base em obra.....	97
Figura 4.3 – Estruturas químicas do PVAc e PVA.....	109
Figura 4.4 – Fluxograma de atividades.....	111
Figura 4.5 – Aplicação de desmoldante nas formas.....	112
Figura 4.6 – Montagem das fôrmas.....	113
Figura 4.7 – Execução da concretagem.....	113
Figura 4.8 – Base de concreto após a desfôrma.....	114
Figura 4.9 – Limpeza e preparo da base de concreto.....	115
Figura 4.10 – Aplicação da argamassa de chapisco em painéis de teste.....	117
Figura 4.11 – Placa de substrato-padrão após a aplicação da argamassa de chapisco.....	118
Figura 5.1 – Pilares em miniatura moldados em obra durante a concretagem.....	123
Figura 5.2 – Gráfico dos resultados do ensaio de absorção de água por imersão realizado no concreto.....	125
Figura 5.3 – Ensaio de absorção de água por capilaridade.....	126
Figura 5.4 – Gráfico dos resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade realizado no concreto.....	129
Figura 5.5 – Gráfico volume de água pelo tempo.....	130
Figura 5.6 – Granulometria a laser dos cimentos utilizados na argamassa de chapisco.....	137
Figura 5.7 – Materiais componentes do cimento.....	138
Figura 5.8 – Imagem microscópica dos grãos do cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa 3% de escória de alto forno.....	138
Figura 5.9 – Imagem microscópica dos grãos do cimento CPV ARI PLUS 4% de escória de alto forno.....	139
Figura 5.10 – Imagem microscópica dos grãos do cimento CPII E 32 32% de escória de alto forno.....	139
Figura 5.11 – Imagem microscópica dos grãos do cimento CPIII 32 RS 68% de escória de alto forno.....	139
Figura 5.12 – Massa específica das argamassas de chapisco.....	141

Figura 5.13 – Gráfico comparativo do teor de ar incorporado nas argamassas de chapisco de acordo com o tipo de cimento utilizado.....	142
Figura 5.14 – Gráfico comparativo da retenção de água nas argamassas de chapisco de acordo com o tipo de cimento.....	143
Figura 5.15 – Gráfico comparativo da resistência à compressão nas argamassas de chapisco de acordo com o tipo de cimento.....	145
Figura 5.16 – Gráfico do início de pega.....	146
Figura 5.17 – Desenho esquemático dos tipos de ruptura.....	148
Figura 5.18 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS e adição de sílica ativa (em campo com base de concreto).....	151
Figura 5.19 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS e adição de sílica ativa (em campo com base de concreto).....	151
Figura 5.20 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS (em campo com base de concreto).....	154
Figura 5.21 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS (em campo com base de concreto).....	154
Figura 5.22 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CII E 32 (em campo com base de concreto).....	157
Figura 5.23 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CII E 32 (em campo com base de concreto).....	157
Figura 5.24 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CIII32RS (em campo com base de concreto).....	160
Figura 5.25 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CIII 32 RS (em campo com base de concreto).....	160
Figura 5.26 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com relação polímero/cimento igual a 0,0%.....	162
Figura 5.27 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 0,0%.....	162

Figura 5.28 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com relação polímero/cimento igual a 2,3%.....	164
Figura 5.29 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 2,3%.....	164
Figura 5.30 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com relação polímero/cimento igual a 3,0%.....	166
Figura 5.31 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 3,0%.....	166
Figura 5.32 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com relação polímero/cimento igual a 12,0%.....	168
Figura 5.33 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 12,0%.....	168
Figura 5.34 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS e adição de sílica ativa (em laboratório no substrato-padrão).....	171
Figura 5.35 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS com adição de sílica ativa (em laboratório no substrato-padrão).....	171
Figura 5.36 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS (em laboratório no substrato-padrão).....	174
Figura 5.37 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS (em laboratório no substrato-padrão).....	174
Figura 5.38 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPII E 32 (em laboratório no substrato-padrão).....	177
Figura 5.39 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPII E 32.....	177
Figura 5.40 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPIII 32 RS (em laboratório no substrato-padrão).....	180
Figura 5.41 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPIII 32 RS (em laboratório no substrato-padrão).....	180

Figura 5.42 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste confeccionados em laboratório com relação polímero/cimento igual a 0,0%.....	182
Figura 5.43 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 0,0%.....	182
Figura 5.44 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste confeccionados em laboratório com relação polímero/cimento igual a 2,3%.....	184
Figura 5.45 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 2,3%.....	184
Figura 5.46 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste confeccionados em laboratório com relação polímero/cimento igual a 3,0%.....	186
Figura 5.47 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 3,0%.....	186
Figura 5.48 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste confeccionados em laboratório com relação polímero/cimento igual a 12,0%.....	188
Figura 5.49 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 12,0%.....	188
Figura 5.50 – MEV: Base de concreto sem argamassa de chapisco.....	189
Figura 5.51 A – MEV: Base de concreto sem argamassa de chapisco.....	190
Figura 5.51 B – MEV: Base de concreto sem argamassa de chapisco.....	191
Figura 5.52 A – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CII E32 e relação polímero/cimento = 0 %.....	192
Figura 5.52 B – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CII E32 e relação polímero/cimento = 0 %.....	193
Figura 5.53 – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CIII 32RS e relação polímero/cimento = 0 %.....	194
Figura 5.54 A – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 0 %.....	196
Figura 5.54 B – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 0 %.....	197
Figura 5.55 – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e sílica ativa para uma relação polímero/cimento = 0 %.....	198

Figura 5.56 – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa e relação polímero/cimento = 3,0 %.....	199
Figura 5.57 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPIII 32 RS e relação polímero/cimento = 2,3 %.....	200
Figura 5.58 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPIII 32 RS e relação polímero/cimento = 12,0 %.....	201
Figura 5.59 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 0 %.....	202
Figura 5.60 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 2,3 %.....	203
Figura 5.61 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa e relação polímero/cimento = 0 %.....	204
Figura 5.62 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa e relação polímero/cimento = 2,3 %.....	205
Figura 5.63 A – MEV: Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS - Relação polímero/cimento = 12,0 %.....	206
Figura 5.63 B – MEV: Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS - Relação polímero/cimento = 12,0 %.....	207
Figura 5.64 A – MEV: Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 12,0 %.....	208
Figura 5.64 B – MEV: Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 12,0 %.....	209
Figura 5.65 – MEV: Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa e relação polímero/cimento = 12,0 %.....	210
Figura 5.66 – Difração de raios-X no cimento CPV ARI PLUS.....	211
Figura 5.67 – Difração de raios-X no cimento CPE 32.....	212
Figura 5.68 – Difração de raios-X no cimento CPIII 32 RS.....	213
Figura 5.69 – Difração de raios-X da areia.....	214
Figura 5.70 – Difração de raios-X da sílica ativa.....	215
Figura 5.71 – Espectroscopia no infravermelho do aditivo adesivo utilizado na argamassa de chapisco - Absorbância (A) x Número de onda (cm ⁻¹).....	217

Figura 6.1 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS e sílica ativa (em campo – concreto).....	224
Figura 6.2 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS (em campo – concreto).....	225
Figura 6.3 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPE 32 (em campo – concreto).....	226
Figura 6.4 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPD 32 RS (em campo – concreto).....	227
Figura 6.5 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 0,0% (em campo – concreto).....	228
Figura 6.6 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 2,3% (em campo – concreto).....	229
Figura 6.7 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 3,0% (em campo – concreto).....	230
Figura 6.8 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 12,0% (em campo – concreto).....	231
Figura 6.9 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS e sílica ativa (em laboratório – substrato padrão).....	232
Figura 6.10 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS (em laboratório – substrato padrão).....	233
Figura 6.11 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPE 32 (em laboratório – substrato padrão).....	234
Figura 6.12 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPD 32 RS (em laboratório – substrato padrão).....	235
Figura 6.13 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 0,0% (em laboratório – substrato padrão).....	236

Figura 6.14 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 2,3% (em laboratório – substrato padrão).....	237
Figura 6.15 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 3,0% (em laboratório – substrato padrão).....	238
Figura 6.16 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 12,0% (em laboratório – substrato padrão).....	239
Figura 6.17 – Gráfico comparativo da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS e sílica ativa.....	240
Figura 6.18 – Gráfico comparativo da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS.....	241
Figura 6.19 – Gráfico comparativo da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPII E 32.....	242
Figura 6.20 – Gráfico comparativo da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPIII 32 RS.....	243
Figura 6.21 – Gráfico comparativo da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 0,0%.....	244
Figura 6.22 – Gráfico comparativo da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 2,3%.....	245
Figura 6.23 – Gráfico comparativo da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 3,0%.....	246
Figura 6.24 – Gráfico comparativo da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 12,0%.....	247

LISTA DE TABELAS:

Tabela III. 1 – Classes de concreto de peso normal (ABNT NBR 8953:1992).....	7
Tabela III.2 – Principais compostos químicos do clínquer (RIBEIRO et al, 2002)	12
Tabela III.3 Tipos de cimento em função das adições.....	13
Tabela III.4 – Massas específicas aparentes (ASTM-C 270-82).....	15
Tabela III.5 – Variação das propriedades com origem na variação do aglomerante cal (argamassa de cimento, cal e areia) (SABBATINI, 1981)	25
Tabela III.6 – Limites granulométricos de agregado miúdo (ABNT NBR 7211:1986).....	26
Tabela III.7 – Influência das características granulométricas das areias nas propriedades das argamassas de assentamento (SABBATINI, 1998).....	26
Tabela III.8 – Classificação das argamassas (ABNT NBR 13281:2001).....	46
Tabela III.9 – Resumo dos resultados de resistência de aderência do chapisco CAVANI & OLIVEIRA (2002).....	61
Tabela III.10 – Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos.....	63
Tabela III.11 – Limites de resistência de aderência à tração segundo a norma ABNT NBR 13749:1996.....	65
Tabela III.12 – Classes de qualidade do concreto de cobrimento.....	80
Tabela III.13 – Limites de resistência de aderência à tração segundo a norma ABNT NBR 13749:1996.....	90
Tabela IV.1 – Composição do concreto.....	98
Tabela IV.2 – Composição granulométrica – NBR 7217.....	99
Tabela IV.3 – Características físicas.....	100
Tabela IV.4 – Composição granulométrica – NBR 7217.....	100
Tabela IV.5 – Características físicas.....	101
Tabela IV.6 – Quantidade utilizada e características do aditivo.....	102
Tabela IV.7 – Características do desmoldante.....	102
Tabela IV.8 – Características Físicas CPII E 32.....	104
Tabela IV.9 – Características Químicas CPII E 32.....	104
Tabela IV.10 – Características Físicas CPIII 32 RS.....	105
Tabela IV.11 – Características Químicas CPIII 32 RS.....	105

Tabela IV.12 - Características Físicas CPV ARI PLUS.....	106
Tabela IV.13 – Características Químicas CPV ARI PLUS.....	106
Tabela IV.14 – Composição granulométrica da areia – NBR 7217.....	107
Tabela IV.15 – Características físicas da areia.....	108
Tabela IV.16 – Características do aditivo adesivo.....	109
Tabela IV.17 – Características físicas e químicas da sílica ativa utilizada.....	110
Tabela IV.18 – Situações propostas a serem estudadas.....	116
Tabela IV.19 – Ensaio de caracterização da base de concreto.....	119
Tabela IV.20 – Ensaio de caracterização da argamassa de chapisco.....	120
Tabela IV.21 – Ensaio de caracterização dos materiais componentes da argamassa de chapisco.....	120
Tabela IV.22 – Ensaio de avaliação do desempenho de aderência do sistema revestimento/base.....	121
Tabela IV.23 – Ensaio de caracterização microestrutural.....	121
Tabela V.1 - Resistência à compressão e consistência.....	122
Tabela V.2 – Massa dos cp's (g) e absorção de água (%).....	123
Tabela V.3 – Massa dos cp's (g) e absorção de água (%) após 24 horas.....	124
Tabela V.4 – Massa dos cp's (g) e absorção de água (%) após 48 horas.....	124
Tabela V.5 – Massa dos cp's (g) e absorção de água (%) após 72 horas.....	124
Tabela V.6 – Absorção de água por imersão (%).....	124
Tabela V.7 – Massa dos cp's (g) e absorção de água (%).....	126
Tabela V.8 – Massa dos cp's (g), área da seção transversal (cm ²) e absorção de água (g/cm ²) após 03 horas.....	126
Tabela V.9 – Massa dos cp's (g), área da seção transversal (cm ²) e absorção de água (g/cm ²) após 06 horas.....	127
Tabela V.10 – Massa dos cp's (g), área da seção transversal (cm ²) e absorção de água (g/cm ²) após 24 horas.....	127
Tabela V.11 – Massa dos cp's (g), área da seção transversal (cm ²) e absorção de água (g/cm ²) após 48 horas.....	127
Tabela V.12 – Massa dos cp's (g), área da seção transversal (cm ²) e absorção de água (g/cm ²) após 72 horas.....	128
Tabela V.13 – Resumo dos valores de absorção de água por capilaridade (g/cm ²).....	128

Tabela V.14 – Leituras realizadas nos cachimbos.....	130
Tabela V.15 – Base de concreto em estudo.....	131
Tabela V.16 – Classes de qualidade do concreto de cobrimento.....	131
Tabela V. 17 – Requisitos mínimos para caracterização do substrato-padrão.....	132
Tabela V.18 – Análise química do cimento CPV ARI PLUS da argamassa de chapisco.....	133
Tabela V.19 – Análise química do cimento CPII E 32 da argamassa de chapisco.....	134
Tabela V.20 – Análise química do cimento CPIII 32 RS da argamassa de chapisco.....	134
Tabela V.21 – Análise química da areia utilizada na argamassa de chapisco.....	135
Tabela V.22 – Análise química da sílica ativa utilizada na argamassa de chapisco.....	135
Tabela V.23 – Fluorescência de raios-X.....	136
Tabela V.24 – Teor de escória de alto forno presente nos cimentos das argamassas de chapisco.....	137
Tabela V.25 – Massa específica dos traços de argamassa de chapisco (g/cm^3).....	140
Tabela V.26 – Teor de ar incorporado dos traços de argamassa de chapisco (%).....	142
Tabela V.27 – Capacidade de retenção de água dos traços de argamassa de chapisco (%).....	143
Tabela V.28 – Resistência média à compressão da argamassa de chapisco.....	144
Tabela V.29 – Tempos de início de pega da pasta de consistência normal.....	146
Tabela V.30 – Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	147
Tabela V.31 – Formas de ruptura adotadas.....	148
Tabela V.32 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPV ARI PLUS com sílica ativa (em campo).....	150
Tabela V.33 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPV ARI PLUS (em campo).....	153
Tabela V.34 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPII E 32 (em campo).....	156
Tabela V.35 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPIII 32 RS (em campo).....	159

Tabela V.36 – Resultados de resistência de aderência à tração com 0% de polímero (em campo).....	161
Tabela V.37 – Resultados de resistência de aderência à tração com 2,3% de polímero (em campo).....	163
Tabela V.38 – Resultados de resistência de aderência à tração com 3,0% de polímero (em campo).....	165
Tabela V.39 – Resultados de resistência de aderência à tração com 12,0% de polímero (em campo).....	167
Tabela V.40 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPV ARI PLUS com sílica ativa (em laboratório).....	170
Tabela V.41 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPV ARI PLUS (em laboratório).....	173
Tabela V.42 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPII E 32 (em laboratório).....	176
Tabela V.43 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPIII 32 RS (em laboratório).....	179
Tabela V.44 – Resultados de resistência de aderência à tração com 0% de polímero (em laboratório).....	181
Tabela V.45 – Resultados de resistência de aderência à tração com 2,3% de polímero (em laboratório).....	183
Tabela V.46 – Resultados de resistência de aderência à tração com 3,0% de polímero (em laboratório).....	185
Tabela V.47 – Resultados de resistência de aderência à tração com 12,0% de polímero (em laboratório).....	187
Tabela V.48 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.49 – c).....	190
Tabela V.49 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.50 A –d) Ponto 1.....	191
Tabela V.50 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.51 – d) Pontos A, B e C.....	193
Tabela V.51 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.52 – d) Pontos A e B.....	195

Tabela V.52 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.53 B – e) Pontos A e B.....	197
Tabela V.53 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.58 – a).....	202
Tabela V.54 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.60 – c) Ponto 1, 2 e 3.....	204
Tabela V.55 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.61 – b) Análise no ponto 1 e em toda área central.....	205
Tabela V.56 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.62 B – e).....	207
Tabela V.57 – Quantidade de material amorfo e cristalino nos materiais da argamassa de chapisco.....	215
Tabela V.58 – Modos vibracionais com números de onda correspondentes.....	216

LISTA DE NOTAÇÕES:

ALFABETO LATINO:

- . A: consistência após a sucção no funil de Büchner modificado
- . B: consistência inicial, em mm
- . C: comprimento
- . C_1 : constante dependente diretamente da tensão superficial e da densidade da água e inversamente proporcional à sua viscosidade dinâmica
- . d: distância interplanar
- . D: diâmetro do corpo-de-prova
- . F: frequência de ressonância
- . g: aceleração da gravidade
- . H: altura
- . I: gradiente hidráulico
- . k: coeficiente de permeabilidade
- . L: comprimento do corpo-de-prova
- . l: leitura em uma dada idade
- . l_1 : leitura inicial
- . l_2 : leitura
- . N: número de poros capilares na superfície analisada
- . P: carga de ruptura do corpo-de-prova
- . Q: vazão de água, obtida com fluxo constante
- . R: raio médio do conjunto de poros capilares
- . S: área da seção transversal ao fluxo
- . T: temperatura
- . t: tempo decorrido desde o contato da unidade com a água

ALFABETO GREGO:

- . γ_{arg} : massa específica da argamassa
- . ε : retração hidráulica

- . λ : lambda
- . θ : teta

ABREVIATURAS:

- . AA: absorção de água
- . ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
- . ACR: acrílico
- . Af: área da face de revestimento do componente
- . AFt: Fase do tipo Al_2O_3 - Fe_2O_3 -tri
- . AFm: Fase do tipo Al_2O_3 - Fe_2O_3 -mono
- . Ar incorp.: ar incorporado
- . ASTM: American Society for Testing and Materials
- . BS: British Standards
- . CAD: concreto de alto desempenho
- . CH-I: cal hidratada tipo um
- . CH-II: cal hidratada tipo dois
- . CH-III: cal hidratada tipo três
- . CIARE: Curso Intensivo sobre Argamassas de Assentamento e Revestimento
- . CP I: cimento Portland comum
- . CP I – S: cimento Portland com adição
- . CP II: cimento Portland composto
- . CP II – E: cimento Portland com escória
- . CP II-E-32: cimento Portland com escória e classe de resistência de 32 MPa
- . CP II – Z: cimento Portland com pozolana
- . CP II – F: cimento Portland com filler
- . CP III: cimento Portland de Alto-Forno
- . CP IV: cimento Portland Pozolânico
- . CP V: cimento Portland de Alta Resistência Inicial
- . CP V ARI–RS: cimento Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos
- . CPGEM: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas
- . CSTB: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

- . CSTC: Centre Scientifique et Technique de la Construction
- . DIN: Deutsches Institut für Normung
- . Dm ou DM: dimensão máxima característica
- . DRX: difração de raios-X
- . E_d : módulo de elasticidade dinâmico
- . f_t : resistência à tração na flexão
- . \underline{E}_d : correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistência à tração na flexão f_t
- . EDS: energy dispersive spectrometer (espectrômetro dispersivo em energia)
- . EE.UFMG: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
- . HEC: Hidroxietil celulose
- . ICDD: International Center for Diffraction Data
- . IRA: initial rate of absorption – ensaio de absorção inicial
- . kT: coeficiente de permeabilidade de sucção
- . LNEC: Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- . ME_{sat} : massa específica do CP saturado
- . ME_{seca} : massa específica do CP seco em estufa
- . MO: microscopia ótica
- . MET: microscopia eletrônica de transmissão
- . MEV: microscópio eletrônico de varredura (ou microscopia eletrônica de varredura)
- . M_f : massa final do componente
- . MF: módulo de finura
- . M_h : massa do corpo-de-prova em estado saturado em água
- . M_i : massa do CP saturado e imerso, obtida através de balança hidrostática
- . M_m : massa do molde vazio
- . M_{ma} : massa do molde cheio de argamassa
- . M_s : massa do corpo-de-prova
- . M_{s_1} : massa do CP seco em estufa
- . M_{sat} : massa do CP saturado em água, por 24 horas
- . M_{se} : massa do componente após secagem em estufa
- . NBR: Norma Brasileira Registrada
- . NIT: Número de instrução técnica

- . PAA: Poly (acrylic-acid)
- . PAE: Polyacrylic Ester
- . PC: Polymer Concrete
- . PIC: Polymer-impregnated concrete
- . PIM: Polymer-impregnated mortar
- . PM: Polyner Mortar
- . PMC: Polymer-modified concrete
- . PMM: Polymer-modified mortar
- . PVAc: poli (acetato de vinila)
- . RA: índice de retenção de água
- . Ra: ruptura adesiva
- . Rc: ruptura coesiva
- . relação a/c: relação água/cimento
- . relação h/d: relação altura/diâmetro
- . Ret. / Água: retenção de água
- . RILEM: Réunion International des Laboratoires d'Essais et Materiaux
- . $R_{t,D}$: resistência à tração por compressão diametral
- . SBR: estireno-butadieno
- . sd: espessura da camada de ar equivalente
- . UR: umidade relativa
- . Vm: volume do molde
- . Vr: resistência média de aderência à tração

UNIDADES:

- . Å: angstrom
- . cm^2 : centímetro quadrado
- . cm^3 : centímetro cúbico
- . dm^3 : decímetro cúbico
- . eV: elétron-volt
- . ft: feet (pés)
- . g: grama

- . g/cm^2 : grama por centímetro quadrado
- . g/dm^3 : grama por decímetro cúbico
- . keV: quiloelétron-Volt
- . Kgf/cm^2 : quilograma força por centímetro quadrado
- . kg/m^3 : quilograma por metro cúbico
- . km/h: quilômetro por hora
- . m^2 : metro quadrado
- . mbar: milibar
- . m/s: metro por segundo
- . m/s^2 : metro por segundo ao quadrado
- . m^3/s : metro cúbico por segundo
- . mg/l: miligrama por litro
- . mm: milímetro
- . mm/m: milímetro por metro
- . mm/s: milímetro por segundo
- . N: Newton
- . N/m: Newton por metro
- . nm: nanometro
- . N/mm^2 : Newton por milímetro quadrado
- . N/m^3 : Newton por metro cúbico
- . N/s: Newton por segundo
- . MPa: megaPascal
- . Pa/kg: Pascal por quilograma
- . psi: pound square inch (libra por polegada quadrada)
- . torr: unidade de vácuo
- . μm : micrometro
- . #: mesh (malha de peneira)

SÍMBOLOS E COMPOSTOS QUÍMICOS:

- . Al_2O_3 : alumina
- . AlO_4^{-5} : íon aluminato

- . Ca: cálcio
- . Ca^{2+} : íon cálcio
- . CaCO_3 : carbonato de cálcio
- . $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$: carbonato de cálcio e magnésio
- . CaO : óxido de cálcio
- . CaO (ou C): cal livre
- . $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (ou C_2S): silicato dicálcico
- . $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (ou C_3S): silicato tricálcico
- . $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ (ou C_3A): aluminato tricálcico
- . $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{CaSO}_4.32\text{H}_2\text{O}$: trissulfoaluminato de cálcio hidratado
- . $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (ou C_4AF): ferro aluminato tetracálcico
- . $\text{Ca}(\text{OH})_2$: hidróxido de cálcio
- . CO_2 : gás carbônico
- . CSH: silicato de cálcio hidratado
- . FeO : óxido de ferro
- . Hg: mercúrio
- . H_2O : água
- . K_2O : óxido de potássio
- . Li: lítio
- . MgO : óxido de magnésio
- . Si: silício
- . SiO_2 : sílica
- . SO_3 : anidrido sulfúrico
- . SO_4^{2-} : íon sulfato
- . TiO_2 : óxido de titânio

RESUMO

A execução de revestimentos argamassados sobre as superfícies de concreto de cimento Portland é uma atividade cotidiana, realizada em fachadas e revestimentos internos. Porém, uma grande dificuldade de fixação das argamassas sobre superfícies de concreto tem sido observada, resultando em grandes prejuízos para a indústria da construção civil. Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento de aderência da argamassa de preparo (chapisco) sobre superfícies de concretos executados com cimento CPIII, visando determinar o sistema de aderência mais eficiente, fixando um procedimento de execução e preparo da base de concreto, melhor tipo de cimento a ser utilizado na argamassa, além de estudar a influência da introdução de aditivos adesivos à base de PVAc poli (acetato de vinila) nas argamassas. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se ser perfeitamente possível a aplicação de revestimentos de argamassa sobre as superfícies de concreto estudadas.

ABSTRACT

The application of mortar on concrete surfaces is a frequent activity, in external and internal coverings. However, a great difficulty of setting the mortar on concrete surfaces has been observed, resulting in various problems for the industry of the civil construction. So, a difficulty of bond between the mortar and the surface of concrete has been occurred. This work has the objective of study the bond behavior of the prepare mortar on concrete surfaces, defining the more efficient system, fixing a procedure of preparation of the concrete and studying the best type of cement to be used in the mortar. The effect of the influence of introduction of adhesive admixture, based on PVAc (polyvinyl acetate), was already tested . From the gotten results, the mortar covering application was perfectly concluded to be possible on concrete surfaces.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil passa por diversas mudanças nos métodos e tecnologias. Sem dúvida uma das alterações mais significativas ocorreu na tecnologia do concreto utilizado nas estruturas das edificações, proporcionando alta competitividade com outras tecnologias. A execução de revestimentos de argamassa sobre as superfícies de concreto é uma atividade cotidiana, realizada em fachadas e revestimentos internos. A forma de execução pode ser simples e artesanal ou mesmo contar com equipamentos modernos e novas tecnologias. No entanto, em função da mudança de características do concreto, uma grande dificuldade de fixação das argamassas sobre sua superfície tem sido observada, resultando em grandes prejuízos para a indústria da construção civil.

A alteração do tipo de cimento utilizado nos concretos atuais da região sudeste no Brasil, de CPV para CPIII, desde 2002, além do desconhecimento técnico dos mecanismos de aderência devido à inexistência de literatura científica na área, tem provocado um grande aumento no registro de ocorrências de destacamento no chapisco em fachadas de edifícios, conforme mostram as figuras 1.1 e 1.2.



Figura 1.1 – Destacamento de chapisco em fachadas de edifícios
(ARQUIVO FOTOGRÁFICO CONSULTARE, 2005)



Figura 1.2 – Destacamento do chapisco na região da viga de concreto
(ARQUIVO FOTOGRÁFICO CONSULTARE, 2005)

Além disso, as fontes de pesquisa existentes não tratam de maneira detalhada o processo de execução de revestimentos e, menos ainda das características e especificações mínimas das argamassas, requeridos para um bom desempenho e durabilidade durante sua vida útil. Muitos trabalhos sobre a aderência das argamassas à base já foram realizados, sendo a maioria deles sobre superfícies de tijolos e materiais porosos, mas muito poucos em superfícies de concreto.

Neste trabalho, é proposto um estudo do sistema de aderência da argamassa em superfície de concreto de cimento Portland CPIII, definindo procedimentos de execução do chapisco, que proporcionem uma redução da ocorrência das patologias nos revestimentos, possibilitando a redução do desperdício de materiais e de mão-de-obra, além de uma evolução do conhecimento técnico.

Desse modo, será possível reduzir os custos de manutenção dos edifícios e os riscos de acidentes provocados pelo deslocamento de revestimentos de fachadas, conforme mostrado na figura 1.3, além de evitar a desvalorização do imóvel e alguns problemas ligados a infiltrações de água e deteriorização de sistemas de alvenarias, concretos e instalações.



Figura 1.3 – Deslocamento em fachada de edifício
(ARQUIVO FOTOGRÁFICO CONSULTARE, 2005)

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento de aderência da argamassa de preparo (argamassa de chapisco, segundo a norma ABNT NBR 7200:1998) para revestimentos sobre superfícies de concreto, visando determinar o sistema de aderência mais eficiente, através da realização de ensaios experimentais de laboratório e de campo. Mais especificamente, as metas deste trabalho foram:

- Estudar a superfície de concreto a ser aplicada a argamassa, através da realização de ensaios de caracterização e fixando um procedimento de execução e preparo da base, buscando avaliar possíveis interferências no sistema de aderência;
- Estudar as argamassas de chapisco, através da realização de ensaios de caracterização e análises microestruturais, definindo a melhor tipologia de cimento a ser utilizada;
- Estudar a influência da introdução de aditivos adesivos, à base de PVAc poli (acetato de vinila), nas argamassas de chapisco, definindo qual o volume mais adequado de aditivo a ser usado;
- Avaliar os sistemas de aderência entre a argamassa de chapisco e a base de concreto, apresentando o desempenho em relação às proporções e situações apresentadas.

3. REVISÃO TEMÁTICA

3.1. BASE - CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

3.1.1. Introdução

O material mais largamente usado na construção civil recentemente é o concreto de cimento Portland. Segundo MEHTA & MONTEIRO (1994), ele oferece propriedades adequadas a um baixo custo combinado com os benefícios ecológicos e de economia de energia para a maioria das aplicações, sendo assim, julgando pelas tendências mundiais, o futuro do concreto parece ser ainda muito mais promissor.

Baseando-se nas normas ASTM C 125 e no Comitê ACI 116, o concreto pode ser definido como sendo um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados (areia, brita, etc). No concreto de cimento hidráulico, o meio aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água. No entanto, esta definição de concreto como uma mistura de cimento, agregados e água não incluem outros dois componentes, os aditivos químicos (aditivos que modificam as características da pasta, influenciando na taxa de hidratação do cimento) e as adições minerais (materiais contendo sílica reativa, que podem reduzir a fissuração térmica do concreto massa).

MEHTA & MONTEIRO (1994) enfatizam que, apesar da aparente simplicidade, o concreto possui uma estrutura altamente complexa, sendo que as relações estrutura-propriedade, geralmente úteis para o entendimento e controle das propriedades dos materiais, não podem ser facilmente aplicáveis. O concreto contém uma distribuição heterogênea de muitos componentes sólidos, assim como vazios de várias formas e tamanhos que podem estar completa ou parcialmente cheios de solução alcalina. Métodos analíticos da Ciência dos Materiais e da Mecânica dos Sólidos que funcionam bem com materiais manufaturados relativamente homogêneos e muito menos complexos como aço, os plásticos e as cerâmicas em geral, não se mostram muito efetivos para o concreto.

3.1.2. Classificações e tipos de concreto

Os concretos podem ser divididos e classificados de diversas maneiras: quanto à massa específica, quanto à resistência, quanto ao uso ou tipo de aplicação, quanto aos diversos materiais componentes etc. As classificações mais importantes são, seguramente, as duas primeiras.

Baseado na massa específica, MEHTA & MONTEIRO (1994) classificam o concreto em três grandes categorias. O concreto contendo areia e seixo rolado natural ou pedra britada, geralmente pesando 2400 kg/m^3 é chamado “concreto de peso normal” ou “concreto corrente” e é mais usado geralmente para peças estruturais. Para aplicações em que se deseja uma alta relação resistência/peso, é possível reduzir a massa específica do concreto, usando-se certos agregados naturais ou processados termicamente que possuem baixa densidade. O termo “concreto leve” é usado para concreto cuja massa é menor que 1800 kg/m^3 . Por outro lado, “concretos pesados”, usados às vezes na blindagem de radiações, é o concreto produzido a partir de agregados de alta densidade e que geralmente pesa mais do que 3200 kg/m^3 .

Quanto à resistência à compressão uniaxial, a norma da ABNT NBR 8953:1992 classifica os concretos de peso normal por grupos de resistência, conforme a tabela III.1. Pode-se entender que o Grupo II corresponde aos concretos de alta resistência.

Tabela III. 1 – Classes de concreto de peso normal (ABNT NBR 8953:1992)

Grupo de Resistência	Classe	Resistência característica à compressão (MPa)
	C10	10
	C15	15
	C20	20
	C25	25
	C30	30
	C35	35
	C40	40
	C45	45
	C50	50
	C55	55
	C60	60
	C70	70
	C80	80

Internacionalmente, a classificação do concreto quanto à resistência difere de país para país, e não existe uma classificação universal. A classificação predominante na Europa e em muitos outros países não é utilizada nos Estados Unidos. Entretanto, do ponto de vista das diferenças nas relações estrutura-propriedade, é útil dividir o concreto em três categorias gerais, baseadas na resistência à compressão, referida a 28 dias:

- Concreto de baixa resistência: resistência à compressão menor que 20 MPa.
- Concreto de resistência moderada: resistência à compressão de 20 MPa a 40 MPa.
- Concreto de alta resistência: resistência à compressão superior a 40 MPa.

Quanto aos tipos de concretos pode-se falar, numa primeira aproximação, em concretos convencionais e especiais. No entanto, os avanços recentes na tecnologia dos concretos, fazem com que seja quase impossível citar todos os tipos, principalmente os especiais. Os principais tipos enumerados por MEHTA & MONTEIRO (1994) são os seguintes:

- Estrutural leve;
- Alta resistência;
- Alta trabalhabilidade ou alto adensável;
- Retração compensada;
- Com fibras;
- Com polímeros;
- Pesados;
- Massa;
- Rolado ou compactado a rolo.

3.1.3. Estrutura do Concreto

O tipo, a quantidade, o tamanho, a forma, e a distribuição das fases presentes em um sólido constituem a estrutura do concreto. Os elementos graúdos da estrutura de um material podem ser vistos facilmente, enquanto os mais finos são visualizados com auxílio de um microscópio. O termo macroestrutura é geralmente empregado para uma estrutura grosseira, visível sem auxílio de aparelho. O limite de resolução a olho nu é aproximadamente 0,2 mm. O termo microestrutura é empregado para a porção aumentada microscopicamente de uma macroestrutura. A capacidade de aumento dos microscópios eletrônicos tornou possível analisar as estruturas dos materiais até uma fração de micrometro.

No exame de uma seção transversal do concreto, conforme figura 3.1, os dois microconstituintes podem ser facilmente distinguidos. São partículas de agregado de tamanho e formas variadas, e o meio ligante, composto de uma massa contínua da pasta endurecida. A nível macroscópico, conseqüentemente, o concreto pode ser considerado como um material biconstituído, consistindo de partículas de agregado dispersa em uma matriz de cimento.

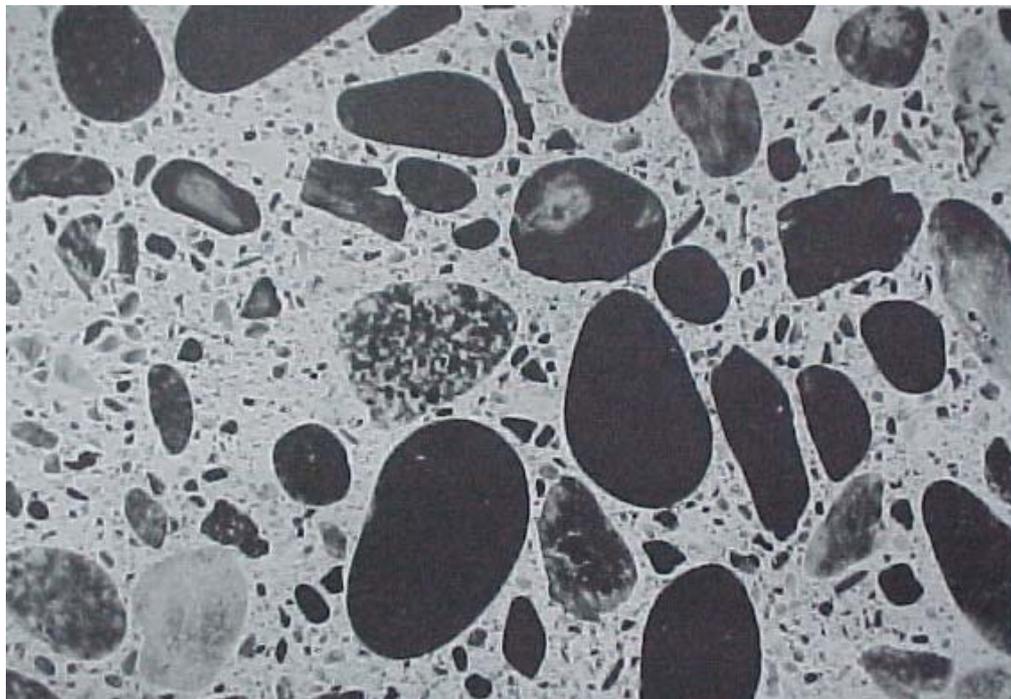


Figura 3.1 Seção polida de um corpo-de-prova de concreto
(MEHTA & MONTEIRO,1994)

As relações estrutura-propriedade constituem a essência da moderna Ciência dos Materiais. O concreto tem uma estrutura muito complexa e heterogênea. Portanto, é muito difícil estabelecer modelos exatos, a partir dos quais o comportamento do material pode ser previsto com segurança. Todavia, um conhecimento da estrutura e das propriedades de cada constituinte do concreto e a relação entre elas é útil para se exercer um certo controle sobre as propriedades do material.

3.1.4. Fatores que influenciam na qualidade do concreto

A qualidade do concreto dependerá primeiramente da qualidade dos materiais componentes (PETRUCCI, 1978).

Para a obtenção de concretos com qualidade, facilidade de emprego quando fresco, resistência mecânica, durabilidade, impermeabilidade e constância de volume depois de endurecido, sempre tendo em vista o fator econômico, são necessários: seleção cuidadosa dos materiais (cimento, agregados, água e aditivos), proporcionamento correto dos materiais e manipulação adequada (mistura, transporte, lançamento, adensamento, cura) (PETRUCCI, 1978).

Segundo SILVA (1991), o concreto de alto desempenho apresenta tentativas de superar deficiências que os concretos convencionais até então vem apresentando, principalmente no que se diz ao item durabilidade e aplicabilidade. Além disso, tem se enfatizado a correlação entre os estudos de aglomerantes pós reativos e aditivos superfluidificantes, melhorando cada vez mais a resistência, e principalmente, a porosidade, evitando que o meio agressivo entre em contato com o aço.

Segundo AÍTCIN (2000), os concretos tipo CAD contêm grande quantidade de finos (alto teor de cimento + pozolanas), baixo fator água/cimento e aditivos redutores de água tipo normal. Além disso, têm a tendência de serem rijos e viscosos, sendo atualmente possível manter grandes plasticidades e aplicabilidade melhor ou igual aos concretos convencionais. Outro item destacado é a resistência à compressão na faixa de 55 a 120 MPa, produzida normalmente em usinas de concreto premisturado, ficando esclarecido que para o concreto de alto desempenho não significa que as resistências têm que superar as resistências de 55 MPa. Pode-se afirmar que o desempenho não depende diretamente da alta resistência, uma vez que AÍTCIN (2000) cita que, a partir de 30 MPa, pode-se produzir concretos de alto desempenho tipo CAD quanto à microestrutura, relação tensão-deformação, fratura, retração por secagem e fluência. Dos princípios que norteiam a dosagem de concretos de alta resistência, nota-se que as resistências são possíveis pela redução da porosidade, da heterogeneidade e da microfissuração na pasta e na zona de transição.

Além disso, a produção de concreto de cimento Portland CPIII (alto-forno), por parte das usinas concreteiras, se tornou uma atividade constante. A razão desse fato, segundo o BOLETIM TÉCNICO ABCP – BT 106 (1994), é que o consumo apreciável de energia durante o processo de fabricação do cimento motivou mundialmente a busca de medidas para diminuição do consumo energético. Uma das alternativas de sucesso foi o uso de escórias granuladas de alto-forno e materiais pozolânicos na composição dos chamados cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos, respectivamente.

Ainda segundo o BOLETIM TÉCNICO ABCP – BT 106 (1994), a adição de escória e materiais pozolânicos modifica a microestrutura do concreto, diminuindo a permeabilidade, a difusibilidade iônica e a porosidade capilar, aumentando a estabilidade e a durabilidade do concreto. Tais fatores repercutem diretamente no comportamento do concreto, melhorando seu desempenho ante a ação de sulfatos e da reação álcali-agregado. Outras propriedades são também alteradas, conforme TEZUKA (1988), incluindo a diminuição do calor de hidratação, o aumento da resistência à compressão em idades avançadas, a melhor trabalhabilidade e outros.

3.2. MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA

3.2.1. Cimento Portland

Segundo YAZIGI (2002), o cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, e com, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego. O clínquer é um produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura de materiais, conduzida até a temperatura de fusão incipiente. Os constituintes fundamentais do cimento Portland são: a cálcia (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), a magnésia (MgO) e o anidrido sulfúrico (SO₃), que é adicionado após a calcinação para retardar o início de pega do material (intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que se inicia a reação de hidratação).

A cálcia, sílica, alumina são os componentes essenciais do cimento Portland, e constituem, geralmente, 95% a 96% do total na análise química, em óxidos. A magnésia, que parece permanecer livre durante todo o processo de calcinação, está usualmente presente na proporção de 2 a 3%, limitada, pelas especificações, ao máximo permissível de 6,4%. Segundo RIBEIRO et al (2002), os principais compostos químicos do clínquer e as propriedades deles decorrentes são mostrados na tabela III.2.

Tabela III.2 – Principais compostos químicos do clínquer (RIBEIRO et al, 2002)

Compostos	Fórmula química (% em massa)	Abreviatura	Propriedades específicas decorrentes dos compostos do clínquer
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ 50 – 65%	C_3S	. Endurecimento rápido . Alto calor de hidratação . Alta resistência inicial
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ 15 – 25%	C_2S	. Endurecimento lento . Baixo calor de hidratação . Baixa resistência inicial
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ 6 – 10%	C_3A	. Pega muito rápida controlada com a adição de gesso . Suscetível ao ataque de sulfatos . Alto calor de hidratação, alta retração . Baixa resistência final
Ferro aluminato tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.$ Fe_2O_3 3 – 8%	C_4AF	. Endurecimento lento, resistente a meios sulfatados, não tem contribuição para resistência, cor escura
Cal livre	CaO 0,5 – 1,5%	C	. Aceitável somente em pequenas quantidades; em maiores quantidades, causa aumento de volume e fissuras

Os principais tipos de cimentos Portland nacionais estão listados a seguir. E na tabela III.3, são apresentadas suas composições e as correspondentes normas ABNT.

- a) Cimento Portland Comum – CP I
- b) Cimento Portland Composto – CP II (com adições de escória de alto-forno, pozolana e filler)
- c) Cimento Portland de Alto-Forno – CP III (com adição de escória de alto-forno, apresentando baixo calor de hidratação)
- d) Cimento Portland Pozolânico – CP IV (com adição de pozolana, apresentando baixo calor de hidratação)
- e) Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CP V (com maiores proporções de silicato tricálcico, C_3S , que lhe confere alta resistência inicial e alto calor de hidratação)

Tabela III.3 Tipos de cimento em função das adições

Tipo	Sigla	Constituição				Norma ABNT
		Clínquer + gesso	Escória	Pozolana	Material carbonático	
Comum	CP I	100%		0%		NBR 7532
	CP I – S	95 – 99%		1 – 5%		
Composto	CP II – E	56 – 94%	6 – 34%	0%	0 – 10%	NBR 11578
	CP II – Z	76 – 94%	0%	6 – 14%	0 – 10%	
	CP II – F	90 – 94%	0%	0%	6 – 10%	
Alto-forno	CP III	25 – 65%	35 – 70%	0%	0 – 5%	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	45 – 85%	0%	15 – 50%	0 – 5%	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V ARI	95 – 100%	0%	0%	0 – 5%	NBR 5733
Alta Resistência Inicial Resistente a Sulfatos	CP V ARI RS	95 – 100%	0%	0%	0 – 5%	NBR 5733 NBR 5737

SOUZA et al (1996) salientam que a escolha do tipo de cimento para cada uso depende das características desejadas em relação ao tempo de desforma, à cura do concreto ou da argamassa e às necessidades de resistência mecânica e química. Para usos comuns, podem ser utilizados os cimentos CP I, CP II, CP III ou CP IV. No caso dos cimentos CP III (alto-forno) e CP IV (pozolânico), deve-se verificar se o tempo de início e fim de pega não prejudica o serviço em questão, principalmente para a execução de chapisco ou outros serviços que demandem de tempo de cura acelerado. Vale ressaltar que seu uso é recomendado em ambientes mais agressivos, sujeitos a ataque químico (atmosfera muito poluída, água ou solo poluído/contaminado). O cimento CP V não tem seu uso recomendado para a execução das argamassas, devendo-se evitar sua utilização também em ambientes sujeitos a ataque químico. CARASEK et al (2001) confirmam esta orientação, observando que, apesar de argamassas confeccionadas com o cimento CP V ARI apresentarem maiores valores de resistência de aderência que as demais, um cuidado especial deve ser tomado, pois sua maior finura pode conduzir mais facilmente a retração (comparando-se com a utilização de outros cimentos, considerando-se o mesmo consumo).

Segundo ARROBAS & DJANIKIAN (1999), o cimento CII E-32 é um dos aglomerantes mais utilizados nas composições das argamassas. Em trabalhos acerca da influência do tipo de cimento nas argamassas, CINCOTTO & BOLORINO (1997) avaliaram os cimentos Portland CII E, CII F, CIII, CPV ARI e CPV ARI RS, na confecção de argamassas mistas, de cimento: cal: areia, na proporção 1:1:6, em massa. Os autores observaram que, em relação à resistência à compressão axial, os valores mais baixos foram encontrados na utilização do CII F, com adição de filler calcário, e os mais elevados foram encontrados na utilização do CPV ARI RS com teor elevado de C_3S .

Observaram também que os cimentos que contêm escória (CII E e CIII) apresentaram crescimento da resistência até 63 dias, ao contrário dos restantes, que apresentaram um patamar a partir dos 28 dias.

Na realização de painéis revestidos com as argamassas produzidas, foi constatado que, quando da utilização do cimento CPIII, a retração não levou à formação de fissuras nos revestimentos, devido à menor velocidade de hidratação deste tipo de cimento. Por outro lado, nos painéis onde se utilizou o cimento CPV ARI RS, verificou-se o surgimento de fissuras, fenômeno que pode ser justificado pela velocidade de hidratação acelerada e maior retração inicial.

Em relação ao acondicionamento do cimento no canteiro de obra, SOUZA et al (1996) recomendam o armazenamento em pilhas de no máximo 15 sacos, no almoxarifado de ensacados do canteiro, por não mais que 30 dias (o estoque deve ser feito de maneira a garantir que os sacos mais velhos sejam utilizados antes dos sacos recém-entregues). Recomendam ainda que o depósito de cimento não deve distar mais que 20 metros da praça de descarga e sua cobertura deve ser reforçada para minimizar os riscos de perda do material por goteiras ou vazamentos despercebidos. O piso deve ser revestido com estrado de madeira (pontaletes e tábuas ou chapas de compensado). Em regiões litorâneas, recomendam também uma proteção adicional contra a umidade, indicando a cobertura do lote com uma lona plástica (não hermeticamente) para garantir a durabilidade e o prazo de estocagem do cimento.

Para converter os traços tabelados em volume para traços em massa, a norma ASTM C-270-82 sugere utilizar as massas específicas aparentes (ou pesos unitários) apresentados na tabela III.4.

Tabela III.4 – Massas específicas aparentes (ASTM-C 270-82)

Produto	Massa específica aparente (kg/m ³)
Cimento Portland	1.505
Cal hidratada	640
Pasta de cal	1.280
Areia úmida e solta	1.280

3.2.1.1. Hidratação do cimento Portland

O termo hidratação na química do cimento indica a totalidade das mudanças que ocorrem quando o cimento anidro é misturado com água. Este cimento reagindo com a água atua como um ligante hidráulico, uma vez que as reações ocorrem em extensão e taxas suficientes e os produtos sólidos formados apresentam baixa solubilidade e produzem uma microestrutura que atende a requisitos de resistências mecânicas, estabilidade volumétrica e outras propriedades (TAYLOR, 1997).

As reações químicas que ocorrem são geralmente muito complexas, não correspondendo simplesmente à conversão dos compostos em seus correspondentes hidratados. Os produtos de hidratação do cimento são os mesmos da hidratação dos componentes individuais em condições similares, com a ressalva que os produtos de reação podem interagir entre si ou com outros componentes do sistema. Os dois silicatos de cálcio são os componentes mais importantes e abundantes no cimento e o comportamento físico do cimento durante a hidratação é semelhante ao desses dois compostos isolados (NEVILLE, 1997).

Os produtos de hidratação dos silicatos de cálcio são silicatos de cálcio hidratados, denominados C-S-H, e hidróxido de cálcio. Este silicato de cálcio hidratado obtido apresenta a estrutura de um gel rígido e é uma variedade particular do C-S-H que é um nome genérico para qualquer silicato de cálcio hidratado, com nenhuma composição em particular, o que é indicado pelos traços. O hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2 ou CH) apresenta uma estrutura em camada com os átomos de cálcio em posições octaédricas e os oxigênios em posições tetraédricas. As forças de interação entre as camadas são fracas resultando no plano de clivagem (001) da célula hexagonal. Sob condições ideais de cristalização, CH forma placas hexagonais que com o decorrer da reação formam maciços de forma indefinida" mas mantendo o plano de clivagem característico.

CH é freqüentemente descrito através do seu nome mineral, portlandita, e corresponde ao único composto resultante da hidratação do cimento que é solúvel em água" sendo esta solubilidade uma causa de degradação do cimento (TAYLOR, 1997); (PETRUCCI,1978).

A hidratação dos silicatos de cálcio se processa em uma taxa crescente, podendo ter sua velocidade retardada durante um período, chamado de período de indução,. o qual acredita-se estar associado à formação de uma fina camada de material depositado sobre a superfície dos grão que, posteriormente são dissolvidos pela nucleação e crescimento do C-S-H. Segue-se a este estágio, a principal reação que é caracterizada pela dissolução dos silicatos, cuja existência é controversa na ausência de aditivos retardadores, seguida de precipitação dos produtos capaz de promover a completa reação dos grãos de silicatos pequenos, e uma reação mais lenta que forma os produtos de hidratação dentro dos contornos dos grãos originais (*inner products*). Estes produtos são resultantes de uma "reação no estado sólido" *in situ* através da difusão de íons H⁺ para o interior dos grãos e de espécies Ca⁺² e Si⁺⁴ no sentido contrário. Estas espécies, ao entrar em solução, e juntamente com os íons OH⁻ liberados pelas moléculas de água, precipitam CH e C-S-H nos espaços originalmente preenchidos com água (*outer products*) (TAYLOR, 1997); (NEVILLE, 1997); (JENNINGS et al, 1997).

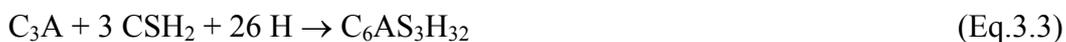
Os produtos de hidratação do C₃S e do C₂S são bastante similares, sendo as principais diferenças entre estes dois silicatos a velocidade de reação e as quantidades de portlandita formada. A hidratação do C₃S é controlada pela velocidade de difusão dos íons enquanto que o β-C₂S apresenta uma baixa velocidade intrínseca de reação em relação ao silicato tricálcico. Isto se deve ao fato de nos silicatos dicálcicos os átomos de oxigênio estarem todos ligados a átomos de Si enquanto que o silicatos tricálcicos apresente os oxigênios ligados apenas a átomos de cálcio. A menor eletronegatividade do Ca comparada com a do Si faz com que o C₃S seja mais reativo que o β-C₂S (TAYLOR, 1997); (NEVILLE, 1997).

No que diz respeito à quantidade de portlandita resultante, supondo a formação de um composto hidratado com a fórmula $C_3S_2H_8$ (Ca/Si = 1,5: os valores usualmente obtidos estão entre 1,5 e 2,0), ter-se-iam as seguintes reações para a hidratação dos silicatos de cálcio:



A partir destas reações é possível verificar que a quantidade de hidróxido de cálcio formada na hidratação do C_3S é maior que a obtida a partir do C_2S (TAYLOR, 1997); (NEVILLE, 1997).

A reação do C_3A puro com a água é bem violenta e conduz ao imediato enrijecimento da pasta de cimento, conhecida como pega instantânea. A adição do gesso visa solucionar este problema, retardando a reação do C_3A . Este efeito do gesso tem sido atribuído principalmente à formação de uma camada protetora de etringita ou outros compostos. Estudos mostraram que em presença de sulfato de cálcio, a reação do C_3A com a água ocorre em dois estágios ambos exotérmicos. Em um primeiro momento (30 primeiros minutos) forma-se etringita, fase do tipo AFt (Al_2O_3 - Fe_2O_3 -tri) de fórmula $[Ca_3Al(OH)_6.12H_2O]_2.(SO_4)_3.2H_2O$ ou $C_3A.3CaSO_4.32H_2O$. Em um segundo estágio, 24 a 48 horas após o contato da água com o C_3A , a reação prossegue sendo formadas fases do tipo AFm (Al_2O_3 - Fe_2O_3 -mono). As reações observadas podem ser representadas pelas seguintes equações:



Onde $S = SO_3$ e a fase C_4ASH_2 é um tipo de monossulfato também denominados de monossulfoaluminato ou cálcio sulfoalumintado de baixo sulfato (TAYLOR, 1997); (NEVILLE, 1997).

Os produtos da hidratação da ferrita são similares aos do aluminato. Inicialmente são formados cristais de fases AFt, sendo estas mais tarde substituídas por fases de AFm, similar ao C_3A . Ambos produtos contem íons Fe^{+3} e Al^{+3} que tendem a sofrer outras mudanças resultando em fases hidrogranada (fases com estrutura relacionada com a granada $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$ modificada pela omissão de um ou todos os silícios, sendo a carga final balanceada pela substituição de cada átomo de oxigênio ao qual ele estava ligado por hidroxila) (TAYLOR, 1997).

Na hidratação de uma pasta de cimento propriamente dita, estarão presentes grãos de cimento constituídos das diversas fases que compõem o clínquer. As reações de hidratação irão ocorrer de forma similar ao observados nos componentes separados com algumas pequenas modificações. A Figura 20 mostra a seqüência de transformações pelas quais um grão de cimento passa durante a hidratação, segundo modelo proposto por TAYLOR (1997). É interessante considerar a hidratação em termos de três estágios: inicial (da mistura da água até 3 horas), intermediário (entre 3 e 24 horas após a mistura) e final (a partir de 24 horas), envolvendo as seguintes transformações/reações:

- **Estágio Inicial:** observa-se a formação de uma camada de gel ou membrana sobre as superfícies dos grãos logo após a mistura, menos visível em pastas de cimento com a/c normais. Esta camada é provavelmente amorfa, coloidal e com significantes quantidades de cálcio e sulfato, variando em função da superfície na qual está depositada. Com aproximadamente 10 minutos, cilindros curtos e espessos de fase AFt são vistos nas superfícies dos grãos e também mais afastados, nucleando na superfície externa do gel ou na solução, respectivamente. Com a secagem, a camada de gel retrai e os cristais de AFt retrocedem para a superfície dos grãos de cimento;

- **Estágio Intermediário:** nesta etapa cerca de 30% do cimento reage. Ele coincide com o período de elevado calor de hidratação e é caracterizado pela rápida formação do C-S-H e CH. O C-S-H forma uma camada em torno dos grãos de cimento, envolve e possivelmente, nucleia sobre os bastões de AFt. Uma quantidade significativa é formada em 3 horas e os grãos estão completamente cobertos em 4 horas após o preparo da pasta. Esta casca cresce para fora e em cerca de 12 horas elas apresentam espessura de 0,5 a 1,0 μm começando a coalescer com os produtos de hidratação dos grãos adjacentes. Neste momento da hidratação, o chamado ponto de coesão (a fratura através dos produtos de hidratação começam a suplantar a fratura entre os produtos), coincide com a máxima liberação de calor, e caracterizando o fim da pega. Nesta etapa, também é observada a ocorrência de um espaço vazio ("casca vazia") entre os produtos de reação e a superfície do cimento não hidratado de espessura inferior a 1 μm e preenchidas com uma solução de concentração elevada, que pode migrar através da camada ainda porosa dos produtos de hidratação já formados (*outer* C-S-H), indicando que, nesta etapa, os produtos são formados por mecanismos de dissolução e precipitação. Próximo ao fim deste período corre um novo crescimento de cristais AFt, mais aciculares que os anteriormente formados e com comprimento de até 10 μm .
- **Estágio Final:** com a redução da permeabilidade da casca de produtos hidratados, C-S-H começa a se depositar dentro dos contornos originais dos grãos de cimento (*inner* C-S-H), avançando de forma mais rápida que a retração do grão, o que favorece o preenchimento da casca vazia. Após o preenchimento desta região, as reações de hidratação prosseguem de forma mais lenta através de "reações no estado sólido". Grãos menores que 5 μm parecem reagir completamente antes do fim do período intermediário e antes que tenha se depositado no interior da casca, gerando espaços vazios, denominados grãos de Hadley. Os produtos de hidratação destes grãos tendem a se fundir com o dos grãos maiores, nos quais as cascas vazias tendem a desaparecer após aproximadamente 7 dias. Neste momento, os produtos de hidratação apresentam da ordem de 8 μm de espessura, consistindo, principalmente, de material depositado no interior do grão.

- A queda na concentração do íon $(\text{SO}_4)^{-2}$ dentro dos produtos de hidratação faz com que a reação do aluminato prossiga com a formação de fases AFm nas quais as fases AFt presentes também se convertem. Fases AFt podem persistir quando precipitadas fora dos contornos dos produtos de hidratação.

Diversos fatores influenciam a hidratação do cimento, a saber (TAYLOR, 1997); (VAIDERGORIN, 1983); (NEVILLE, 1997); (JENNINGS & SONG, 1999); (SHARP & ESCALANTE-GARCIA, 1998); (PANDEY & SHARMA, 1999):

- pH;
- Temperatura;
- Umidade;
- Pressão de vapor;
- Distribuição de tamanho (finura);
- Composição química;
- Adições;
- Disponibilidade de água;
- Impurezas do agregado.

A avaliação da evolução da hidratação do cimento pode ser realizada através de diferentes parâmetros que permitem determinar o grau de hidratação do cimento (TAYLOR, 1997); (NEVILLE, 1997); (ASH, 1993):

- Massa específica da pasta;
- Quantidade de água combinada quimicamente;
- Quantidade de cimento não hidratado.

A causa da origem desta região diferenciada ainda não está muito bem entendida, mas é usualmente atribuída à presença de espaços preenchidos com água em torno do agregado e ao efeito de parede do agregado em relação à pasta, resultando em uma região de maior porosidade com difusão de íons diferenciada.

Os grãos de cimento de maiores dimensões têm dificuldade de empacotar mais densamente próximo da superfície, seja por mecanismos de floculação, seja pela razão de aspecto dos grãos. Desta forma, tem-se uma região de maior fator água/cimento com grãos de cimento de menores dimensões, os quais, quando menores que $5\ \mu\text{m}$, tendem a hidratar-se completamente levando à formação dos grãos de Hadley, abundantes nesta região (Figura 3.2) (TAYLOR, 1997); (NEVILLE, 1997); (RAO & PRASAD, 2002).

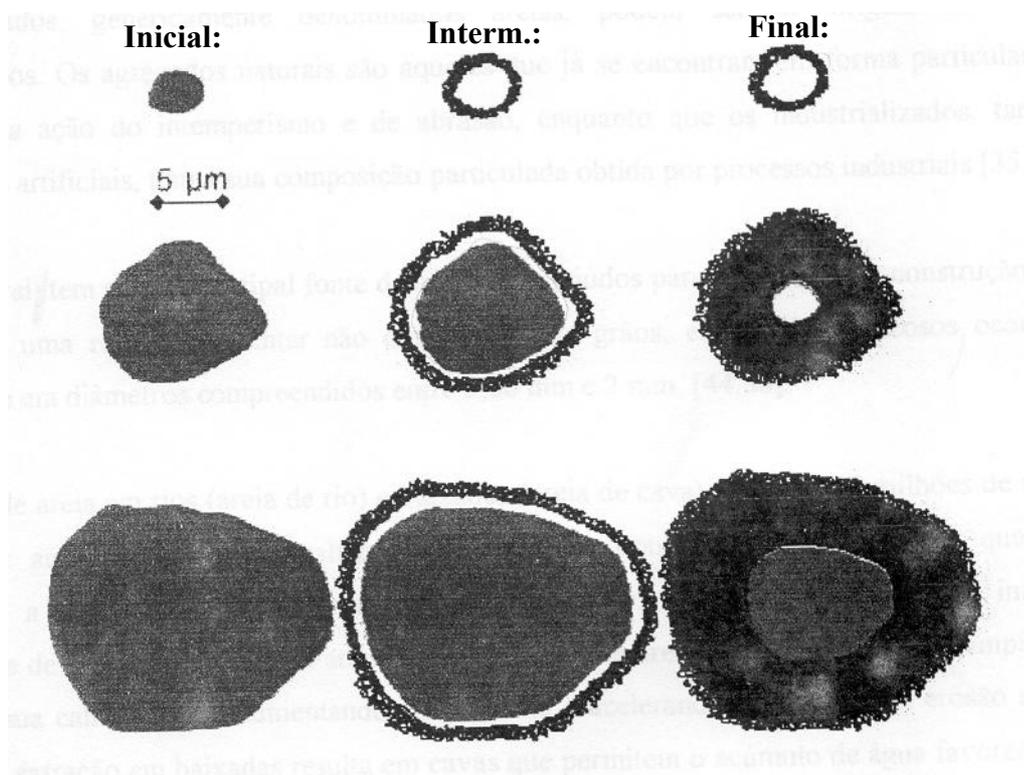


Figura 3.2 - Ilustração esquemática da formação dos grãos de Hadley (cascas vazias") em função do tempo e da dimensão do grão (SCRIVENER 2004, apud. MANSUR,2004).

A coluna do meio indica a situação após 1 dia, mostrando vazio da ordem de $1\ \mu\text{m}$ entre o grão de cimento não hidratado (cinza) e o produto de hidratação (preto). Para grãos menores que $5\ \mu\text{m}$, os grãos hidratam completamente no primeiro estágio, podendo formar um grão de Hadley.

A natureza desta região interfacial também depende das características microestruturais do agregado, resultando em mecanismos de interação físicos ou químicos. De modo geral, os agregados são considerados quimicamente inertes em relação à pasta de cimento, sendo a interação entre eles essencialmente de intertravamento mecânico dependente da rugosidade do agregado. Interações químicas podem atuar de forma favorável, pela corrosão da superfície do agregado aumentando a área de contato ou mesmo pelo desenvolvimento de reações químicas entre os componentes do cimento e do agregado. Algumas reações interfaciais podem também enfraquecer o material criando espaços vazios ou produzindo forças expansivas que a ligação não é capaz de resistir (TAYLOR, 1997); (SCRIVENER, 2004); (RAO & PRASAD, 2002).

3.2.2. Principais agregados

Entende-se por agregado, miúdo ou graúdo, o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia (PETRUCCI, 1978).

São agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados, encontrados nos leitos dos rios e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rochas. Os agregados são divididos em dois grupos, miúdos (areias naturais ou artificiais) com diâmetros inferiores a 4,8 mm, e graúdos (rochas britadas, cascalhos de rio, etc.) com diâmetros superiores a 4,8 mm. Além disso, agregados super-finos, os chamados “pó de pedra”, passando peneira nº200 (75 µm), são frequentemente utilizados em concretos de cimento Portland.

Segundo GUIMARÃES (1997), o agregado componente das argamassas é o material particulado de origem mineral onde predomina o quartzo, de diâmetros entre 0,06 e 2,0mm. O autor identifica as seguintes origens do agregado miúdo: de rio (depósitos sedimentares que se formam no leito de alguns rios onde a extração se faz por dragas de sucção); de cava (depósitos aluvionares em fundos de vales, recentes ou antigos, cobertos por capa de solo onde a extração se faz por escavação mecânica ou por desmonte hidráulico); de britagem (areia de brita, obtida no processo de classificação a seco nas pedreiras onde a porcentagem de material impalpável – abaixo de 0,075mm – pode ser retirada pelo processo úmido nos separadores de areia); de escória (a escória básica de alto-forno, granulada, é resfriada bruscamente por jato de água na saída do forno, fragmentando-se em grãos, geralmente inferiores a 12,7mm; após a classificação obtém-se a areia de escória) e de praias e dunas (em geral, não são utilizadas para este fim devido a sua grande finura e teor de cloreto de sódio).

Geralmente, este agregado é a areia natural, constituída essencialmente de quartzo, extraída de leitos de rios ou de “cavas”, e resultante de antiga erosão de rochas quartzosas e posterior sedimentação de material silicoso. Só recentemente estão sendo utilizadas as areias artificiais como um dos produtos da britagem de rochas ígneas ou metamórficas (observa-se, no entanto que, normalmente, devido à questão do fator forma do grão – o que está diretamente relacionado com a trabalhabilidade da argamassa – as areias artificiais – que possuem formato de grão geralmente anguloso – são utilizadas em conjunto com as areias lavadas – com formato de grão mais arredondado (RIBEIRO et al, 2002)).

A norma ABNT NBR 7211:1986 – Agregado para concreto também é utilizada como referência para argamassas, em função da inexistência de norma brasileira específica.

A granulometria, determinada segundo a norma ABNT NBR 7211:1986, deve cumprir os limites de somente uma das zonas indicadas na Tabela III.5. Podem ser utilizadas areias cuja granulometria não se enquadrem em qualquer uma das zonas indicadas na Tabela III.5, desde que sejam realizados estudos prévios de dosagem ou então a faixa granulométrica seja de uso consagrado em determinada região.

Tabela III.5 – Limites granulométricos de agregado miúdo (ABNT NBR 7211:1986)

Peneira ABNT	Porcentagem, em peso, retida acumulada na peneira ABNT, para a			
	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8 mm	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4 mm	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2 mm	0 a 10	0 a 25	0 a 45	30 a 70
0,6 mm	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3 mm	50 a 85	60 a 80	70 a 92	80 a 95
0,15 mm	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

O módulo de finura do agregado (MF) é a soma das porcentagens retidas acumuladas dividida por 100 (ABNT NBR 7211:1986). Embora não represente a distribuição granulométrica como um todo, é uma indicação do tamanho médio do agregado, sendo tanto maior quanto mais grosso é o agregado. Este parâmetro é muito utilizado para controlar variações nos agregados de uma mesma fonte (NEVILLE, 1997).

A dimensão máxima característica (DMC) é a abertura da malha, em milímetros, da peneira da série padrão, à qual corresponde uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% (ABNT NBR 7211:1986).

CARASEK et al (2001) afirmam que, com o aumento do teor de areia, há uma redução na resistência de aderência. Por outro lado, a areia, por constituir-se no esqueleto indeformável da massa, é que garante a manutenção da aderência ao longo do tempo pela redução da retração. Além disso, areias muito grossas não produzem argamassas com boa capacidade de aderência porque prejudicam a sua trabalhabilidade e, conseqüentemente, a sua aplicação ao substrato, reduzindo a extensão de aderência.

Por outro lado, areias ou composições inertes com altos teores de finos (principalmente partículas inferiores a 0,075 mm) podem prejudicar a aderência e, neste caso, podem ser apresentadas duas hipóteses como explicação. A primeira refere-se ao fato de que, quando da sucção exercida pelo substrato, os grãos muito finos da areia podem penetrar no interior de seus poros, tomando, assim, o lugar de produtos de hidratação do cimento que se formariam na interface e produziram o encunhamento da argamassa. A segunda hipótese versa sobre a teoria dos poros ativos do substrato, na qual uma areia com grãos muito finos produziria uma argamassa com poros de diâmetro médio pequeno; argamassas com poros menores que os poros do substrato dificultam a sucção da pasta de aglomerante, uma vez que o fluxo hidráulico se dá sempre no sentido dos poros maiores para os menores.

SABBATINI (1998) apresenta na tabela III.6 uma sinopse qualitativa da influência dos parâmetros granulométricos nas principais propriedades das argamassas.

Tabela III.6 – Influência das características granulométricas das areias nas propriedades das argamassas de assentamento (SABBATINI, 1998)

Propriedades	Características da areia		
	Quanto menor o módulo de finura	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável	Melhor
Resiliência	Variável	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Variável	Aumenta	Variável
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistências mecânicas	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

O termo variável é aplicável quando não existe uma influência definitiva ou quando esta influência depende de outros fatores.

No entanto, SABBATINI (1998) também afirma que, em linhas gerais, a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é a que tem granulometria contínua (corrida) e classificada como média (módulo de finura entre 1,8 e 2,8) e tenha predominância de grãos arredondados.

Segundo GUIMARÃES (1997), as propriedades mecânicas das areias que interferem no comportamento das argamassas são as seguintes:

- a) Inchamento. A areia seca absorve água, que passa a formar uma película em torno dos grãos. Como os vazios da areia chegam, por vezes, a ser tão delgados quanto a espessura da película de água, este afasta os grãos entre si, produzindo inchamento.
- b) Higroscopia. A areia seca tem duas fases: sólidos (grãos) e vazios (ar); a areia úmida tem três: sólidos, água e ar; a areia saturada, duas fases: sólidos e água. Os vazios (espaços entre os grãos) da areia seca são de dimensões muito pequenas, de modo que a areia pode apresentar higroscopia ou ascensão capilar, isto é: quando a areia entra em contato com água na base, a água no interior da massa alcança nível acima da água no exterior, devido à capilaridade. Quanto mais fina a areia, mais alta é a ascensão capilar. Isto deve ser levado em conta em algumas aplicações, como pisos, por exemplo.
- c) Coesão aparente. O valor cresce rapidamente de zero (para teor de umidade nulo) até o máximo, para decrescer em seguida até se anular novamente para a areia saturada.

d) Friabilidade. A areia perde qualidade se contiver grãos friáveis. Para verificar, em primeira aproximação, a presença de grãos friáveis em tempo mais curto do que o necessário para o ensaio de qualidade pode ser feito um teste de esmagamento, segundo a norma ABNT NBR 7218:1987 – Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. A areia é colocada em um molde e recoberta por um êmbolo sobre o qual se exerce uma força crescente, necessária para atingir a pressão de 40 MPa em um minuto. Essa pressão é conservada constante por quatro minutos. Determinam-se os módulos de finura antes e depois do ensaio e calcula-se a sua porcentagem de redução, que se compara com a da areia normal.

GUIMARÃES (1997) também salienta a importância da qualidade do agregado utilizado na composição das argamassas. Quando o mineral argiloso presente é do grupo das esmectitas (montmorilonitas), são possíveis fenômenos de expansão e retração no sistema, em função da variação da umidade. O grupo de minerais de ferro – magnetita, ilmenita, pirita e concreções ferruginosas – tem ação deletéria, por possibilitar a formação de compostos expansivos resultantes de reações oxidantes. A mica, geralmente com formas de cristais lamelares, dificulta a homogeneidade das características físicas do revestimento e a aderência da argamassa na sua interface com a base, atuando também no interior da massa como superfície diminuta de escorregamento ou descolamento, resultando na esfoliação do revestimento. Em areias mal lavadas e/ou mal selecionadas, aparece a matéria orgânica, resultante de restos vegetais, que inibe o endurecimento do aglomerante, provocando na superfície o aparecimento de vesículas, cujo interior tem tonalidade escura.

Já ISBENER (1969), em ensaios realizados com argamassas de cimento e areia com teores variados de caulinita, xisto argiloso e montmorilonita comprovou que apenas a resistência à compressão de argamassas ricas é sensivelmente prejudicada pela adição de argilominerais (teores ensaiados até 15% em massa). RENSBURG (1978) chegou à conclusão de que teores excessivos (superiores a 20%) de argilas na areia reduzem, em muito, a capacidade de aderência das argamassas.

SOUZA et al (1996) recomendam um teste simples (e de possível execução no canteiro de obras) para avaliação de impurezas nas areias. Consiste em colocar em um frasco de vidro transparente uma porção de areia, adicionando, em seguida, água e agitando-o vigorosamente no sentido horizontal. Deixar em repouso por 20 minutos. Se a água que sobrenadar o depósito for clara, provavelmente a areia ensaiada tem baixos teores de impurezas orgânicas ou de natureza argilosa. Caso a água fique muito turva, é provável que a areia seja de má qualidade, devendo-se repetir o ensaio com outra amostra. Persistindo a dúvida, é possível verificar ou contestar a qualidade da areia solicitando o ensaio de determinação do teor de argila (norma ABNT NBR 7218:1987) e o de impurezas orgânicas (norma ABNT NBR 7220:1987).

Segundo SOUZA et al (1996), o local de armazenamento da areia deverá estar limpo e localizado o mais próximo possível da central de produção de argamassa. A obra deverá providenciar baias cercadas em três laterais, em dimensões compatíveis com o canteiro e o volume a ser estocado, evitando-se assim espalhamento e desperdício de material. Em época de chuvas torrenciais, é recomendada a cobertura do material com lonas plásticas, a fim de impedir o seu carreamento. Areias com granulometrias diferentes deverão ser estocadas em baias separadas.

3.2.3. Principais adições

As adições são materiais finamente divididos, com capacidade de conferir algumas propriedades à argamassa. Na maioria das vezes, não possuem poder aglomerante, atuando como agregados, e, de modo geral, possuem poder aglutinante (promovem a liga).

PAES et al (1999) afirmam que, os materiais finos, sejam eles provenientes dos aglomerantes (cimento e cal), dos argilominerais (presentes nos saibros) ou de outros materiais inertes (por exemplo, pó calcário) têm, em função de sua elevada área específica, papel plastificante nas argamassas.

PAES et al (1999) afirma ainda que, a medida que se aumentam os finos inertes nas argamassas ganha-se em trabalhabilidade e perde-se pelo aumento da pulverulência e da fissuração dos revestimentos, sendo portanto, necessária a definição do teor ideal desse tipo de material nas argamassas.

Além disso, TEZUKA et al (1993), em estudo sobre a influência na cinética da hidratação do cimento Portland com adição de filler calcário, afirmaram que a adição de calcário finamente moído ao cimento Portland tem despertado o interesse do meio técnico por razões tecnológicas e econômicas. Como razões tecnológicas citam-se, entre outros, o aumento da consistência do concreto no estado fresco, a capacidade de retenção d'água, o aumento da compactação do concreto pelo enchimento do seu volume de vazios pelo calcário e aumento da resistência ao sulfato. Do ponto de vista econômico é interessante, principalmente, como medida na conservação de energia e redução do impacto ambiental.

Outras adições que merecem hoje a atenção e estudos de pesquisadores da área de argamassas são os rejeitos industriais e as fibras poliméricas. AGUILAR et al (2002) avaliaram o desempenho de argamassas com adições de rejeitos industriais, no caso, sílica ativa (sílica no estado amorfo obtida como subproduto da fabricação de ferro-silício ou silício metálico) e escória de alto-forno granulada finamente moída, adicionando também fibras poliméricas. Neste trabalho, AGUILAR et al (2002) concluíram que as fibras poliméricas são de grande efetividade quando se deseja diminuir o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas (situação desejável no sentido da redução da fissuração por secagem dos revestimentos). Porém, caso este seja o objetivo, não se deve proceder ao uso conjunto de fibras e sílica ativa, pois os efeitos destas duas adições no módulo de elasticidade parecem se anularem (a indicação conjunta de fibras e sílica ativa seria recomendada quando o objetivo fosse o aumento da resistência mecânica). O uso da sílica ativa foi capaz de diminuir a permeabilidade da mistura. Os efeitos da adição de sílica ativa juntamente com escória finamente moída indicaram que a escória contribuiu pouco no desempenho, culminando com a sugestão dos autores para uma avaliação do efeito da escória como única adição mineral para que se possa ter uma visão mais clara de sua atuação.

Segundo MARCIANO JR. & KIHARA (1993) o uso de escórias não convencionais para fins pozolânicos tem sido discutido em vários países como: Japão, Canadá, França e Estados Unidos. Eles dizem que a utilização desse material (essencialmente de Ni, Cu e Pb) no concreto ou como adição para cimento, fundamenta-se na limitação de fontes naturais de agregados, na disponibilidade local de adições ativas e no gerenciamento de rejeitos industriais. Através da realização de ensaios em diversas amostras de escória de níquel, concluíram que esse material apresenta uma hidraulicidade latente. Os resultados foram promissores quanto à viabilidade do uso das escórias mais vítreas como adições ativas ao cimento. No entanto, devido a uma cinética de reação mais lenta, deve-se utilizar uma moagem mais fina (acima de $400\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$) e limitar seu uso a baixos teores.

Por razões ecológicas e econômicas, têm-se aumentado gradativamente a quantidade de subprodutos pozolânicos e cimentícios adicionados ao cimento Portland durante sua fabricação. Esses materiais, normalmente, reduzem a velocidade de desenvolvimento de resistência do cimento Portland resultante. Por outro lado, as reações entre as adições e os produtos de hidratação do cimento produzem redução significativa da porosidade da matriz e da zona de transição, melhorando a resistência final e a estanqueidade (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

SILVA et al (1997) estudaram a possibilidade de produção de argamassa inorgânica com o emprego de entulho reciclado, oriundo do material proveniente da moagem de argamassas endurecidas, blocos cerâmicos, blocos de concreto e tijolos dos canteiros de obras. Através da caracterização dessas argamassas, concluíram que a introdução do entulho reciclado (proveniente de restos de concreto, argamassas e blocos cerâmicos, como parte de agregado miúdo) não provocou alterações desfavoráveis no comportamento quanto a resistência mecânica à compressão das argamassas em estudo.

Segundo LEVY et al (1997), as argamassas produzidas com adição de entulho reciclado apresentam, em média, uma redução de 30% no consumo de cimento em relação aos resultados existentes na literatura para argamassas mistas equivalentes, além de um incremento na resistência à compressão. Explicam, ainda, que essa alteração pode ser devido ao desenvolvimento do potencial aglomerante do material cerâmico presente no entulho, devido a uma reação pozolânica combinada com efeito filler.

SILVA & LIBÓRIO (2003) avaliaram o efeito da adição da sílica extraída da casca de arroz na aderência de argamassas e chapiscos sobre substratos de estrutura de concreto. Para avaliar a aderência, o autor realizou ensaios para a determinação da resistência de aderência à tração segundo o método prescrito pela norma ABNT NBR13528:1995. Os resultados mostraram que os tipos de preparo de base avaliados permitiram ligações mais efetivas com os substratos de concreto. Desta forma, a implementação de chapisco e pasta com adição da sílica ativa extraída da casca de arroz pôde proporcionar, além de uma alta coesão, minimizando o efeito parede (figura 1), também o desenvolvimento, através da reação pozolânica, de um C-S-H com excelentes características de aderência, diferente e melhor inclusive do C-S-H obtido com a hidratação do cimento Portland (SILVA 2003).

Um outro exemplo de traço de argamassa com adição foi estudado por CALMON et al (1997), em trabalho de pesquisa que investigou o aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. Porém, em vista da semelhança das características do resíduo de granito com o filler, concluíram que pode-se utilizar esse tipo de resíduo não só em argamassas de assentamento, mas também para a melhoria das propriedades de outros tipos de argamassas, como a de chapisco por exemplo.

3.2.4. Principais aditivos

BAUER (1994) define aditivo como todo produto não indispensável à composição e finalidade do concreto (ou argamassa), que colocado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto (ou argamassa), em quantidades geralmente pequenas e bem homogeneizado, faz aparecer ou reforça certas características.

De um modo bem geral, pode-se dizer que os aditivos são produtos adicionados às argamassas ou concretos, em pequenas quantidades, com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades da argamassa no estado fresco e no estado endurecido.

Segundo a norma ABNT NBR 11768:1992 – Aditivos para concreto de cimento Portland, e também RODRIGUES (1993), de modo geral, os aditivos utilizados em argamassas são os seguintes:

3.2.4.1. Incorporadores de ar

Os aditivos incorporadores de ar são surfactantes ou agentes tensoativos que atuam na molécula de água da argamassa, diminuindo sua tensão superficial, formando microbolhas estáveis de ar, homogeneamente distribuídas na argamassa, provocando um efeito mais umectante, melhorando a trabalhabilidade, controlando a permeabilidade e aumentando o rendimento. As microbolhas de ar, tal como finos numa argamassa tradicional, melhoram a plasticidade e a trabalhabilidade da argamassa, tornando-a mais pseudoplástica, pois o ar desempenha papel fluidificante. Por outro lado, diminuem as características mecânicas da argamassa e, mais em particular, o módulo de elasticidade do que a resistência à tração. A argamassa torna-se, assim, mais deformável e, portanto, menos propensa à fissuração.

Têm ainda papel hidrófugo, diminuindo a capilaridade do produto (as bolhas de ar que se introduzem na rede de capilares constituem um corte de capilaridade, diminuindo o coeficiente de capilaridade da argamassa e melhorando a sua resistência ao gelo) (RODRIGUES, 1993). Por outro lado, CINCOTTO et al (1995) advertem que o teor de ar tem influência sobre a resistência de aderência dos revestimentos, o que limita a dosagem de aditivos incorporadores de ar empregados em argamassas de revestimento. A mesma afirmação é corroborada pela Professora Sílvia M. S. Selmo, no Curso Intensivo sobre Argamassas de Assentamento e Revestimento (CIARE, 2001), apresentando o valor de 12 a 15% como uma faixa máxima admissível de ar incorporado para que não haja prejuízo da resistência de aderência (o excesso de microbolhas de ar alojadas na interface argamassa de revestimento/base pode se constituir como elemento inibidor de aderência, devido ao fato das microbolhas se transformarem numa barreira para migração de pasta de aglomerante para os poros da base – mecanismo que configura a aderência mecânica da argamassa à base). Em relação a este tema, CARASEK et al (2001) afirmam que a baixa resistência de aderência obtida com argamassas aditivadas com ar incorporado é atribuída à redução da superfície de contato na interface pela presença das bolhas de ar.

Em sua tese de doutorado, CARASEK (1996) também constatou (pela observação da interface revestimento de argamassa/bloco cerâmico, com o emprego de lupa estereoscópica) que as argamassas com alto teor de ar incorporado apresentaram menor extensão de aderência, devido à presença de grande quantidade de bolhas de ar na interface (a despeito da alta trabalhabilidade propiciada pelos aditivos, favorecendo a penetração da argamassa nas reentrâncias dos blocos cerâmicos). Por outro lado, OPPERMANN & RUDERT (1983) afirmam que não é possível relacionar de forma direta a resistência de aderência com o teor de ar incorporado na argamassa fresca (em seus experimentos foram encontradas argamassas de alto teor de ar, da ordem de 20%, produzindo elevadas resistências de aderência. A partir de estudos com o microscópio eletrônico de varredura, os autores afirmam que mais importante do que a quantidade de ar incorporado é o tamanho das bolhas de ar).

De toda forma, é importante salientar que o tempo de mistura se apresenta como outra maneira de se incorporar ar em uma argamassa (além da utilização do aditivo incorporador de ar), o que conduz (principalmente no caso de argamassas industrializadas ensacadas) à necessidade de se conhecer e respeitar o tempo de mistura sugerido pelo fabricante. Diversos autores, tais como CAVANI et al (1997) e CALHAU & TRISTÃO (1999), desenvolveram interessantes trabalhos sobre a influência do teor de ar incorporado nas argamassas. CAVANI et al (1997) concluíram que o fator água/cimento, reduzido pela incorporação de ar, deve compensar parcialmente a perda de resistência mecânica, quando comparada à resistência de uma argamassa de referência sem aditivo. Já CALHAU & TRISTÃO (1999) constataram uma diminuição da absorção por imersão de argamassas mistas com o aumento do teor de ar incorporado, de onde se conclui que o ar incorporado por aditivo bloqueou a passagem da água para o interior da argamassa, impedindo a água de ocupar o vazio das pequenas bolhas de ar. Estes autores verificaram também um aumento significativo da trabalhabilidade das argamassas, que ficaram mais leves, com boa plasticidade e mais coesas (foram utilizados dois tipos de argamassa: 1:0,5:9 e 1:2:9, traço em volume de cimento, cal e areia seca. O teor de ar incorporado foi variado de 5,6 a 19,0% no primeiro tipo de argamassa e de 2,1 a 14,2% no segundo tipo).

3.2.4.2. Retentores de água

Os aditivos retentores de água são derivados da celulose e possuem a função de reter a água adicionada à argamassa, impossibilitando a perda por evaporação ou mesmo exsudação da argamassa fresca, permitindo também que a água flua para superfícies absorventes muito lentamente. Têm influência direta na consistência (aumentando a viscosidade da argamassa na fase aquosa) e na adesão da mesma à base. Permitem regularizar as migrações de água possíveis, qualquer que seja o poder absorvente do suporte e, em consequência, contribuem para a possibilidade de supressão do chapisco (RODRIGUES, 1993).

3.2.4.3. Hidrofugantes

Os aditivos hidrofugantes possuem como característica principal a atuação dentro do corpo da argamassa, repelindo a água que porventura queira entrar ou já tenha sido absorvida. Sendo assim, a argamassa fica como uma absorção de água reduzida, aumentando a resistência à formação de mofo ou manchas. Estes aditivos não tornam a argamassa impermeável e deixam passar o vapor d'água livremente (MIRANDA & SELMO, 1999). A redução da capilaridade da argamassa se dá, geralmente, pelo abaixamento da tensão capilar no interior das mesmas. São geralmente constituídos por finas partículas hidrófugas insolúveis, em geral, sais metálicos de ácidos orgânicos (estearatos de cálcio, zinco, alumina, magnésio) existindo, quer nesta forma no produto, quer formando-se no meio, por reação com a cal livre ou com a cal do cimento. Outros produtos tensoativos, cargas minerais, dispersantes, podem entrar na composição do hidrófugo para adaptar a sua atuação ao cimento. De maneira geral, entopem os poros e os capilares criados pela eliminação da água em excesso, participam na hidratação dos aglomerantes e estabilizam o meio aquoso durante tempo de pega (RODRIGUES, 1993).

3.2.4.4. Espessantes

Os aditivos espessantes atuam na trabalhabilidade e na resistência ao deslizamento da argamassa (propriedade importante para as argamassas colantes), aumentando-a, e chegam a reter um pouco a água, mas não em quantidade igual à do retentor de água.

3.2.4.5. Plastificantes

Os aditivos plastificantes (ou fluidificantes), também chamados de redutores de água, agem na argamassa a fresco diretamente no aglomerante (cimento), diminuindo a tensão superficial da pasta constituída com o mesmo, fazendo com que o material se disperse mais rapidamente, proporcionando uma maior resistência à compressão e à fluidez (argamassa autoadensável).

Além disso, melhoram a trabalhabilidade da argamassa, facilitando a sua passagem por equipamentos de projeção e suas tubulações (no caso de aplicação por projeção mecânica) e a sua aplicação em obra. A redução da água de amassamento resulta em redução da retração hidráulica. Conceitualmente, os plastificantes são produtos pulverulentos extremamente finos, por exemplo, argila coloidal, bentonita, cal gorda (cal que possui em sua composição mais de 90% de óxido de cálcio), calcário moído, produtos coloidais, acetatos de polivinila ou estearatos que, entre outros efeitos, podem atuar por retenção de água com aumento da viscosidade da argamassa e diminuição da segregação (RODRIGUES, 1993).

3.2.4.6. Impermeabilizantes

Os aditivos impermeabilizantes possuem como característica principal à atuação dentro do corpo da argamassa, no sentido de impedir totalmente a passagem de água. Face à natural dificuldade de obtenção desta propriedade nas argamassas (através da utilização destes aditivos), os fabricantes estão, atualmente, denominando estes aditivos como redutores de permeabilidade.

3.2.4.7. Adesivos

Os aditivos adesivos (ou agentes de aderência) melhoram a aderência da argamassa ao suporte, contribuindo também para a supressão do chapisco. A eficácia de alguns destes aditivos pode ser afetada após o endurecimento da argamassa, em caso de reumidificação posterior (exemplo: aditivos a base de PVAc).

3.2.5. Principais características da água

A água utilizada para a confecção da argamassa deve atender a critérios quantitativos e qualitativos, pois as impurezas contidas na água de amassamento podem influenciar negativamente na sua capacidade de resistência mecânica e na durabilidade.

Embora seja satisfatório o uso de água potável para amassamento, existem algumas exceções; por exemplo, em algumas regiões áridas, a água potável é salobra e pode conter um teor excessivo de cloretos (MEHTA & MONTEIRO, 1994). Além disso, algumas águas minerais contêm teores indesejáveis de carbonatos alcalinos que podem contribuir para reações danosas na matriz da argamassa (SENNA et al, 2003).

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2003 – Projeto de estruturas de concreto armado, a água destinada ao amassamento de concretos deverá estar limpa. Admitem-se satisfatórias as águas potáveis e as que tenham pH entre 5,8 e 8,0 e respeitem os seguintes limites máximos:

- a) Matéria orgânica (expressa em oxigênio consumido): 3mg/l
- b) Resíduo sólido: 5g/l
- c) Sulfatos (expressos em íons SO_4^{2-}): 300mg/l
- d) Cloretos (expressos em íons Cl^-): 500mg/l
- e) Açúcar: 5mg/l

Águas de açudes ou de poços artesianos, pela primeira vez em utilização, devem ser analisadas em confronto com a norma ABNT NBR 6118:1998 – Projeto e execução de obras de concreto armado, em seu item 8.1.3 (CIARE, 2001).

Em termos da quantidade de água a ser utilizada no amassamento, CARASEK et al (2001) afirmam que a água é um ingrediente essencial na argamassa, uma vez que ela possui duas funções primordiais:

- a) como único líquido, possibilita que a mistura seja trabalhável;
- b) combina-se quimicamente com os aglomerantes proporcionando o endurecimento e a resistência da argamassa.

Portanto, manter uma relação água/cimento (a/c) baixa, aspecto tão importante no aumento da resistência à compressão do concreto, perde a importância quando se deseja obter uma adequada resistência de aderência de revestimentos. Por analogia ao concreto, essas argamassas devem ser relacionadas com os concretos preparados com agregado leve, onde, segundo NEVILLE (1997), mais importante do que a relação a/c é o teor de cimento da mistura, uma vez que o agregado poroso retira parte da água disponível, fazendo com que a relação a/c real seja mais baixa do que a inicialmente existente. No caso das argamassas de revestimento, raciocínio semelhante é válido, pois a argamassa no estado fresco com alta relação a/c (geralmente na faixa de 0,7 a 2,8), ao entrar em contato com a base (geralmente alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto) perde rapidamente água por sucção do substrato.

3.3. ARGAMASSAS MODIFICADAS COM POLÍMEROS

A utilização de polímeros como modificadores das propriedades de argamassas e concretos não é recente. As primeiras patentes registradas sobre o assunto datam da década de 20. Desde então, muitas pesquisas têm sido conduzidas no estudo e desenvolvimento de argamassas e concretos modificados com polímeros resultando em sistemas que são correntemente utilizados em diversas aplicações na indústria da construção (OHAMA, 1998).

A utilização de polímeros na substituição parcial ou total do cimento hidráulico como ligante em concretos e argamassas convencionais ou para melhoria de propriedades dos produtos à base de cimento forma um grupo de materiais genericamente conhecido como compósitos de concreto-polímero (*concrete-polymer composites*) (OHAMA, 1997).

Os compósitos de concreto-polímero são geralmente classificados em três tipos (OHAMA, 1997):

- Argamassas e concretos modificados com polímeros (*polymer-modified mortar - PMM e polyme -modified concrete -PMC*);
- Argamassas e concretos impregnados com polímeros (*polymer-impregnated mortar -PIM e polymer-impregntated concrete -PIC*) e
- Argamassas e concretos poliméricos (*polymer mortar PM e polymer concrete -PC*).

Nos PMM e PMC, as argamassas e concretos são obtidos a partir de uma mistura de cimento, agregados, adições e monômeros/polímeros. Alguns autores utilizam esta denominação para produtos que são fabricados com substituição de 10% a 15%, em massa, do cimento por polímeros que podem ser monômeros, uma mistura de monômeros e pré-polímeros ou polímeros dispersados (látex), sendo catalisadores adicionados para efetivar a polimerização dos monômeros quando estes são adotados. No entanto, o uso das expressões “argamassas e concretos modificados com polímeros” é, usualmente, associado com argamassas e concretos nos quais um polímero é adicionado em quantidade relativa à massa do cimento. Os polímeros, neste caso, também denominados modificadores do cimento (*cement modifiers*), são látices, polímeros em pó redispersíveis em água, polímeros solúveis em água e polímeros líquidos. A grande vantagem destes compósitos está associada aos processos envolvidos serem bastante similares ao utilizados na fabricação de argamassas e concretos convencionais (OHAMA, 1998).

As argamassas e concretos impregnados com polímeros são obtidos pela impregnação de um produto de cimento Portland pré-fabricado com monômeros ou mistura de monômeros e pré-polímeros na forma líquida ou gasosa que são polimerizados *in situ* pela atuação de agentes físicos (radiação, calor, etc.) ou químicos (catalisador, por exemplo). Como os monômeros são introduzidos na porosidade aberta do material, após a polimerização, forma-se uma rede contínua de reforço.

O material pode ser impregnado apenas na superfície ou em diferentes profundidades dependendo das propriedades desejadas. As principais desvantagens destes compósitos são o custo relativamente elevado e o processo de fabricação muito mais complexo que o dos materiais convencionais (MANSUR, 2004).

Concretos e argamassas poliméricos são compósitos em que o ligante consiste inteiramente de um polímero sintético. São obtidos, de modo geral, pela mistura de material de preenchimento mineral (areia, pedra britada, calcário, granito, quartzo, etc), monômeros ou pré-polímeros termoplásticos ou termorrígidos, endurecedor (agente de ligações cruzadas), catalisador e aditivos. O uso do polímero em substituição ao cimento Portland resulta em um material de custo elevado (5% a 30% da massa total do material é representado pelo polímero) cujo uso deve ser justificado pela necessidade de propriedades superiores, pelo baixo custo de mão de obra e pelas baixas exigências de energia durante o processamento e manipulação (MANSUR, 2004). Um resumo dos tipos de compósitos de concreto-polímero pode ser visualizada na Figura 3.3.

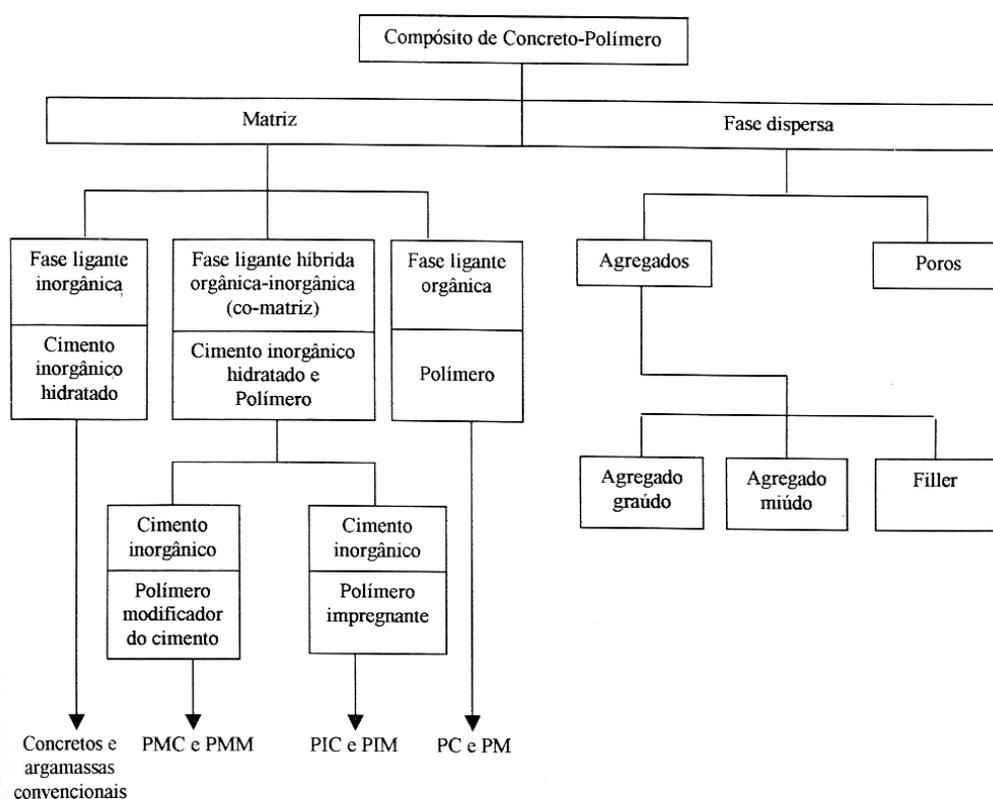


Figura 3.3 - Sistemas e classificações dos compósitos de concreto-polímero

(MANSUR,2004)

Em função da facilidade de uso e custo, os concretos e argamassas modificados com polímeros são os compósitos de cimento-polímero mais difundidos. Conforme citado anteriormente, diversos são os tipos de aditivos poliméricos disponíveis (Figura 3.4), sendo os mais difundidos o látex de estireno-butadieno (SBR), o copolímero de vinil-acetato (EVA), a emulsão de poliéster acrílico (PAE), o látex de estireno-butadieno (SA) e a resina epóxi (EP). São também muito utilizados, principalmente para aumento da trabalhabilidade e retenção de água, o álcool polivinílico (PVA), um polímero solúvel em água (OHAMA, 1997).

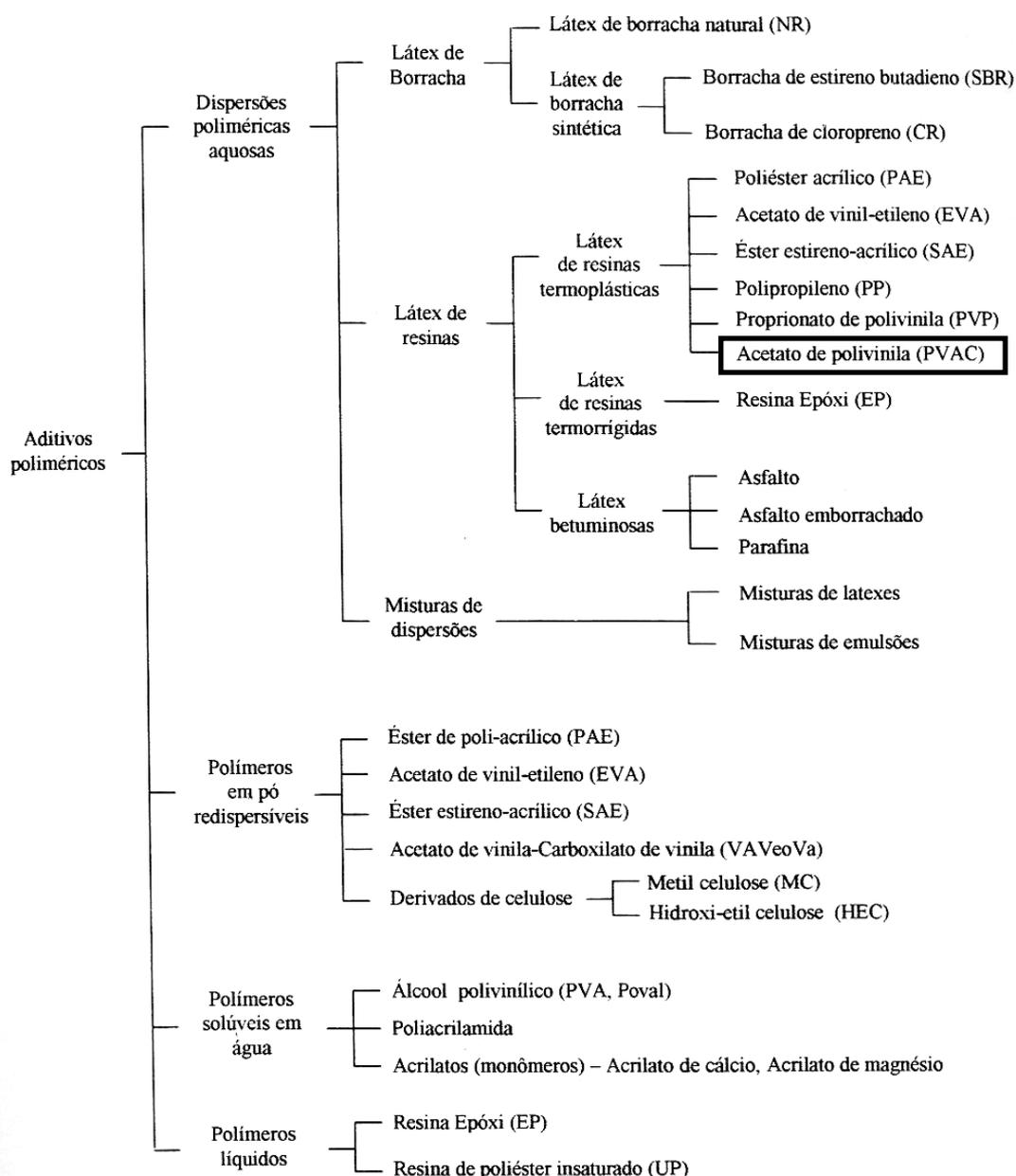


Figura 3.4 -Classificação de misturas poliméricas para concretos e argamassas modificados com polímeros (OHAMA, 1998)

As dispersões poliméricas aquosas ou látices poliméricos consistem de pequenas partículas de polímero (0,05 – 5 μm) dispersas em água, usualmente obtidas por polimerização por emulsão, sendo as principais exceções os látices de borracha natural (coletado das seringueiras) e de epóxi (resina epóxi emulsificada em água pelo uso de surfactantes). São geralmente classificadas em função das cargas elétricas das partículas poliméricas definidas pelo tipo de surfactante utilizado (aniônico, catiônico ou não-iônico) e são co-polímeros de dois ou mais diferentes monômeros. O total de sólidos destes materiais, incluindo polímeros e aditivos, está compreendido entre 40-50% em massa. A maior parte destes aditivos são baseados em elastômeros e em polímeros termoplásticos que formam filmes contínuos após a sua secagem. Os látices poliméricos para adição em produtos cimentícios devem atender aos seguintes requerimentos (OHAMA, 1998):

- Estabilidade química frente aos cátions liberados durante a hidratação do cimento;
- Estabilidade mecânica sob cargas severas como durante o preparo e bombeamento de argamassas e concretos;
- Promover baixa incorporação de ar durante a mistura pela incorporação de agentes anti-espumantes;
- Ausência de influências adversas na hidratação do cimento;
- Formação de um filme polimérico contínuo devido a temperatura de formação de filme inferior à temperatura de uso;
- Resistência à umidade, aos álcalis e ao intemperismo e;
- Estabilidade térmica frente as variações de temperatura durante transporte e armazenamento.

Polímeros redispersíveis em pó são obtidos a partir de uma polimerização por emulsão seguida de um processo de secagem em um atomizador de partículas, que permite a remoção da água deixando o polímero na forma de um pó muito fino. Durante o processo podem ser adicionados agentes para correção de pH e viscosidade, bactericidas, anti-espumantes, agentes de secagem, agentes que impedem o empacotamento das partículas (argila, sílica ou carbonato de cálcio), dentre outros.

Devido à ação do surfactante, quando o polímero é colocado na água sob agitação ele se redispersa com a fragmentação das partículas, fazendo com que estas adquiram menores tamanhos da ordem de 1 - 10 μm . Em seguida, com a posterior saída da água, as partículas coalescem formando o filme polimérico (OHAMA, 1998); (SILVA & ROMAN, 2001).

Polímeros solúveis em água são aditivos que são adicionados na forma de pó ou de soluções aos concretos e argamassas durante a mistura. Seu principal efeito é um aumento da trabalhabilidade devido à atividade superficial destes polímeros. Outro importante efeito é o aumento da retenção de água favorecida pelo aumento da viscosidade da fase que contem a água, bem como pela formação de um filme fino impermeável sobre esta fase. De modo geral, os polímeros solúveis em água contribuem de forma pouco significativa para o aumento da resistência (OHAMA, 1998).

Polímeros líquidos são muito pouco utilizados como aditivos quando comparado com os demais tipos de aditivos poliméricos existentes. Neste caso, quantidade considerável de pré-polímeros é adicionada na forma de líquido juntamente com o endurecedor ou catalisador aos concretos e argamassas durante a mistura. A polimerização completa dos polímeros ocorre, então, simultaneamente com a hidratação do cimento (OHAMA, 1998).

3.4. IDENTIFICAÇÃO DA ARGAMASSA SEGUNDO A FORMA DE PREPARO OU FORNECIMENTO

As argamassas de revestimento são constituídas basicamente por aglomerantes (cimento e cal), areia e água, podendo também conter aditivos e adições, normalmente acrescidos para melhorar a plasticidade ou outras características específicas das argamassas. As características físicas e químicas dos materiais afetam as diversas propriedades das argamassas, incluindo-se, neste caso, a resistência de aderência (CARASEK et al, 2001 apud TAUBE, 2003).

As argamassas podem ser classificadas segundo a sua forma de preparo ou fornecimento em dois tipos: misturadas em obra e industrializadas.

3.4.1. Argamassa de preparo de superfícies (chapisco) misturada em obra

Para a produção de argamassas de chapisco podem ter misturas no próprio canteiro ou industrializados em sacos ou semi prontos. São obtidas pela mistura dos constituintes descritos anteriormente: aglomerante(s), agregado(s), água e eventualmente aditivo(s) e/ou adição(ões), sendo que, estes constituintes são adquiridos em separado e estocados no canteiro de obra até o momento de sua mistura. De maneira geral, as argamassas preparadas na obra apresentam custo inferior às misturas semiprontas, industrializadas ensacadas e dosadas em central (tomando-se como base somente o valor do produto, sem análises dos benefícios introduzidos no processo de produção).

3.4.2. Argamassa industrializada (ensacada)

Segundo MULLER & BUNCHEER (1993), as argamassas industrializadas foram introduzidas no exterior no início da década de 50, a partir do conceito de que se fixando os componentes e se realizando sua mistura parcial ou total em uma instalação industrial adequada poderiam atingir as condições e as características exigidas em projeto com mais segurança do que se as tarefas de se combinar e misturar componentes ficasse a cargo do pedreiro.

Nos Estados Unidos, uma empresa fornecia às obras, em grandes recipientes, misturas de cal hidratada, água e areia, homogeneizadas novamente, em obra, após a adição de cimento.

Ainda segundo MULLER & BUNCHEER (1993), na década dos anos 70, foi introduzida, na Alemanha Ocidental, uma tecnologia mais revolucionária. A argamassa pronta, já com a consistência desejada, era entregue em recipientes abertos, nos quais o material podia permanecer por até 2 ou 3 dias, com consistência imutável, graças a aditivos químicos capazes de retardar o enrijecimento durante esse tempo.

Finalmente, a modalidade mais desenvolvida atualmente e praticada mais expressivamente no Brasil desde a década de 80 é argamassa semipronta. Nesta, todos os sólidos e aditivos em estado seco são fornecidos em sacos ou a granel, sendo apenas necessário, em obra, adicionar a água de amassamento indicada pelo fabricante e homogeneizar para ter um material com a consistência adequada e as propriedades requeridas no estado fresco e na fase endurecida (MULLER & BUNCHER, 1993).

A norma ABNT NBR 13281:2001 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Especificação, classifica as argamassas industrializadas conforme a tabela III.7, porém não traz nenhum tipo de especificação ou propriedades para as argamassas de chapisco de superfície.

Tabela III.7 – Classificação das argamassas (ABNT NBR 13281:2001)

Características	Identificação ^(A)	Limites
Resistência à compressão Aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e < 4
	II	≥ 4 e ≤ 8
	III	> 8
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	≥ 80 e ≤ 90
	Alta	> 90
Teor de ar incorporado (%)	A	< 8
	B	≥ 8 e ≤ 18
	C	> 18

Através de testes comparativos realizados entre argamassas industrializadas (ensacadas) e argamassas convencionais rodadas no canteiro, as primeiras apresentaram menor retração hidráulica (CIARE, 2001).

De acordo com artigo publicado na revista SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS Nº 17 (1999), a argamassa industrializada vem, gradativamente, substituindo a convencional nos canteiros de obras. Enquanto na obra convencional, o controle dos agregados, basicamente areia, e da dosagem do traço da argamassa, é muitas vezes precário, no sistema industrializado, garante-se que o produto será sempre o mesmo. A utilização da argamassa industrializada leva ao efetivo controle granulométrico e de pureza, além de garantir a ausência de materiais orgânicos, presentes nas areias normalmente utilizadas em canteiros de obras. Utilizam-se também aditivos químicos especiais que melhoram suas propriedades, como a resistência, a impermeabilidade e a flexibilidade.

3.5. EFEITO DOS ADITIVOS POLIMÉRICOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

Segundo OHAMA (1998), o conceito de modificação de argamassa e concreto utilizando polímeros não é muito novo, uma vez que consideráveis pesquisas sobre este assunto têm sido conduzidas em vários países nos últimos 70 anos ou mais.

A adição de polímeros em sistemas cimentícios influencia diversos aspectos nos estados fresco e endurecido das pastas, argamassas e concretos. Algumas das propriedades estudadas neste trabalho ou nas quais a adição polimérica tem maior influência estão anotadas a seguir:

3.5.1. Propriedades no estado fresco

OHAMA (1998) afirma que as argamassas com adições de polímero apresentam boas propriedades no estado fresco, tais como aumento na incorporação de ar resultando na melhora da trabalhabilidade e capacidade de retenção de água, favorecidas pela formação de filme ou membrana polimérica que restringe a perda de água por evaporação para o ambiente e por absorção pelo substrato, aumentando o tempo de pega do cimento (OHAMA, 1998).

3.5.1.1. Consistência

A consistência é a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação. As argamassas são classificadas segundo a consistência em secas, plástica e fluidas, dependendo da quantidade de pasta de aglomerante que envolve os agregados (CINCOTTO, 1995). A consistência das argamassas, no entanto, pode ser alterada sem variação nos teores de cimento e de água utilizados através do emprego de aditivos.

De modo geral, as argamassas modificadas com polímeros apresentam uma maior fluidez do que uma argamassa não modificada para um mesmo traço e fator água/cimento, sendo o aumento de fluidez tanto maior quanto a adição de polímero (medida através da razão em peso de teor polímero/cimento – p/c). O aumento da consistência depende também do tipo de polímero utilizado, sendo que para alguns polímeros não é verificado este aumento de fluidez (WU et al, 2002); (ISENBURG & VANDERHOFF, 1974); (BUREAU et al, 2001).

Esta alteração da consistência é normalmente associada aos efeitos dispersantes promovidos pelos surfactantes utilizados nos látices poliméricos ou por alguns polímeros solúveis em água que são surfactantes (PVA, por exemplo). Outros fatores que favorecem a redução da consistência é o formato das partículas poliméricas e a incorporação de ar durante a mistura (OHAMA, 1998); (WU et al, 2002); (ISENBURG & VANDERHOFF, 1974); (BUREAU et al, 2001).

Em consequência disto, as argamassas utilizadas podem ter o teor de água dosado de duas diferentes formas: mantendo o fator a/c constante para obter hidratação similar da pasta de cimento ou fixando uma consistência da pasta e ajustando o fator a/c (mais utilizado e capaz de reduzir a retração na secagem) (BUREAU et al, 2001).

3.5.1.2. Retenção de água

A retenção de água é a capacidade da argamassa fresca de manter a sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água (evaporação, sucção, absorção pelo componente) (CINCOTTO, 1995).

As PMM apresentam um aumento de retenção de água quando comparado com as argamassas convencionais (Figura 30), sendo o aumento da retenção de água tanto maior quanto o fator p/c e dependente do tipo de polímero. Dentre as razões que podem explicar este efeito, tem-se, inicialmente, as propriedades hidrofílicas dos látices e de alguns polímeros. Outro aspecto é a inibição da saída da água pelo efeito de selagem dos poros pela formação de filme polimérico e pelo aumento da viscosidade da fase líquida pela adição do polímero (OHAMA, 1998); (CHANDRA & FLODIN, 1987); (AFRIDI et al, 1995).

Esta maior retenção de água favorece a hidratação do cimento e inibe a saída da água da pasta quando em contato com substratos muito porosos.

3.5.1.3. Teor de ar incorporado

O ar incorporado corresponde aos vazios formados pela entrada de ar observados no interior da argamassa.

Na maioria das argamassas modificadas com polímeros, o teor de ar incorporado é maior quando comparadas com argamassas sem adição de polímeros. O fenômeno de incorporação de ar é ocasionado, principalmente, pelo processo de mistura mecânica que introduz ar na argamassa, sendo este processo favorável à remoção do ar incorporado a medida em que ele promove a fusão das pequenas bolhas, formando bolhas maiores que apresentam maior tendência à flutuação sendo, então, carregadas para a superfície da argamassa onde se rompem.

Nas PMM, devido à presença dos surfactantes, as bolhas formadas são pequenas e estáveis dificultando a sua remoção (MANSUR, 2004). O teor de ar incorporado nas argamassas, apesar de favorecer a sua trabalhabilidade, atua de forma desfavorável em relação às resistências mecânicas. A utilização de agentes anti-espumantes é comum nas argamassas poliméricas no sentido de reduzir a estabilidade das bolhas, bem como foram desenvolvidos estudos que visam reduzir o ar incorporado através do modo de preparo (OHAMA, 1998); (WU et al, 2002); (KIM & ROBERTSON, 1997); (AFRIDI, M. U. K. et al, 1994).

3.5.1.4. Tempo de pega

Em geral, os tempos de pega e a hidratação das argamassas e concretos são retardados pela adição de aditivos poliméricos, apesar de existirem alguns polímeros que tendem a acelerar a hidratação do cimento. (OHAMA, 1998); (SU et al, 1991).

Dentre as causas associadas a este efeito, tem-se o fato de os polímeros e os surfactantes envolverem/adsorverem na superfície de grãos de cimento hidratados e não hidratados dificultando a aproximação das moléculas de água (SU et al, 1993); (ATZENI et al, 1993). Outro fator diz respeito ao aumento da viscosidade e retenção da água de amassamento/reacção dos poros pela presença dos polímeros (CHANDRA & FLODIN, 1987).

Uma abordagem química para os polímeros EVA indica que, inicialmente, este polímero atuaria aumentando a taxa de dissolução das fases anidras, uma vez que ele atua como surfactante e ao deflocular os grãos de cimento, aumentaria a área específica do cimento em contato com a água. No entanto, este mesmo polímero, num momento seguinte, passaria a consumir os íons Ca^{+2} da fase aquosa pela reacção destes com os íons acetato $(\text{CH}_3\text{COO})^-$ liberados pela hidrólise do EVA formando acetato de cálcio, retardando a precipitação das fases hidratadas do cimento (retardo na nucleação e crescimento dos cristais de etringita). Este aspecto indica que a ocorrência de reacções químicas pelos polímeros presentes também pode interferir na velocidade da hidratação (SILVA & ROMAN, 2001).

3.5.2. Propriedades no estado endurecido

Para GOMES & FERREIRA (2005) as aplicações de polímeros e fibras em compostos à base de cimento Portland constituem práticas bastante antigas e basicamente surgiram pela necessidade de proporcionar aos concretos e argamassas convencionais, um melhor desempenho em aplicações nas quais eram exigidas maior tenacidade e maior resistência à tração.

A resistência de aderência à tração é influenciada significativamente pela proporção de polímero/cimento, pela condição de cura e pelas propriedades do substrato. A modificação dos concretos e argamassas é resultante da hidratação do cimento Portland e da coalescência das partículas de polímero formando filmes contínuos ou membranas que se ligam aos géis hidratados do cimento e aos agregados, constituindo uma cadeia monolítica na qual a fase polímero interpenetra os compostos hidratados do cimento Portland. Esta fase polimérica é a responsável pela diminuição da permeabilidade e pelo aumento da aderência entre a pasta e o agregado (OLLITRAULT-FICHET et al., 1998; CHANDRA & FLODIN, 1987 apud ALMEIDA, 2005).

Os polímeros estireno-butadieno (SBR), estireno-acrílico, poli (acetato de vinila) (PVAc) e acrílico (ACR) foram estudados por diversos autores, tais como GODOY & BARROS (1999), ROSSIGNOLO & AGNESINI (1999) e OLIVEIRA & BAUER (1999). GODOY & BARROS (1999) concluíram, de maneira geral, que o aditivo à base de polímeros de estireno-butadieno (SBR) apresentou melhores resultados em comparação com os demais avaliados em seu trabalho (PVAc, estireno-acrílico), diminuindo a retração e a absorção de água por capilaridade. ROSSIGNOLO & AGNESINI (1999) verificaram que argamassas com utilização do aditivo à base de polímeros de estireno-butadieno (SBR) apresentaram melhor desempenho que as argamassas comuns (sem qualquer tipo de aditivação), observando-se os resultados obtidos nos ensaios de retenção de água, resistência à tração, módulo de deformação, aderência e permeabilidade.

Os autores salientam ainda que a redução da incorporação de ar (verificada nas argamassas modificadas com SBR) pode melhorar ainda mais o desempenho de algumas propriedades das argamassas, em comparação as argamassas comuns (tais como resistência à compressão, resistência à tração, aderência e permeabilidade).

Porém, a relação custo/benefício deve ser analisada, pois, a redução do ar incorporado nas argamassas modificadas aumentaria o consumo de cimento e de látex, aumentando assim o custo deste material. OLIVEIRA & BAUER (1999) corroboraram os resultados obtidos por GODOY & BARROS (1999), observando melhores resultados para as argamassas modificadas com SBR em comparação com as modificadas com PVAc (embora os dois polímeros melhorassem significativamente as propriedades mecânicas das argamassas, quando comparadas com outras sem qualquer tipo de aditivação).

Segundo OLIVEIRA (2005) as argamassas para assentamento de revestimentos cerâmicos são modificadas com polímeros para melhoria de suas características nos estados fresco e endurecido. Os polímeros celulósicos, como é o caso do hidroxietil celulose - HEC, são utilizados principalmente por serem excelentes retentores de água e por modificarem a consistência das argamassas, tornando-as mais trabalháveis. Os polímeros vinílicos, como é o caso do copolímero acetato de vinila/etileno – EVA, são empregados por melhorarem o desempenho das mesmas no estado endurecido, principalmente aderência e flexibilidade.

Embora o uso desses polímeros nas argamassas proporcione uma maior eficácia e durabilidade aos revestimentos cerâmicos, há preocupação em relação ao desempenho dos mesmos quando em contato prolongado com água ou elevada umidade. Estudos realizados por CHANDRA & OHAMA (1994) indicam que materiais à base de cimento modificados com látices poliméricos apresentam baixa resistência à água, havendo a possibilidade de desagregação do filme polimérico formado na interface placa cerâmica/argamassa, comprometendo a estabilidade do revestimento cerâmico (OLIVEIRA, 2005).

3.6. INTERAÇÃO ADITIVOS POLIMÉRICOS E O CIMENTO

Diversos modelos já foram propostos para descrever o processo de interação e formação da microestrutura em argamassas modificadas com polímeros. Alguns autores postulam a ocorrência unicamente de interações físicas enquanto outros também observaram a ocorrência de interações químicas (SILVA & ROMAN, 2001); (CHANDRA & FLODIN, 1987); (SU et al, 1993); (SAKAI & SUGITA, 1995).

Em polímeros na forma de látices, a formação do compósito, considerando apenas as interações físicas, será obtida a partir da hidratação do cimento e do coalescimento das partículas de látex formando um filme, conduzindo a uma co-matriz cimento-polímero monolítica. Um modelo básico proposto por OHAMA (1998) foi refinado resultando em um modelo integrado que tenta incorporar as influências recíprocas entre o polímero e o cimento (BEELDENS et al, 2003).

Segundo este modelo, a hidratação pode ser dividida em 4 etapas, a saber:

- **1ª Etapa:** imediatamente após a mistura, as partículas de cimento e as partículas poliméricas estão dispersas na água. Inicia-se a hidratação do cimento, resultando em uma solução alcalina nos poros;
- **2ª Etapa:** Uma porção das partículas é depositada na superfície dos grãos de cimento e agregados . A razão p/c determina a quantidade de polímero presente na solução do poro e na superfície dos agregados. Parte dos polímeros podem coalescer formando um filme contínuo, preferencialmente os depositados sobre a superfície dos grãos de cimento onde forças extras são exercidas nas partículas poliméricas devido à extração da água para a hidratação do cimento. O filme polimérico pode parcialmente ou completamente envolver os grãos de cimento o que resulta em retardo ou até mesmo interrupção da hidratação do grão do cimento.

- **3ª Etapa:** Esta etapa engloba a hidratação do cimento, a floculação do polímero e a coalescência do polímero formando filme. Os processos que ocorrem nesta etapa dependem das condições cura. Se não houver período de cura seca, a formação global do filme é retardada e a sua influência nas propriedades da mistura é limitada. Se a cura seca ocorre, a formação do filme polimérico acontece influenciando a hidratação do cimento e o desenvolvimento das resistências nas primeiras idades. Na fase líquida do *bulk* precipitações de produtos hidratados estão presentes, formando uma combinação de produtos orgânicos e inorgânicos. As frações dos diferentes tipos de produtos formados dependem da razão p/c. As frações de polímero incluídas nestes produtos de hidratação podem não contribuir para o desenvolvimento da resistência do material.
- **4ª Etapa:** Esta etapa final inclui a continuação da hidratação e a formação final do filme. Através dos compostos hidratados, um contínuo filme é formado enquanto a água vai sendo removida dos poros capilares. A parte dos polímeros que ainda estão presentes na dispersão fica restringida aos poros capilares e na interface entre os agregados e a fase inorgânica-orgânica precipitada. É esta parte que contribui para a maior parte do desenvolvimento das propriedades elásticas e de resistências finais. A continuidade da fase polimérica através da matriz cimentícia é mais pronunciada no caso de maiores p/c.

O uso deste modelo pode ser ilustrado com o uso de diferentes condições de cura. A partir dos resultados, pode-se concluir que as condições ótimas para o desenvolvimento das resistências é a adoção de um período de cura úmida seguida de cura seca. Quanto maior o período de cura úmida ou submersa inicial, maior será a resistência à flexão se a tração for impedida e um período de cura em baixas umidades relativas for introduzido. Isto significa que, inicialmente, a hidratação do cimento ocorre com limitada formação de filme. Portanto, as partículas poliméricas permanecem na solução do poro e uma maior quantidade de partículas poliméricas serão incorporadas no filme contínuo que será formado no estágio final.

Se um período de cura seca é introduzido mais cedo no processo, a formação do filme contínuo começará mais cedo, isto é, antes e simultaneamente com a hidratação do cimento, resultando em um maior envelopamento dos produtos da hidratação, bem como a incorporação da fase polimérica nos produtos precipitados a partir da solução do poro (BEELDENS, 2003).

O polímero solúvel em água álcool polivinílico (PVA), sendo utilizado em proporções bem menores que as usualmente utilizadas para os látices, isto é, em razões $p/c \leq 2\%$, atuam alterando a reologia da pasta e não como adesivo ou reforço da matriz cimentícia. O seu uso promoveu alterações na microestrutura e propriedades das argamassas modificadas com polímeros, especialmente a resistência da região de transição entre a pasta e o agregado. Este efeito do PVA foi resultante de uma redução da espessuras desta zona de transição interfacial e por uma significativa diminuição e até mesmo eliminação dos cristais de CH, que geralmente cobrem a superfície dos agregados com sua possível substituição por silicatos de cálcio hidratados. As mudanças na zona de transição parecem ser resultantes da tendência do PVA, por sua natureza surfactante, de promover a defloculação da pasta e reduzir a sua segregação próxima ao agregado. A redução da cristalização do hidróxido de cálcio na superfície do agregado possivelmente decorre da inibição da sua nucleação na superfície do agregado, pelos sítios ativos dos agregados já apresentarem PVA adsorvido (KIM & ROBERTSON, 1998); (KIM et al, 1999).

A interação química do cimento com as partículas poliméricas foi observada por alguns autores tanto na forma de formação de compostos complexos quanto na modificação da composição e da morfologia das fases hidratadas.

A formação dos compostos complexos, descrita por alguns autores (OHAMA, 1998); (BONAPASTA, 2002); (AFRIDI et al, 1989) está relacionada com a interação entre a superfície de partículas reativas poliméricas e íons liberados pela hidratação do cimento ou superfícies sólidas dos agregados e do cimento hidratado.

A principal interação observada e pesquisada diz respeito à interação dos íons Ca^{+2} liberados na hidratação do cimento com os polímeros acrílicos, após a hidrólise alcalina dos grupos carboxilatos destes polímeros (BONAPASTA, 2001); (LARBI & BIJEN, 1990). Estas interações (cross-linking) também foram observadas na interação de cadeias poliméricas de PVA com os mesmos íons cálcio. Estas ligações são de natureza iônica, sendo as ligações com os grupos acrílicos (Ca-PAA – poli-acetato acrílico) mais fortes que a do Ca-PVA, devido à possível coordenação com quatro átomos de carbono, observada no primeiro, contra apenas duas possíveis com o PVA. Ligações ainda mais fortes podem ser obtidas pela utilização de cimentos aluminosos com a substituição do íon cálcio pelo íon alumínio (BONAPASTA, 2002). Esta formulação também pode ser válida para cadeias poliméricas de PVAc, devido à sua grande semelhança ao PVA.

Outro tipo de interação observada foi entre os grupos ácidos do EVA liberados pela hidrólise alcalina na água de poro do cimento, com íons Ca^{+2} em solução, resultando na formação de acetato de cálcio e álcool polivinílico. Esta reação, ao promover a remoção dos íons da solução, resultou em formação mais lenta das fases hidratadas, além de aumentar a concentração dos íons sulfato em solução, resultando na formação de cristais bem formados de etringita.

Existe um consenso de que os polímeros podem obstruir a nucleação e o crescimento de cristais de hidróxido de cálcio durante a hidratação do cimento, alterando a morfologia, a cristalinidade e a quantidade da fase presente (SILVA & ROMAN, 2001); (SU et al, 1991); (AFRIDI, M. U. K et al, 2001); (JANOTKA et al, 1996); (AFRIDI et al, 1990). A influência dos polímeros nas fases aluminatos foram estudadas por AFRIDI et al (1994, 1995, 1997), que observaram que a morfologia obtida é função do tipo e da quantidade de polímero na argamassa, sendo observados cristais inalterados e outros alterados quando comparados com os obtidos para pastas não modificadas.

3.7. TÉCNICAS PARA CONFECÇÃO E APLICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS

3.7.1. Preparação da argamassa

Segundo QUARCIONI et al (1999), o conhecimento do traço de uma argamassa, ou seja, a relação entre os teores de aglomerante e de agregado, seja ela, de revestimento ou de assentamento, é um dado muito importante. As argamassas utilizadas em preparo de superfície apresentam-se em diversas literaturas e na grande maioria das obras as proporções de cimento e areia lavada (1:3) (mistura de aglomerante(s), agregado(s), água e eventualmente aditivo(s) e/ou adição(ões), sendo que, estes constituintes são adquiridos em separado e estocados no canteiro de obra até o momento de sua mistura) ainda representam a maior parte da argamassas utilizadas nos canteiros de obra nacionais.

De acordo com RELATÓRIO TÉCNICO nº CC-T-702 (2004), da empresa Carlos Campos Consultoria e Construções Ltda, referente a um estudo de traços de argamassas de revestimento, os materiais utilizados na argamassa devem ser pesados, misturados e homogeneizados anteriormente à aplicação dessa massa sobre a superfície.

RIPPER (1995) salienta que as argamassas podem ser preparadas mecanicamente ou manualmente, quando a quantidade for insuficiente para justificar o uso de um misturador.

Não se deve iniciar a mistura mecânica com a colocação do cimento no misturador devido à possibilidade de perda de boa parte deste material sobre forma de pó, no caso do início da mistura estar sendo realizado a seco. Desaconselha-se também a colocação do cimento inicialmente junto com a água devido à quantidade de material que pode se incrustar nas paredes e junto às pás do misturador. O ideal é a formação do ambiente da mistura iniciando a mesma com o agregado miúdo e água, com a posterior colocação do(s) aglomerantes(s).

RIPPER (1995) salienta também, em relação ao amassamento manual, que o mesmo deve ser feito em masseiras tabuleiros ou superfícies planas impermeáveis e resistentes. Misturam-se normalmente a seco os agregados, revolvendo-se os materiais com pá, até que a mescla adquira coloração uniforme. Dá-se então à mistura uma forma de cone e adiciona-se, paulatinamente, a água necessária no centro da cratera assim formada. O amassamento é processado com o devido cuidado para se evitar perda de água ou segregação dos materiais, até se conseguir uma massa homogênea de aspecto uniforme e consistência plástica adequada.

Independente do sistema utilizado na mistura, as quantidades de argamassa preparadas deverão ser programadas em função da quantidade de serviço a ser executado. RIPPER (1995) também recomenda expressamente a não utilização de argamassas que apresentem vestígios de endurecimento, nem mesmo reamassadas, e, ainda explicita não ser admitida a mescla de cimento Portland e gesso. Neste caso, a formação do trissulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita) pode trazer danos ao revestimento final devido a expansibilidade que ocorre neste produto.

A seguir, são apresentadas as principais recomendações da norma ABNT NBR 7200:1998 – Execução de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento, em relação ao preparo da mistura:

- a) No processo mecanizado, o tempo de mistura não deve ser inferior a 3 minutos nem superior a 5 minutos. No processo de mistura manual, devem ser preparados volumes de argamassa inferiores a $0,05 \text{ m}^3$ de cada vez.
- b) Para obras que empreguem mistura prévia de cal e areia, deve-se misturar primeiramente a areia e a cal, e após, acrescentar água, atingindo-se consistência seca. A mistura produzida deve ser deixada em maturação durante 16 horas no mínimo.

- c) No preparo de argamassas mistas, o cimento deve ser adicionado no momento de sua aplicação, atendido o prazo de maturação da pasta ou da mistura cal e areia. No preparo das argamassas industrializadas, seguir as instruções de documento técnico que acompanham o produto. No preparo de argamassas com entulho reciclado, seguir as instruções do emprego do equipamento de preparo e mistura.

- d) O volume de produção de argamassa de cimento ou mista deve ser controlado de modo que seja utilizado em prazo máximo de 2 horas e 30 minutos. Para temperaturas acima de 30°C, forte insolação direta sobre o estoque de argamassa, ou umidade relativa do ar inferior a 50%, o prazo deve ser reduzido para 1 hora e 30 minutos. Estes prazos estabelecidos podem ser alterados pelo emprego de aditivos retardadores de pega, seguindo-se as recomendações de uso previamente estudadas.

3.7.2. Preparação da base de revestimento

Ainda segundo a norma ABNT NBR 7200:1998 – Execução de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento, as bases de revestimento deverão atender às exigências de planeza, prumo e nivelamento fixadas nas respectivas normas de alvenaria e de estruturas de concreto.

Antes da execução do revestimento argamassado, deve-se proceder a limpeza da base, visando principalmente a obtenção de aderência, o que pode ser feito da seguinte forma:

- a) Remoção da base de materiais pulverulentos (pó, barro e fuligem), escovando a parede com vassoura de piaçaba seguida, se necessário, de lavagem.

- b) Fungos (bolor) e microorganismos podem ser removidos com a utilização de solução de hipoclorito de sódio (4 % a 6 % de cloro), seguida de lavagem da região com bastante água.

- c) Substâncias gordurosas e eflorescências podem ser eliminadas com uma solução de 5 % a 10 % de ácido muriático diluído em água, seguida de lavagem da área com água em abundância.
- d) Em se tratando da base de concreto, deve-se remover completamente a película de desmoldante, caso este tenha sido utilizado, com escova de aço, detergente e água seguindo-se a uma operação de apicoamento. Além disso, todos os pregos e arames que porventura tenham sido deixados pelas fôrmas devem ser retirados ou cortados e tratados com zarcão de boa qualidade.
- e) Antes de qualquer procedimento de limpeza com produtos químicos, a base deverá ser completamente saturada com água, e deverá ser lavada com água em abundância, após aplicação, para a sua completa remoção.

3.7.3. Aplicação da argamassa de revestimento

A norma ABNT NBR 7200:1998 recomenda que a argamassa de revestimento não seja aplicada em ambientes com temperatura inferior a 5°C. Em temperatura superior a 30°C, devem ser tomados cuidados especiais para cura do revestimento, mantendo-o úmido pelo menos nas 24 horas iniciais através da aspersão constante de água. Este mesmo procedimento deve ser adotado em situações de baixa umidade relativa do ar, ventos fortes ou insolação forte e direta sobre os planos revestidos.

Segundo YAZIGI (2002), a argamassa de chapisco deve ser projetada energicamente, de baixo pra cima, contra a superfície a ser revestida. O revestimento em chapisco é feito tanto nas superfícies verticais como horizontais das estruturas de concreto, para posterior revestimento (emboço). A espessura máxima do chapisco deve ser de 5 mm e a aplicação feita sobre superfície previamente umedecida, o suficiente para que não ocorra a absorção da água necessária à cura da argamassa.

Uma avaliação da influência da cura sobre as superfícies revestidas com argamassa foi observada por CAVANI & OLIVEIRA (2002) ao estudarem a resistência de aderência em chapiscos. O estudo foi motivado pela verificação (“in loco” na obra) de um chapisco que, apesar de ter sido executado com uma argamassa bastante rica (traço 1:2, cimento e areia), não apresentou resistência mecânica satisfatória (a resistência ao risco – raspagem da superfície da argamassa com um objeto de ferro pontiagudo ou prego – da argamassa de chapisco se apresentava menor que a da argamassa de emboço). Aparentemente, o cimento da argamassa de chapisco não estava totalmente hidratado (apesar de apresentar idade superior a 20 dias). Procedeu-se então uma cura complementar desta argamassa de chapisco e então, foram feitos ensaios de resistência de aderência, que são apresentados na tabela III.8.

Tabela III.8 – Resumo dos resultados de resistência de aderência do chapisco
(CAVANI & OLIVEIRA, 2002)

Condição de cura complementar	Resistência de aderência média (MPa)
Nenhuma	0,13
Molhado 1 vez por dia durante 3 dias	0,44
Molhado 2 vezes por dia durante 3 dias	1,00
Molhado 3 vezes por dia durante 3 dias	0,81

Segundo os autores, os resultados obtidos comprovaram que o cimento da argamassa de chapisco não estava totalmente hidratado, comprometendo assim o desempenho desta camada. Houve um ressecamento muito rápido da camada de chapisco logo após a sua aplicação. Os autores concluíram ainda que, esse ressecamento, prejudicial para a hidratação do cimento, acaba ocorrendo com frequência devido aos seguintes fatores:

- a) As argamassas de chapisco normalmente não possuem nenhum tipo de retentor de água.
- b) Essa camada possui pequena espessura e perde água tanto para o substrato como para a atmosfera.

- c) Substratos constituídos por blocos de concreto (tipo de alvenaria utilizada na obra em questão) normalmente apresentam alta sucção inicial, retirando deste modo mais água da argamassa assim que a mesma é aplicada.

3.8. ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO DE PAREDES E TETOS COM ARGAMASSAS INORGÂNICAS

3.8.1. Classificação

Os revestimentos de paredes e tetos, classificados conforme a norma ABNT NBR 13530:1995 – Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Classificação, podem ser constituídos por chapisco e emboço, como revestimento de camada única, ou por chapisco, emboço e reboco.

3.8.2. Especificação

Os padrões relativos às espessuras dos revestimentos argamassados (internos e externos), bem como prumo, nivelamento, planeza e resistência de aderência, devem estar de acordo com as exigências estabelecidas na norma ABNT NBR 13749: 1996 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação, transcritas resumidamente a seguir:

a) Condições dos revestimentos:

- ser compatível com o acabamento decorativo (pintura, papel de parede, revestimento cerâmico e outros);
- ter resistência mecânica decrescente ou uniforme, a partir da primeira camada em contato com a base, sem comprometer a sua durabilidade ou acabamento final;
- ser constituído por uma ou mais camadas superpostas de argamassas contínuas e uniformes;

- ter propriedade hidrofugante, em caso de revestimento externo de argamassa aparente, sem pintura e base porosa. No caso de não se empregar argamassa hidrofugante, deve ser executada pintura específica para este fim;
- ter propriedade impermeabilizante, em caso de revestimento externo de superfícies em contato com o solo;
- resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade do meio, quando externos.

b) Aspecto:

O revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como cavidades, fissuras, manchas e eflorescência, devendo ser prevista na especificação do projeto, a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerância admitidas.

c) Espessura:

A espessura dos revestimentos externos e internos está indicada na tabela III.9. Quando houver necessidade de empregar revestimento com espessura superior, devem ser tomados cuidados especiais de forma a garantir a aderência do revestimento.

Tabela III.9 – Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq \text{espessura} \leq 20$
Parede externa	$20 \leq \text{espessura} \leq 30$
Tetos interno e externo	$\text{espessura} \leq 20$

d) Prumo:

O desvio de prumo de revestimento de argamassa sobre paredes internas, ao final da sua execução, não deve exceder $H/900$, sendo H a altura da parede, em metros.

e) Nivelamento:

O desvio de nível de revestimentos de teto de argamassas, ao final da sua execução, não deve exceder $L/900$, sendo L o comprimento do maior vão do teto, em metros.

f) Planeza:

O revestimento de argamassa deve ser verificado com respeito à planeza cconforme o seguinte:

- Na verificação da planeza do revestimento interno em argamassa, após a eliminação dos grãos de areia soltos na superfície, devem-se considerar as irregularidades graduais e as irregularidades abruptas da superfície.
- As ondulações não devem superar 3mm em relação a uma régua com 2m de comprimento. As irregularidades abruptas não devem superar 2mm em relação a uma régua com 20cm de comprimento.

g) Aderência:

O revestimento de argamassa deve apresentar aderência com a base de revestimento e entre suas camadas constituintes conforme o seguinte:

- Avaliar a aderência dos revestimentos acabados por ensaios de percussão, realizados através de impactos leves, não contundentes, com martelo de madeira ou outro instrumento rijo. A avaliação deve ser feita em cerca de $1m^2$, sendo a cada $50m^2$ para tetos e a cada $100m^2$ para paredes. Os revestimentos que apresentarem som cavo nesta inspeção, por amostragem, devem ser integralmente percutidos para se estimar a área total com falha de aderência, a ser reparada.

- Ensaio de resistência de aderência à tração, conforme norma ABNT NBR 13.528:1995 – Revestimento de paredes e tetos com argamassas – Determinação de resistência de aderência à tração, em pontos escolhidos aleatoriamente ou a cada 100m² ou menos da área suspeita. O revestimento será aceito se de cada grupo de 06 ensaios realizados (com idade igual ou superior a 28 dias) pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores aos mínimos exigidos apresentados na tabela III.10.

Tabela III.10 – Limites de resistência de aderência à tração segundo a norma ABNT NBR 13749:1996

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

3.9. SISTEMAS DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA À BASE

A zona de transição, que corresponde à região de contato entre a pasta e os agregados, é a região mais frágil dos concretos e argamassas. Essa região não é peculiar apenas em superfícies dos agregados, mas também está presente em outras interfaces em compósitos à base de materiais cimentícios, tais como a região da interface aço-pasta de cimento e argamassa-substrato (SILVA, 2003).

Os sistemas de aderência da argamassa à base podem ser divididos em sistemas mecânicos e químicos, conforme descrito a seguir.

3.9.1. Sistema de aderência mecânico

Apresenta-se como o principal sistema responsável pela aderência da argamassa à base e é descrito por SUGO et al (2001) como um sistema complexo que envolve o transporte dos fluidos e dos finos da argamassa para a interface da argamassa/base seguido da hidratação dos materiais cimentícios.

CARASEK et al (2001) identificam que o termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base porosa; esta base, o substrato, geralmente é representada pela alvenaria (podendo ser esta constituída por blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular, blocos sílico calcários, etc.) ou pela estrutura de concreto moldado “in loco”.

CARASEK et al (2001) corroboram as afirmações de SUGO et al (2001) considerando que a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico, devido, basicamente, à penetração de pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros, ou entre as rugosidades da base de aplicação. Segundo os autores, quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra nos poros e cavidades deste substrato.

No interior destes, ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e, transcorrido algum tempo, com a cura, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base.

CARASEK (1996), também, através de estudos realizados com o microscópio eletrônico de varredura, observou que a aderência decorre do intertravamento principalmente de etringita ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ – trissulfoaluminato de cálcio hidratado: um dos produtos da hidratação do cimento) no interior dos poros do substrato. Segundo a autora, este aumento local da concentração de etringita surge quando, ao se misturar o cimento Portland com água, a gipsita empregada como fonte reguladora de pega do cimento dissolve-se e libera íons sulfato e cálcio; estes íons são os primeiros a entrar em solução, seguido dos íons aluminato e cálcio provenientes da dissolução do C_3A do cimento. Devido ao efeito de sucção ou absorção capilar causado pela base porosa, tais íons em solução são transportados para regiões mais internas do substrato formando, no interior dos poros, o trissulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita). Em virtude do processo mais rápido de dissolução dos íons SO_4^{2-} , AlO_4^- , Ca^{2+} e de precipitação da etringita, este produto preenche prioritariamente os poros capilares, o que explica sua maior abundância na zona de contato argamassa/substrato e em poros superficiais da base, deixando menos espaço para a precipitação de outros produtos de hidratação do cimento, tal como o CSH, por exemplo, ou mesmo produtos posteriores da carbonatação da cal, tal como a calcita (que aparecem em menor quantidade na região da interface).

GALLEGOS (1995), em seu trabalho acerca da aderência entre a argamassa e as unidades de alvenaria, identifica ser a aderência proveniente da penetração de cristais de cimento hidratado no poros das unidades de alvenaria, sendo este fenômeno dependente da interação hídrica entre a argamassa e a unidade de alvenaria, da temperatura, da retenção de água e da composição da argamassa e da qualidade do processo construtivo. O autor também observa que análises da interface de contato entre a argamassa e a unidade de alvenaria têm identificado a etringita como a substância que forma, nos poros da unidade de alvenaria, cristais hexagonais em forma de agulha, com diâmetro de $0,05\mu\text{m}$.

GALLEGOS (1995) ressalta ainda a importância do uso da cal para a manutenção da aderência, observando que as obras de alvenaria estanques e que não apresentam fissuras tem sido sempre assentadas com argamassas de cimento e cal, enquanto que as constituídas somente com o aglomerante cimento apresentam infiltrações e fissurações. Isto decorre do fato de que o cimento, sem a presença da cal, produz argamassas pouco trabalháveis que geram um contato tentacular – forte, porém incompleto – na interface argamassa/unidade de alvenaria e se retrai ao avançar em seu processo de hidratação. A cal permite aumentar a extensão da aderência, endurece lentamente mantendo a argamassa “elástica” e resistindo a fissuras de maneira autógena ao ocorrer sua carbonatação.

A interação da argamassa/substrato é descrita por CARASEK et al (2001) através da teoria dos poros ativos (modelo proposto por DÉTRICHÉ, 2001 e por DUPIN et al, 2001), que considera o fluxo de água entre a argamassa e o substrato como a interação de dois sistemas de poros. O sistema de poros do substrato é modelado através de um conjunto de tubos cilíndricos paralelos independentes, abertos, perpendiculares à superfície da argamassa, de raios constantes ao longo do tempo e inicialmente vazio. A argamassa fresca também é encarada como um sistema de poros, aonde o raio de seus tubos vai diminuindo, à medida que progride a hidratação dos aglomerantes da argamassa. Este modelo indica que, enquanto os raios médios dos capilares da argamassa são superiores aos dos capilares do substrato, o movimento da água se efetua no sentido da argamassa para o substrato. Esta sucção é acompanhada de um aperto mecânico das partículas sólidas da argamassa pela ação da depressão dos capilares, que se traduz por uma retração quase imediata da camada de argamassa e uma aceleração da cristalização dos produtos hidratados consecutivos ao crescimento da hidratação em íons dissolvidos. O resultado desse mecanismo é uma diminuição do raio médio dos capilares da argamassa, até se tornar igual ao dos capilares do substrato. Quando o raio médio dos capilares da argamassa torna-se inferior ao dos capilares da base, o sentido do movimento da água é invertido.

Segundo GALLEGOS (1995) a sucção, a quantidade de poros capilares e a estrutura dos mesmos (forma, textura interna e distribuição dos poros) e a textura da superfície da face de assentamento são as características da unidade de alvenaria associadas ao seu potencial de aderência com a argamassa, conforme descrito a seguir:

- a) Sucção: Avaliada através do ensaio IRA (ASTM C 67 – 97), que expressa a avidéz de água dos poros capilares da face de assentamento da unidade de alvenaria nos primeiros momentos de seu contato com a água. Em unidades de argilas secas, varia de 10 até 160 gramas. Em unidades de blocos de concreto e blocos sílico-calcários varia de 20 a 50 gramas.
- b) Quantidade de poros capilares: a porosidade total é a medida do espaço não ocupado pelos sólidos (nas alvenarias varia de 25% para unidades bem compactas até 50% para unidades porosas). Como a unidade só absorve água através de seu sistema de poros capilares, a porosidade total não é um bom indicador de seu potencial de absorção. Já o volume de poros capilares varia entre 10% – para unidades muito compactas produzidas com argilas extrudadas – e 30% para unidades produzidas com argilas porosas. Considerando ainda que poros capilares com raio médio inferiores a 0,1 μm não são considerados poros ativos (por que absorvem quantidades insignificantes de água) e descontando-se, então, estes poros, os novos valores de volume de poros capilares seriam de 5 a 6% para unidades compactas de blocos sílico-calcários e 8 a 9% para as unidades compactas de argila, sendo que unidades porosas de argila ainda poderiam alcançar 30%.
- c) Estrutura de poros das unidades: os poros das unidades sinterizadas podem ser assimilados a condutos cilíndricos de textura suave. Já os poros das unidades de matriz cimentícia se assemelham mais a uma sucessão de esferas secantes e são de textura rugosa, tanto devido à sua forma como devido à presença de cristais de hidratação na superfície dos agregados.

- d) Sucção e estrutura de poros da unidade de alvenaria: segundo o modelo de análise da absorção capilar que considera a estrutura porosa da unidade como um conjunto de tubos capilares cilíndricos, paralelos, abertos, perpendiculares à superfície da água e com diâmetros diversos, é possível associar ao raio médio do conjunto de poros capilares os valores fundamentais do fenômeno capilar: o peso de água absorvida pelo sistema de poros e a força capilar que é o motor da absorção capilar. O peso da água absorvida pode ser expresso pela equação mostrada a seguir:

$$\text{Peso da água} = C_1NR^{2,5}t^{0,5} \quad (3.6)$$

Sendo:

C_1 : constante dependente diretamente da tensão superficial e da densidade da água e inversamente proporcional à sua viscosidade dinâmica

N : número de poros capilares na superfície analisada

R : raio médio do conjunto de poros capilares

t : tempo decorrido desde o contato da unidade com a água

- e) Sucção e estrutura dos poros da unidade de alvenaria e sua relação com a argamassa: na interação unidade de alvenaria/argamassa, os poros de maior diâmetro da unidade (acima de $5\mu\text{m}$) serão inoperantes, devido ao fato de não apresentarem força capilar suficiente para vencer a força oriunda dos poros da argamassa (isto equivale a dizer que unidades de alvenaria com elevada sucção não têm que, necessariamente, absorver mais água da argamassa que unidades com valores de sucção intermediária). Observa-se ainda que unidades de alvenaria compostas de blocos sílico-calcários retiram mais água das argamassas que unidades de argila (como consequência de ser capilarmente ativa por mais tempo). Em termos práticos, a unidade de argila termina de absorver água uns cinco minutos depois do contato, enquanto a unidade sílico-calcária permanece absorvendo por várias vezes este tempo. Este fato leva a crer que o ensaio IRA (que avalia a absorção de água que ocorre no primeiro minuto) pode apresentar uma medida representativa para unidades de argila, mas certamente não o será para unidades sílico-calcárias.

A partir do processo de formação de aderência, SUGO et al (2001) concluíram que a sucção dos fluidos da argamassa, associada ao transporte de sólidos para a interface argamassa/unidade de alvenaria representam um importante papel no desenvolvimento da aderência. A interação entre a unidade de alvenaria e a argamassa limita a utilidade de testes básicos, tais como o IRA, para predizer a resistência de aderência. Um modelo mais complexo associado às características de sucção da unidade de alvenaria, à reologia da pasta e às propriedades de sucção seriam necessários para avaliar a compatibilidade entre a argamassa e a unidade de alvenaria. Em seu trabalho experimental os autores mostraram que a adição de cal hidratada é benéfica para a aderência.

As examinações dos microconstituintes na interface argamassa/unidade de alvenaria mostraram, para tijolos compostos de argila e argamassa de cimento e de cimento/cal, que o Ca(OH)_2 e o CSH foram formados (com alguma menor variação na morfologia do CSH). Esta informação não chega a contrastar, mas pelo menos complementa a opinião de vários outros autores (já citados nesta seção) que afirmam encontrar uma presença maciça de trissulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita) na interface argamassa/unidade de alvenaria.

TAHA & SHRIVE (2001) também observaram haver diferentes considerações de diversos autores a respeito da existência e do papel dos cristais de Ca(OH)_2 na interface argamassa/unidade de alvenaria, conforme exposto a seguir:

- a) LANGE et al (1996, 1999), observaram muito poucos cristais de Ca(OH)_2 na interface argamassa/unidade de alvenaria e relataram ser sua contribuição para a resistência de aderência insignificante.

- b) LAWRENCE & CAO (1988), SUGO et al (2001), REDA & SHRIVE (2000), TAHA & SHRIVE (2001) mostraram, através de investigações realizadas utilizando DRX e MEV, que existe uma considerável quantidade de Ca(OH)_2 na interface argamassa/unidade de alvenaria e, ainda, que esta quantidade é substancialmente aumentada quando a cal é incluída na mistura. Cristais grosseiros de Ca(OH)_2 também foram observados quando foram utilizadas unidades de alvenaria compostas de argila e na condição saturada.
- c) CHASE (1994), LAWRENCE & CAO (1987) e MCGINLEY (2001) atribuíram a aderência mecânica da argamassa à unidade de alvenaria principalmente ao entrelaçamento de uma larga rede de fibras de C-S-H crescendo na superfície da unidade de alvenaria.

Segundo TAHA & SHRIVE (2001), a resistência de aderência depende de vários fatores inter-relacionados que podem afetar o desenvolvimento da aderência de maneira direta (absorção superficial da unidade de alvenaria, estrutura dos poros, composição da argamassa, retenção de água da argamassa e condições de cura) ou indireta (textura superficial da unidade de alvenaria e habilidade do pedreiro). Enquanto as características da absorção superficiais definem a taxa e o volume de água retirada da argamassa para a unidade de alvenaria, a qualidade da argamassa define a quantidade de água disponível na interface e a resistência dos produtos da hidratação do cimento, depositados nos poros superficiais da unidade de alvenaria. A qualidade requerida da argamassa não é, necessariamente, representada por sua resistência à compressão, porém, por outros critérios, tais como trabalhabilidade, retenção de água e plasticidade. A interação da absorção superficial da unidade da alvenaria e da qualidade da argamassa determina a eficiência de dois processos físicos que controlam o desenvolvimento da aderência na interface: densificação e secagem (GROOT, 1997 e LANGE et al, 1999). A densificação representa a consolidação dos produtos da hidratação na interface argamassa/unidade de alvenaria, enquanto a secagem representa a redução da água disponível para completar o processo de hidratação na interface como resultado da sucção da unidade de alvenaria.

A otimização (equilíbrio) entre a água requerida e a água disponível na interface argamassa/unidade de alvenaria contribui para o desenvolvimento da aderência na interface (McGINLEY, 2001 e TAHA et al, 2001).

3.9.2. Sistema de aderência químico

TAHA & SHRIVE (2001) descrevem ser largamente aceito que a aderência às alvenarias se desenvolve segundo dois mecanismos: a aderência química, onde a resistência de aderência advém de forças covalentes ou forças de van der Waals desenvolvidas entre a unidade de alvenaria e os produtos da hidratação do cimento e a aderência mecânica (descrita mais detalhadamente no item anterior) que é formada pelo intertravamento mecânico dos produtos da hidratação do cimento, transferidos para a superfície dos poros da unidade de alvenaria. Segundo KAMPF (2001), a resistência de aderência entre uma argamassa e placas de vidro atinge cerca de 1/10 da resistência de aderência entre esta mesma argamassa aplicada sobre unidade de alvenaria de tijolos, donde o pesquisador concluiu que a contribuição do sistema mecânico para a resistência de aderência é muito superior que a contribuição do sistema químico.

Entretanto, o sistema de aderência químico pode ser melhorado através da introdução de aditivos adesivos, conforme já mencionado anteriormente. A introdução destes produtos se apresenta como uma interessante alternativa para revestimento de bases que apresentem condições de porosidade, rugosidade e absorção d'água incompatíveis com o desenvolvimento do sistema de aderência mecânico (ex: tubos de PVC, vigas ou pilares metálicos, etc).

3.10. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Segundo SARAIVA et al (1999), uma das maneiras mais eficientes e tradicionais para o conhecimento do material que está sendo estudado é sua caracterização via ensaios de laboratório que visem o estabelecimento de algumas propriedades destes materiais.

3.10.1. Ensaio de caracterização do concreto da base

a) Consistência

A consistência pelo abatimento do tronco de cone (“slump test”) é determinada pela norma ABNT – NBR 7223:1998. O parâmetro comumente usado para efetuar o controle da mistura do concreto fresco é a trabalhabilidade, podendo ser determinada de várias maneiras.

A medida mais usual de trabalhabilidade é obtida pelo abatimento do tronco de cone (“slump test”) e é muito útil na detecção de variações da uniformidade de uma mistura de proporções nominais dadas, assim como da sua coesão e retenção de água (NEVILLE, 1982).

b) Absorção de água por imersão

Para a realização do ensaio de absorção de água por imersão no concreto é utilizada a norma ABNT NBR 9778:1987 — Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica, que recomenda a limpeza e secagem da amostra em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, até obtenção de massa constante, procedendo-se então a sua pesagem (em balança com precisão de 1g) obtendo-se a massa expressa em gramas (M_s), após 24, 48 e 72 horas.

Em seguida, a amostra é resfriada ao ar seco à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, de preferência em dessecador, e sua massa é determinada.

Completada a secagem em estufa, e determinada a massa, procede-se à imersão da amostra em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, durante 72 horas. Neste procedimento a amostra deve ser mantida com 1/3 de seu volume imerso nas 4 primeiras horas, 2/3 nas quatro horas subsequentes, e deve ser completamente imerso nas 64 horas restantes. A massa é determinada com 24, 48 e 72 horas de imersão.

Esta norma define a absorção de água por imersão pela seguinte expressão matemática:

$$AA(\%) = \frac{M_h - M_s}{M_s} \quad (3.7)$$

Sendo:

AA: absorção de água

M_h : massa do corpo-de-prova em estado saturado em água

M_s : massa do corpo-de-prova

c) Absorção de água por capilaridade

Para a determinação da absorção de água, através da ascensão capilar, é utilizada a norma ABNT NBR 9779:1995 — Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Neste ensaio a amostragem necessária é constituída de 3 (três) corpo-de-prova.

A realização do ensaio inicia-se com a secagem do corpo-de-prova em estufa ventilada à temperatura de $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ por 14 dias, determinando sua massa antes e depois desse procedimento. Em seguida, o corpo-de-prova é resfriado ao ar seco à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, de preferência em dessecador, e sua massa é determinada novamente.

O próximo passo é a imersão parcial em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$. Para isso, deve-se posicionar o corpo-de-prova sobre suportes, preenchendo-se, então, com água a bandeja do recipiente do ensaio, de modo que o nível d'água permaneça constante a $(5 \pm 1)\text{mm}$ acima do topo ou face inferior do corpo-de-prova, e evitando a molhagem de outras superfícies do corpo-de-prova. Durante o ensaio, deve-se determinar a massa total das alturas da mancha de unidade em 4 porções na superfície do corpo-de-prova, nas idades de 3, 6, 24, 48 e 72 horas, contadas a partir da colocação do corpo-de-prova em contato com a água. Completada cada etapa, o corpo-de-prova deve retornar imediatamente ao recipiente de ensaio.

A absorção de água por capilaridade deve ser expressa em g/cm^2 e é calculada dividindo-se o aumento de peso pela área da seção transversal de superfície do corpo-de-prova em contato com a água.

d) Permeabilidade à água

Para avaliação “in situ” da permeabilidade em superfícies verticais, O CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) preconiza o método do cachimbo (NIT nº140/1982), conforme mostrado na figura 3.5, que consiste em acoplar a superfície a ser ensaiada (utilizando-se um mástique) um cachimbo de vidro (com pescoço graduado) preenchido com água até a referência do nível. Registra-se, a cada minuto, a leitura do abaixamento do nível de água, em cm^3 , até completar 15 minutos ou o nível de água atingir a marca de 4 cm^3 . Devem ser realizados, no mínimo, três pontos de ensaio sobre o revestimento, distanciados de no mínimo 1 metro. Os resultados são apresentados em um gráfico com o nível de água, em cm^3 , versus tempo, em minutos (o cachimbo de vidro permite exercer uma pressão inicial de 92 mm de água, o que corresponde à ação estática de um vento com velocidade aproximada de 140km/h).

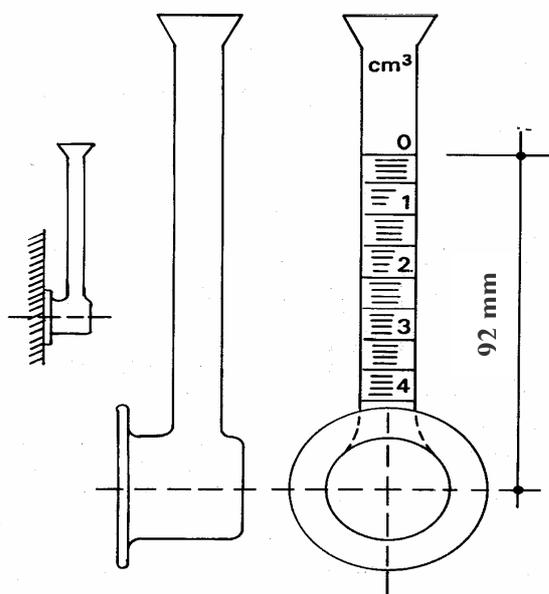


Figura 3.5 – Método do cachimbo proposto pelo CSTC (NIT nº140/1982)

e) Permeabilidade por difusão ao ar na camada superficial de concreto – Método kT (Torrent Permeability Test)

Este ensaio foi desenvolvido pela equipe técnica do Holderbank Technical Centre, em 1993, sendo a metodologia descrita por REGATTIERI et al (1995) e atualizada por TORRENT & FRENZER (1997). É um método não destrutivo de obtenção do coeficiente de permeabilidade ao ar, através do qual se obtém um indicador da qualidade do concreto de cobrimento. Esse coeficiente é relacionado com outros parâmetros que governam a permeabilidade do concreto, como a penetração de íons cloreto e a absorção por capilaridade. Também são comparados os valores de coeficientes obtidos em corpos-de-prova e “in situ”.

A durabilidade das estruturas de concreto geralmente é associada somente à resistência à compressão do concreto. Entretanto, muitos dos problemas de durabilidade encontrados nessas estruturas são devidos à despassivação do aço e à corrosão, causadas pela carbonatação e penetração de cloretos. A ocorrência desses fenômenos está diretamente relacionada com a permeabilidade do concreto que envolve a armadura da estrutura (REGATTIERI, 1998).

Entretanto, alguns estudos desenvolvidos por LAWRENCE (1984) e KROPP (1990) indicaram que a permeabilidade do concreto à água e ao ar é uma medida excelente para se verificar a resistência do concreto contra a entrada de agentes agressivos no estado líquido ou gasoso, sendo portanto, uma medida da durabilidade.

O ensaio consiste basicamente na aplicação de vácuo dentro de uma célula posicionada na superfície de concreto cuja permeabilidade ao ar deseja-se determinar. Esta célula é constituída por duas câmaras (uma interna e outra externa), um regulador de pressão interno, com a função de manter ambas as câmaras sempre à mesma pressão, um medidor da variação de pressão e uma bomba de vácuo. A figura 3.6 apresenta um esquema do ensaio, enquanto a figura 3.7 apresenta uma visão geral do equipamento.

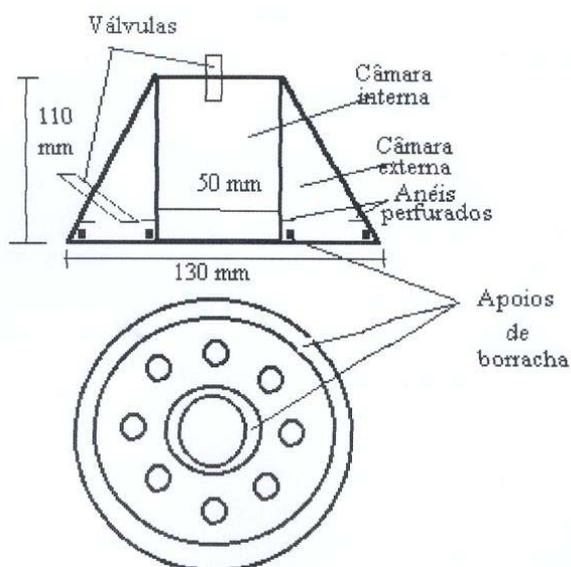


Figura 3.6 - Detalhe esquemático das duas câmaras de sucção (REGATTIERI et al, 1995)

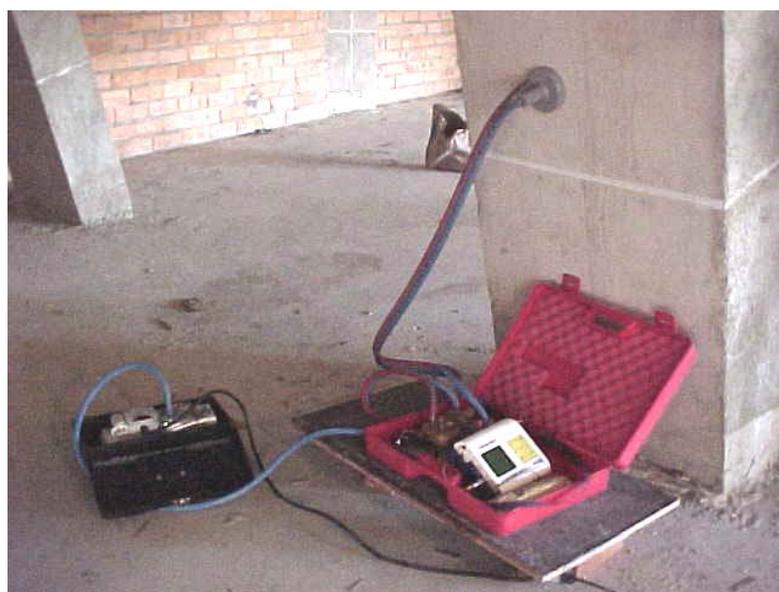


Figura 3.7 - Vista geral do equipamento Torrent Permeability Tester

A operação do equipamento é simples. Com uma das válvulas abertas, é produzido vácuo pela bomba nas duas câmaras; a evolução da pressão é medida a partir de então, pelo medidor. Depois de 1 minuto, a outra válvula é fechada e a bomba começa a agir apenas na câmara externa, com a finalidade de regular a todo instante a pressão em ambas as câmaras.

Assim, todo o ar que flui para dentro da câmara interna é basicamente unidirecional, não havendo interferência do ar proveniente da penetração pela superfície do concreto (externa ao perímetro da célula), que pode ser mais porosa.

A medição é automaticamente interrompida quando o aumento de pressão efetivo é maior ou igual a 20 mbar ou o tempo de medição atinge 720s. Então, o coeficiente de permeabilidade ao ar, kT , é determinado através de uma expressão matemática, sendo este corrigido em função do teor de umidade do concreto. Esta correção é obtida pela correlação entre o resultado de permeabilidade obtido “ kT ”, e o valor de resistividade elétrica medido no momento do ensaio, como ensaio complementar. É importante observar que o tempo em que o aumento de pressão é obtido é considerado no cálculo do índice kT , pois quanto mais rápido ocorrer a variação de pressão, mais permeável é o concreto.

Através da obtenção do coeficiente de permeabilidade ao ar do concreto pode-se classificá-lo de acordo com as classes de qualidade do concreto de cobrimento sugeridas por TORRENT (1993), baseadas em informações da literatura e em testes de permeabilidade (Tabela III.13).

O *Torrent Permeability Tester* permite uma medida rápida e não-destrutiva da qualidade do concreto de cobrimento com respeito à sua durabilidade.

Este procedimento foi definido para avaliar a qualidade do concreto de cobrimento relacionada com a sua durabilidade, em função dos resultados de várias pesquisas sobre a durabilidade do concreto de cobrimento (TORRENT e EBENSBERGER, 1993).

Se as medições são feitas em concreto seco (as superfícies de concreto não estiveram em contato com água por aproximadamente 2 semanas, por exemplo), a qualidade do concreto de cobrimento pode ser determinada diretamente pela medição dos valores de kT e a tabela III.11.

Tabela III.11 – Classes de qualidade do concreto de cobrimento

Permeabilidade da superfície do concreto	Índice	kT (10^{-16} m^2)
Muito alta	5	> 10
Alta	4	1,0 – 10
Normal	3	0,1 – 1,0
Baixa	2	0,01 – 0,1
Muito Baixa	1	< 0,01

Estas classes de qualidade do concreto de cobrimento com referência a permeabilidade kT foram definidas por meios de testes de permeabilidade (carbonatação, penetração de cloretos e ciclos de gelo/desgelo na presença de sal) e baseados em informações da literatura.

f) Resistência à compressão

O ensaio para determinação da resistência à compressão de concreto pode ser realizado de acordo com as recomendações da norma ABNT NBR 5739:1994 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Segundo a norma citada, até a idade do ensaio, os corpos-de-prova moldados devem ser mantidos em processo de cura úmida ou saturada, nas condições preconizadas pelas normas ABNT. Antes de realizar o ensaio de compressão, os topos dos corpos-de-prova devem ser devidamente capeados ou retificados, de modo que as superfícies se tornem planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo-de-prova.

Em seguida o diâmetro a ser utilizado para o cálculo da área da seção transversal deve ser determinado, com exatidão de $\pm 1 \text{ mm}$, pela média de dois diâmetros, medidos ortogonalmente na metade da altura do corpo-de-prova.

Os corpos-de-prova devem, então, ser rompidos à compressão em uma dada idade especificada, aplicando-se a carga de maneira contínua e sem choques. O valor da resistência é obtido dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, com uma aproximação de 0,1 MPa. O equipamento utilizado para romper os corpos-de-prova cilíndricos de concreto pode ser visto a seguir na figura 3.8.



Figura 3.8 – Vista geral do equipamento utilizado no ensaio de compressão axial

3.10.2. Ensaio de caracterização da argamassa de chapisco

Segundo CINCOTTO et al (1995), os ensaios de caracterização da argamassa podem ser descritos da seguinte forma:

3.10.2.1. Ensaio no estado plástico

a) Consistência

A consistência é a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação e, a manutenção da consistência com o tempo diz respeito à capacidade da argamassa manter esta tendência ao longo do tempo de aplicação.

Dentre os vários métodos de ensaio propostos para avaliação desta propriedade, a seguir é apresentado o preconizado pela normatização brasileira, conhecido como: Determinação do índice de consistência na mesa ABNT (norma ABNT NBR 7215:1991), que consiste na medida do espalhamento (diâmetros) de uma porção de argamassa inicialmente moldada em fôrma tronco-cônica sobre uma mesa de ensaio. A argamassa moldada é forçada a deformar-se mediante quedas padronizadas dessa mesa (30 golpes em 30 segundos) e são medidos 2 diâmetros ortogonais da base do tronco de cone de argamassa após a deformação, sendo a média aritmética dessas medidas o chamado índice de consistência, expresso em milímetros (este ensaio também é conhecido como flow table test, ou ensaio de fluidez).

b) Capacidade de retenção de água e de retenção de consistência

É a capacidade da argamassa fresca em manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água (evaporação, sucção, absorção pelo componente). Sem retenção adequada de água, além de não se manter plástica o tempo suficiente para seu manuseio adequado, terá menor resistência quando endurecida (devido a umidade da argamassa garantida por tempo insuficiente para as completas reações de hidratação do cimento e carbonatação da cal). Argamassas de cal têm maior capacidade de retenção de água que as de cimento (maior finura, maior superfície específica, maior capacidade de adsorção de suas partículas → formação de um gel na superfície das partículas com até 100% de água em função do volume da partícula). O aumento da capacidade de retenção de água pode ser conseguido com aditivos (a base de celulose ou incorporadores de ar).

Um dos métodos recomendados para a avaliação da retenção de água é o Water retentivy (BS 4551/1980) preconizado pela BRITISH STANDARDS INSTITUTION e que consiste na medida da massa de água retida pela argamassa após sucção realizada através de discos de papel filtro empilhados e pressionados durante 2 minutos sobre a superfície da argamassa contida em um molde metálico. É expressa em porcentagem, através da relação entre a massa de água retida pela argamassa após a sucção e a massa de água inicial.

Outro método recomendado (Determinação da retenção de água empregando o funil de Büchner modificado – norma ABNT NBR 9287:1986) avalia mais especificamente a retenção de consistência e não a retenção de água (embora existam muitas afinidades estas duas determinações). O método consiste na determinação do índice de consistência na mesa de consistência, antes e após a porção de argamassa a ser submetida a uma sucção correspondente a 51mm de Hg durante 60 segundos, em funil de filtração (funil de Büchner modificado). O valor do índice de retenção de água é calculado pela expressão apresentada a seguir.

$$RA = \frac{A - 125}{B - 125} \times 100 \quad (3.8)$$

Sendo:

RA: índice de retenção de água, em %

A: consistência após a sucção no funil de Büchner modificado, em mm

B: consistência inicial, em mm (diâmetro da base do molde tronco-cônico = 125mm)

c) Massa específica e teor de ar incorporado

A massa específica absoluta é definida como sendo a relação entre a massa do material sólido e seu volume (desconsiderando-se o volume de vazios). A massa específica aparente também é definida da mesma forma, só que considerando o volume de vazios. A massa unitária é a massa de um material que ocupa um recipiente com capacidade unitária (depende do adensamento, da forma e da distribuição do tamanho das partículas).

Os métodos conhecidos para determinação da massa específica consistem, de maneira geral, em preencher, de forma padronizada, um recipiente cilíndrico, rígido, de volume e massa conhecidos, com a argamassa. Após adensamento e nivelamento da superfície da argamassa e limpeza do copo externamente, é determinada a massa do conjunto (copo + argamassa). A massa específica da argamassa é expressa através da equação:

$$\gamma_{\text{arg}} = \frac{M_{\text{ma}} - M_{\text{m}}}{V_{\text{m}}} \quad (3.9)$$

Sendo:

γ_{arg} : massa específica da argamassa, em g/dm³

M_{ma} : massa do molde cheio de argamassa, em g

M_{m} : massa do molde vazio, em g

V_{m} : volume do molde em dm³

Para determinação do teor de ar incorporado, o método mais comum utilizado baseia-se na lei de Boyle para determinação do teor de ar pela relação da pressão e do volume em uma dada temperatura (método pressométrico – ou manométrico). Nesse método, o medidor empregado é constituído por uma campânula de medida e um sistema de vedação. O seu princípio de operação consiste na introdução de água, até uma determinada altura, sobre a amostra de volume conhecido de argamassa, e na aplicação de uma pressão de ar pré-estabelecida, por meio de uma pequena bomba, sobre a água. A determinação consiste na redução do volume de ar da amostra de argamassa, pela observação da quantidade de água que penetra sob a pressão aplicada, sendo que essa quantidade é calibrada em termos da porcentagem de vazios de ar na amostra de argamassa. Assim, o equipamento fornece diretamente o volume de ar da amostra.

d) Tempo de pega

Segundo MEHTA & MONTEIRO (1994) o cimento não aglomera agregados; ele só adquire a propriedade adesiva quando misturado à água. Isto acontece porque a reação química do cimento com a água, comumente chamada de hidratação do cimento, gera produtos que possuem características de pega e endurecimento.

O termo pega implica na solidificação da pasta plástica de cimento. Os tempos de pega (início e fim) da pasta de cimento Portland são determinados de acordo com os procedimentos da norma ABNT NM 65:2002 e utilizando-se o aparelho de Vicat.

Segundo a norma citada, o tempo de início de pega é, em condições de ensaio normalizadas, o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat correspondente penetra na pasta até uma distância de (4 ± 1) mm da placa base. E o tempo de fim de pega é definido por esta mesma norma, também em condições de ensaio normalizadas, como o intervalo de tempo transcorrido desde a adição de água ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat penetra 0,5mm na pasta.

Os tempos de pega são determinados pelas reações de hidratação dos cimentos, uma vez que alguns produtos de hidratação formam-se mais rapidamente que outros. Além disso, os tempos de pega e a hidratação das argamassas e concretos são retardados pela adição de aditivos poliméricos, apesar de existirem alguns polímeros que tendam a acelerar a hidratação do cimento (OHAMA, 1998 e SU et al, 1991).

Dentre as causas associadas a este efeito, tem-se o fato de os polímeros e os surfactantes envolverem/adsorverem na superfície de grãos de cimento hidratados e não hidratados dificultando a aproximação das moléculas de água (SU, 1993 e ATZENI et al, 1993).

3.10.2.2. Ensaio no estado endurecido

a) Resistência à compressão

A resistência mecânica das argamassas de revestimento diz respeito à capacidade destas argamassas de resistirem às tensões de tração, compressão e cisalhamento às quais o revestimento pode estar sujeito. Ela é influenciada basicamente pela natureza dos aglomerantes, natureza dos agregados, proporção aglomerante/agregado, relação água/cimento da mistura fresca e técnica de execução do revestimento.

Para a determinação da resistência à compressão dos corpos-de-prova de argamassa, pode-se empregar o método normalizado pela norma ABNT para cimento (NBR 7215:1992 - Determinação da resistência à compressão). Neste método são empregados quatro corpos-de-prova cilíndricos, com 5cm de diâmetro e 10cm de altura, para cada idade, sendo os esforços de compressão axial exercidos até a ruptura do corpo-de-prova.

b) Resistência à tração

A determinação da resistência à tração pura de uma argamassa é um ensaio de difícil realização, lento e caro, pois exige um sistema de fixação eficiente, geralmente através de resina epóxi, com articulações especiais para evitar o aparecimento de tensões secundárias. Assim, geralmente, a resistência à tração de corpos-de-prova de argamassa é determinada de duas formas indiretas: por compressão diametral e por flexão.

No caso da compressão diametral, o ensaio é realizado de acordo com a norma ABNT NBR 7222:1994 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpo-de-prova cilíndricos, através da aplicação de tensões de compressão no sentido diametral de corpos-de-prova cilíndricos (tomando-se como referência as dimensões citadas anteriormente no ensaio de resistência à compressão), colocados em posição horizontal na prensa e gerando-se tensões de tração no interior do corpo-de-prova, como mostrado na figura 3.9. E a resistência à tração por compressão pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$R_{t,D} = 2 P / \pi D H \quad (3.10)$$

Sendo:

$R_{t,D}$: resistência à tração por compressão diametral, em MPa

P: carga de ruptura do CP, em N

D: diâmetro do CP, em mm

H: altura do CP, em mm

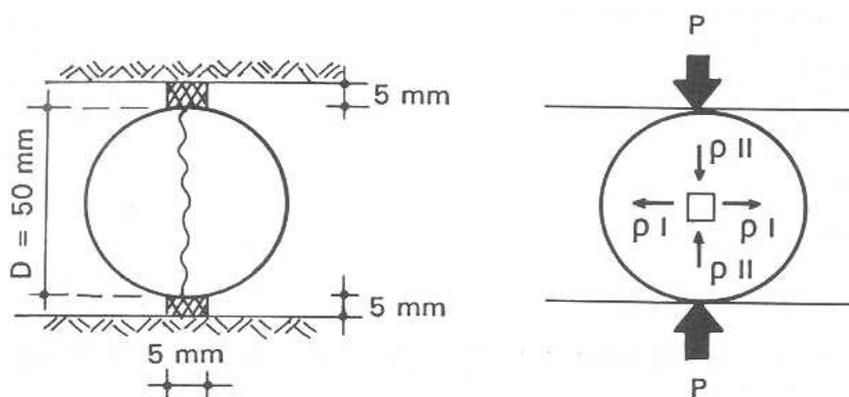


Figura 3.9 – Princípio do ensaio da resistência à tração por compressão diametral

No caso da resistência à tração por flexão, a mesma é realizada com corpos-de-prova prismáticos de seção transversal quadrada. O cálculo da tensão de tração, também chamado módulo de ruptura, é realizado através de equações de estática, dependendo do tipo de carregamento.

3.10.2.3. Ensaio da argamassa aplicada sobre a base

a) Resistência de aderência à tração

Entende-se por resistência de aderência de uma argamassa, a capacidade desta em absorver tensões normais e tangenciais à superfície de interface argamassa/base. Observa-se ser importante a aderência tanto da argamassa fresca como da argamassa endurecida. A aderência é significativamente influenciada pelas condições da base, como a porosidade e absorção d'água, resistência mecânica, textura superficial e pelas próprias condições de execução do assentamento de componentes da base. A capacidade de aderência da interface base-argamassa depende, ainda, da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar incorporado da argamassa.

O ensaio para determinação da resistência de aderência (também conhecido como ensaio de arrancamento) é preconizado pela norma ABNT NBR 13.528:1995 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. O ensaio é realizado com a argamassa de revestimento contendo pelo menos 28 dias de idade. Sobre a superfície a ser avaliada são coladas placas metálicas (uma série é composta de 6 corpos de prova), utilizando-se, geralmente, cola a base epóxi. As placas podem ser quadradas, de 100mm de lado, ou redondas, de 50mm de diâmetro. Para haver uma discretização da área de aplicação da carga, antes da realização do ensaio, o revestimento é cortado perpendicularmente ao seu plano, tangenciando a placa colada (quando da utilização de placas redondas o corte é feito anteriormente a colagem da placa, utilizando-se uma serra-copo; no caso das placas quadradas, o corte é feito posteriormente a colagem, utilizando-se makita). A profundidade deste corte deve ser tal que o mesmo penetre cerca de 5mm na base. Após a cura da cola procede-se o arrancamento utilizando-se equipamento apropriado para tal (o equipamento é acoplado na placa metálica através de rosca ou encaixe). O resultado obtido (carga lida na máquina) é dividido pela área da placa metálica e a tensão de arrancamento é expressa em MPa. Também são anotadas as superfícies obtidas na ruptura, ou seja, tipo de ruptura ocorrida (se na interface argamassa/substrato, se no interior da argamassa de revestimento, se no substrato, se na interface revestimento/cola, se na interface cola/pastilha ou combinações destes resultados indicando a porcentagem de cada).

A figura 3.10 ilustra algumas das etapas do ensaio de aderência, além de um lote de corpos-de-prova, obtidos através deste ensaio e que serão utilizados para realizar a leitura dos resultados.



Figura 3.10– Algumas das etapas do ensaio de aderência

A norma ABNT NBR 13749:1996 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação sugere a realização deste ensaio em pontos escolhidos aleatoriamente ou a cada 100 m ou menos da área suspeita. A aceitação do revestimento ocorrerá se de cada grupo de 06 ensaios (uma série) pelo menos quatro valores forem iguais ou superiores aos mínimos exigidos, de acordo com a tabela III.12 que apresenta os limites de resistência de aderência à tração (R_a), em MPa, para emboço e camada única.

Tabela III.12 – Limites de resistência de aderência à tração segundo a norma ABNT
NBR 13749:1996

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,20$

3.11. CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

Para caracterização e análise estrutural dos materiais, podem ser utilizadas as seguintes técnicas:

3.11.1. Difração de Raios X (DRX)

Os raios X são radiações eletromagnéticas da mesma natureza que as radiações que compõem a luz branca visível ao olho humano. A produção de raios X está associada à perda de energia de elétrons, porém a quantidade de energia necessária para produzir um quantum de raios X é muito maior que aquela para produzir um quantum de luz visível. Por exemplo, diferenças de potencial de algumas centenas de volts produzem uma descarga em um gás com produção de luz visível, enquanto são necessárias algumas dezenas de quilovolts para produzir os raios X.

Os comprimentos de onda dos raios X são cerca de 1.000 vezes menores que os comprimentos de onda da luz visível e daí resultam grandes diferenças nas propriedades dos dois tipos de radiação: por exemplo, uma folha de alumínio de 1 mm de espessura é transparente aos raios X e é opaca à radiação branca. Existem, entretanto, propriedades comuns aos dois tipos de radiação; por exemplo, espectros de difração podem ser obtidos com ambos os tipos de radiação em condições determinadas (PAULON, 1991).

A figura 3.11 apresenta uma representação esquemática de um tubo de raios X: na parte superior, tem-se um filamento metálico que é aquecido por uma corrente elétrica. Uma diferença de potencial elevada (cerca de 40 kV) é aplicada entre o filamento e uma placa metálica (chamada anticátodo ou alvo) colocada no centro do tubo. Pelo aquecimento por uma pequena diferença de potencial, o filamento emite elétrons que são acelerados até energias elevadas, pela diferença de potencial entre o filamento e o anticátodo ou alvo (ânodo), os elétrons atravessam o tubo (que está em alto vácuo) e atingem o anticátodo ou alvo. Os átomos do alvo metálico absorvem a energia dos elétrons e reemitem essa energia como radiação X. Os raios X que são produzidos no alvo escapam do tubo através de uma janela e podem então ser utilizados para estudos cristalográficos.

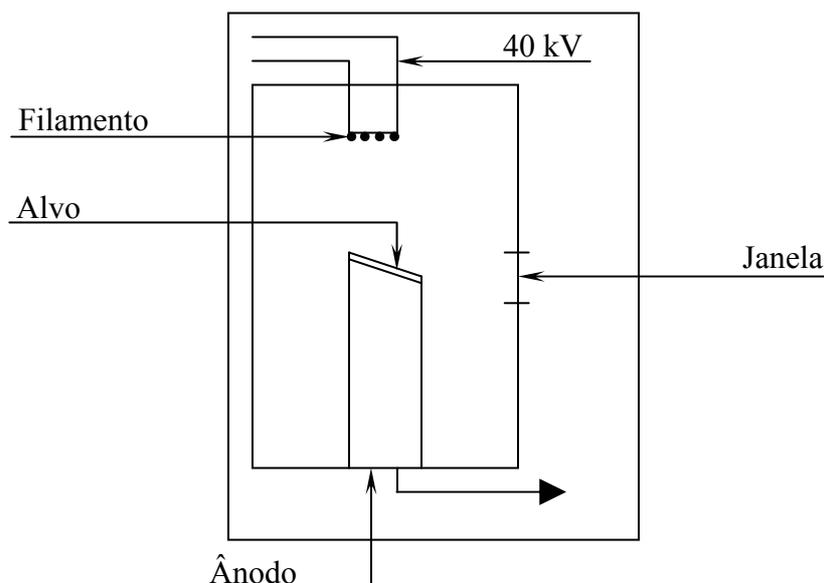


Figura 3.11 - Representação esquemática tubo de raios X (PAULON, 1991)

A interação entre a radiação X e os elétrons da matéria por onde ela passa normalmente resulta em retroespalhamento. Quando os raios X são retroespalhados no interior de um cristal bem ordenado, ocorrem interferências (tanto construtivas como destrutivas) entre os raios retroespalhados, porque as distâncias entre os centros de retroespalhamento são da mesma ordem de magnitude do comprimento de onda da radiação, e o resultado deste efeito é a difração.

Quando um feixe de raios X atinge a superfície de um cristal com ângulo θ , uma porção é retroespalhada pela camada de átomos da superfície. A porção não espalhada do feixe penetra em direção à segunda camada de átomos onde, novamente, uma fração é retroespalhada, e a restante passa para atingir a terceira camada, como mostra a figura 3.12. O efeito acumulado deste retroespalhamento, a partir de centros regularmente espaçados, constitui a difração do feixe. Os requisitos para que haja difração de raios X são (SKOG, 1992); (SILVA, 1996):

- O espaçamento entre as camadas de átomos deve ser da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da radiação.
- Os centros de retroespalhamento devem estar distribuídos de forma regular.

A lei que rege a difração de um feixe de radiação, chamada lei de Bragg, é dada por:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \text{sen}\theta \quad (3.11)$$

onde n é um número inteiro, λ o comprimento de onda do feixe, d a distância entre os planos do cristal e θ o ângulo incidente.

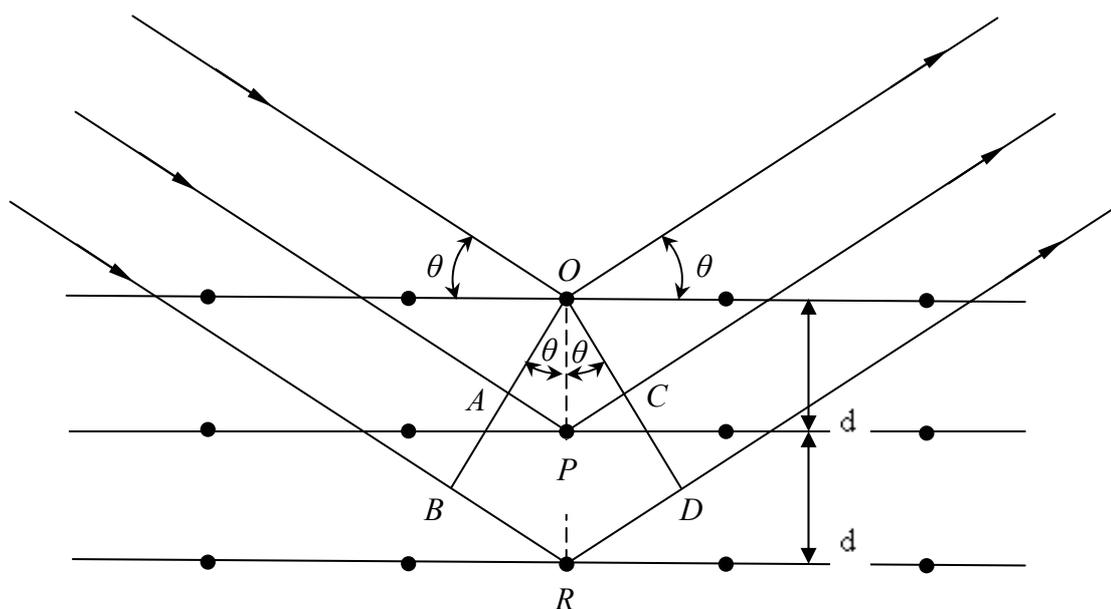


Figura 3.12 - Difração de raios X em um cristal

A identificação de minerais (ou fases) pode ser efetuada com o auxílio da difração de raios X. O fato de os cristais funcionarem como redes de difração para os raios X, à semelhança das redes de difração comuns para a radiação ultravioleta e visível (espectrógrafos ópticos), faz com que eles possam ser identificados pela mencionada radiação.

Os espaços interplanares (valores de d) constituem características físicas de um mineral, a exemplo da densidade, índice de refração, ângulo ótico, ângulos de extinção, etc., de maneira que a identificação de um mineral ou mesmo de um membro de uma série isomórfica pode ser feita através de um conjunto de valores de espaços interplanares.

3.11.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O microscópio eletrônico de varredura é constituído por um dispositivo que possibilita o rastreamento da superfície da amostra por um fino feixe de elétrons.

O princípio da microscopia eletrônica de varredura é fundamentado na emissão de um feixe de elétrons por um filamento de tungstênio, que concentrado, controlado e reduzido por um sistema de lentes eletromagnéticas, diafragmas e bobinas, incide sobre uma amostra provocando uma série de emissões de sinais relacionados com a interação do feixe de elétrons e a amostra (REIS, 2004).

Neste tipo de microscópio, os elétrons são acelerados na coluna através de duas ou três lentes eletromagnéticas por tensões de 1 KV a 30 KV. Estas lentes obrigam um feixe de elétrons bastante colimado (50 Å a 200 Å de diâmetro) a atingir a superfície da amostra. Bobinas de varredura obrigam o feixe a varrer a superfície da amostra na forma de uma varredura quadrada similar a uma tela de televisão. A corrente passa pela bobina de varredura, sincronizada com as correspondentes bobinas de reflexão de um tubo de raios catódicos, produz imagem similar mas aumentada. Os elétrons emitidos atingem um coletor e a corrente resultante é amplificada e utilizada para modular o brilho do tubo de raios catódicos.

Os tempos associados com a emissão e a coleta dos elétrons, comparados com o tempo de varredura, são desprezíveis, havendo assim uma correspondência entre o elétron coletado de um ponto particular da amostra e o brilho do mesmo ponto da tela do tubo (PAULON, 1991).

Os sinais emitidos encontram-se sob a forma de elétrons do tipo secundário, retroespalhados, absorvidos, transmitidos e difratados, e de fótons do tipo fotoluminescentes e raios X, os quais são captados por detectores apropriados, amplificados e processados num sistema analisador de cada tipo de sinal, conforme figura 3.13.

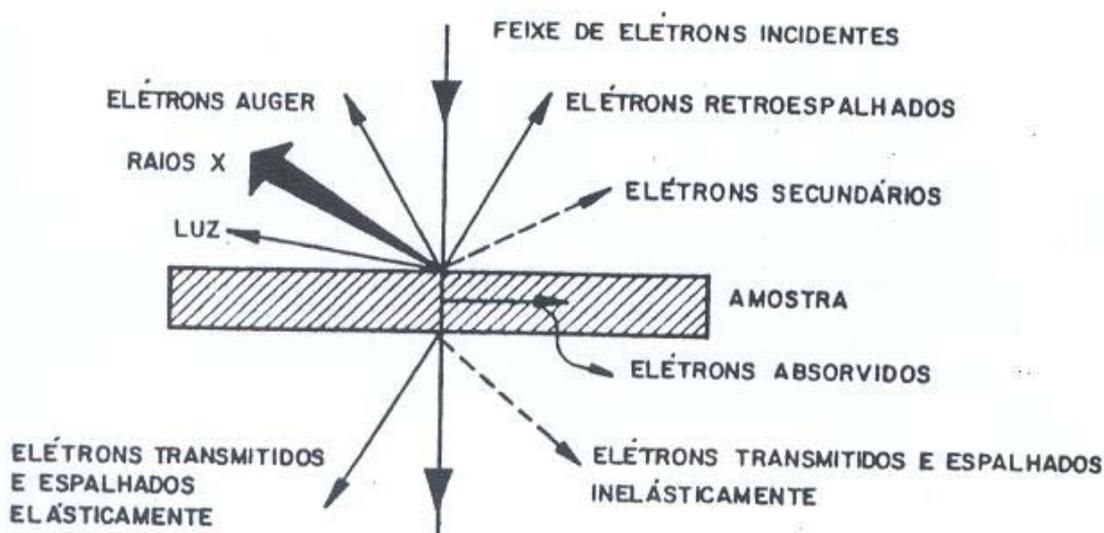


Figura 3.13 – Processos de interações possíveis durante a incidência de um feixe de elétrons em uma amostra sólida

O fato dos materiais cerâmicos apresentarem baixas condutividades térmica e elétrica faz com que seja necessário revesti-los com uma fina película de metal, a fim de se evitar a geração de cargas eletrostáticas danosas à qualidade da imagem (fenômenos de descarga) e permitir a dissipação do calor produzido pelo bombardeamento eletrônico. A metalização da superfície da amostra, pela deposição de um filme de 10 nm a 20 nm de espessura, é obtida por evaporação a vácuo (0,0001 torr), à alta tensão, de metais como Al, Cu, Ni, Pt, Au etc. Muitas vezes, o C é preferível por sua baixa capacidade de absorção de raios X, transparência na espessura empregada, facilidade de remoção, pequeno interesse nas determinações de rotina e baixo custo econômico.

A preparação da amostra pode gerar muitos problemas de observação e análise, também pelo fato de que ela deve passar por um processo de secagem, que pode alterar a microestrutura (RIGO, 1998).

As argamassas e os concretos têm sido objeto de muitos estudos que utilizam a microscopia eletrônica de varredura como técnica de análise. Nesses estudos, o analisador de raios X, por dispersão de energia (EDS), desempenha um papel fundamental, facilitando a identificação das fases hidratadas. Os aspectos mais estudados nesses materiais são (RIGO, 1998):

- diagnose e solução dos problemas relativos à durabilidade (ataque de agentes agressivos, corrosão de armaduras, reação álcali-agregado etc.).
- melhor entendimento do processo de hidratação e aderência pasta de cimento-agregado.
- análise do mecanismo de geração e propagação de fissuras.
- estudo da estrutura da zona de transição pasta de cimento-agregado.

3.11.3. Espectroscopia no Infravermelho

A espectroscopia no infravermelho está associada ao uso de radiação eletromagnética nesta região do espectro para estudar a composição e a estrutura da matéria. Sob o ponto de vista de aplicação e instrumentação o espectro de infravermelho é convenientemente dividido em radiação do infravermelho próximo, médio ou distante.

Quando um material é avaliado utilizando radiação infravermelha obtém-se um espectro que relaciona o comprimento de onda versus absorvância, que indica a ocorrência ou não de absorção pelo material da energia associada àquele comprimento de onda. Como os grupos funcionais absorvem em diferentes comprimentos de onda, é possível identificar os grupos químicos presentes na amostra. A análise do espectro é feita pela comparação das curvas obtidas com curvas padrão ou de referência (MANSUR, 2004).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritas as etapas para o desenvolvimento dos objetivos do trabalho. São elas:

- Identificação do sistema revestimento/base
- Seleção e identificação dos materiais componentes da base de concreto
- Identificação do desmoldante
- Identificação das fôrmas para concreto
- Identificação da argamassa de chapisco utilizada
- Descrição da metodologia de trabalho
- Fluxograma de atividades
- Procedimentos e técnicas executivas para confecção dos painéis de teste
- Identificação dos ensaios a serem realizados para avaliação do sistema de aderência e interface

4.1. IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA REVESTIMENTO / BASE

Para um melhor entendimento do estudo proposto, o primeiro passo é identificar o sistema onde foi avaliada a aderência entre elementos constituintes. A figura 4.1 mostra esquematicamente as camadas que compõem o sistema em estudo: a base de concreto de cimento Portland e sobre ela a argamassa de chapisco. O desmoldante utilizado para facilitar o processo de desfôrma do concreto foi removido manualmente com água corrente e escova de aço. Na figura 4.2 estão sendo mostrados pilares de concreto de uma obra de Belo Horizonte, onde foram montados painéis de teste para a realização do estudo deste sistema.

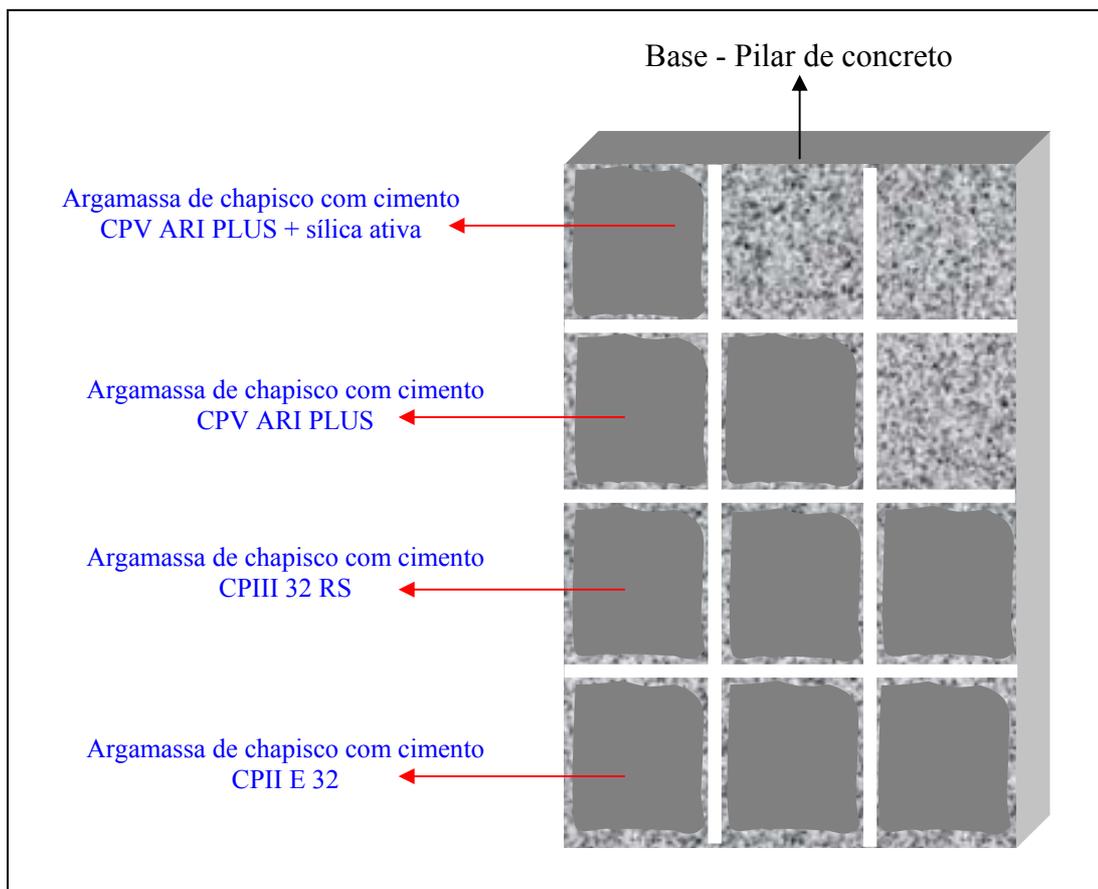


Figura 4.1 – Identificação do sistema revestimento/base – desenho esquemático



Figura 4.2 – Identificação do sistema revestimento/base em obra

4.2. SELEÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DA BASE DE CONCRETO

A opção pelo concreto de cimento Portland CP III 40, como elemento de base de aderência, foi escolhida em função da larga utilização desse tipo de material nas obras atuais, por parte das construtoras e empresas concreteiras da região metropolitana de Belo Horizonte - MG.

4.2.1. Composição da base de concreto

A tabela IV.1 apresenta a composição do concreto, dosado e produzido por uma empresa concreteira localizada em Belo Horizonte/MG.

Tabela IV.1 – Composição do concreto

Fck	25,0 MPa
Tipo de concreto	Bombeável
Tipo de cimento Portland	CPIII 40
Cimento	368 kg
Areia	735 kg
Brita 1	1030 kg
Água	195 litros
Aditivo Complast RX 322 N	0,25 % sobre a massa do cimento
Traço unitário	1 : 1,997 : 2,798 : 0,53

4.2.2. Materiais constituintes

4.2.2.1. Cimento Portland

Para a produção do concreto foi utilizado cimento Portland CPIII 40. A caracterização química e física deste material foi realizada pela empresa fabricante. Segundo a mesma, todas as características estão de acordo com as exigências da norma ABNT NBR 5735 – Cimento Portland de Alto Forno.

4.2.2.2. Agregado miúdo

Foi utilizada, para produção do concreto da base, areia lavada de procedência Macaúbas, rio Taquarassu. A coleta foi realizada conforme a norma ABNT NM26:2001 pela empresa concreteira, que também foi responsável pelos ensaios de caracterização da areia, conforme mostram as tabelas IV.2 e IV.3.

Tabela IV.2 – Composição granulométrica – NBR 7217

Peneiras (mm)	Areia		
	Massa (g)	% retido	% acumulada
50	-	0	0
32	-	0	0
25	-	0	0
19	-	0	0
12,5	-	0	0
9,5	-	0	0
6,3	0	0	0
4,8	0	0	0
2,4	50	5	5
1,2	180	18	23
0,6	280	28	51
0,3	350	35	86
0,15	100	10	96
Fundo	40	4	100
Módulo de Finura	2,610	-	-
D _{máx.} (mm)	2,4	-	-

Tabela IV.3 – Características físicas

Agregado	Massa Específica Real	Massa Unitária Seca	Material Pulverulento	Impureza Orgânicas
	kg/dm ³	kg/dm ³	%	p.p.m.
Areia	2,55	1,40	0,70	< 300
Norma	NM 52	NBR 7251	NBR 7219	NBR 7220

4.2.2.3. Agregado graúdo

No concreto produzido, foi utilizada a brita 1 de gnaïsse, de procedência de uma mineradora da cidade de Santa Luzia/MG e coletada conforme NM26:2001. As tabelas IV.4 e IV.5 mostram sua composição granulométrica e suas características físicas, respectivamente.

Tabela IV.4 – Composição granulométrica – NBR 7217

Peneiras (mm)	Brita 1		
	Massa (g)	% retido	% acumulada
32	-	0	0
25	0	0	0
19	930	12	12
12,5	0	0	12
9,5	8640	75	88
6,3	400	12	100
4,8	-	0	100
2,4	-	0	100
1,2	-	0	100
0,6	-	0	100
0,3	-	0	100
0,15	-	0	100
Fundo	30	1	100
Módulo de Finura	6,979	-	-
D _{máx.} (mm)	25	-	-

Tabela IV.5 – Características físicas

Agregado	Massa Específica Real	Massa Unitária Seca	Material Pulverulento	Impureza Orgânicas
	kg/dm ³	kg/dm ³	%	p.p.m.
Brita 1	2,65	1,44	0,55	< 300
Norma	NM 53	NBR 7251	NBR 7219	NBR 7220

4.2.2.4. Aditivo

O aditivo utilizado no concreto pela concreteira foi o Complast RX 322N, um aditivo plastificante de pega normal para concreto isento de cloretos. O Complast RX 322N é baseado numa mistura de polímeros selecionados de lignossulfonato. O produto é um líquido de cor castanho claro que se dispersa instantaneamente na água de amassamento e atua dispersando os finos da mistura com ação plastificante.

Segundo informações obtidas do Departamento Técnico da empresa fabricante, o Complast RX 322N é um aditivo de ação física e tensoativo, que reduz a tensão superficial da água, fazendo com que as moléculas de água apresentem menor coesão e, portanto, capacidade de aumentar sua superfície de contato e poder de penetração.

Além disso, o uso deste aditivo plastificante provoca uma redução do coeficiente de permeabilidade do concreto, influenciando no teor de ar incorporado do mesmo, uma vez que trata-se de um tensoativo orgânico que tem a propriedade, em maior ou menor escala, de formar pequenas bolhas de ar estáveis. Além disso, o Complast RX 322 N pode ser usado em qualquer tipo de cimento, sendo importante observar que devemos fazer um estudo de dosagem para cimentos que tiverem grandes quantidades de adição, como por exemplo, escória, pozolana ou filer.

Com relação à conformidade técnica, esse aditivo satisfaz à norma ABNT NBR 11768:1992 – Aditivos para concreto de cimento Portland, sendo classificado como tipo P. A tabela IV.6 abaixo apresenta a quantidade utilizada no concreto em estudo, assim como algumas propriedades e características desse tipo aditivo, fornecidas pela empresa fabricante.

Tabela IV.6 – Quantidade utilizada e características do aditivo

Quantidade utilizada no concreto	0,25%
Aparência	Líquido de cor marrom escuro
Massa específica	1,18 kg/dm ³ a 25°C
Presença de cloretos	Isenta
Teor de sólidos	32,5 a 34,5%
pH	3,0 a 4,0

4.3. IDENTIFICAÇÃO DO DESMOLDANTE

O desmoldante utilizado neste trabalho formou uma fina camada, de baixa oleosidade, entre o concreto e as fôrmas, impedindo a aderência entre ambos e facilitando a remoção das fôrmas, sem danificar as superfícies e arestas do concreto. Além disso, a empresa fabricante deste produto afirmou que ele não tem influência alguma nas propriedades do concreto, uma vez que ele praticamente não se mescla como o mesmo, e forneceu ainda algumas especificações técnicas listadas na tabela IV.7.

Tabela IV.7 – Características do desmoldante

Determinações	Especificações
Densidade (g/ml) 25° C	1,00 ± 0,01
pH	3 a 4
Teor de sólidos(%)	15±2
Aspecto/cor	Líquido amarelado
Validade	24 meses
Composição	Emulsão de ácidos graxos

4.4. IDENTIFICAÇÃO DAS FÔRMAS PARA CONCRETO

Foram utilizadas neste trabalho, para a execução da base de concreto, fôrmas de compensado plastificado (industrializadas e laminadas).

4.5. IDENTIFICAÇÃO DA ARGAMASSA DE CHAPISCO UTILIZADA

4.5.1. Materiais constituintes

4.5.1.1. Cimento Portland

Balizado pelas informações oriundas de ARROBAS & DJANIKIAN (1999) e CINCOTTO & BOLORINO (1997) (conforme citado na seção 3.2.1), os cimentos escolhidos foram o CPE 32, CP III 32 RS e o CP V ARI PLUS. A escolha destes materiais foi em função da ampla utilização em argamassas destes três tipos de cimento por parte das construtoras. Além disso, representa, de maneira abrangente, as principais possibilidades de composições de composições.

As características físicas e químicas dos cimentos, utilizados para a produção das argamassas em estudo, foram fornecidas pela empresa fabricante, e estão de acordo com as exigências das normas ABNT NBR 11578, NBR 5733, NBR 5735 e NBR 5737 conforme mostrado nas Tabelas IV.8 a IV.13.

4.5.1.1.1. Cimento Portland Composto CII E 32

Tabela IV.8 – Características Físicas CII E 32

Ensaio	NBR ABNT	Resultados	Exigências NBR 11578
Finura peneira 200 (%)	11579	3,03	≤ 12
Finura permeabilidade ar (Blaine) (cm ² /g)	NM 76	4056	≥ 2600
Tempo de Pega (min)			
- Início:	NM 65	177	≥ 60
- Fim:		258	≤ 600
Resistência à compressão (MPa)			
- 3 dias:	7215	24,5	≥ 10
- 7 dias:		30,8	≥ 20
- 28 dias:		39,4	≥ 32

Tabela IV.9 – Características Químicas CII E 32

Ensaio	NBR ABNT	Resultados	Exigências NBR 11578
Anidrido carbônico (CO ₂) (%)	11583	4,83	≤ 5,0
Perda ao fogo 1000° (%)	5743	5,41	≤ 6,5
Resíduo insolúvel (%)	5744	1,78	≤ 2,5
Anidrido sulfúrico (SO ₃) (%)	5745	1,47	≤ 4,0

4.5.1.1.2. Cimento Portland Alto Forno CPIII 32 RS

Tabela IV.10 – Características Físicas CPIII 32 RS

Ensaio	NBR ABNT	Resultados	Exigências NBR 5735
Finura peneira 400 (%)	-	3,4	-
Finura permeabilidade ar (Blaine) (cm ² /g)	7224	4278	-
Tempo de Pega (min)			
- Início:	11581	170	≥ 60
- Fim:		268	≤ 720
Resistência à compressão (MPa)			
- 3 dias:	7215	24,4	≥ 10
- 7 dias:		35,4	≥ 20
- 28 dias:		47,2	≥ 32

Tabela IV.11 – Características Químicas CPIII 32 RS

Ensaio	NBR ABNT	Resultados	Exigências NBR 5735
Anidrido carbônico (CO ₂) (%)	11583	2,85	≤ 3
Perda ao fogo 1000° (%)	5743	3,53	≤ 4,5
Resíduo insolúvel (%)	5744	1,08	≤ 1,5
Anidrido sulfúrico (SO ₃) (%)	5745	2,10	≤ 4,0

4.5.1.1.3. Cimento Alta Resistência Inicial CPV ARI PLUS

Tabela IV.12 - Características Físicas CPV ARI PLUS

Ensaio	NBR ABNT	Resultados	Exigências NBR 5733
Finura peneira 325 (%)	9202	1,8	≤ 6
Finura permeabilidade ar (Blaine) (cm ² /g)	NM 76	4652	≥ 3000
Tempo de Pega (min)			
- Início:	NM 65	156	≥ 60
- Fim:		226	≤ 600
Resistência à compressão (MPa)			
- 1 dia:		26,8	≥ 14
- 3 dias:	7215	43,0	≥ 24
- 7 dias:		48,2	≥ 34
- 28 dias:		55,0	-

Tabela IV.13 – Características Químicas CPV ARI PLUS

Ensaio	NBR ABNT	Resultados	Exigências NBR 5733
Anidrido carbônico (CO ₂) (%)	11583	1,16	≤ 3
Perda ao fogo 1000° (%)	5743	2,88	≤ 4,5
Resíduo insolúvel (%)	5744	0,64	≤ 1,5
Anidrido sulfúrico (SO ₃) (%)	5745	2,62	≤ 4,5

4.5.1.2. Agregado miúdo

Para a produção das argamassas a serem estudadas foi utilizada uma areia artificial de quartzo, coletada conforme NM26:2001. A escolha foi em função de sua homogeneidade, padrão de produção e granulometria enquadrada em zona 3 – média, com diâmetro máximo de 2,4 mm. A utilização de areia nesta faixa granulométrica é devido à necessidade de se obter rugosidade como acabamento final das superfícies revestidas por argamassa de chapisco.

As tabelas IV.14 e IV.15 mostram a composição granulométrica e as características físicas desta areia, ensaiada pelo laboratório de tecnologia de materiais da Consultare.

Tabela IV.14 – Composição granulométrica da areia – NBR 7217

Peneiras		Peso retido (g)		% retida			%
#	Mm	M ₁	m ₂	m ₁	m ₂	média	Acum.
1 ¼	32	-	-	-	-	-	-
1	25	-	-	-	-	-	-
¾	19	-	-	-	-	-	-
½	12,5	-	-	-	-	-	-
3/8	9,5	-	-	-	-	-	-
¼	6,3	-	-	-	-	-	-
4	4,8	-	-	-	-	-	-
8	2,4	19,1	17,9	4,0	4,0	4	4
16	1,2	99,4	108,7	20,0	22,0	21	25
30	0,6	117,3	118,6	24,0	24,0	24	49
50	0,3	110,4	108,3	22,0	22,0	22	71
100	0,15	97,6	90,8	20,0	18,0	19	90
Fundo		55,3	52,7	11,0	11,0	11	101
Peso da amostra (g)				m ₁ = 499,1		m ₂ = 497,0	

Tabela IV.15 – Características físicas da areia

Classificação granulométrica NBR 7211	Areia Média – Z3
Massa específica real NM 52 (kg/dm ³)	2,63
Massa específica aparente seca NBR 7810 (kg/dm ³)	1,50
Massa aparente úmida (4%) NBR 7251 (kg/dm ³)	1,06
Módulo de finura NBR 7211	2,39
Torrões de argila NBR 7218 (%)	-
Material pulverulento NBR 7219 (%)	2,41
Impurezas Orgânicas NBR 7220 (p.p.m)	< 300
Dimensão máxima característica NBR 7211 (mm)	2,4

4.5.1.3. Aditivo adesivo

Foi utilizado nas argamassas um adesivo à base de PVAc - poli (acetato de vinila), em função da grande utilização deste material por parte das construtoras e com o intuito de realizar a avaliação do desempenho de resistência à tração dessas argamassas, contendo este tipo de polímero e aplicadas sobre superfícies de concreto.

Segundo a empresa fabricante, a ação deste aditivo é puramente física, formando um filme intersticial na argamassa. Ele apresenta alguma retardação na hidratação do cimento devido ao envolvimento de seus grãos, havendo então a necessidade de uma cura adequada, podendo ocorrer também pulverulência superficial.

Na tabela IV.16 são apresentadas algumas das características deste material, fornecidas pela empresa fabricante do mesmo.

Tabela IV.16 – Características do aditivo adesivo

Determinações	Especificações
Densidade (g/ml)	1,02±0,01
pH	4±1
Teor de sólidos (%)	14±2
Aspecto	Líquido
Cor	Branco
Composição	Copolímero vinílico PVAc

As estruturas químicas do PVAc e PVA são mostradas na figura 4.3.

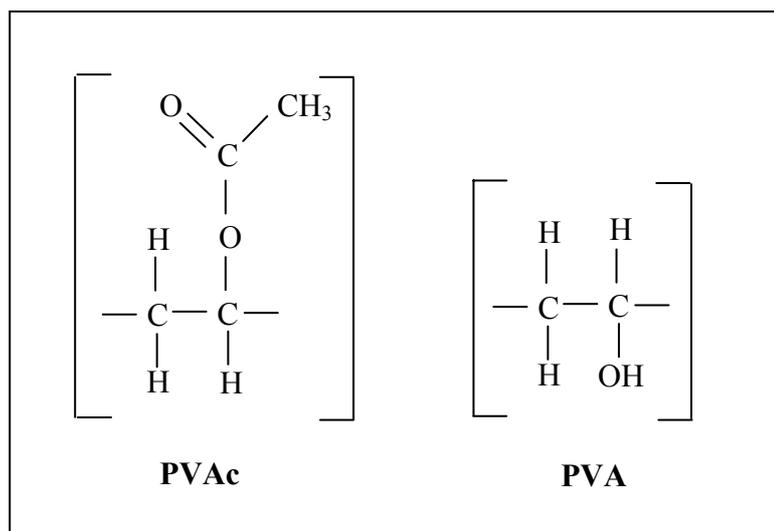


Figura 4.3 – Estruturas químicas do PVAc e PVA

4.5.1.4. Adição mineral

Foi utilizada sílica ativa de vidro em alguns traços da argamassa de chapisco, produzidos neste trabalho. As características físicas e químicas deste material são apresentadas na tabela IV.17 e foram fornecidas pela empresa fabricante.

A sílica ativa utilizada não confere cor ao concreto ou argamassa, não é cáustica ou tóxica e é quimicamente estável. A adição deste material propicia no estado plástico uma boa trabalhabilidade e coesão. No estado endurecido, propicia a elevação da resistência inicial, melhora o acabamento superficial, diminui a permeabilidade e aumenta a resistência final.

Tabela IV.17 – Características físicas e químicas da sílica ativa utilizada

Determinações	Especificações
Cor	Cinza claro
Retenção na peneira 325	1,1%
Massa específica	3,05 a 3,15 g/cm ³
pH	9,75 a 9,95
Umidade	0,70%
Perda por calcinação	1,01%
Na ₂ O	0,20%
SO ₃	0,12%
Índice de atividade pozolânica	110 a 120%
Índice de água requerida	98 a 99%
Dosagem em argamassa	5% da massa de cimento

4.6. METODOLOGIA DE ESTUDO

4.6.1. Fluxograma de atividades

Definidos os materiais a serem utilizados e o sistema revestimento / base a ser adotado neste trabalho, fez-se uma projeção das principais etapas e tarefas a serem realizadas, que estão esquematicamente mostradas através de fluxogramas na figura 4.4.

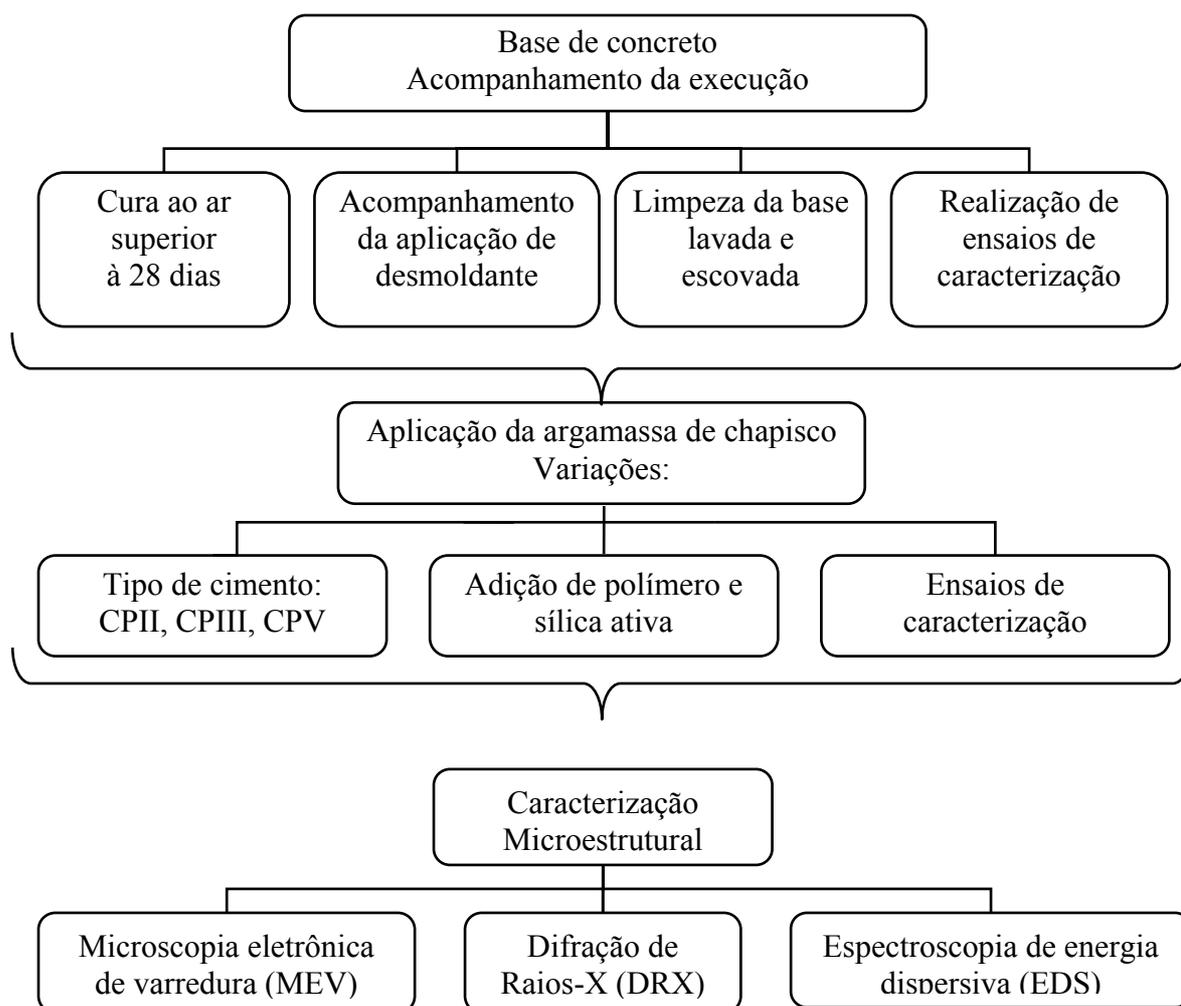


Figura 4.4 – Fluxograma de atividades

4.6.2. Procedimentos e técnicas executivas

Após a realização da seleção, coleta e caracterização dos materiais constituintes do sistema proposto, deu-se início aos procedimentos de execução, especificando-se também as técnicas construtivas a serem utilizadas.

Através de acompanhamento das concretagens no canteiro de obras, foi elaborada uma proposta de controle, desde os materiais constituintes do concreto, execução das formas, aplicação de desmoldantes nas formas, concretagem, desfôrma, cura, limpeza e preparo da base para aplicação das argamassas nas diversas situações propostas.

4.6.3. Aplicação de desmoldante, montagem das fôrmas e concretagem

O primeiro processo de execução acompanhado foi o de aplicação de desmoldante nas fôrmas a serem concretadas, segundo as especificações técnicas do fabricante deste produto.

O desmoldante utilizado neste trabalho foi aplicado de acordo com o manual técnico do fabricante. Foi dissolvido em água na proporção de 1:10, mexendo-se lentamente até se obter um líquido leitoso. Em seguida, aplicado uniformemente sobre as fôrmas, conforme mostrado na figura 4.5, que permaneceram secando ao ar por no mínimo uma hora antes do início da concretagem.



Figura 4.5 – Aplicação de desmoldante nas formas

Feito o acompanhamento da aplicação de desmoldante nas fôrmas, prosseguiu-se normalmente a obra, montando-se as fôrmas e executando-se a concretagem, conforme ilustrado nas figuras 4.6 e 4.7.



Figura 4.6 – Montagem das fôrmas



Figura 4.7 – Execução da concretagem

A figura 4.8 mostra um pilar de concreto, após a desfôrma, utilizado como superfície base, neste trabalho, para aplicação da argamassa de chapisco. O processo de cura deste concreto foi realizado ao ar e durante um período superior a 28 dias.



Figura 4.8 – Base de concreto após a desfôrma

4.6.4. Limpeza e preparo da superfície da base

A próxima etapa realizada foi a preparação e limpeza da base de revestimento, conforme a norma ABNT NBR 7200:1998 – Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento.

Segundo a norma citada acima, a base deve estar limpa, livre de pó, graxa, óleo, eflorescência, materiais soltos ou quaisquer produtos ou incrustações que venham prejudicar a aderência do revestimento. A limpeza foi feita aplicando-se um jato de água sob pressão na superfície da base, que foi também escovada utilizando-se escova com cerdas de aço, garantindo desse modo a completa remoção de sujeiras, pó e materiais soltos. A figura 4.9 abaixo mostra a limpeza da base de concreto utilizada neste trabalho.



Figura 4.9 – Limpeza e preparo da base de concreto

4.6.5. Combinações de traços de argamassa de chapisco utilizados

Foram confeccionados 16 (dezesesseis) painéis de teste sobre a base de concreto, para a aplicação de diferentes composições de argamassas de chapisco. Em todos os painéis, foi adotada uma argamassa de cimento e areia, na proporção 1:3 (em peso) e relação água/cimento (a/c) igual a 0,78.

Essas argamassas de chapisco tiveram uma variação na proporção de aditivo adesivo utilizado, à base de PVAc - poli (acetato de vinila). Além disso, foram testados três tipos de cimento Portland, CPII E32, CPIII RS e CPV ARI PLUS, sendo que, o CPV ARI PLUS também foi testado com a adição de sílica ativa.

Nos painéis de teste em que se utilizou sílica ativa, a adição foi realizada em substituição parcial ao cimento CPV ARI PLUS, na seguinte proporção em peso: 95% de CPV ARI PLUS e 5% de sílica ativa.

O aditivo adesivo foi utilizado diluído em água nas proporções em peso 1:4 e 1:2 (adesivo:água). Também foram avaliados painéis de teste com substituição total de água por aditivo adesivo e painéis de teste sem a utilização destes produtos, somente com água na composição da argamassa de chapisco.

A Tabela IV.18 mostra as 16 (dezesseis) composições diferentes da argamassa de chapisco para a confecção dos painéis de teste, onde foram realizados os ensaios de resistência de aderência à tração.

Tabela IV.18 – Situações estudadas

Painel de teste	Tipo de cimento	Proporção adesivo:água (em peso)	Relação polímero/cimento (%)	Consistência
01	CPII E 32	0:1	0%	Fluida
02		1:4	2,3%	
03		1:2	3,0%	
04		1:0	12,0%	
05	CPIII 32 RS	0:1	0%	Fluida
06		1:4	2,3%	
07		1:2	3,0%	
08		1:0	12,0%	
09	CPV ARI PLUS	0:1	0%	Fluida
10		1:4	2,3%	
11		1:2	3,0%	
12		1:0	12,0%	
13	CPV ARI PLUS + sílica ativa	0:1	0%	Fluida
14		1:4	2,3%	
15		1:2	3,0%	
16		1:0	12,0%	

4.6.6. Forma de aplicação da argamassa de chapisco sobre a base de concreto e confecção de painéis de teste em pilares de concreto em obra

Após a realização da limpeza da base e completa secagem, aplicou-se a argamassa de chapisco, conforme a NBR 7200:1998 – Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento.

A argamassa de chapisco foi projetada energicamente de baixo pra cima, como sugere YAZIGI (2002), além de ter sido utilizada uma consistência fluida, para assegurar maior facilidade de penetração da pasta de cimento na base revestida e melhorar a aderência na interface revestimento/base.

A figura 4.10 mostra a aplicação da argamassa de chapisco sobre a base de concreto. Também pode ser visto, nesta figura, a divisão dos painéis confeccionados para testar os diferentes traços de argamassa propostos. É importante salientar que durante a projeção da argamassa em cada painel, tomou-se o devido cuidado de não atingir os demais painéis, que foram cobertos com plástico quando necessário.



Figura 4.10 – Aplicação da argamassa de chapisco em painéis de teste

4.6.7. Aplicação da argamassa de regularização nos painéis de teste da obra

Esta última etapa realizada no trabalho de aplicação de uma argamassa de regularização com traço forte sobre a superfície chapiscada foi necessária pelo único e específico motivo de possibilitar a realização do ensaio de aderência à tração de acordo com a norma NBR 13528:1995, sem ocorrer interferências em seus resultados.

Uma vez que a argamassa de chapisco não proporcionou a completa cobertura da superfície da base de concreto, a argamassa com traço mais forte impediu que a resina utilizada para colar as placas metálicas alcançasse a base de concreto, evitando, dessa maneira, a distorção dos resultados do ensaio de aderência.

4.6.8. Confeção de painéis de teste em laboratório

Para realizar uma melhor avaliação de alguns resultados, obtidos em ensaios nos painéis de teste confeccionados em obra, decidiu-se reproduzir os mesmos 16 (dezesesseis) painéis de teste em laboratório, a fim de serem utilizados como parâmetro de comparação.

Estes painéis confeccionados em laboratório foram executados utilizando-se a face lisa de 16 (dezesesseis) placas de substrato-padrão (figura 4.11), que também passaram por processo de limpeza com água corrente e escova, antes de receber a aplicação da argamassa de chapisco. Os traços de chapisco produzidos para esta situação são idênticos aos produzidos para utilização na superfície de concreto em obra. A argamassa de regularização com traço forte sobre a superfície chapiscada também foi aplicada nestes painéis de teste confeccionados em laboratório.

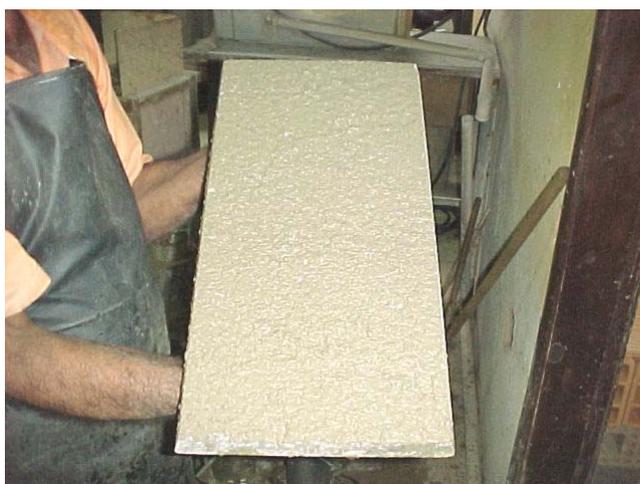


Figura 4.11 – Placa de substrato-padrão após a aplicação da argamassa de chapisco

4.6.9. Avaliação da aderência do sistema revestimento/base

Para a avaliação do comportamento de aderência entre a argamassa de chapisco e a base, foram realizados uma série de ensaios nos painéis de teste confeccionados na superfície de concreto em obra e nas placas de substrato-padrão. Além disso, também foram avaliados os materiais que compõem o sistema revestimento/base, por meio de ensaios macroestruturais e microestruturais, correlacionando todas as características dos materiais, fornecidas pelos fabricantes, com as principais patologias decorrentes da falta de aderência.

Os ensaios realizados durante o desenvolvimento deste trabalho estão listados nas tabelas IV.19 a IV.23.

Tabela IV.19 – Ensaios de caracterização da base de concreto

Caracterização da base de concreto	
Ensaio	Norma ou Método
Consistência	ABNT NBR 7223:1998
Resistência à compressão	ABNT NBR 5739:1994
Absorção de água por imersão	ABNT NBR 9778:1987
Absorção de água por capilaridade	ABNT NBR 9779:1995
Permeabilidade à água	(CSTC NIT n°140/1982)
Permeabilidade por difusão ao ar na camada superficial de concreto	Método kT – Torrent Permeability Test

Tabela IV.20 – Ensaio de caracterização da argamassa de chapisco

Caracterização da argamassa de chapisco	
Ensaio	Norma ou Método
Massa específica	ABNT NBR 13278:1995
Teor de ar incorporado	ABNT NBR 13278:1995
Retenção de água	ABNT NBR 13277:1995
Resistência à compressão	ABNT NBR 13279:1995
Resistência à tração por compressão diametral	ABNT NBR 7222:1994

Tabela IV.21 – Ensaio de caracterização dos materiais componentes da argamassa de chapisco

Caracterização dos materiais componentes da argamassa de chapisco	
Ensaio	Laboratório responsável
Tempo de pega	Laboratório Consultare
Análise química dos cimentos CPII E 32	Laboratório de Análise Químicas - UFMG
Análise química dos cimentos CPIII 32 RS	
Análise química dos cimentos CPV ARI PLUS	
Análise química da areia	
Análise química da sílica ativa	Laboratório da empresa fabricante dos cimentos
Granulometria a laser dos cimentos CPII E 32, CPIII 32 RS, CPV ARI PLUS e CPV ARI PLUS com sílica ativa	
Fluorescência de raios-X dos cimentos CPII E 32, CPIII 32 RS, CPV ARI PLUS e CPV ARI PLUS com sílica ativa	Laboratório da empresa fabricante dos cimentos
Determinação do teor de escória granulada de alto forno nos cimentos	LASMAT UFMG

Tabela IV.22 – Ensaio de avaliação do desempenho de aderência do sistema revestimento/base

Avaliação de desempenho do sistema revestimento / base		
Ensaio	Norma ou Método	Base
Resistência de aderência à tração (em campo)	ABNT NBR 13528:1995	Concreto
Resistência de aderência à tração (em laboratório)	ABNT NBR 13528:1995	Substrato-padrão

Tabela IV.23 – Ensaio de caracterização microestrutural

Caracterização microestrutural		
Ensaio	Material analisado	Origem do material
MEV / EDS	Concreto	Painéis de teste da obra
MEV / EDS	Argamassa de chapisco	Painéis de teste da obra
MEV / EDS	Interface concreto/chapisco	Painéis de teste da obra
DRX	Cimento CII E 32	Chapisco
DRX	Cimento CIII 32 RS	Chapisco
DRX	CPV ARI PLUS	Chapisco
DRX	CPV ARI PLUS + sílica ativa	Chapisco
Infravermelho	Aditivo adesivo	Chapisco

5. RESULTADOS

5.1. ENSAIOS NA BASE DE CONCRETO

5.1.1. Resistência à compressão e consistência

A tabela V.1 apresenta os resultados do ensaio de resistência à compressão e consistência do concreto, conforme a norma ABNT NBR 5739:1994 – Concreto – Ensaio de compressão, sendo que cada amostra era composta por quatro corpos de prova.

Tabela V.1 - Resistência à compressão e consistência

Amostra	fck (MPa)	Idade (dias)	Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa) aos 28 dias	Consistência slump (mm)
1	25	3	16,8	33,6	120
2	25	7	22,4		
3	25	28	32,8		
4	25	28	34,4		

5.1.2. Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado conforme os procedimentos da norma ANBT NBR 9778:1987. Os corpos de prova foram obtidos por extração de testemunhos em pilares miniatura de dimensões 20x20x 60 cm (figura 5.1), moldados em obra em obra durante a concretagem dos pilares de concreto.



Figura 5.1 – Pilares em miniatura moldados em obra durante a concretagem

A tabela V.2 apresenta as características da amostra ensaiada, composta por três corpos-de-prova. As tabelas V.3 a V.5 mostram os valores percentuais de absorção de água após 24, 48 e 72 horas. E por fim, na tabela V.6 têm-se um resumo da absorção de água decorridos estes três intervalos de tempo.

Tabela V.2 – Massa dos cp's (g) e absorção de água (%)

Identificação da amostra	3 corpos-de-prova de concreto
Tipo de corpo-de-prova	Extraído
Forma e dimensões do corpo-de-prova	Cilíndrico, Ø 10cm, altura 20cm
Idade do concreto ensaiado	Superior à 28 dias
Método de cura até a ocasião do ensaio	Ao ar

Tabela V.3 – Massa dos cp's (g) e absorção de água (%) após 24 horas

Corpo-de-prova	1	2	3	Média
Estufa (105±5)°C	3436,6 g	3511,1 g	3475,2 g	3474,3 g
Saturação (23±2)°C	3601,9 g	3688,0 g	3647,2 g	3645,7
Absorção de água	4,8 %	5,0 %	4,9 %	4,9 %

Tabela V.4 – Massa dos cp's (g) e absorção de água (%) após 48 horas

Corpo-de-prova	1	2	3	Média
Estufa (105±5)°C	3392,5 g	3481,7 g	3458,5 g	3444,2 g
Saturação (23±2)°C	3604,3 g	3688,9 g	3650,6 g	3647,9 g
Absorção de água	6,2 %	6,0 %	5,6 %	5,9 %

Tabela V.5 – Massa dos cp's (g) e absorção de água (%) após 72 horas

Corpo-de-prova	1	2	3	Média
Estufa (105±5)°C	3346,9 g	3430,0 g	3400,2 g	3392,4 g
Saturação (23±2)°C	3605,7 g	3690,9 g	3649,4 g	3648,7 g
Absorção de água	7,7 %	7,6 %	7,3 %	7,6 %

Tabela V.6 – Absorção de água por imersão (%)

Corpo-de-prova	1	2	3	Média
Absorção de água – após 24 horas (%)	4,8	5,0	4,9	4,9
Absorção de água – após 48 horas (%)	6,2	6,0	5,6	5,9
Absorção de água – após 72 horas (%)	7,7	7,6	7,3	7,6

A figura 5.2 apresenta graficamente os resultados obtidos neste ensaio de absorção de água por imersão.

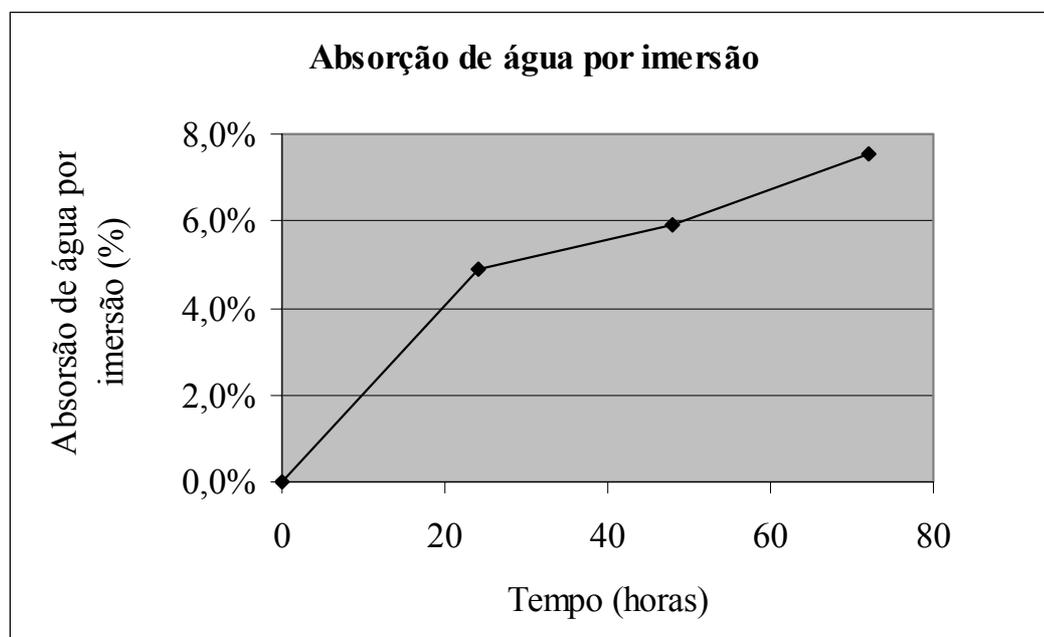


Figura 5.2 – Gráfico dos resultados do ensaio de absorção de água por imersão realizado no concreto

5.1.3. Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado conforme os procedimentos da norma ANBT NBR 9779:1995 e pode ser visualizado na figura 5.3. Os corpos de prova também foram extraídos por extração de testemunhos extraídos dos pilares em miniatura.



Figura 5.3 – Ensaio de absorção de água por capilaridade

A tabela V.7 apresenta as características da amostra ensaiada, composta de três corpos-de-prova por pilar de concreto. E as tabelas IV.8 a IV.12 apresentam os valores de absorção de água após 03, 06, 24, 48 e 72 horas. É também mostrado ao final um resumo de todos os valores de absorção de água por capilaridade na tabela V.13.

Tabela V.7 – Massa dos cp's (g) e absorção de água (%)

Identificação da amostra:	3 corpos-de-prova de concreto
Tipo de corpo-de-prova:	Extraído
Forma e dimensões do corpo-de-prova:	Cilíndrico, Ø 10cm, altura 20cm
Idade do concreto ensaiado:	Superior à 28 dias
Método de cura até a ocasião do ensaio:	Ao ar

Tabela V.8 – Massa dos cp's (g), área da seção transversal (cm²) e absorção de água (g/cm²) após 03 horas

Corpo-de-prova	1	2	3	Média
Seco ao ar (23±2)°C	3407,9 g	3478,5 g	3457,0 g	3447,8 g
Saturado (23±2)°C	3429,3 g	3502,8 g	3476,3 g	3469,5 g
Área da seção transversal	78,54 cm ²	78,54 cm ²	78,54 cm ²	78,54 cm ²
Absorção de água	2,03 g/cm ²	2,30 g/cm ²	1,83 g/cm ²	2,05 g/cm ²

Tabela V.9 – Massa dos cp's (g), área da seção transversal (cm²) e absorção de água (g/cm²) após 06 horas

Corpo-de-prova	1	2	3	Média
Seco ao ar (23±2)°C	3407,9 g	3478,5 g	3457,0 g	3447,8 g
Saturado (23±2)°C	3435,4 g	3510,6 g	3484,9 g	3477,0 g
Área da seção transversal	78,54 cm ²	78,54 cm ²	78,54 cm ²	78,54 cm ²
Absorção de água	2,61 g/cm ²	3,05 g/cm ²	2,64 g/cm ²	2,77 g/cm ²

Tabela V.10 – Massa dos cp's (g), área da seção transversal (cm²) e absorção de água (g/cm²) após 24 horas

Corpo-de-prova	1	2	3	Média
Seco ao ar (23±2)°C	3407,9g	3478,5g	3457,0g	3447,8g
Saturado (23±2)°C	3453,4g	3530,1g	3506,4g	3496,6g
Área da seção transversal	78,54 cm ²	78,54 cm ²	78,54 cm ²	78,54 cm ²
Absorção de água	4,32 g/cm ²	4,90 g/cm ²	4,69 g/cm ²	4,63 g/cm ²

Tabela V.11 – Massa dos cp's (g), área da seção transversal (cm²) e absorção de água (g/cm²) após 48 horas

Corpo-de-prova	1	2	3	Média
Seco ao ar (23±2)°C	3407,9g	3478,5g	3457,0g	3447,8g
Saturado (23±2)°C	3462,6g	3544,1g	3517,3g	3508,0g
Área da seção transversal	78,54 cm ²	78,54 cm ²	78,54 cm ²	78,54 cm ²
Absorção de água	5,19 g/cm ²	6,22 g/cm ²	5,72 g/cm ²	5,71 g/cm ²

Tabela V.12 – Massa dos cp's (g), área da seção transversal (cm²) e absorção de água (g/cm²) após 72 horas

Corpo-de-prova	1	2	3	Média
Seco ao ar (23±2)°C	3407,9g	3478,5g	3457,0g	3447,8g
Saturado (23±2)°C	3467,9g	3551,2g	3528,1g	3515,7g
Área da seção transversal	78,54 cm ²	78,54 cm ²	78,54 cm ²	78,54 cm ²
Absorção de água	5,69	6,90	6,75	6,45

Tabela V.13 –Resumo dos valores de absorção de água por capilaridade (g/cm²)

Corpo-de-prova	1	2	3	Média
Absorção de água – após 03 horas (g/cm ²)	2,03	2,30	1,83	2,05
Absorção de água – após 06 horas (g/cm ²)	2,61	3,05	2,64	2,77
Absorção de água – após 24 horas (g/cm ²)	4,32	4,90	4,69	4,63
Absorção de água – após 48 horas (g/cm ²)	5,19	6,22	5,72	5,71
Absorção de água – após 72 horas (g/cm ²)	5,69	6,90	6,75	6,45

Na figura 5.4 são apresentados graficamente os resultados deste ensaio de absorção de água por capilaridade. Este gráfico apresentou um comportamento semelhante ao obtido no ensaio de absorção de água por imersão, ou seja, sempre crescente com o passar do tempo.

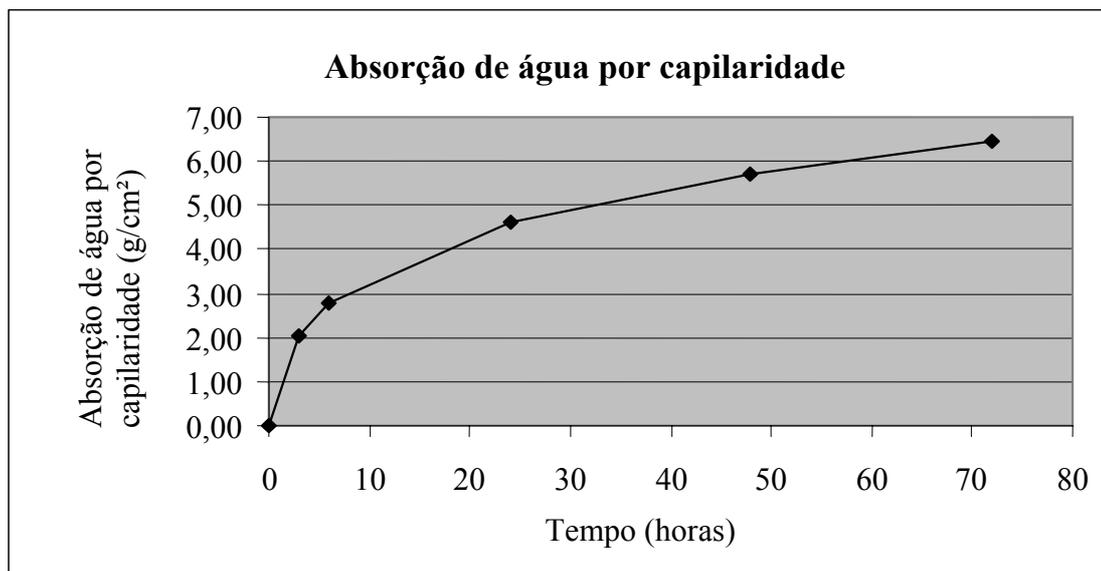


Figura 5.4 – Gráfico dos resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade realizado no concreto

5.1.4. Permeabilidade à água

Este ensaio visa a avaliação “in situ” da permeabilidade à água em superfícies verticais (pilares de concreto) e é realizado conforme o método do cachimbo (NIT nº140/1982) do CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction). Os resultados são apresentados na tabela V.14 e na figura 5.5 em um gráfico com o nível de água, em cm³, versus tempo, em minutos (o cachimbo de vidro permite exercer uma pressão inicial de 92 mm de água, o que corresponde à ação estática de um vento com velocidade aproximada de 140km/h).

Tabela V.14 – Leituras realizadas nos cachimbos

Tempo (min)	Média (cm ³)		Tempo (min)	Média (cm ³)
0	0,0		8	0,5
1	0,2		9	0,6
2	0,3		10	0,6
3	0,3		11	0,6
4	0,4		12	0,7
5	0,4		13	0,7
6	0,4		14	0,7
7	0,5		15	0,8

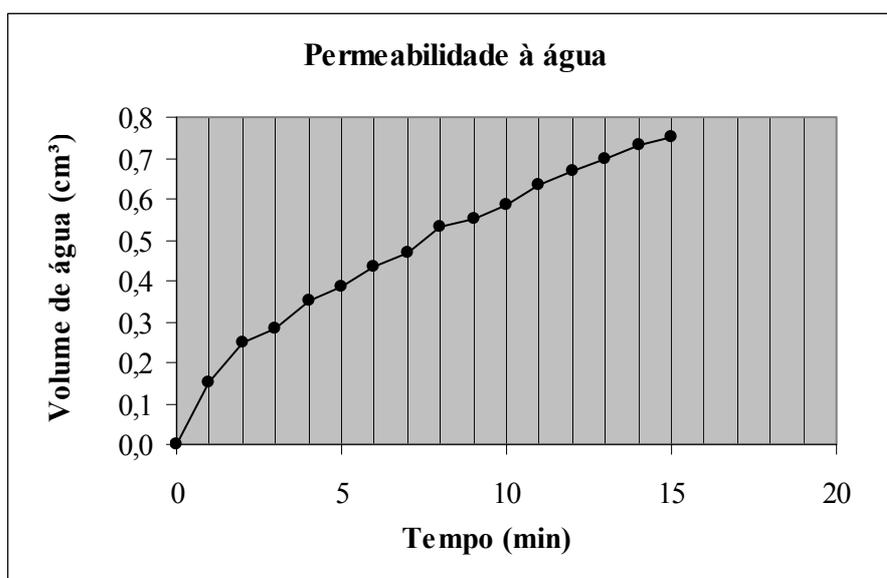


Figura 5.5 – Gráfico volume de água x tempo

5.1.5. Permeabilidade por difusão ao ar na camada superficial de concreto

A tabela V.15 apresenta os resultados do ensaio de permeabilidade por difusão ao ar, realizado na camada superficial da base de concreto de cimento Portland CPIII em estudo. E como referência, encontram-se na tabela V.16 os valores especificados pela metodologia de ensaio para as classes de permeabilidade dos concretos em estudo.

Tabela V.15 – Base de concreto em estudo

Local do ensaio	Resultado (kT)	Indicativa do fabricante quanto à permeabilidade
Pilar de concreto	$79,04 \times 10^{-16} \text{ m}^2$	Muito alta
Pilar de concreto	$54,05 \times 10^{-16} \text{ m}^2$	Muito alta
Substrato-padrão	$2,887 \times 10^{-16} \text{ m}^2$	Alta
Substrato-padrão	$1,540 \times 10^{-16} \text{ m}^2$	Alta
Substrato-padrão	$4,023 \times 10^{-16} \text{ m}^2$	Alta

Tabela V.16 – Classes de permeabilidade do concreto de cobrimento

Permeabilidade da superfície do concreto	Índice	kT (10^{-16} m^2)
Muito alta	5	> 10
Alta	4	1,0 – 10
Normal	3	0,1 – 1,0
Baixa	2	0,01 – 0,1
Muito Baixa	1	< 0,01

5.2. CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO-PADRÃO

A caracterização dos substratos-padrão utilizados nos ensaios de resistência de aderência à tração, realizados em laboratório, foi realizada com base na norma ABNT NBR 14082:2004 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios. Segundo esta norma, são apresentados na tabela V.17 os requisitos mínimos que um substrato-padrão deve apresentar.

Tabela V. 17 – Requisitos mínimos para caracterização do substrato-padrão

Dimensões mínimas	25 cm x 50 cm
Espessura mínima	20 mm
Relação água/cimento	0,45 a 0,50
Consumo de cimento	400 kg/m ³
Absorção de água	Inferior a 0,5 cm ³ em 4 horas

Todos os substratos-padrão utilizados neste trabalho atenderam aos requisitos mínimos especificados pela norma ABNT NBR 14082:2004.

5.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DA ARGAMASSA DE CHAPISCO

5.3.1. Análise química dos materiais

Nas tabelas V.18 a V.22 são apresentados os resultados obtidos na análise química dos materiais utilizados na argamassa de chapisco. Esta análise foi realizada no Laboratório de Análises Químicas da UFMG e apresenta como resultados os elementos solicitados e os teores de óxidos obtidos por estequiometria.

Nas tabelas V.18 a V.20 são apresentados os resultados da análise dos cimentos CPV ARI PLUS, CII E 32 e CIII 32 RS respectivamente. Na tabela V.21 tem-se os resultados da areia e na tabela V.22 são apresentados os resultados da sílica ativa. Também são apresentados os limites máximos especificados pelas normas ABNT.

Tabela V.18 – Análise química do cimento CPV ARI PLUS da argamassa de chapisco

Elemento solicitado		Teores encontrados (%)	
		Óxidos, por estequiometria	
Si	8,85	SiO ₂	18,95
Ca	45,61	CaO	63,82
Mg	0,310	MgO	0,514
S	1,30	-	-
P	0,158	P ₂ O ₅	0,363
Al	0,875	Al ₂ O ₃	1,65
Fe	4,09	Fe ₂ O ₃	5,85
Cl	0,008	-	-
Na	0,024	Na ₂ O	0,032
K	0,508	K ₂ O	0,611
PPC	3,99	-	-

Tabela V.19 – Análise química do cimento CPII E 32 da argamassa de chapisco

Elemento solicitado		Teores encontrados (%)	
		Óxidos, por estequiometria	
Si	9,47	SiO ₂	20,55
Ca	44,54	CaO	59,20
Mg	0,712	MgO	1,18
S	0,581	-	-
P	0,133	P ₂ O ₅	0,304
Al	1,21	Al ₂ O ₃	2,29
Fe	4,60	Fe ₂ O ₃	6,57
Cl	0,007	-	-
Na	0,035	Na ₂ O	0,048
K	0,557	K ₂ O	0,671
PPC	6,84	-	-

Tabela V.20 – Análise química do cimento CPIII 32 RS da argamassa de chapisco

Elemento solicitado		Teores encontrados (%)	
		Óxidos, por estequiometria	
Si	12,23	SiO ₂	26,17
Ca	39,39	CaO	55,11
Mg	1,38	MgO	2,29
S	1,36	-	-
P	0,149	P ₂ O ₅	0,343
Al	1,97	Al ₂ O ₃	3,73
Fe	2,74	Fe ₂ O ₃	3,92
Cl	0,011	-	-
Na	0,055	Na ₂ O	0,074
K	0,366	K ₂ O	0,441
PPC	2,74	-	-

Tabela V.21 – Análise química da areia utilizada na argamassa de chapisco

Elemento solicitado		Teores encontrados (%)	
		Óxidos, por estequiometria	
Si	45,49	SiO ₂	97,32
Al	0,338	Al ₂ O ₃	0,639
Fe	0,218	–	0,312
Mg	0,063	MgO	0,104
Mn	0,001	MnO	0,001
K	0,140	K ₂ O	0,169
Na	0,022	Na ₂ O	0,029%
Ca	0,248	CaO	0,347
PPC	0,334	-	-

Tabela V.22 – Análise química da sílica ativa utilizada na argamassa de chapisco

Elemento solicitado		Teores encontrados (%)	
		Óxidos, por estequiometria	
Si	44,07%	SiO ₂	94,27%
Al	0,080%	Al ₂ O ₃	0,151%
Fe	< 0,01%	–	–
Mg	0,185%	MgO	0,307%
Mn	0,011%	MnO	0,014%
K	0,601%	K ₂ O	0,723%
Na	0,154%	Na ₂ O	0,207%
Ca	0,245%	CaO	0,343%
PPC	3,29%	-	-

5.3.2. Fluorescência de raios-X dos cimentos

A tabela V.23 apresenta os resultados obtidos no ensaio de fluorescência de raios-X realizados nos cimentos utilizados nas argamassas de chapisco. Este ensaio, assim como o de granulometria a laser, também foi realizado pela empresa fabricante dos cimentos.

Tabela V.23 – Fluorescência de raios-X

Elemento	CPV ARI PLUS + sílica ativa	CPV ARI PLUS	CPII E 32	CPIII 32 RS
%SiO ₂	20,2	18,9	22,75	26,31
%Al ₂ O ₃	4,65	4,67	5,89	8,69
%Fe ₂ O ₃	2,66	2,7	2,77	2,04
%CaO	62,63	63,99	63,98	52,52
%MgO	0,68	0,68	1,78	3,39
%SO ₃	2,4	2,65	-	-
%Na ₂ O	0,04	0,02	0,08	-
%K ₂ O	0,73	0,74	0,81	0,45

5.3.3. Granulometria a laser dos cimentos

A figura 5.6 apresenta um gráfico referente ao resultado do ensaio de granulometria a laser realizado com os cimentos utilizados nos traços das argamassas de chapisco: CPV ARI PLUS, CPII E 32 e CPIII 32 RS. Este ensaio foi realizado no laboratório da própria empresa fabricante destes cimentos.

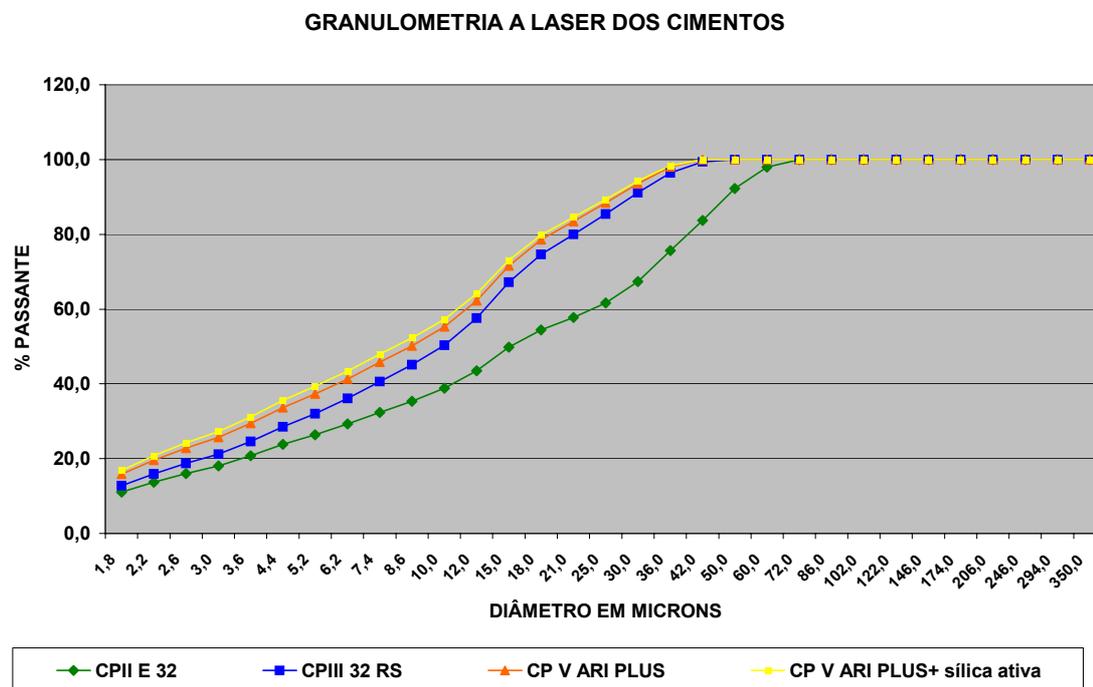


Figura 5.6 – Granulometria a laser dos cimentos utilizados na argamassa de chapisco

5.3.4. Determinação do teor de escória granulada de alto forno nos cimentos da argamassa de chapisco

Os resultados do ensaio de determinação do teor de escória granulada de alto forno nos cimentos da argamassa de chapisco, realizado no Laboratório de Análise e Caracterização de Superfícies e Materiais da UFMG e conforme os procedimentos da norma ABNT NBR 5754:1992, são apresentados na tabela V.24.

Tabela V.24 – Teor de escória de alto forno presente nos cimentos das argamassas de chapisco

Teor de escória de alto forno (%)			
CPV ARI PLUS + sílica ativa	CPV ARI PLUS	CPII E 32	CPIII 32 RS
3%	4%	32%	68%

Estes resultados foram obtidos a partir da contagem dos grãos de escória de alto forno em microscópio e podem apresentar uma margem de erro de $\pm 3\%$. Foi encontrada uma pequena fração de escória de alto forno no cimento CPV ARI PLUS, apesar das normas brasileiras não permitirem este tipo de adição nos mesmos.

As figuras 5.8 a 5.11 mostram as imagens obtidas, em microscópio, de cada um dos tipos de cimento analisados: CPV ARI PLUS com adição de sílica ativa, CPV ARI PLUS, CII E 32 e CIII 32 RS. Na figura 5.7 é mostrada uma legenda com os tipos de materiais encontrados nestes cimento.



Figura 5.7 – Materiais componentes do cimento

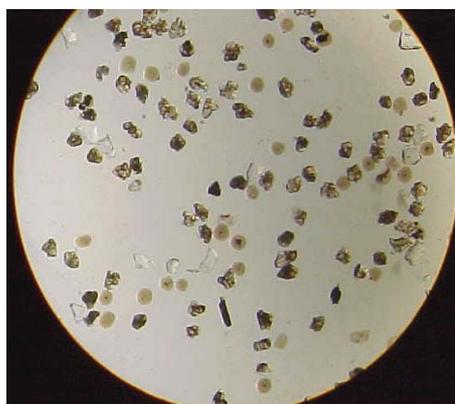


Figura 5.8 – Ampliação de imagem microscópica dos grãos do cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa
3% de escória de alto forno

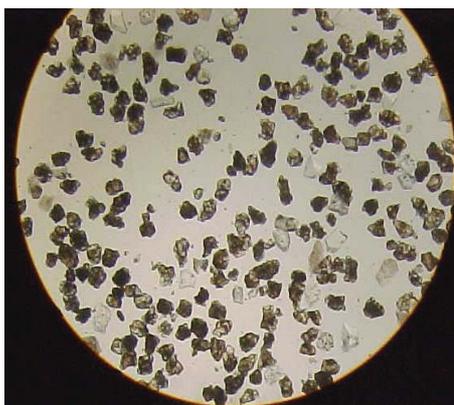


Figura 5.9 – Ampliação de imagem microscópica dos grãos do cimento CPV ARI PLUS
4% de escória de alto forno



Figura 5.10 – Ampliação de imagem microscópica dos grãos do cimento CPII E 32
32% de escória de alto forno

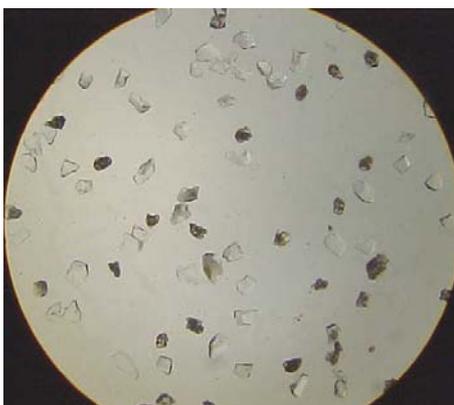


Figura 5.11 – Ampliação de imagem microscópica dos grãos do cimento CPIII 32 RS
68% de escória de alto forno

5.4. ENSAIOS NA ARGAMASSA DE CHAPISCO

5.4.1. Massa específica da argamassa

A tabela V.25 apresenta o valor da massa específica, em g/cm^3 , de cada um dos 16 (dezesseis) traços da argamassa de chapisco deste trabalho. O ensaio foi realizado segundo os procedimentos da norma ABNT NBR 13278:1995.

Tabela V.25 – Massa específica dos traços de argamassa de chapisco (g/cm^3)

Massa específica (g/cm^3)				
Tipo de cimento	Relação polímero/cimento (%)			
	0,0%	2,3%	3,0%	12,0%
CPV ARI PLUS + sílica ativa	2,12	1,73	1,72	1,71
CPV ARI PLUS	2,11	1,95	1,84	1,75
CPII E 32	2,11	1,93	1,84	1,77
CPIII 32 RS	2,08	1,92	1,75	1,70

A figura 5.12 mostra graficamente os valores obtidos para a massa específica das argamassas de chapisco em estudo. No eixo das abscissas, tem-se a quantidade de polímero utilizada em suas composições, representada pela relação polímero/cimento, em peso. Cada curva do gráfico corresponde a uma argamassa com um tipo de cimento diferente.

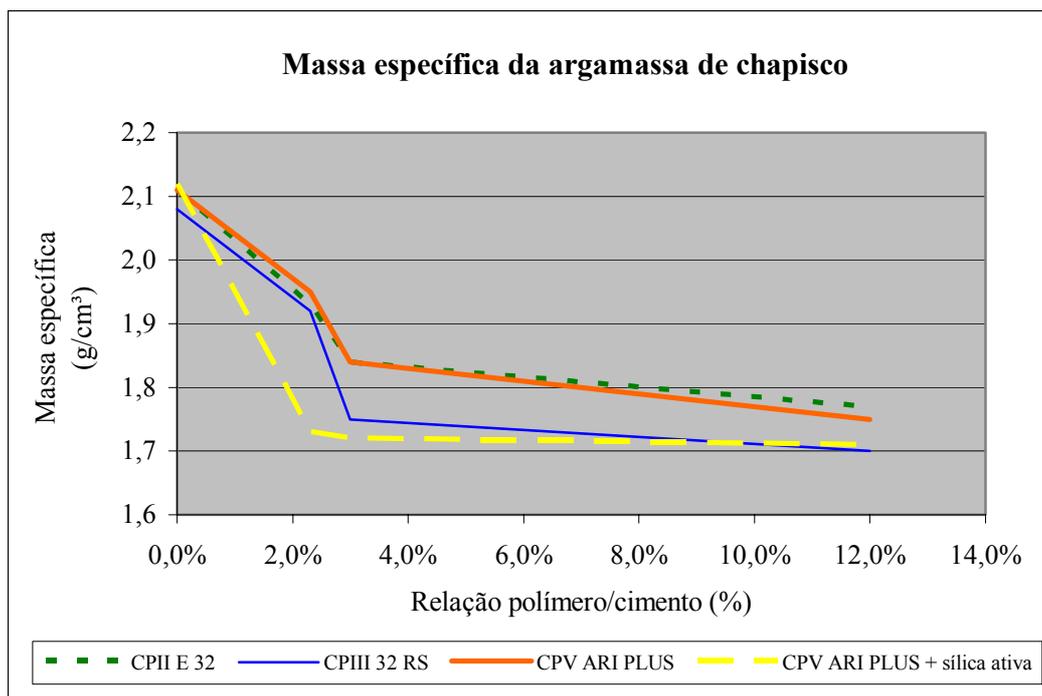


Figura 5.12 – Massa específica das argamassas de chapisco

5.4.2. Teor de ar incorporado

Outro ensaio realizado para caracterização da argamassa de chapisco, foi a determinação do teor de ar incorporado, em %. Este ensaio também foi realizado segundo as especificações da norma ABNT NBR 13278:1995. Na tabela V.26 são apresentados os resultados obtidos, para todos os 16 (dezesesseis) traços. Na figura 5.13 é mostrado um gráfico comparativo desses valores medidos.

Tabela V.26 – Teor de ar incorporado dos traços de argamassa de chapisco (%)

Tipo de cimento	Teor de ar incorporado (%)			
	Relação polímero/cimento (%)			
	0,0%	2,3%	3,0%	12,0%
CPV ARI PLUS + sílica ativa	0%	19%	20%	20%
CP V ARI PLUS	1%	8%	14%	18%
CP II E 32	1%	14%	18%	21%
CP III 32 RS	2%	10%	18%	20%

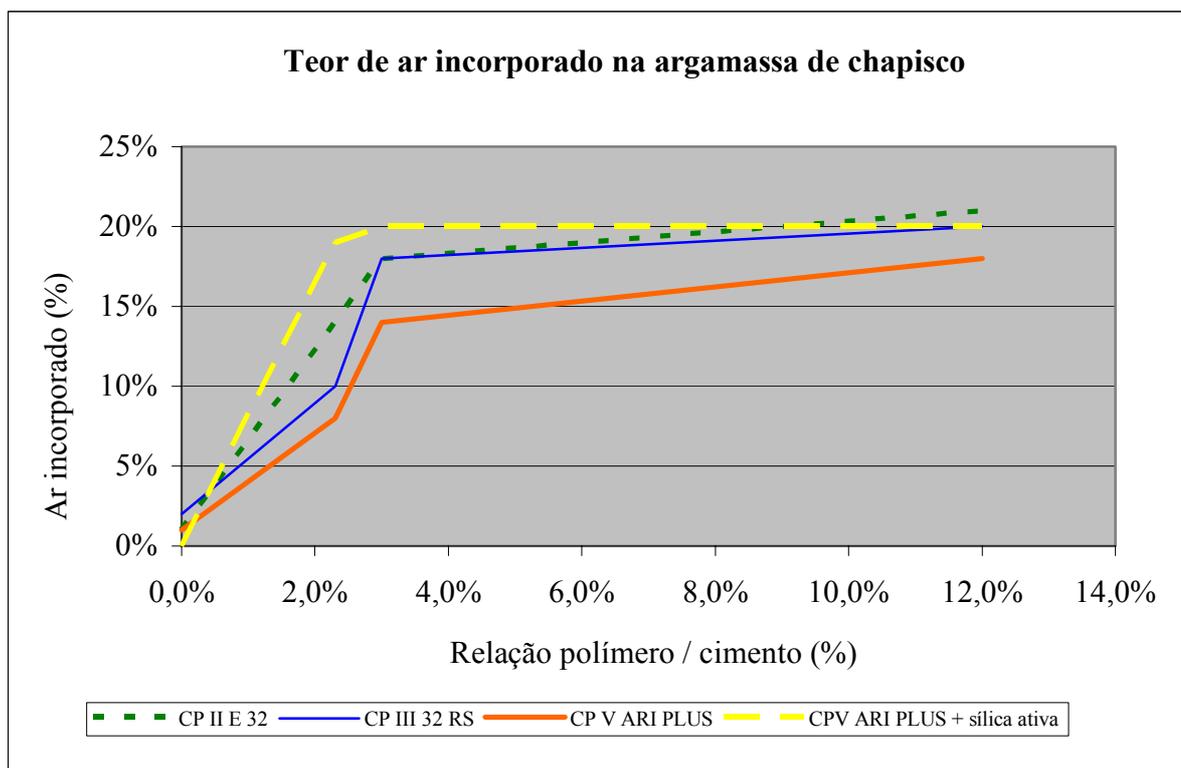


Figura 5.13 – Gráfico comparativo do teor de ar incorporado nas argamassas de chapisco de acordo com o tipo de cimento utilizado

5.4.3. Capacidade de retenção de água

Além da determinação da massa específica e do teor de ar incorporado, também foi avaliada a capacidade de retenção de água da argamassa de chapisco, segundo a norma ABNT NBR 13277:1995. A tabela V.27 mostra os resultados obtidos, em %, para os 16 (dezesseis) traços ensaiados. A figura 5.14 apresenta um gráfico comparativo desses valores medidos.

Tabela V.27 – Capacidade de retenção de água dos traços de argamassa de chapisco (%)

Capacidade de retenção de água (%)				
Tipo de cimento	Relação polímero/cimento (%)			
	0,0%	2,3%	3,0%	12,0%
CPV ARI PLUS + sílica ativa	88%	88%	92%	95%
CP V ARI PLUS	86%	86%	89%	94%
CP II E 32	85%	85%	86%	93%
CP III 32 RS	86%	86%	88%	94%

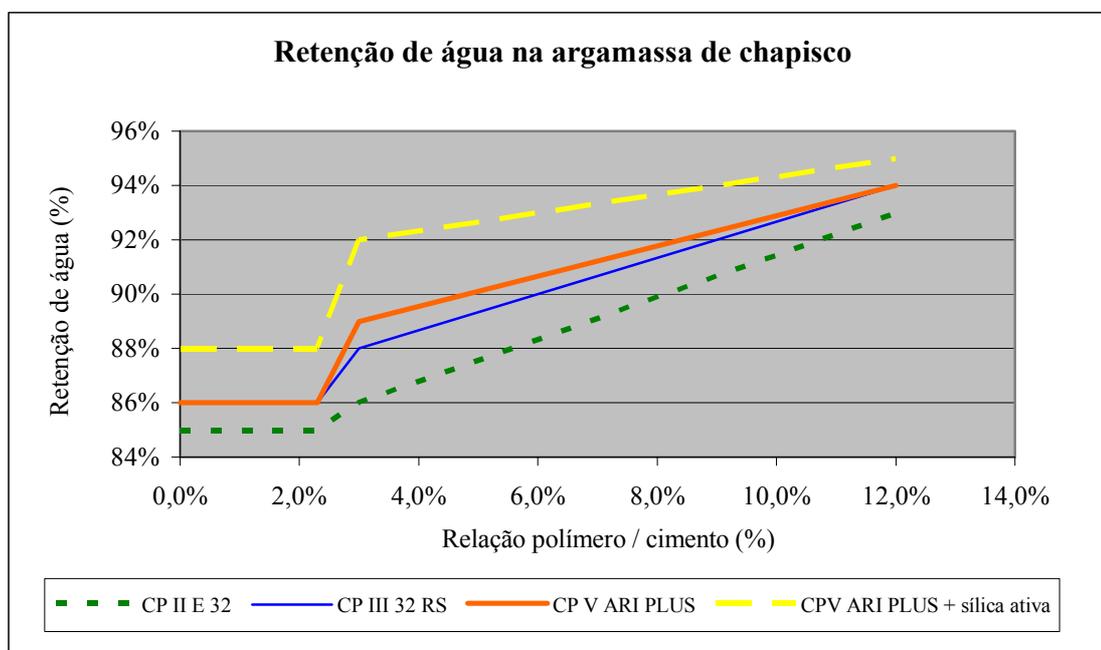


Figura 5.14 – Gráfico comparativo da retenção de água nas argamassas de chapisco de acordo com o tipo de cimento

5.4.4. Resistência à compressão

Os resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado conforme os procedimentos da norma ABNT NBR 7215:1992, são apresentados na tabela V.28. Todos os tipos de combinações de argamassas deste trabalho foram ensaiadas. A figura 5.15 apresenta um gráfico comparativo dos valores de resistência à compressão obtidos com 7 e 28 dias.

Tabela V.28 – Resistência média à compressão da argamassa de chapisco

Resistência média à compressão (MPa)				
Escória de alto forno	Tipo de cimento	Relação polímero/cimento (%)	Idade	
			7 dias	28 dias
3%	CPV ARI PLUS + sílica ativa	0,0%	1,35	2,35
		2,3%	1,19	1,64
		3,0%	1,04	1,36
		12,0%	0,81	1,13
4%	CPV ARI PLUS	0,0%	1,82	2,64
		2,3%	1,40	1,79
		3,0%	1,24	1,76
		12,0%	0,06	0,33
32%	CPII E 32	0,0%	1,39	1,98
		2,3%	0,80	1,37
		3,0%	0,77	1,37
		12,0%	0,02	0,17
68%	CPIII 32 RS	0,0%	0,67	1,39
		2,3%	0,65	1,44
		3,0%	0,56	1,35
		12,0%	0,03	0,23

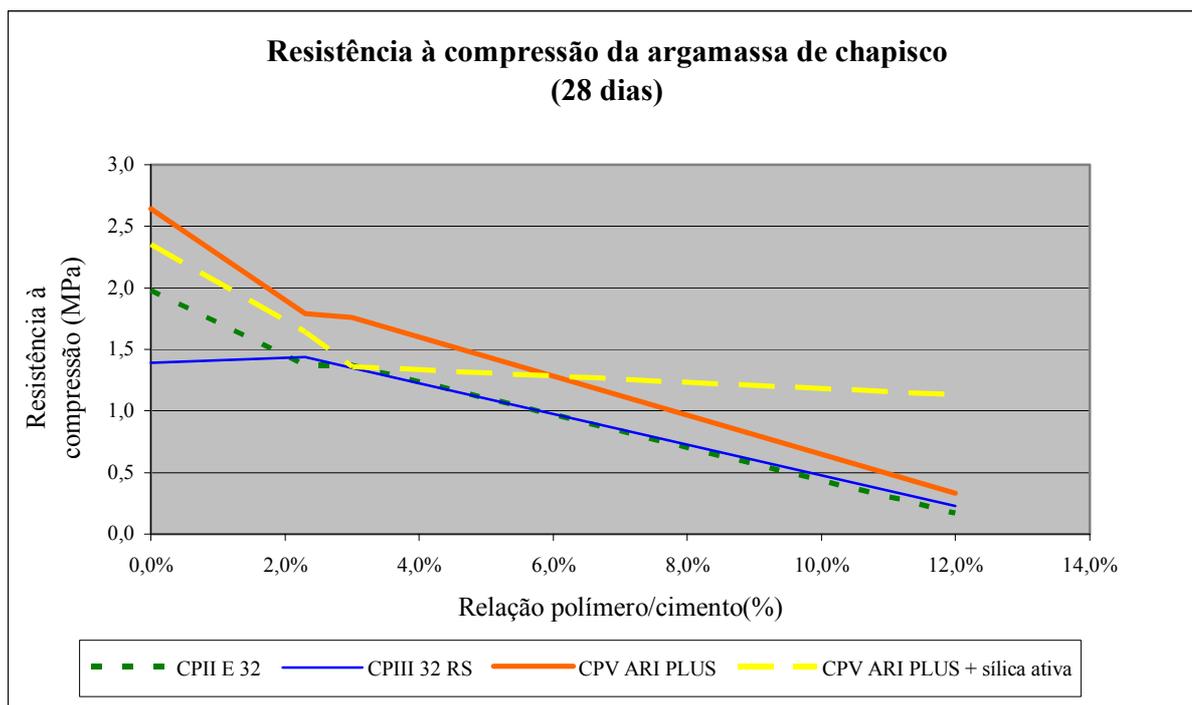


Figura 5.15 – Gráfico comparativo da resistência à compressão nas argamassas de chapisco de acordo com o tipo de cimento

5.4.5. Tempo de pega

Os resultados do ensaio de determinação do tempo de início de pega da pasta de consistência normal de cimento Portland, realizado conforme os procedimentos da norma ABNT NBR NM 65:2003, são apresentados na tabela V.29. Foram ensaiados todos os cimentos utilizados neste trabalho: CPV ARI PLUS com adição de sílica ativa, CPV ARI PLUS, CII E 32 e CIII 32 RS, em todas as concentrações de polímero, ou seja, relações polímero/cimento igual a 0,0%, 2,3%, 3,0% e 12,0%.

A figura 5.16 apresenta graficamente os resultados obtidos do início de pega de cada tipo de cimento, com a variação no eixo das abscissas da relação polímero/cimento.

Tabela V.29 – Tempos de início de pega da pasta de consistência normal

Relação polímero/ cimento (%)	Tempos de pega	% de escória de alto forno			
		3%	4%	32%	68%
		CPV ARI PLUS + sílica ativa	CPV ARI PLUS	CP II E 32	CPIII 32RS
0,0%	Início de pega	80 min	160 min	180 min	235 min
2,3%	Início de pega	105 min	120 min	165 min	220 min
3,0%	Início de pega	105min	135 min	175 min	235 min
12,0%	Início de pega	125min	165 min	135 min	265 min

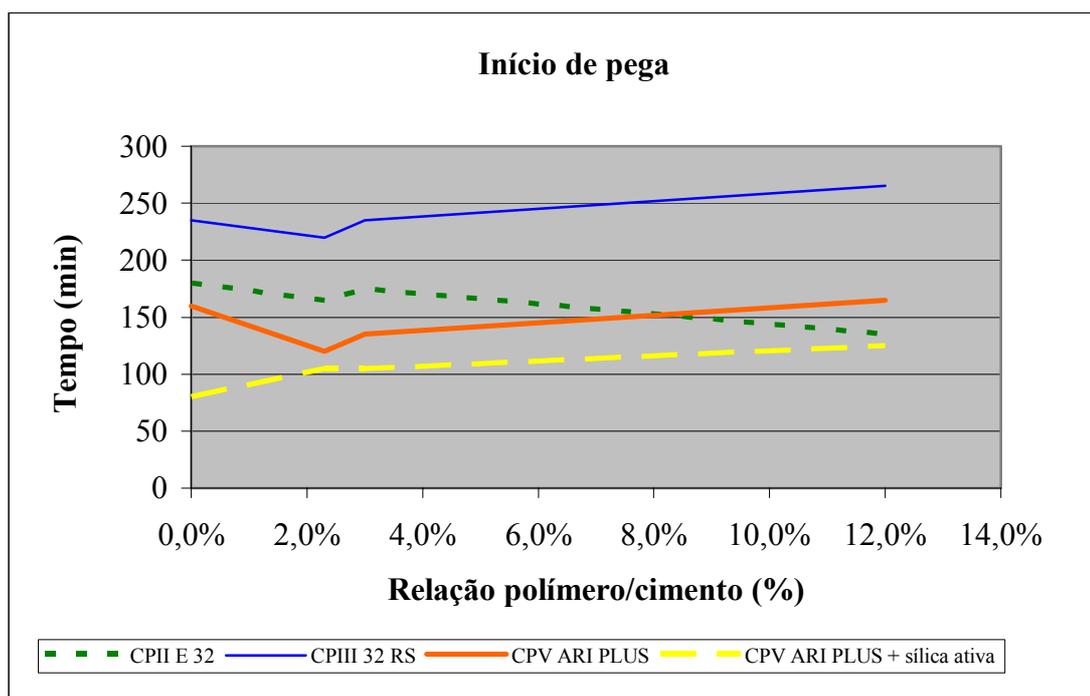


Figura 5.16 – Gráfico do início de pega

5.4.6. Resistência à tração por compressão diametral

Os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias são apresentados na tabela V.30. O ensaio foi realizado conforme os procedimentos da norma ABNT NBR 7222:1994 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpo-de-prova cilíndricos.

Tabela V.30 – Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Escória de alto forno	Tipo de cimento	Relação polímero/cimento (%)	Resistência à compressão por tração diametral (MPa)
3%	CPV ARI PLUS + sílica ativa	0,0%	3,3
		2,3%	1,6
		3,0%	0,7
		12,0%	0,1
4%	CPV ARI PLUS	0,0%	3,0
		2,3%	1,5
		3,0%	1,0
		12,0%	0,1
32%	CPII E 32	0,0%	2,7
		2,3%	1,1
		3,0%	0,8
		12,0%	0,0*
68%	CPIII 32 RS	0,0%	2,8
		2,3%	1,9
		3,0%	1,0
		12,0%	0,0*

* Esses valores não foram medidos, uma vez que os corpos de prova se desintegraram durante a desforma.

5.5. ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ADERÊNCIA DO SISTEMA REVESTIMENTO / BASE

Para a avaliação do desempenho de aderência do sistema revestimento/base foram realizados ensaios para determinação da resistência de aderência à atração conforme os procedimentos da norma ABNT NBR 13528:1995. Os ensaios foram realizados em 32 (trinta e dois) painéis de teste, 16 (dezesseis) deles confeccionados em campo (base de concreto) e 16 (dezesseis) em laboratório (substrato padrão como base).

As formas de ruptura adotadas para interpretação dos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração assim como os tipos de ruptura correspondentes são apresentados na tabela V.31. E na figura 5.17 os tipos de ruptura são apresentados em um desenho esquemático.

Tabela V.31 – Formas de ruptura adotadas

Formas de ruptura		Tipos de ruptura
S	Ruptura no substrato (concreto ou substrato padrão)	-
S / C	ruptura na interface substrato/chapisco	Adesiva
C	Ruptura no chapisco	Coesiva

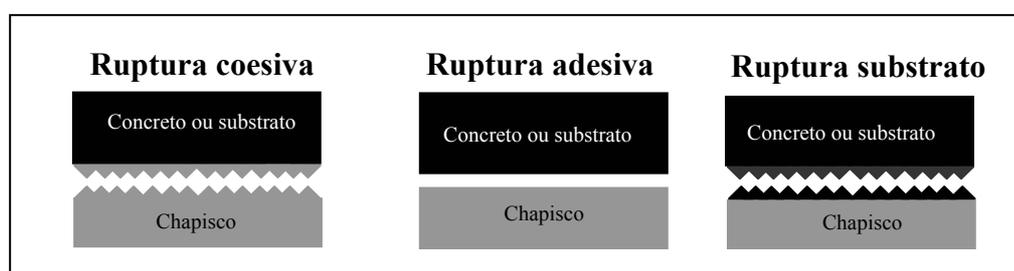


Figura 5.17 – Desenho esquemático dos tipos de ruptura

Para um melhor entendimento do trabalho, os resultados obtidos em campo e em laboratório serão apresentados e analisados separadamente.

A análise dos resultados será realizada sob dois aspectos. Primeiramente, será avaliada a influência da relação polímero/cimento das argamassas de chapisco na resistência de aderência à tração. Esta resistência será posteriormente avaliada considerando-se a influência do teor de escória de alto forno presente no cimento das argamassas de chapisco.

5.5.1. Ensaio de resistência de aderência à tração em painéis de teste com base de concreto (em campo)

5.5.1.1. Resultados do ensaio de aderência para cada cimento utilizado variando-se a relação polímero/cimento

Na tabela V.32 são apresentados os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste confeccionados com argamassa de chapisco utilizando cimento CPV ARI PLUS e adição de sílica ativa, variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente. Mais especificamente são apresentados nesta tabela os seguintes itens:

- Resultados individuais de cada corpo-de-prova do ensaio de resistência de aderência à tração (para cada painel de teste);
- Resistência média de aderência à tração de cada painel de teste;
- Desvio padrão dos resultados individuais de cada painel de teste;
- Número de amostras (corpos-de-prova) de cada painel de teste;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura adesiva no ensaio de aderência;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura coesiva no ensaio de aderência.

Tabela V.32 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPV ARI PLUS com sílica ativa (em campo)

Cimento CP V ARI PLUS + sílica ativa - 3% de escória de alto forno						
Relação Polímero/ Cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
0,0%	0,66	0,66 MPa	0,05	5	55%	45%
	0,56					
	0,69					
	0,65					
	0,72					
2,3%	0,89	0,88 MPa	0,02	4	20%	80%
	0,87					
	0,91					
	0,86					
3,0%	0,95	1,00 MPa	0,06	4	1%	99%
	0,93					
	1,09					
	1,01					
12,0%	1,15	1,10 MPa	0,13	4	1%	99%
	1,27					
	1,05					
	0,93					

Na figura 5.18 é apresentado um gráfico com as formas de ruptura observadas e a resistência média de aderência à tração nos painéis de teste confeccionados com argamassa de chapisco utilizando cimento CPV ARI PLUS e adição de sílica ativa, variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente.

O gráfico da figura 5.19 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

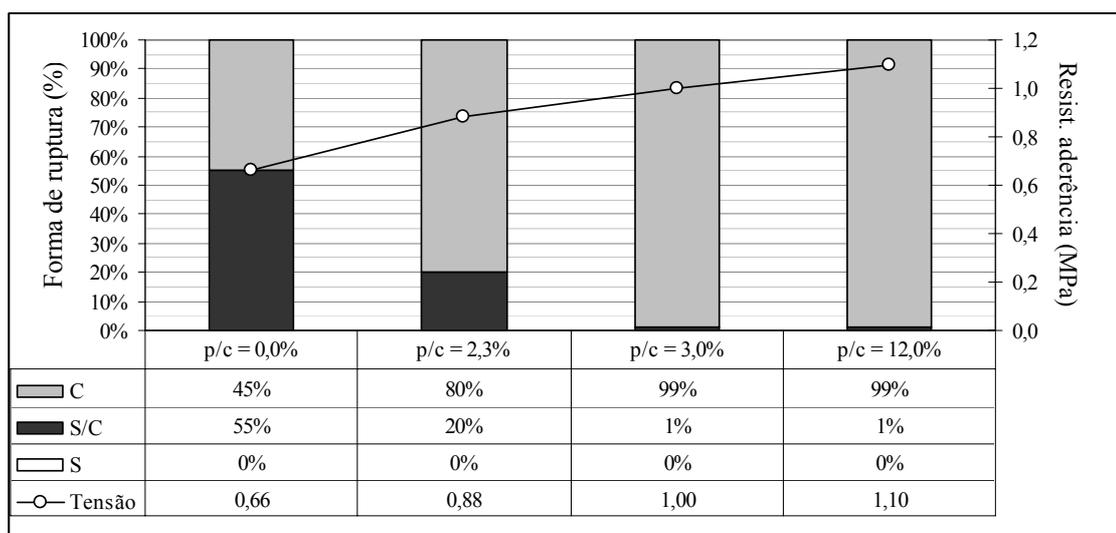


Figura 5.18 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS e adição de sílica ativa (em campo com base de concreto)

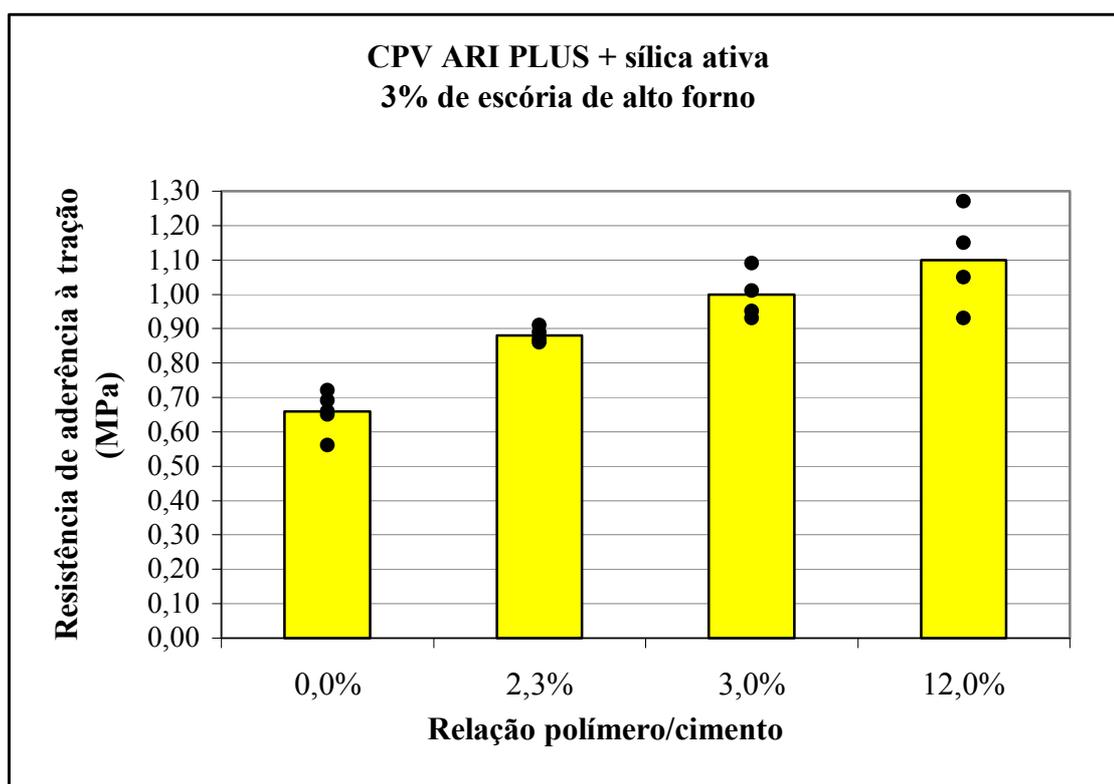


Figura 5.19 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS e adição de sílica ativa (em campo com base de concreto)

Na tabela V.33 são apresentados os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste confeccionados com argamassa de chapisco utilizando cimento CPV ARI PLUS e variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente. Mais especificamente são apresentados nesta tabela os seguintes itens:

- Resultados individuais de cada corpo-de-prova do ensaio de resistência de aderência à tração (para cada painel de teste);
- Resistência média de aderência à tração de cada painel de teste;
- Desvio padrão dos resultados individuais de cada painel de teste;
- Número de amostras (corpos-de-prova) de cada painel de teste;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura adesiva no ensaio de aderência;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura coesiva no ensaio de aderência.

Tabela V.33 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPV ARI PLUS (em campo)

Cimento CP V ARI PLUS - 4% de escória de alto forno						
Relação Polímero/Cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
0,0%	0,69	0,62 MPa	0,07	5	99%	1%
	0,58					
	0,62					
	0,69					
	0,51					
2,3%	0,92	0,82 MPa	0,08	4	96%	4%
	0,70					
	0,88					
	0,79					
3,0%	0,94	0,93 MPa	0,02	4	36%	64%
	0,95					
	0,95					
	0,89					
12,0%	0,89	0,94 MPa	0,05	4	1%	99%
	1,02					
	0,89					
	0,96					

Na figura 5.20 é apresentado um gráfico com as formas de ruptura observadas e a resistência média de aderência à tração nos painéis de teste confeccionados com argamassa de chapisco utilizando cimento CPV ARI PLUS e variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente.

O gráfico da figura 5.21 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

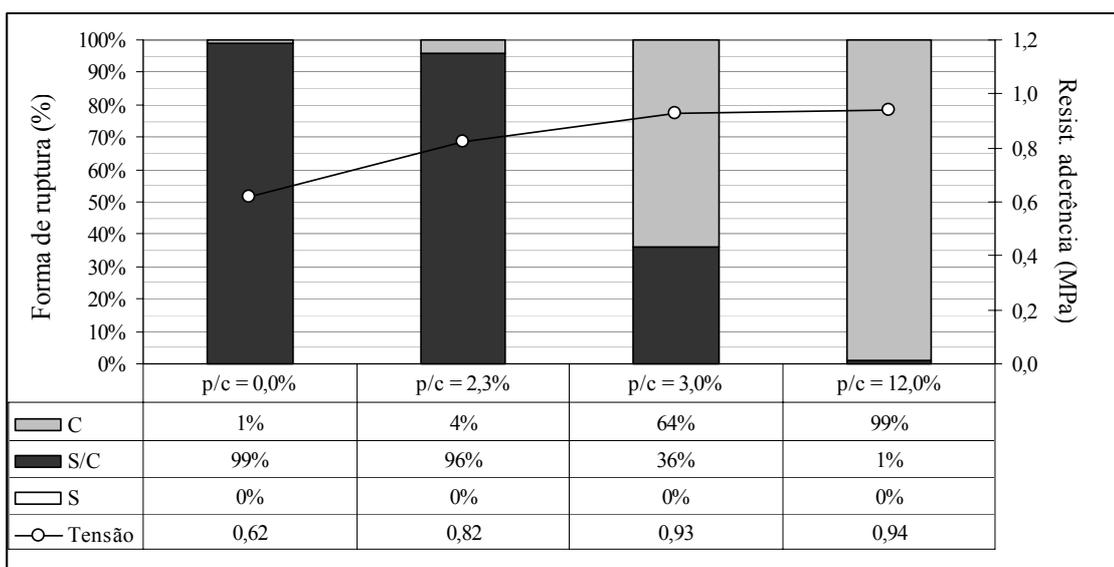


Figura 5.20 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS (em campo com base de concreto)

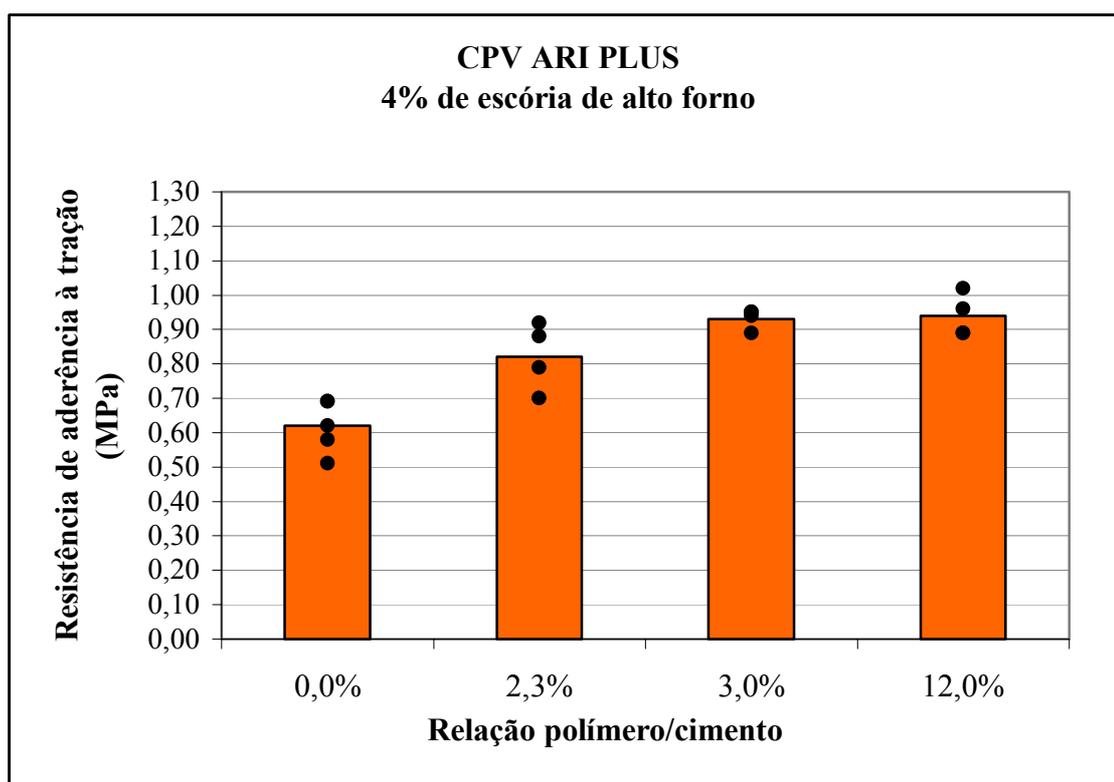


Figura 5.21 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS (em campo com base de concreto)

Na tabela V.34 são apresentados os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste confeccionados com argamassa de chapisco utilizando cimento CII E 32 e variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente. Mais especificamente são apresentados nesta tabela os seguintes itens:

- Resultados individuais de cada corpo-de-prova do ensaio de resistência de aderência à tração (para cada painel de teste);
- Resistência média de aderência à tração de cada painel de teste;
- Desvio padrão dos resultados individuais de cada painel de teste;
- Número de amostras (corpos-de-prova) de cada painel de teste;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura adesiva no ensaio de aderência;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura coesiva no ensaio de aderência.

Tabela V.34 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CII E 32
(em campo)

Cimento CII E 32 - 32 % de escória de alto forno						
Relação Polímero/Cimento	Resistência de aderência À tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
0,0%	0,32	0,31 MPa	0,10	5	92%	8%
	0,45					
	0,20					
	0,20					
	0,40					
2,3%	0,63	0,52 MPa	0,07	4	90%	10%
	0,43					
	0,52					
	0,49					
3,0%	0,71	0,65 MPa	0,10	4	40%	60%
	0,78					
	0,59					
	0,51					
12,0%	1,01	0,96 MPa	0,07	5	1%	99%
	0,98					
	0,90					
	1,06					
	0,86					

Na figura 5.22 é apresentado um gráfico com as formas de ruptura observadas e a resistência média de aderência à tração nos painéis de teste confeccionados com argamassa de chapisco utilizando cimento CII E 32 e variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente.

O gráfico da figura 5.23 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

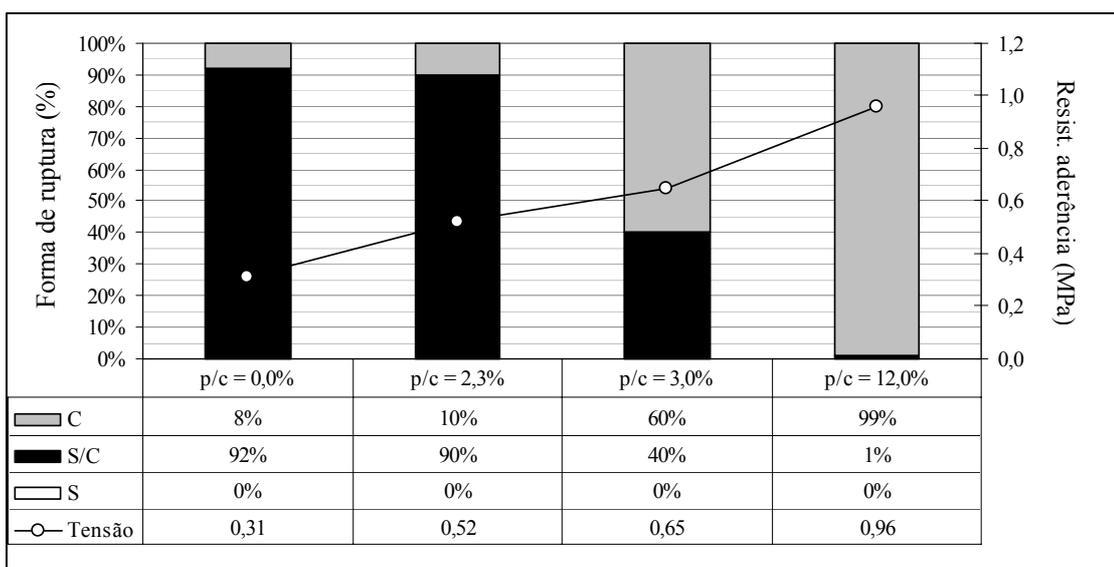


Figura 5.22 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CII E 32 (em campo com base de concreto)

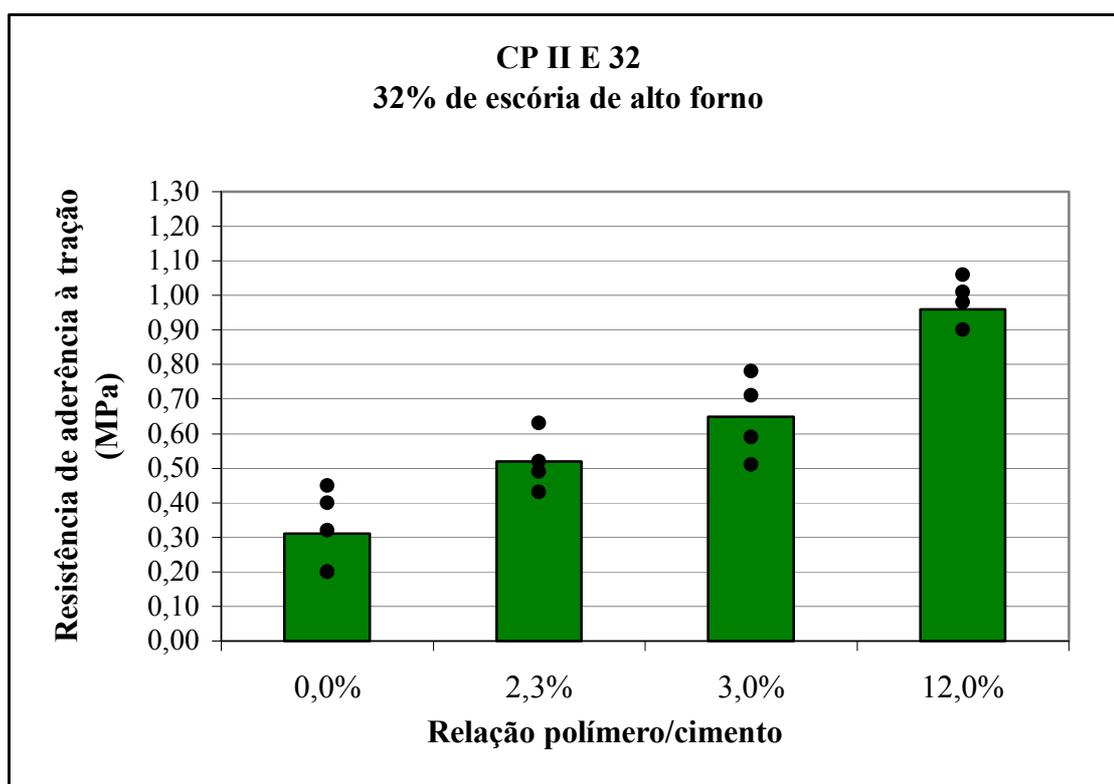


Figura 5.23 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CII E 32 (em campo com base de concreto)

Na tabela V.35 são apresentados os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste confeccionados com argamassa de chapisco utilizando cimento CPIII 32 RS e variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente. Mais especificamente são apresentados nesta tabela os seguintes itens:

- Resultados individuais de cada corpo-de-prova do ensaio de resistência de aderência à tração (para cada painel de teste);
- Resistência média de aderência à tração de cada painel de teste;
- Desvio padrão dos resultados individuais de cada painel de teste;
- Número de amostras (corpos-de-prova) de cada painel de teste;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura adesiva no ensaio de aderência;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura coesiva no ensaio de aderência.

Tabela V.35 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPIII 32 RS
(em campo)

Cimento CPIII 32 RS - 68% de escória de alto forno						
Relação Polímero/Cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
0,0%	0,18	0,14 MPa	0,06	5	99%	1%
	0,18					
	0,06					
	0,08					
	0,20					
2,3%	0,51	0,38 MPa	0,09	4	95%	5%
	0,33					
	0,39					
	0,27					
3,0%	0,86	0,87 MPa	0,06	6	35%	65%
	0,84					
	0,78					
	0,94					
	0,94					
	0,86					
12,0%	1,17	1,15 MPa	0,02	4	1%	99%
	1,11					
	1,17					
	1,16					

Na figura 5.24 é apresentado um gráfico com as formas de ruptura observadas e a resistência média de aderência à tração nos painéis de teste confeccionados com argamassa de chapisco utilizando cimento CPIII 32 RS e variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente.

O gráfico da figura 5.25 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

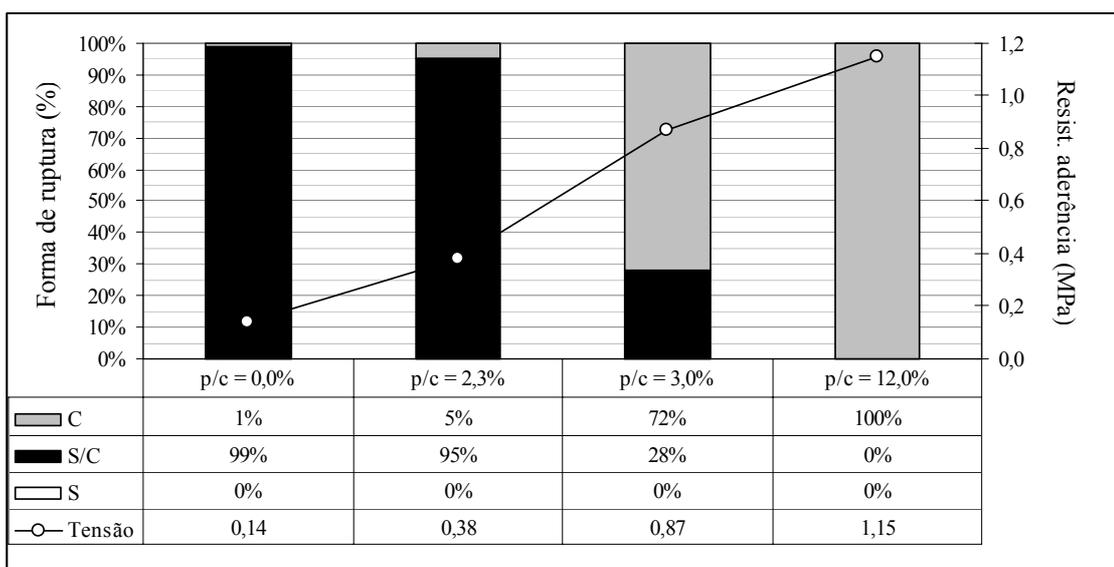


Figura 5.24 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPIII32RS (em campo com base de concreto)

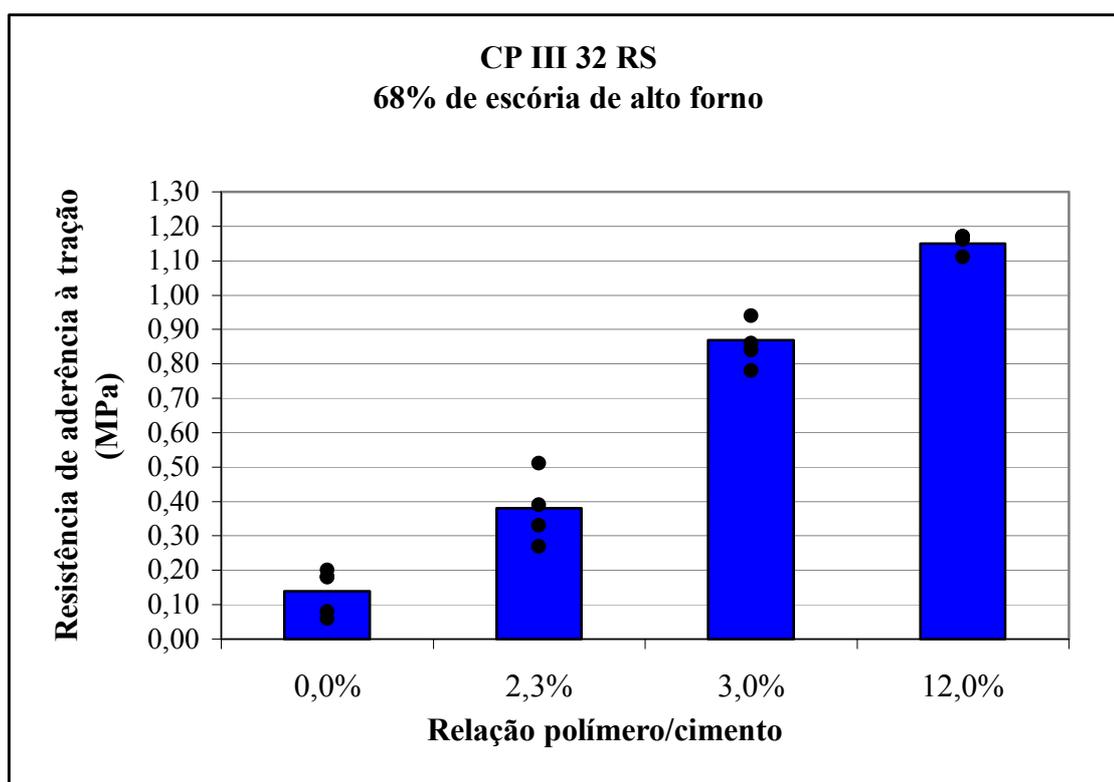


Figura 5.25 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPIII 32 RS (em campo com base de concreto)

5.5.1.2. Resultados do ensaio de aderência para cada umas das relações polímero/cimento com variação do teor de escória de alto forno

Na tabela V.36 são apresentados estes mesmos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste em campo. No entanto, agora será avaliada a influência do teor de escória de alto forno dos diferentes cimentos utilizados para uma relação polímero/cimento fixa de 0,0%.

Tabela V.36 – Resultados de resistência de aderência à tração com 0% de polímero (em campo)

Relação polímero/cimento = 0,0 %							
Cimento	Porcentagem de escória de alto forno no cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
CP V ARI PLUS + sílica ativa	3%	0,66	0,66 MPa	0,05	5	55%	45%
		0,56					
		0,69					
		0,65					
		0,72					
CP V ARI PLUS	4%	0,69	0,62 MPa	0,07	5	99%	1%
		0,58					
		0,62					
		0,69					
		0,51					
CP II E 32	32%	0,32	0,31 MPa	0,10	5	92%	8%
		0,45					
		0,20					
		0,20					
		0,40					
CP III 32 RS	68%	0,18	0,14 MPa	0,06	5	99%	1%
		0,18					
		0,06					
		0,08					
		0,20					

Na figura 5.26 é apresentado um gráfico das formas de ruptura observadas nas argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual 0,0%.

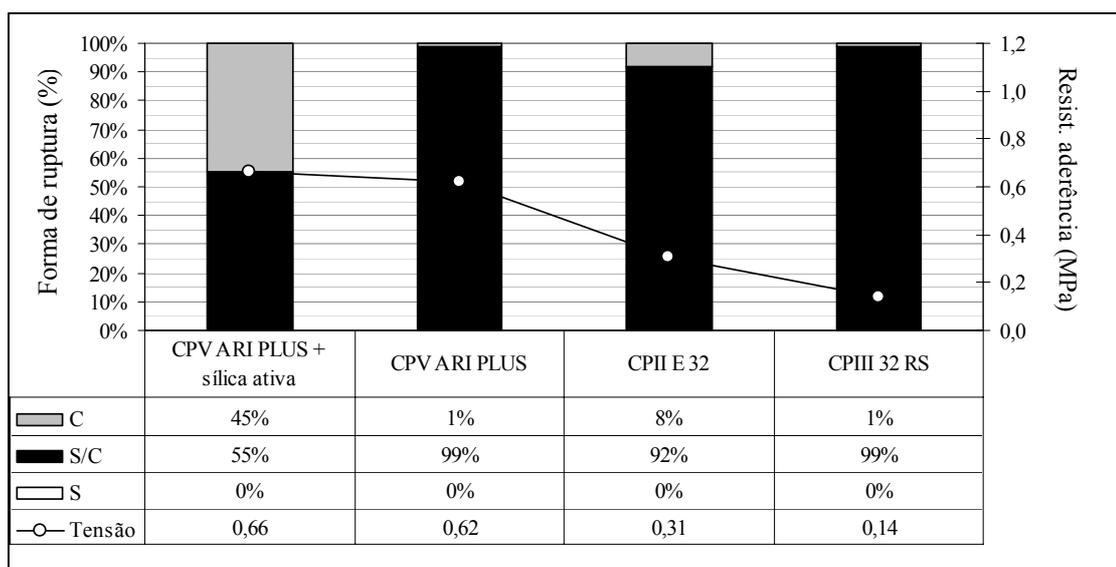


Figura 5.26 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com relação polímero/cimento igual a 0,0%

O gráfico da figura 5.27 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

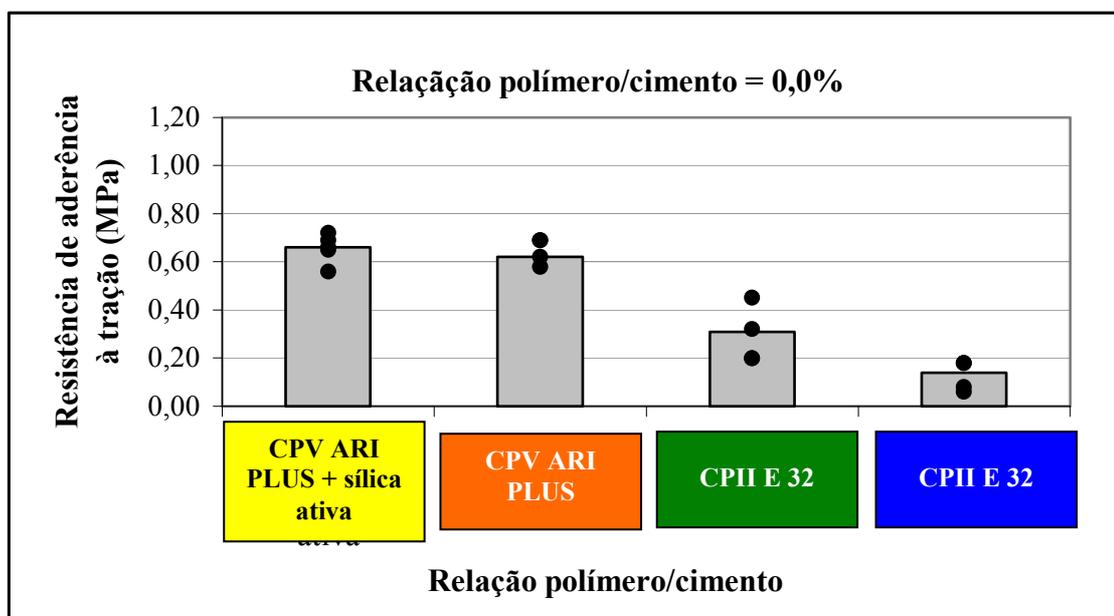


Figura 5.27 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 0,0%

Na tabela V.37 são apresentados estes mesmos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste em campo. No entanto, agora será avaliada a influência do teor de escória de alto forno dos diferentes cimentos utilizados para uma relação polímero/cimento fixa de 2,3%.

Tabela V.37 – Resultados de resistência de aderência à tração com 2,3% de polímero
(em campo)

Relação polímero/cimento = 2,3 %							
Cimento	Porcentagem de escória de alto forno no cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
CP V ARI PLUS + sílica ativa	3%	0,89	0,88 MPa	0,02	4	20%	80%
		0,87					
		0,91					
		0,86					
CP V ARI PLUS	4%	0,92	0,82 MPa	0,08	4	96%	4%
		0,70					
		0,88					
		0,79					
CP II E 32	32%	0,63	0,52 MPa	0,07	4	90%	10%
		0,43					
		0,52					
		0,49					
CP III 32 RS	68%	0,51	0,38 MPa	0,09	4	95%	5%
		0,33					
		0,39					
		0,27					

Na figura 5.28 é apresentado um gráfico das formas de ruptura observadas nas argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual 2,3%.

O gráfico da figura 5.29 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

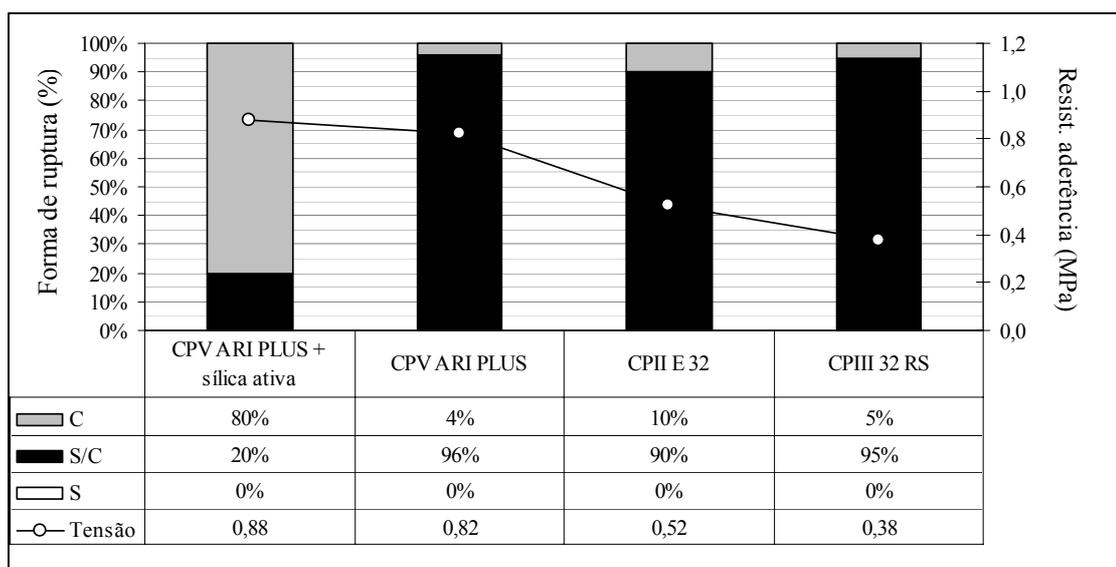


Figura 5.28 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com relação polímero/cimento igual a 2,3%

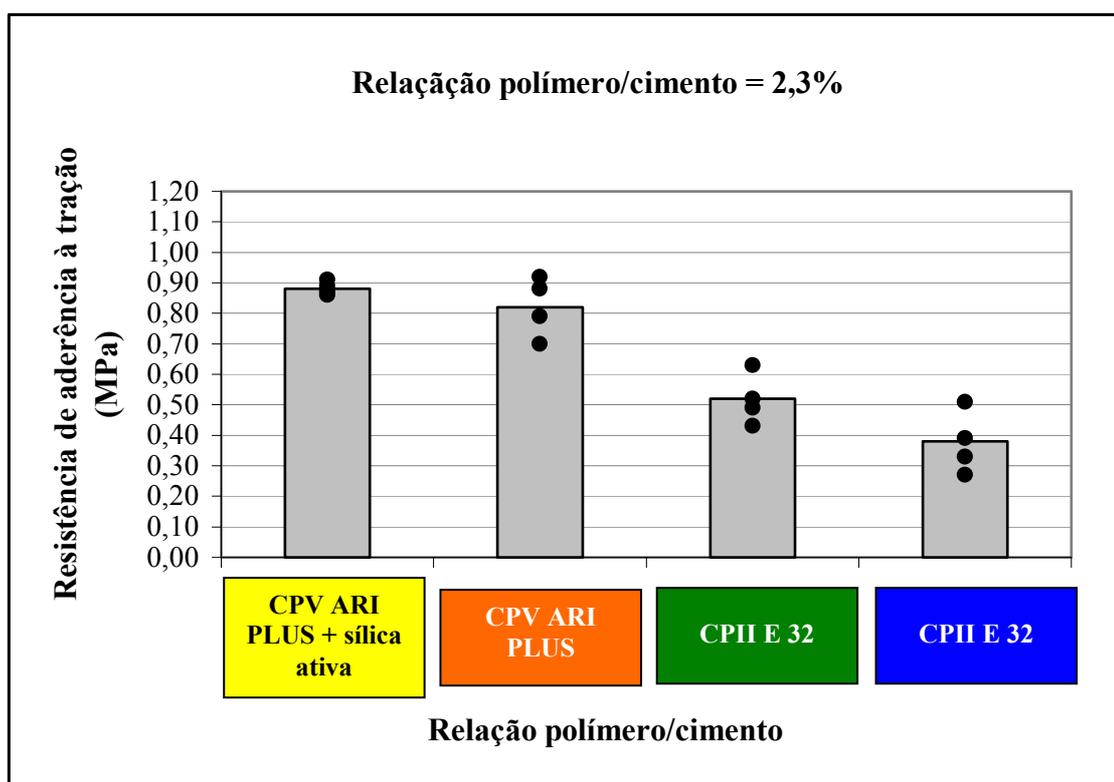


Figura 5.29 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento = 2,3%

Na tabela V.38 são apresentados estes mesmos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste em campo. No entanto, agora será avaliada a influência do teor de escória de alto forno dos diferentes cimentos utilizados para uma relação polímero/cimento fixa de 3,0%.

Tabela V.38 – Resultados de resistência de aderência à tração com 3,0% de polímero
(em campo)

Relação polímero/cimento = 3,0 %							
Cimento	Porcentagem de escória de alto forno no cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
CP V ARI PLUS + sílica ativa	3%	0,95	1,00 MPa	0,06	4	1%	99%
		0,93					
		1,09					
		1,01					
CP V ARI PLUS	4%	0,94	0,93 MPa	0,02	4	36%	64%
		0,95					
		0,95					
		0,89					
CP II E 32	32%	0,71	0,65 MPa	0,10	4	40%	60%
		0,78					
		0,59					
		0,51					
CP III 32 RS	68%	0,86	0,87 MPa	0,06	6	35%	65%
		0,84					
		0,78					
		0,94					
		0,94					
		0,86					

Na figura 5.30 é apresentado um gráfico das formas de ruptura observadas nas argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual 3,0%. O gráfico da figura 5.31 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

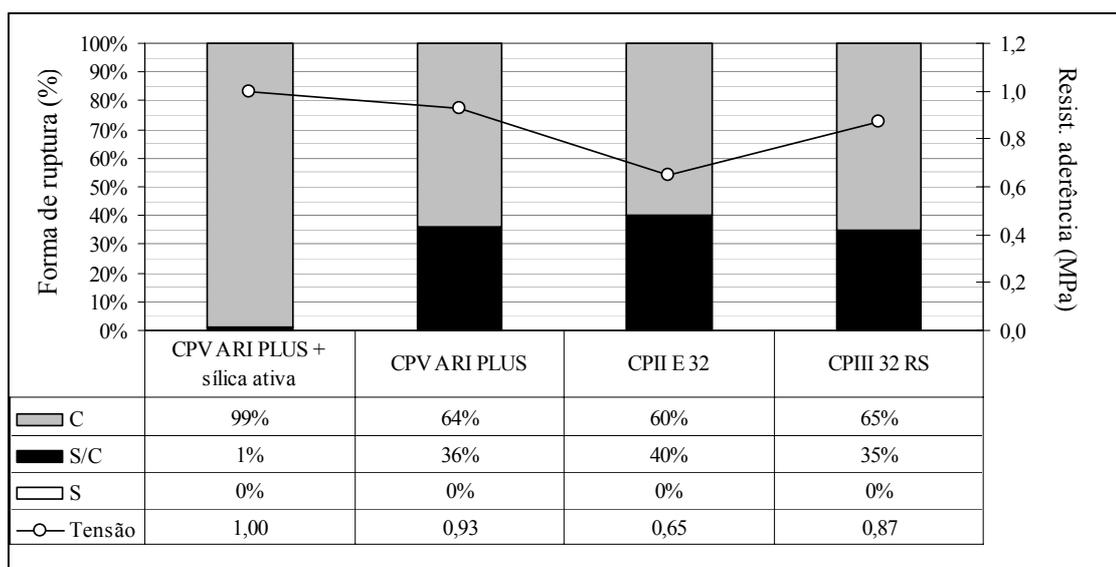


Figura 5.30 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com relação polímero/cimento igual a 3,0%

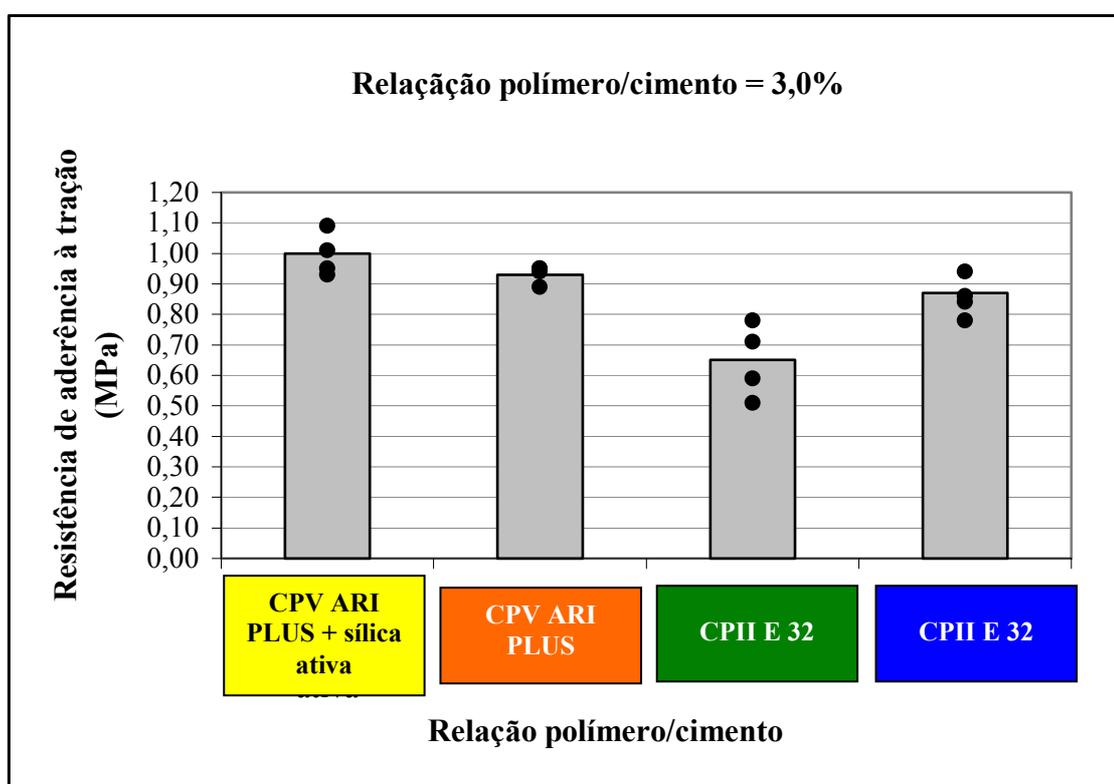


Figura 5.31 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 3,0%

Na tabela V.39 são apresentados estes mesmos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste em campo. No entanto, agora será avaliada a influência do teor de escória de alto forno dos diferentes cimentos utilizados para uma relação polímero/cimento fixa de 12,0%.

Tabela V.39 – Resultados de resistência de aderência à tração com 12,0% de polímero (em campo)

Relação polímero/cimento = 12,0 %							
Cimento	Porcentagem de escória de alto forno no cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
CP V ARI PLUS + sílica ativa	3%	1,15	1,10 MPa	0,13	4	1%	99%
		1,27					
		1,05					
		0,93					
CP V ARI PLUS	4%	0,89	0,94 MPa	0,05	4	1%	99%
		1,02					
		0,89					
		0,96					
CP IIE 32	32%	1,01	0,96 MPa	0,07	5	1%	99%
		0,98					
		0,90					
		1,06					
		0,86					
CP III 32 RS	68%	1,17	1,15 MPa	0,02	4	1%	99%
		1,11					
		1,17					
		1,16					

Na figura 5.32 é apresentado um gráfico das formas de ruptura observadas nas argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual 12,0%.

O gráfico da figura 5.33 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

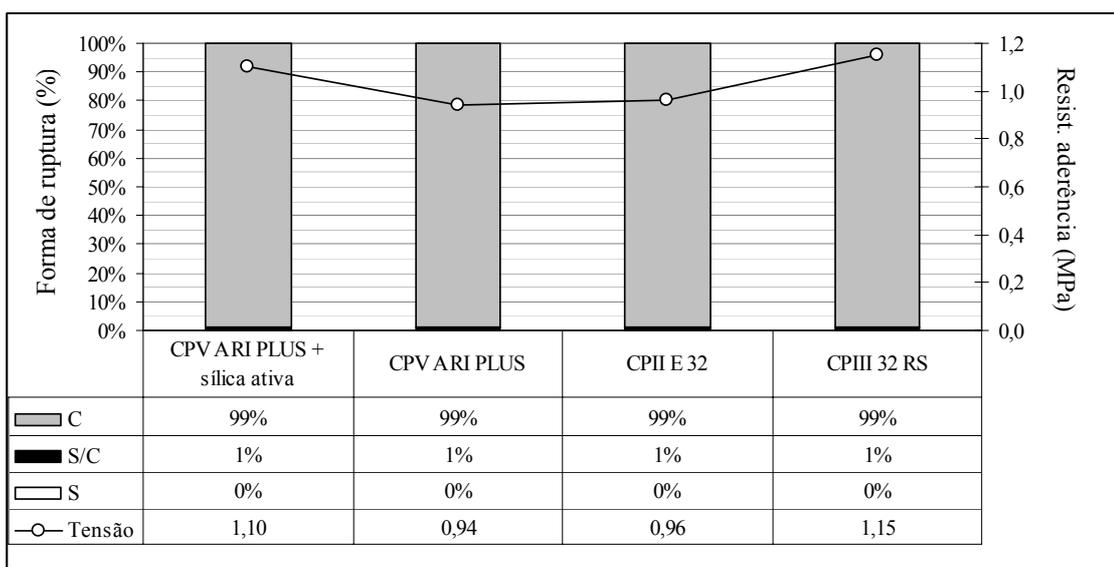


Figura 5.32 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com relação polímero/cimento igual a 12,0%

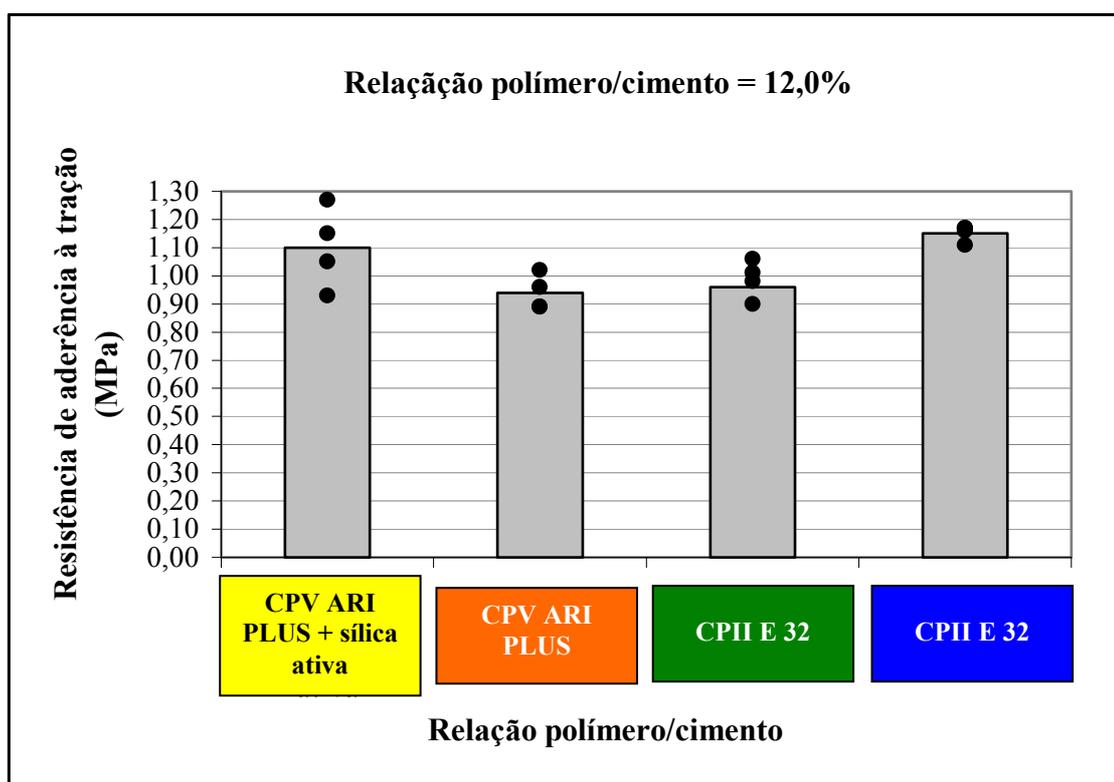


Figura 5.33 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 12,0%

5.5.2. Ensaio de resistência de aderência à tração em painéis de teste com substrato padrão como base (em laboratório)

5.5.2.1. Resultados do ensaio de aderência para cada cimento utilizado variando-se a relação polímero/cimento

Na tabela V.40 são apresentados os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração em laboratório e realizados nos painéis de teste confeccionados com argamassa de chapisco utilizando cimento CPV ARI PLUS com adição de sílica ativa, variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente. Mais especificamente são apresentados nesta tabela os seguintes itens:

- Resultados individuais de cada corpo-de-prova do ensaio de resistência de aderência à tração (para cada painel de teste);
- Resistência média de aderência à tração de cada painel de teste;
- Desvio padrão dos resultados individuais de cada painel de teste;
- Número de amostras (corpos-de-prova) de cada painel de teste;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura adesiva no ensaio de aderência;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura coesiva no ensaio de aderência.

Tabela V.40 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPV ARI PLUS com sílica ativa (em laboratório)

Cimento CP V ARI PLUS + sílica ativa - 3% de escória de alto forno						
Relação Polímero/ Cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
0,0%	0,46	0,50 MPa	0,04	4	55%	45%
	0,55					
	0,46					
	0,52					
2,3%	0,59	0,56 MPa	0,10	4	15%	85%
	0,48					
	0,45					
	0,70					
3,0%	0,67	0,67 MPa	0,05	4	24%	76%
	0,61					
	0,65					
	0,76					
12,0%	0,92	0,99 MPa	0,05	4	1%	99%
	1,06					
	0,98					
	0,99					

Na figura 5.34 é apresentado um gráfico com as formas de ruptura observadas e a resistência média de aderência à tração nos painéis de teste confeccionados em laboratório com argamassa de chapisco utilizando cimento CPV ARI PLUS e adição de sílica ativa, variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente.

O gráfico da figura 5.35 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

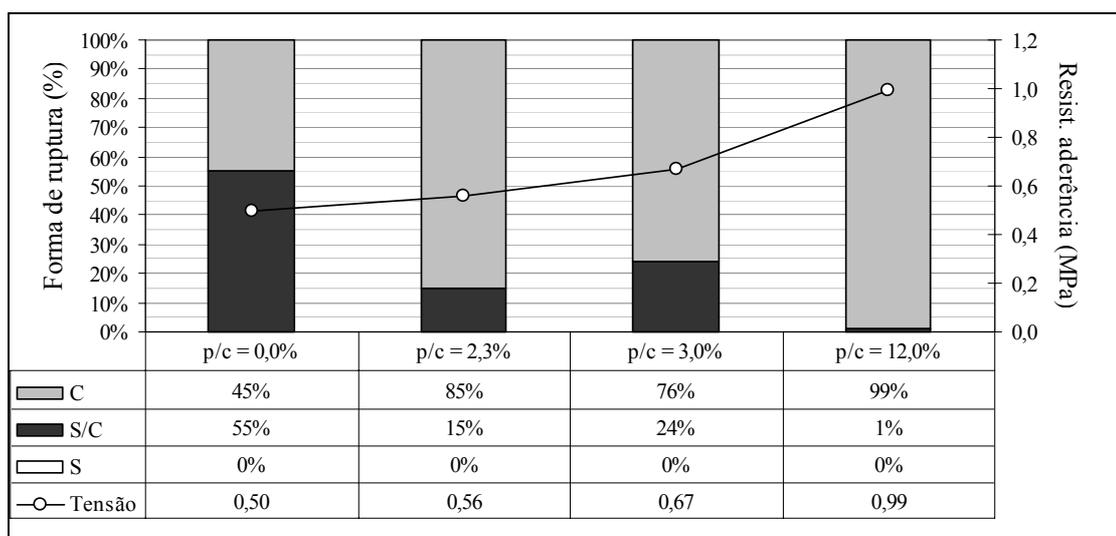


Figura 5.34 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS e adição de sílica ativa (em laboratório no substrato-padrão)

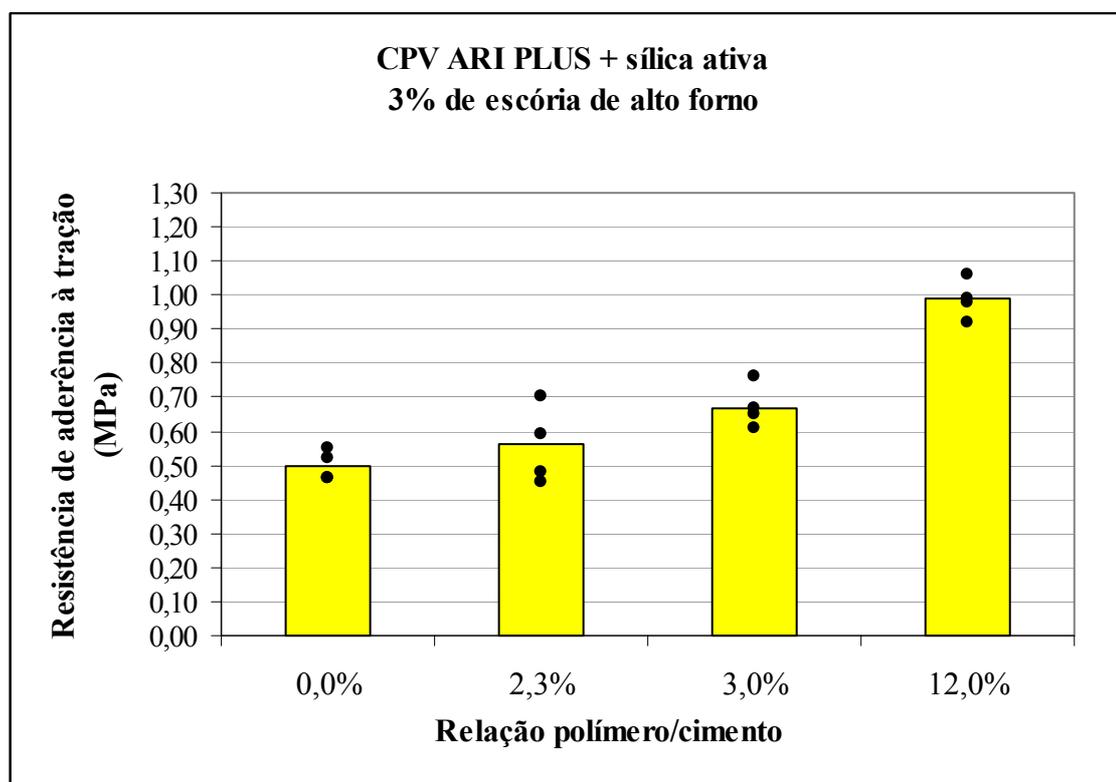


Figura 5.35 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS com adição de sílica ativa (em laboratório no substrato-padrão)

Na tabela V.41 são apresentados os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste confeccionados em laboratório com argamassa de chapisco utilizando cimento CPV ARI PLUS e variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente. Mais especificamente são apresentados nesta tabela os seguintes itens:

- Resultados individuais de cada corpo-de-prova do ensaio de resistência de aderência à tração (para cada painel de teste);
- Resistência média de aderência à tração de cada painel de teste;
- Desvio padrão dos resultados individuais de cada painel de teste;
- Número de amostras (corpos-de-prova) de cada painel de teste;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura adesiva no ensaio de aderência;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura coesiva no ensaio de aderência.

Na figura 5.36 é apresentado um gráfico com as formas de ruptura observadas e a resistência média de aderência à tração nos painéis de teste confeccionados em laboratório com argamassa de chapisco utilizando cimento CPV ARI PLUS, variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente.

O gráfico da figura 5.37 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

Tabela V.41 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPV ARI PLUS (em laboratório)

Cimento CP V ARI PLUS -4% de escória de alto forno						
Relação Polímero/ Cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
0,0%	0,57	0,51 MPa	0,07	4	99%	1%
	0,46					
	0,58					
	0,43					
2,3%	0,62	0,56 MPa	0,06	4	99%	1%
	0,60					
	0,53					
	0,48					
3,0%	0,65	0,63 MPa	0,02	4	20%	80%
	0,62					
	0,64					
	0,60					
12,0%	0,91	0,99 MPa	0,05	4	1%	99%
	1,01					
	1,04					
	0,99					

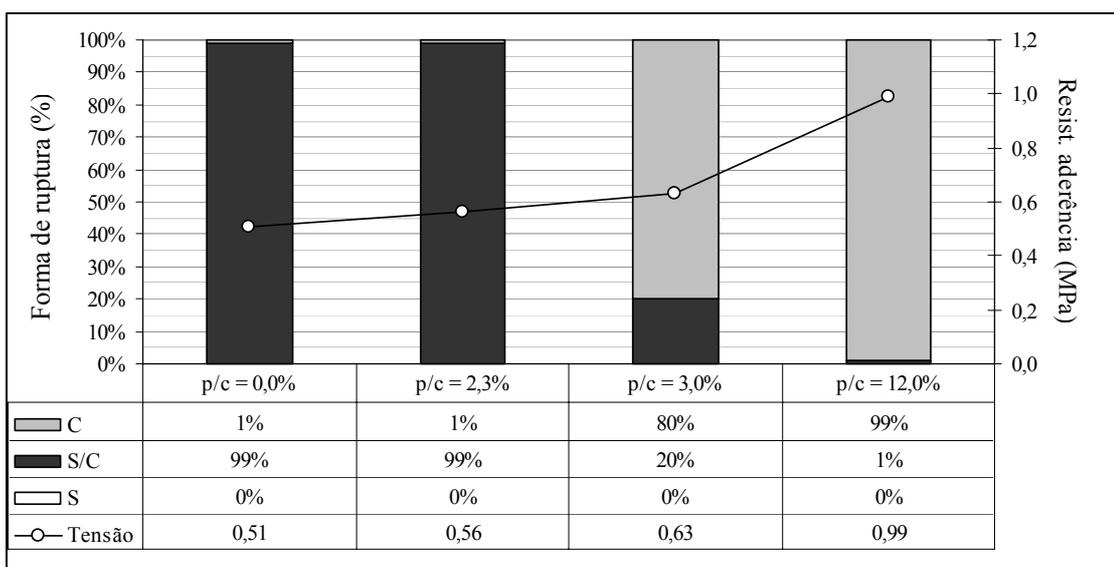


Figura 5.36 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS (em laboratório no substrato-padrão)

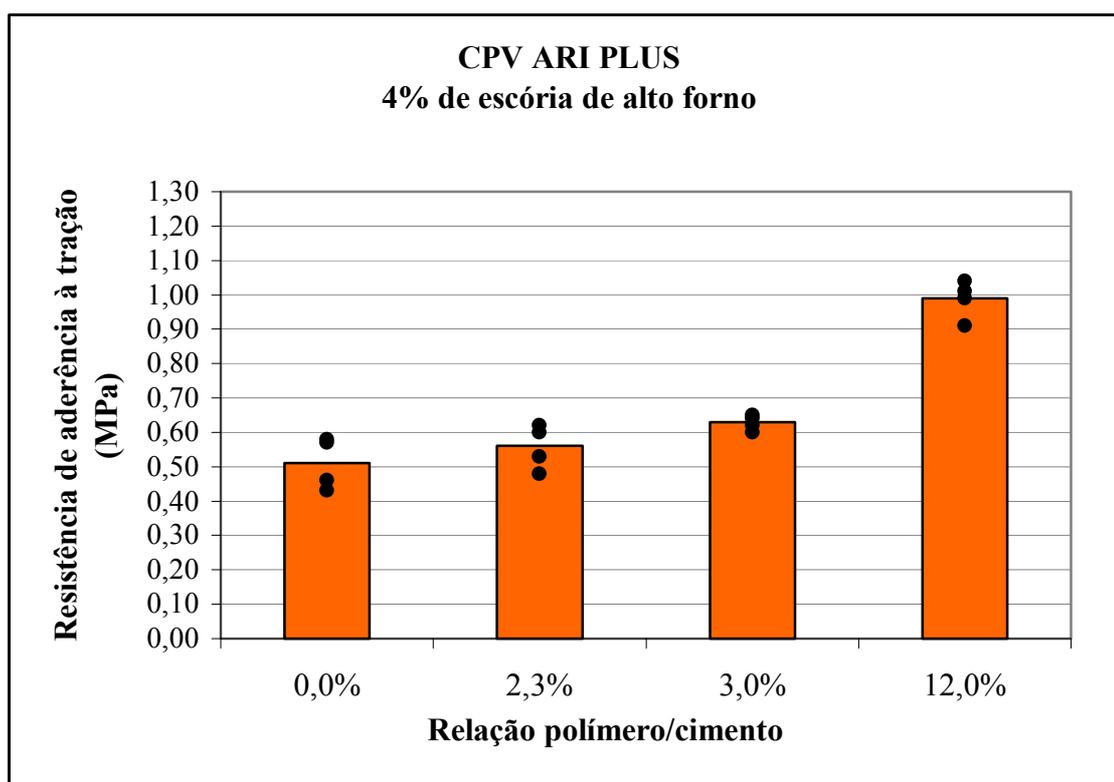


Figura 5.37 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPV ARI PLUS (em laboratório no substrato-padrão)

Na tabela V.42 são apresentados os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste confeccionados em laboratório com argamassa de chapisco utilizando cimento CII E 32 e variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente. Mais especificamente são apresentados nesta tabela os seguintes itens:

- Resultados individuais de cada corpo-de-prova do ensaio de resistência de aderência à tração (para cada painel de teste);
- Resistência média de aderência à tração de cada painel de teste;
- Desvio padrão dos resultados individuais de cada painel de teste;
- Número de amostras (corpos-de-prova) de cada painel de teste;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura adesiva no ensaio de aderência;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura coesiva no ensaio de aderência.

Na figura 5.38 é apresentado um gráfico com as formas de ruptura observadas e a resistência média de aderência à tração nos painéis de teste confeccionados em laboratório com argamassa de chapisco utilizando cimento CII E 32, variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente.

O gráfico da figura 5.39 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

Tabela V.42 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CII E 32
(em laboratório)

Cimento CII E 32 - 32 % de escória de alto forno						
Relação Polímero/Cimento	Resistência de aderência À tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
0,0%	0,36	0,34 MPa	0,01	4	99%	1%
	0,32					
	0,33					
	0,34					
2,3%	0,37	0,37 MPa	0,02	6	99%	1%
	0,39					
	0,38					
	0,35					
	0,35					
	0,36					
3,0%	0,39	0,39 MPa	0,02	6	50%	50%
	0,37					
	0,37					
	0,42					
	0,40					
	0,41					
12,0%	1,10	1,09 MPa	0,08	4	15%	85%
	1,20					
	0,98					
	1,04					

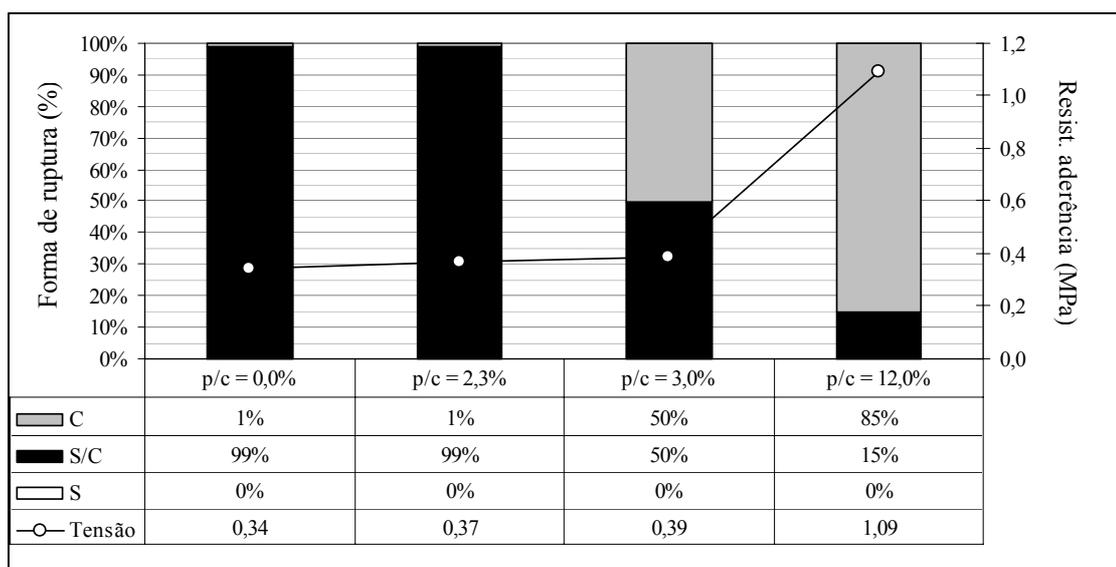


Figura 5.38 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CII E 32 (em laboratório no substrato-padrão)

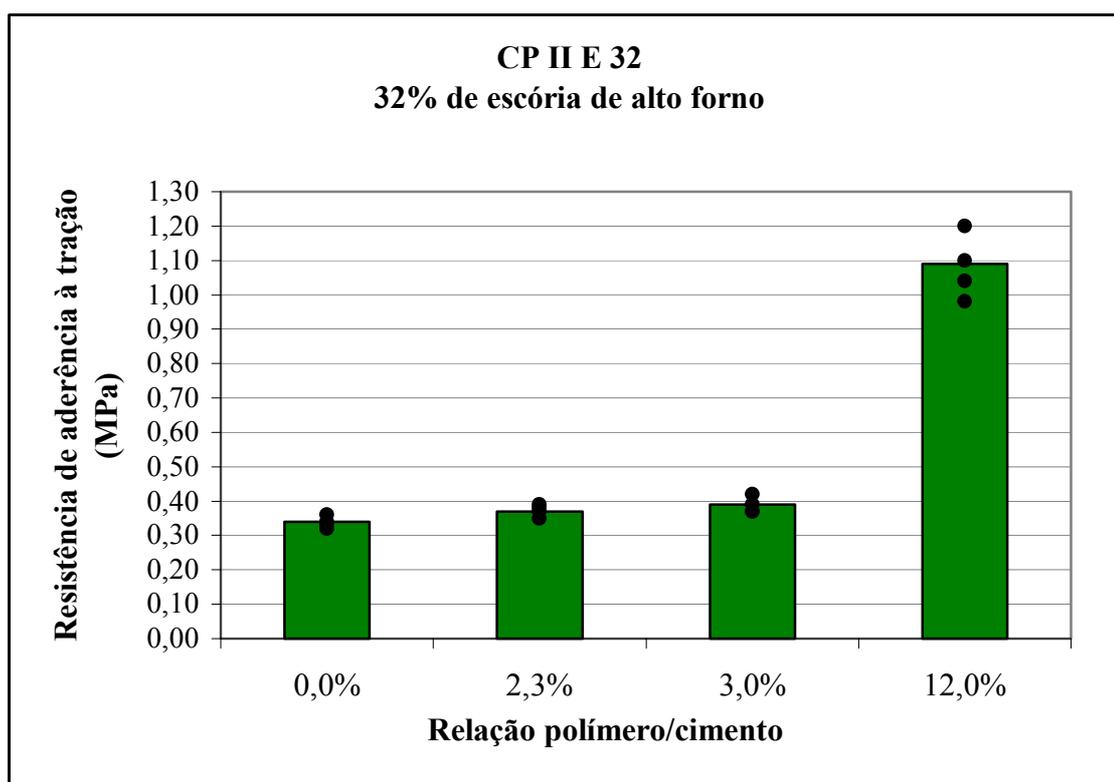


Figura 5.39 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CII E 32 (em laboratório no substrato-padrão)

Na tabela V.43 são apresentados os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste confeccionados em laboratório com argamassa de chapisco utilizando cimento CPIII 32 RS e variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente. Mais especificamente são apresentados nesta tabela os seguintes itens:

- Resultados individuais de cada corpo-de-prova do ensaio de resistência de aderência à tração (para cada painel de teste);
- Resistência média de aderência à tração de cada painel de teste;
- Desvio padrão dos resultados individuais de cada painel de teste;
- Número de amostras (corpos-de-prova) de cada painel de teste;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura adesiva no ensaio de aderência;
- Parcela da área do corpo-de-prova que sofreu ruptura coesiva no ensaio de aderência.

Na figura 5.40 é apresentado um gráfico com as formas de ruptura observadas e a resistência média de aderência à tração nos painéis de teste confeccionados em laboratório com argamassa de chapisco utilizando cimento CPIII 32 RS, variando-se a relação polímero/cimento em 0,0%; 2,3%, 3,0% e 12,0% respectivamente.

O gráfico da figura 5.41 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

Tabela V.43 – Resultados de resistência de aderência à tração para cimento CPIII 32 RS
(em laboratório)

Cimento CPIII 32 RS - 68% de escória de alto forno						
Relação Polímero/Cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
0,0%	0,31	0,30 MPa	0,02	4	99%	1%
	0,32					
	0,29					
	0,28					
2,3%	0,27	0,27 MPa	0,01	4	99%	1%
	0,27					
	0,26					
	0,29					
3,0%	0,33	0,32 MPa	0,01	4	99%	1%
	0,31					
	0,31					
	0,32					
12,0%	0,98	0,91 MPa	0,04	4	30%	70%
	0,88					
	0,93					
	0,87					

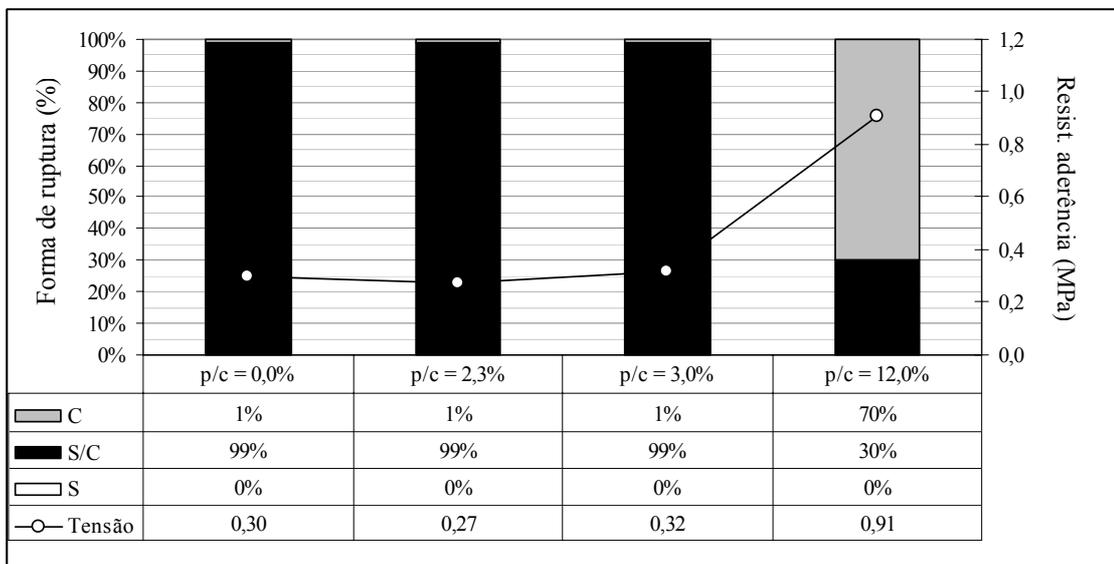


Figura 5.40 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste com cimento CPIII 32 RS (em laboratório no substrato-padrão)

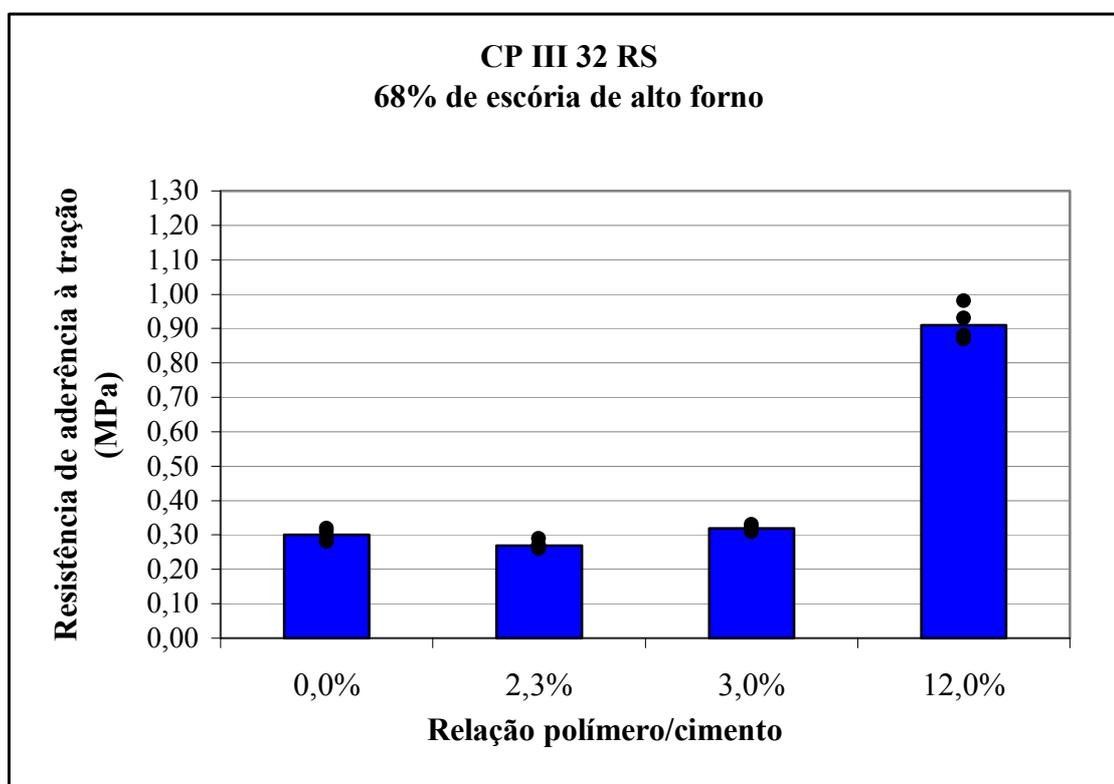


Figura 5.41 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do ensaio realizado em painéis de teste com cimento CPIII 32 RS (em laboratório no substrato-padrão)

5.5.2.2. Resultados do ensaio de aderência para cada umas das relações polímero/cimento com variação do teor de escória de alto forno

Na tabela V.44 são apresentados estes mesmos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste em laboratório. No entanto, agora será avaliada a influência do teor de escória de alto forno dos diferentes cimentos utilizados para uma relação polímero/cimento fixa de 0,0%.

Tabela V.44 – Resultados de resistência de aderência à tração com 0% de polímero
(em laboratório)

Relação polímero/cimento = 0,0 %							
Cimento	Porcentagem de escória de alto forno no cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
CP VARI PLUS + sílica ativa	3%	0,46	0,50 MPa	0,04	4	55%	45%
		0,55					
		0,46					
		0,52					
CP VARI PLUS	4%	0,57	0,51 MPa	0,07	4	99%	1%
		0,46					
		0,58					
		0,43					
CP II E 32	32%	0,36	0,34 MPa	0,01	4	99%	1%
		0,32					
		0,33					
		0,34					
CP III 32 RS	68%	0,31	0,30 MPa	0,02	4	99%	1%
		0,32					
		0,29					
		0,28					

Na figura 5.42 é apresentado um gráfico das formas de ruptura observadas nas argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual 0,0%.

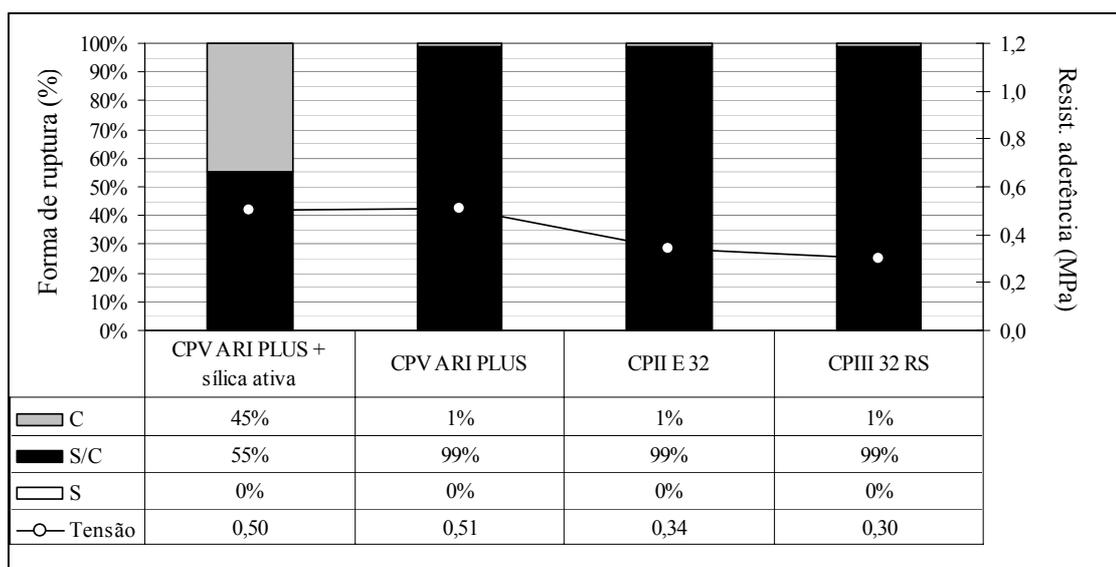


Figura 5.42 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste confeccionados em laboratório com relação polímero/cimento igual a 0,0%

O gráfico da figura 5.43 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

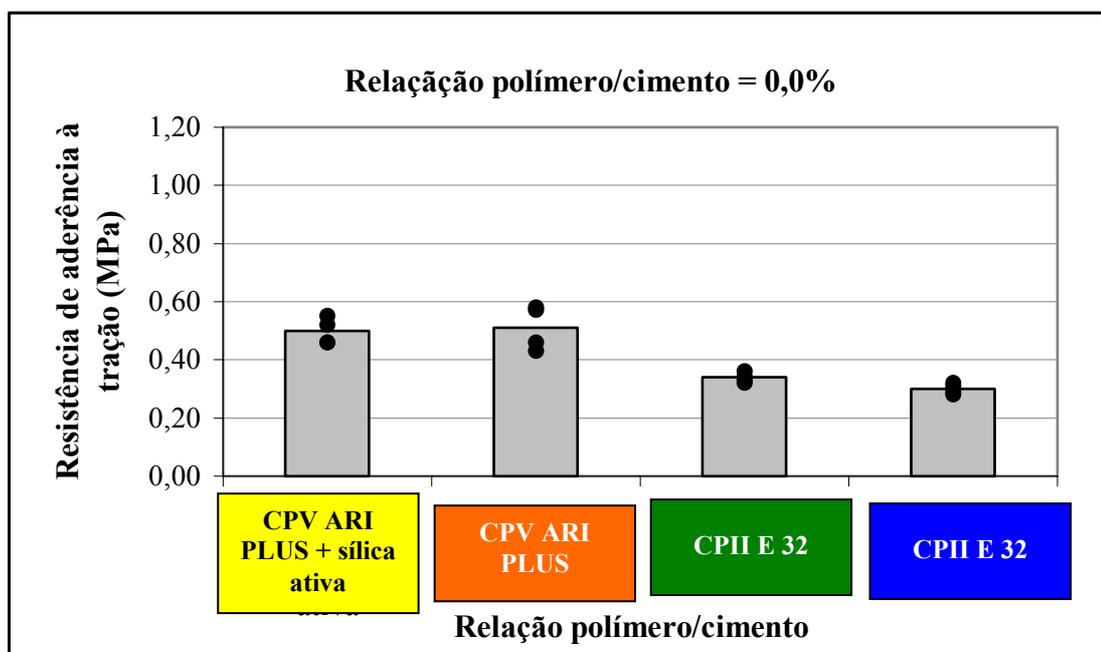


Figura 5.43 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento = 0,0%

Na tabela V.45 são apresentados estes mesmos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste em laboratório. No entanto, agora será avaliada a influência do teor de escória de alto forno dos diferentes cimentos utilizados para uma relação polímero/cimento fixa de 2,3%.

Tabela V.45 – Resultados de resistência de aderência à tração com 2,3% de polímero
(em laboratório)

Relação polímero/cimento = 2,3 %							
Cimento	Porcentagem de escória de alto forno no cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
CP V ARI PLUS + sílica ativa	3%	0,59	0,56 MPa	0,10	4	15%	85%
		0,48					
		0,45					
		0,70					
CP V ARI PLUS	4%	0,62	0,56 MPa	0,06	4	99%	1%
		0,60					
		0,53					
		0,48					
CP IIE 32	32%	0,37	0,37 MPa	0,02	6	99%	1%
		0,39					
		0,38					
		0,35					
		0,35					
		0,36					
CP III 32 RS	68%	0,27	0,27 MPa	0,01	4	99%	1%
		0,27					
		0,26					
		0,29					

Na figura 5.44 é apresentado um gráfico das formas de ruptura observadas nas argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual 2,3%. O gráfico da figura 5.45 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

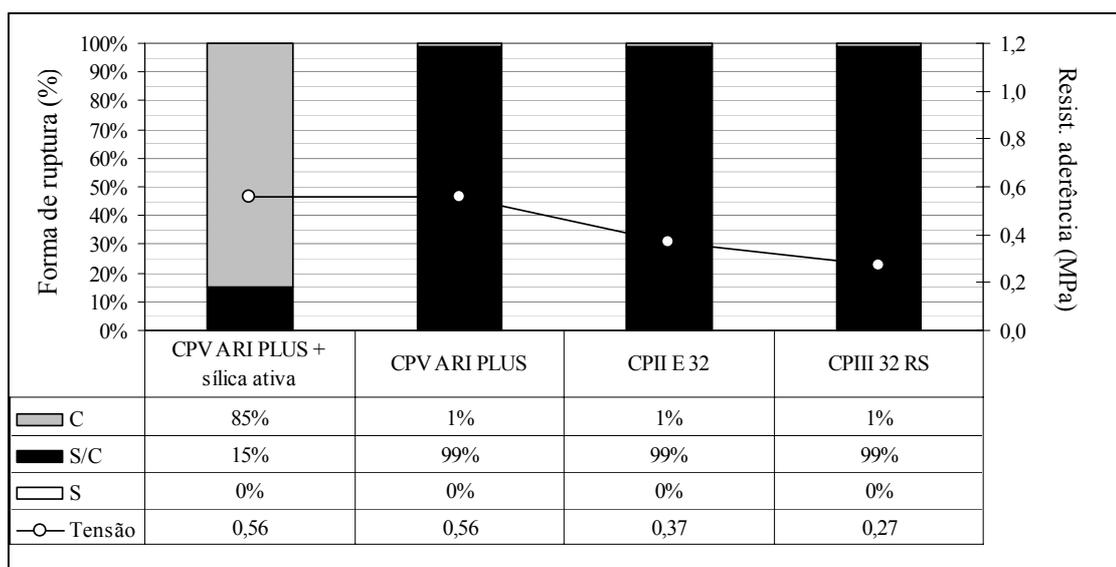


Figura 5.44 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste confeccionados em laboratório com relação polímero/cimento igual a 2,3%

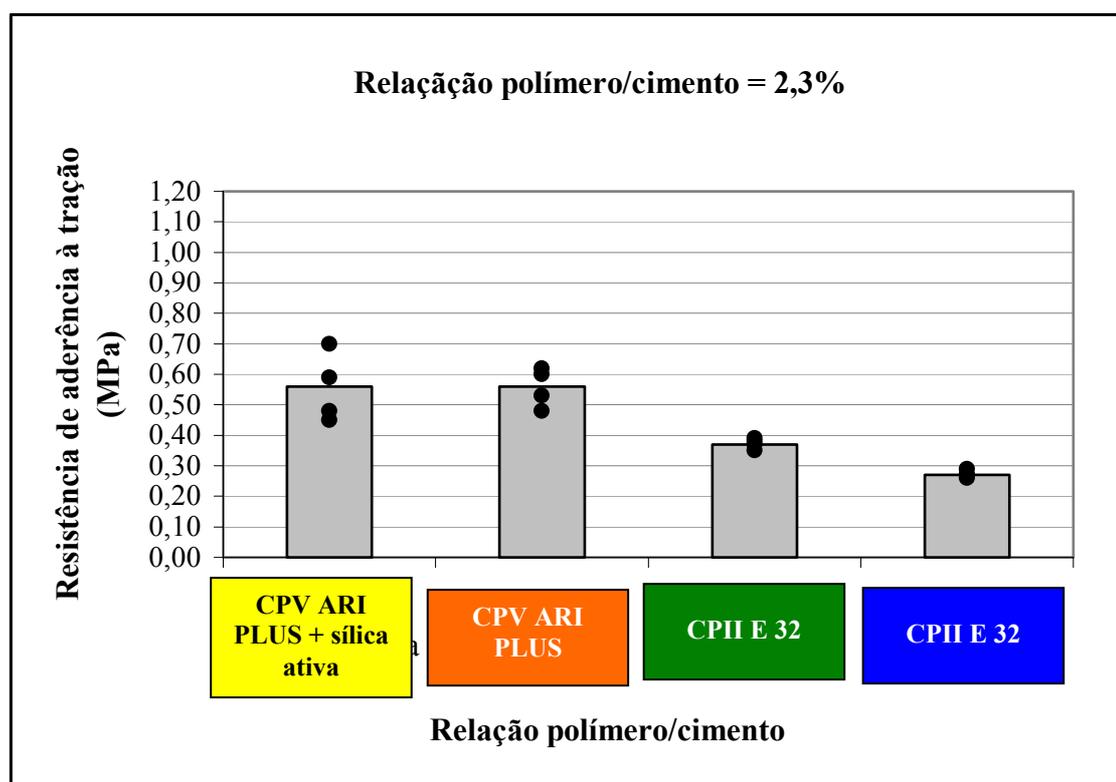


Figura 5.45 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento = 2,3%

Na tabela V.46 são apresentados estes mesmos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste em laboratório. No entanto, agora será avaliada a influência do teor de escória de alto forno dos diferentes cimentos utilizados para uma relação polímero/cimento fixa de 3,0%.

Tabela V.46 – Resultados de resistência de aderência à tração com 3,0% de polímero (em laboratório)

Relação polímero/cimento = 3,0 %							
Cimento	Porcentagem de escória de alto forno no cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
CP V ARI PLUS + sílica ativa	3%	0,67	0,67 MPa	0,05	4	24%	76%
		0,61					
		0,65					
		0,76					
CP V ARI PLUS	4%	0,65	0,63 MPa	0,02	4	20%	80%
		0,62					
		0,64					
		0,60					
CP IIE 32	32%	0,39	0,39 MPa	0,02	6	50%	50%
		0,37					
		0,37					
		0,42					
		0,40					
		0,41					
CP III 32 RS	68%	0,33	0,32 MPa	0,01	4	99%	1%
		0,31					
		0,31					
		0,32					

Na figura 5.46 é apresentado um gráfico das formas de ruptura observadas nas argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual 3,0%. O gráfico da figura 5.47 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

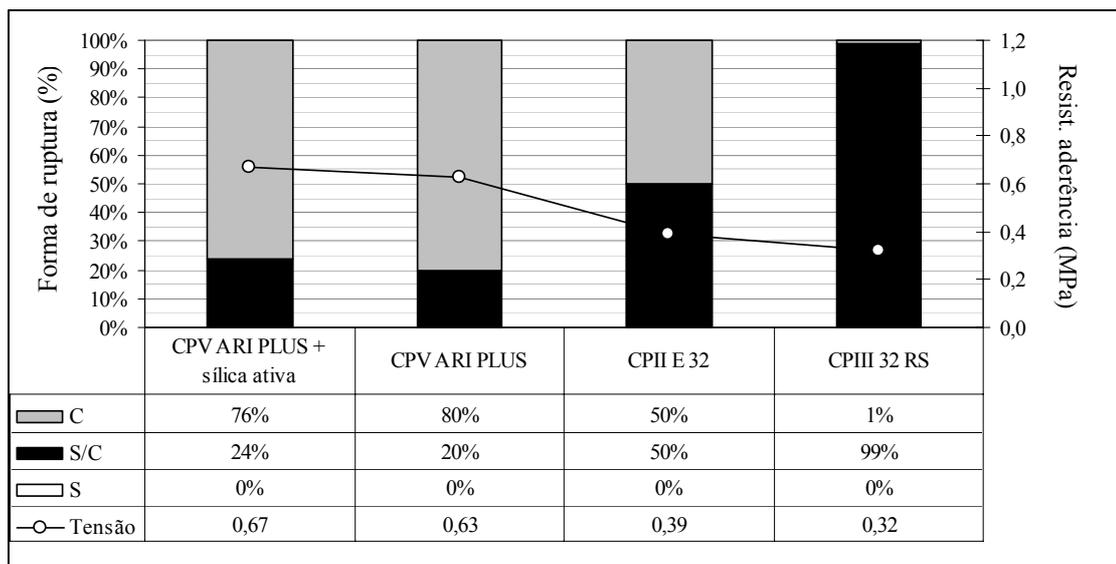


Figura 5.46 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste confeccionados em laboratório com relação polímero/cimento igual a 3,0%

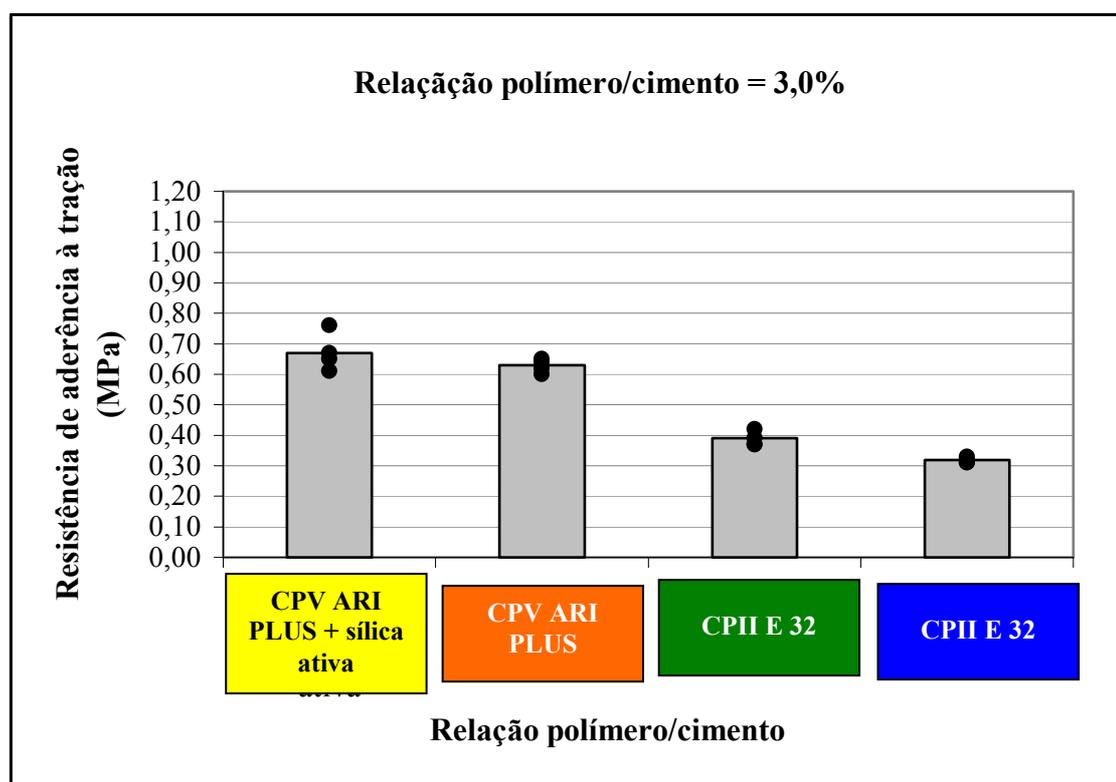


Figura 5.47 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento = 3,0%

Na tabela V.47 são apresentados estes mesmos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração realizados nos painéis de teste em laboratório. No entanto, agora será avaliada a influência do teor de escória de alto forno dos diferentes cimentos utilizados para uma relação polímero/cimento fixa de 12,0%.

Tabela V.47 – Resultados de resistência de aderência à tração com 12,0% de polímero
(em laboratório)

Relação polímero/cimento = 12,0 %							
Cimento	Porcentagem de escória de alto forno no cimento	Resistência de aderência à tração (MPa)	Resistência média de aderência à tração	Desvio padrão	Nº de amostras	Ruptura adesiva	Ruptura coesiva
CP V ARI PLUS + sílica ativa	3%	0,92	0,99 MPa	0,05	4	1%	99%
		1,06					
		0,98					
		0,99					
CP V ARI PLUS	4%	0,91	0,99 MPa	0,05	4	1%	99%
		1,01					
		1,04					
		0,99					
CP IIE 32	32%	1,10	1,09 MPa	0,08	4	15%	85%
		1,20					
		0,98					
		1,04					
CP III 32 RS	68%	0,98	0,91 MPa	0,04	4	30%	70%
		0,88					
		0,93					
		0,87					

Na figura 5.48 é apresentado um gráfico das formas de ruptura observadas nas argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual 12,0%. O gráfico da figura 5.49 apresenta novamente o resultado médio da resistência de aderência tração e também os resultados individuais de cada corpo-de-prova, representados por uma nuvem de pontos.

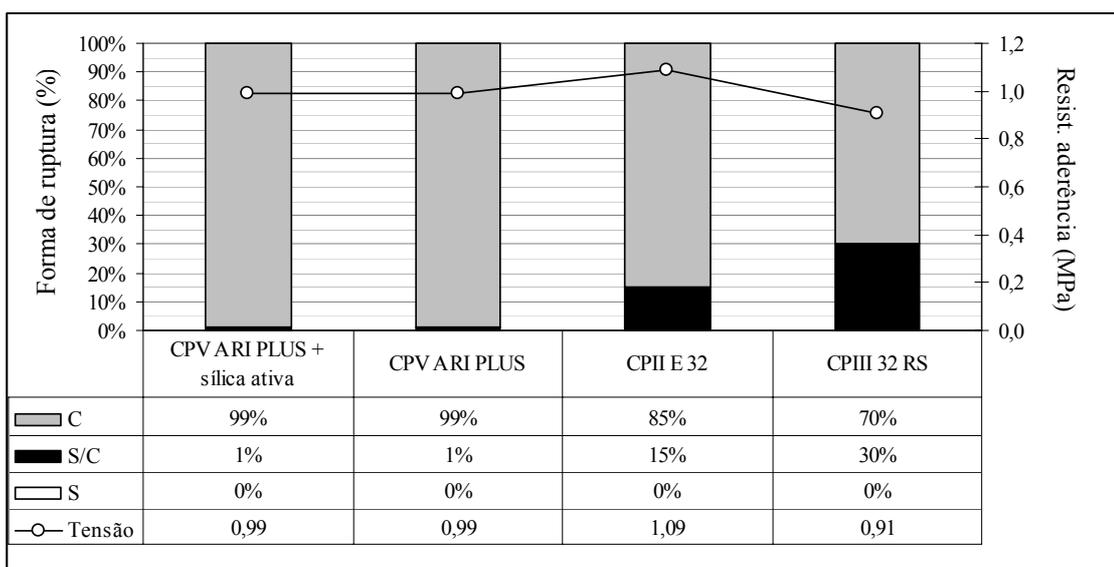


Figura 5.48 – Gráfico das formas de ruptura dos painéis de teste confeccionados em laboratório com relação polímero/cimento igual a 12,0%

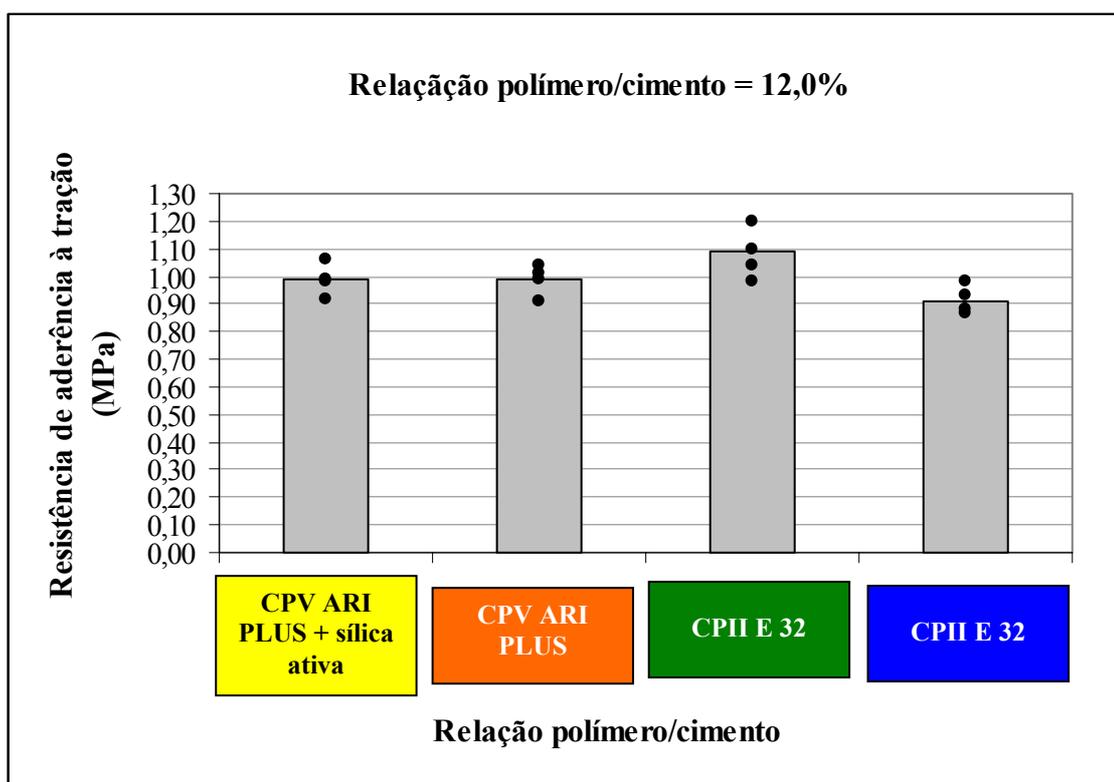


Figura 5.49 – Gráfico da resistência de aderência à tração média e individual de cada corpo-de-prova do confeccionado com relação polímero/cimento= 12,0%

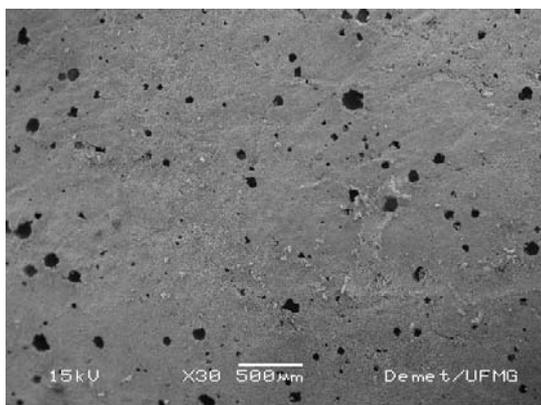
5.6. CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

5.6.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

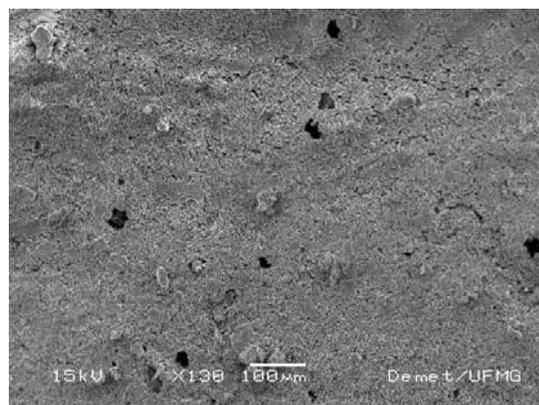
5.6.1.1. Superfície da base de concreto

A seguir são apresentados os resultados da microscopia eletrônica de varredura realizada na superfície da base de concreto.

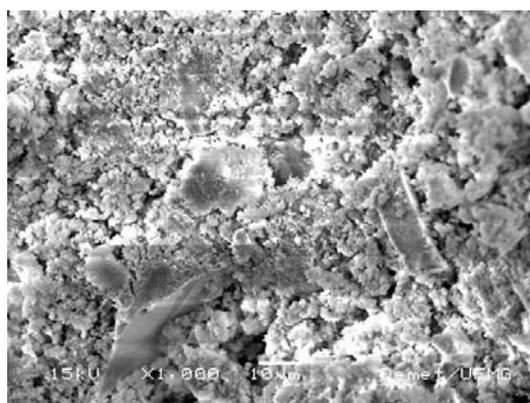
Superfície de base de concreto sem argamassa de chapisco



a) Aumento de 30x



b) Aumento de 130x



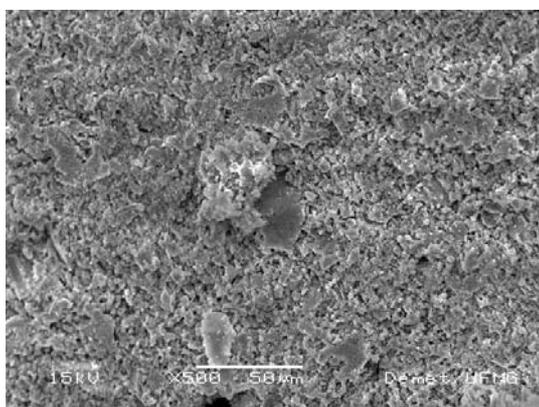
c) Aumento de 1000x – Análise EDS

Figura 5.50 – MEV: Base de concreto sem argamassa de chapisco

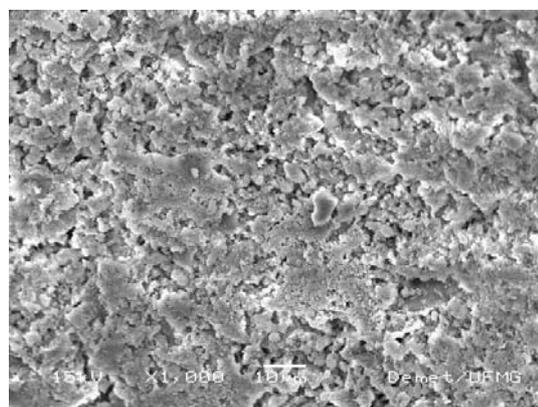
Tabela V.48 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.50 – c)

Elemento	Massa atômica (%)
O	32,25
Mg	0,75
Al	5,60
Si	19,68
K	1,54
Ca	40,19
	100,00

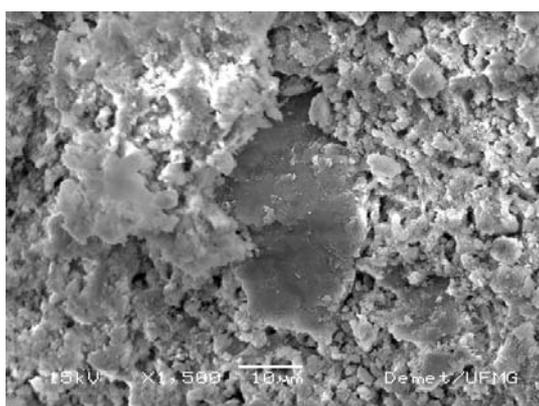
Superfície da base de concreto sem argamassa de chapisco



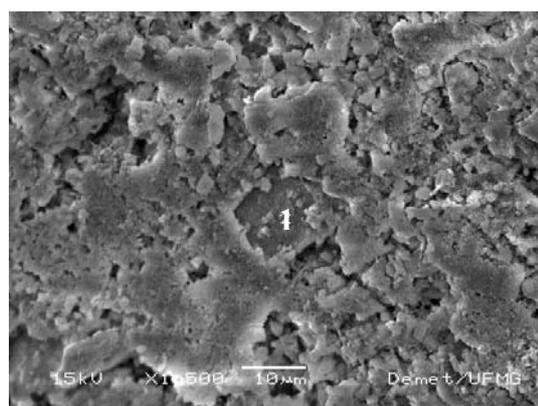
a) Aumento de 500x



b) Aumento de 1000x - Conformação plana da superfície

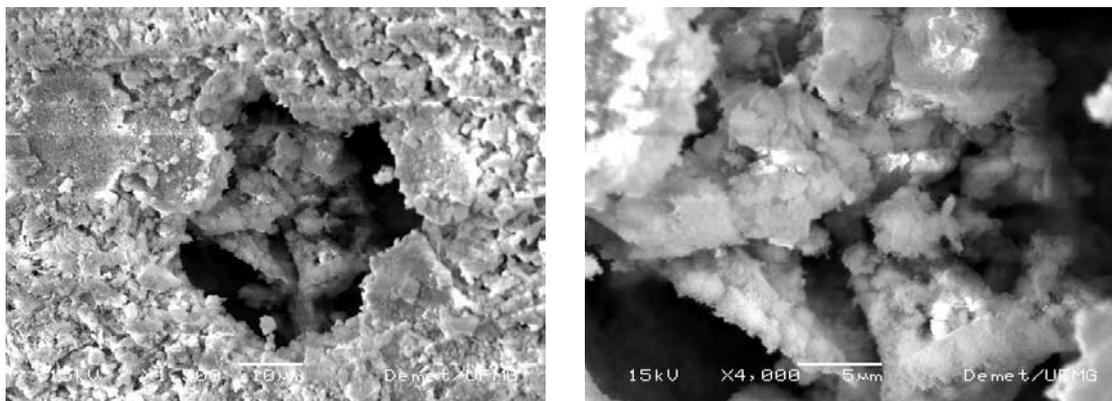


c) Aumento de 1500x



d) Aumento de 1500x – Análise EDS

Figura 5.51 A – MEV: Base de concreto sem argamassa de chapisco



e) Aumento de 1500x - Poro

f) Aumento de 4000x

Figura 5.51 B – MEV: Base de concreto sem argamassa de chapisco

Tabela V.49 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura

5.51 A –d) Ponto 1

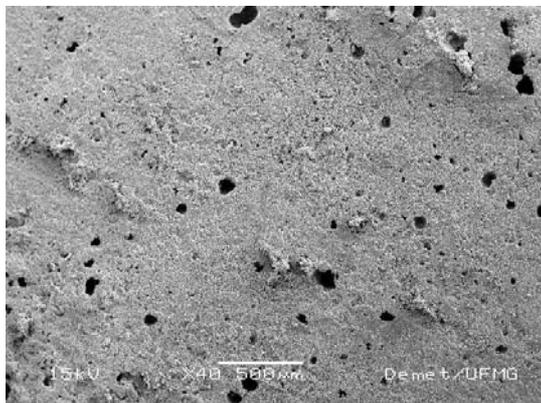
Elemento	Massa atômica (%)
O	26,25
Mg	0,41
Al	2,40
Si	6,62
S	29,88
K	1,22
Ca	31,02
Fe	2,20
	100,00

Comentários gerais:

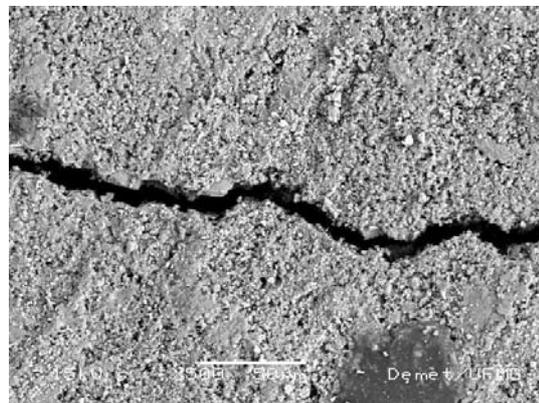
Na análise destas amostras do concreto da base não foi encontrado nenhum elemento diferente daqueles característicos do concreto.

Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco:

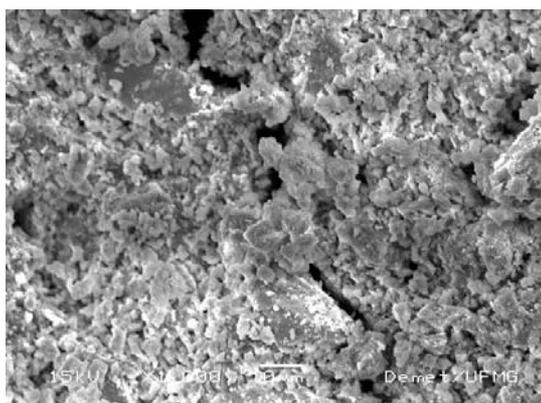
Cimento CII E32 - Relação polímero/cimento = 0 %



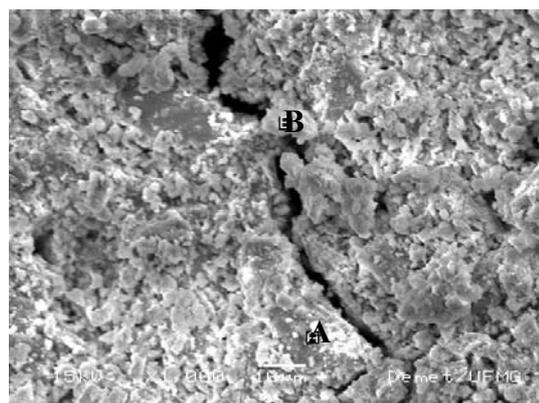
a) Aumento de 40x – Pouco material aderido à superfície



c) Aumento de 500x – Microfissura no concreto

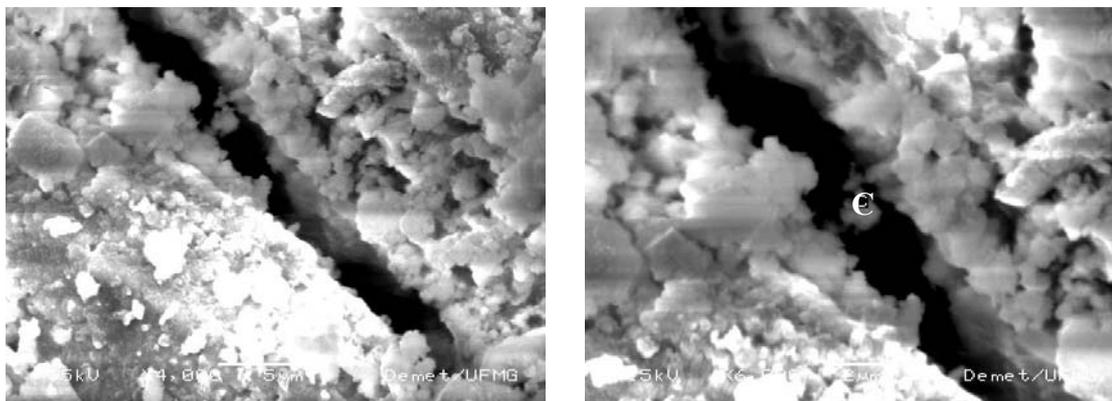


c) Aumento de 1000x



d) Aumento de 1000x - Ponto A: base de concreto, Ponto B: chapisco impregnado, -
Análise EDS

Figura 5.52 A – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CII E32 e relação polímero/cimento = 0 %



e) Aumento de 4000x – Detalhe da microfissura na base de concreto com impregnação de chapisco

f) Aumento de 6000x - Análise EDS do material no ponto C, dentro da fissura

Figura 5.52 B – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CII E32 e relação polímero/cimento = 0 %

Tabela V.50 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.52 – d)

Pontos A, B e C

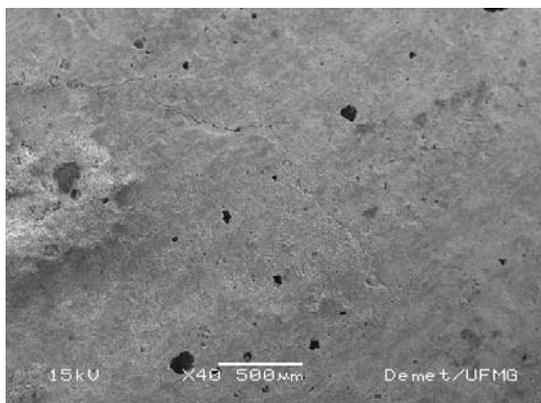
Elemento	Ponto A	Ponto B	Ponto C
	Massa atômica (%)	Massa atômica (%)	Massa atômica (%)
O	29,95	46,18	25,27
Mg	3,81	1,19	-
Al	8,97	3,44	0,50
Si	23,79	12,39	7,15
K	0,38	0,74	0,98
Ca	31,87	35,07	0,63
Fe	1,23	0,99	65,47
	100,00	100,00	100,00

Comentários gerais:

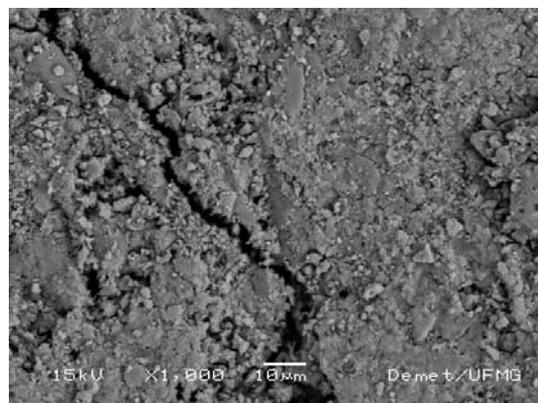
Porosidade insuficiente para adesão do chapisco, ou seja, a aderência ocorreu somente em regiões singulares como as microfissuras na base de concreto por exemplo. Verifica-se a diferença entre os teores de Ca dos pontos A, B e C, mostrando a dificuldade de impregnação da argamassa de chapisco mesmo sobre uma microfissura.

Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco:

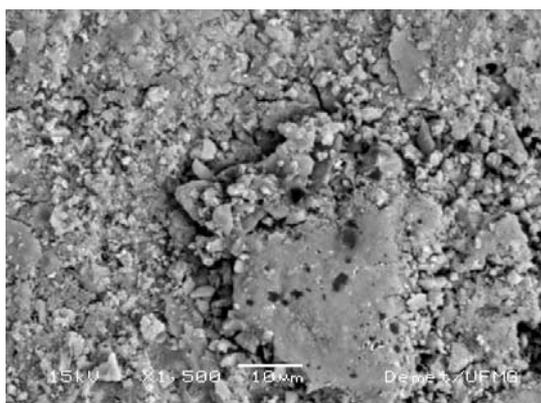
Cimento CPIII 32RS - Relação polímero/cimento = 0 %



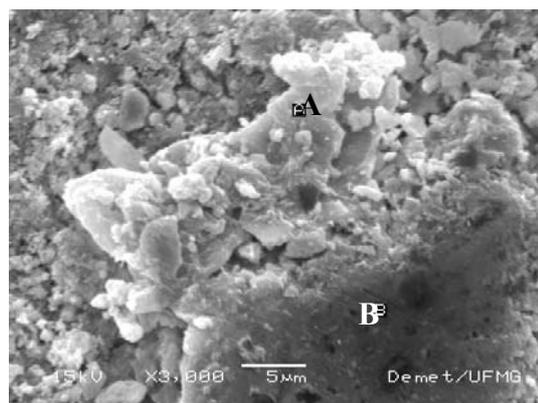
a) Aumento de 40x – Não visualização de material de impregnação



b) Aumento de 1000x - Não visualização de material de impregnação, microfissura em detalhe



c) Aumento de 1500x – Material chapado



d) Aumento de 3000x -Inexistência de material impregnado, presença apenas de material de hidratação da base de concreto – Análise EDS

Figura 5.53 – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CPIII 32RS e relação polímero/cimento = 0 %

Tabela V.51 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.53 – d)

Pontos A e B

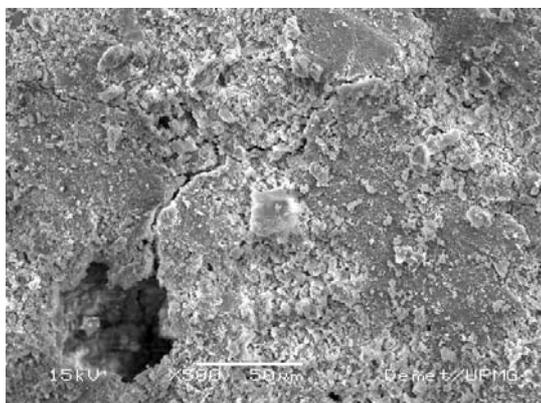
Elemento	Ponto A	Ponto B
	Massa atômica (%)	Massa atômica (%)
O	40,55	43,06
Mg	0,54	0,61
Al	4,66	2,60
Si	16,15	14,16
K	1,13	-
Ca	34,68	38,12
Ti	0,37	-
Fe	1,91	1,45
	100,00	100,00

Comentários gerais:

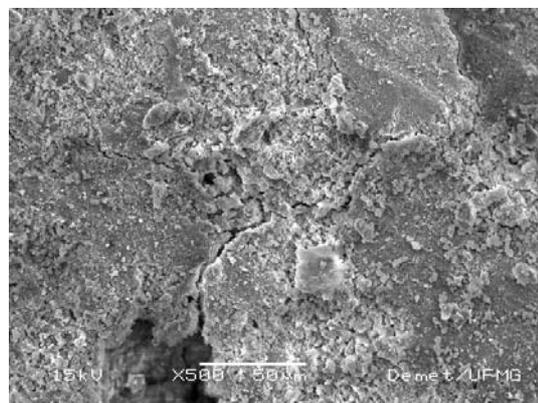
Análise mostra a não impregnação de argamassa de chapisco sobre a superfície de concreto.

Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco:

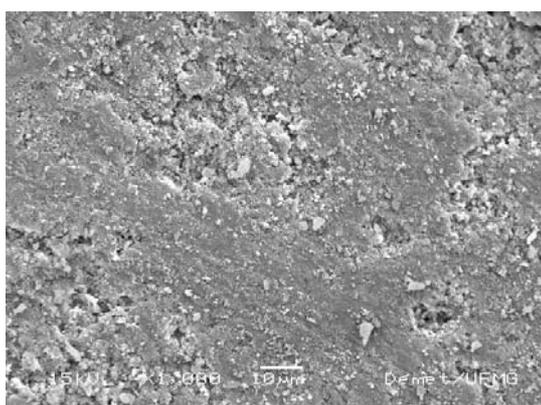
Cimento CPV ARI PLUS - Relação polímero/cimento = 0 %



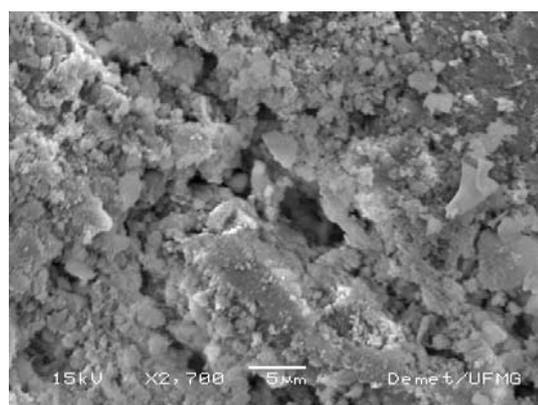
a) Aumento de 500x – Melhor impregnação de argamassa de chapisco nos poros



b) Aumento de 500x - Melhor impregnação de argamassa de chapisco nos poros

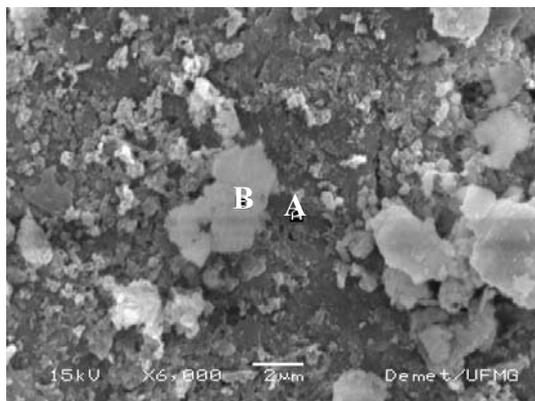


c) Aumento de 1000x



d) Aumento de 2700x

Figura 5.54 A – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 0 %



e) Aumento de 6000x – Ponto A: Base de concreto, ponto B: material aderido – ANÁLISE EDS

Figura 5.54 B – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 0 %

Tabela V.52 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.54 B – e) Pontos A e B

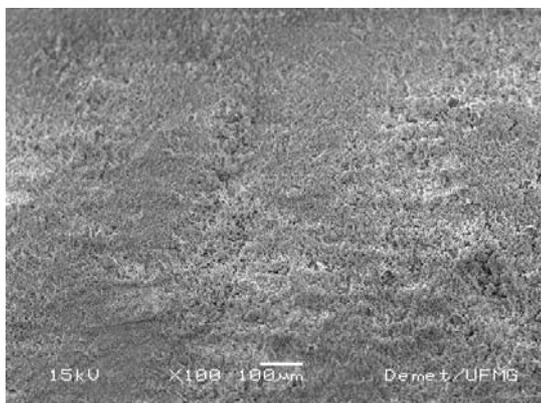
Elemento	Ponto A	Ponto B
	Massa atômica (%)	Massa atômica (%)
O	41,09	42,34
Al	2,26	5,41
Si	10,17	30,97
K	0,75	0,60
Ca	45,02	19,46
Fe	0,72	1,22
	100,00	100,00

Comentários gerais:

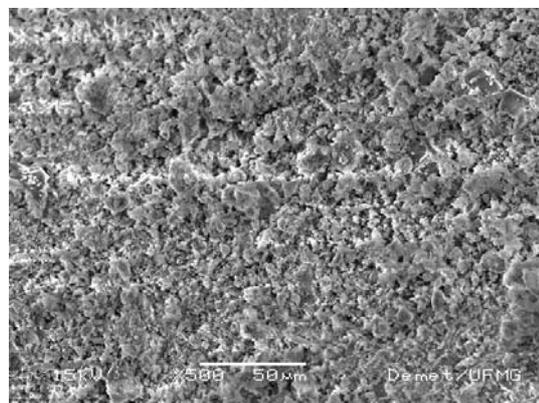
Foi verificada uma maior impregnação de argamassa de chapisco na superfície de concreto, confirmado pela variação do teor de Ca entre os pontos A e B..

Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco:

Cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa - Relação polímero/cimento = 0 %



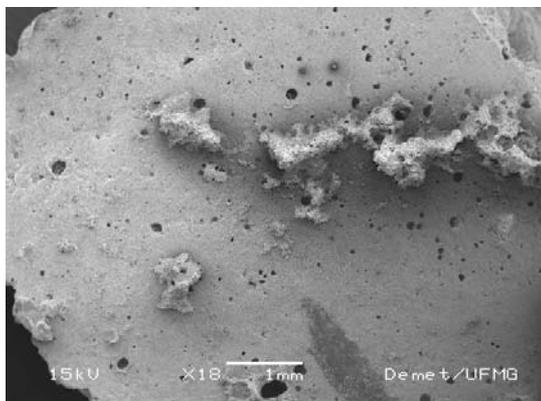
a) Aumento de 100x – Vista da argamssa impregnada no concreto



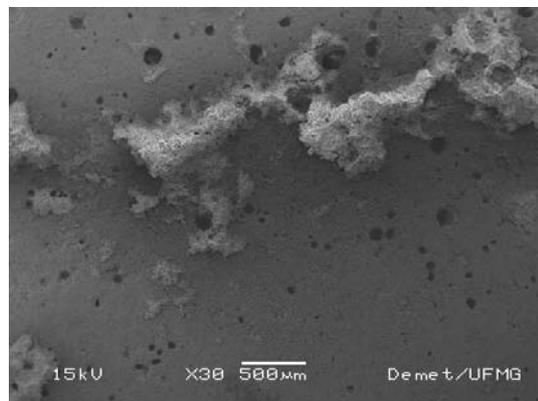
b) Aumento de 500x - Vista da argamssa impregnada no concreto

Figura 5.55 – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e sílica ativa para uma relação polímero/cimento = 0 %

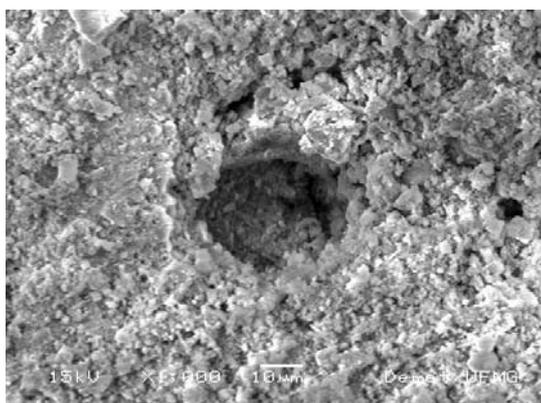
Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco:
 Cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa - Relação polímero/cimento = 3,0 %



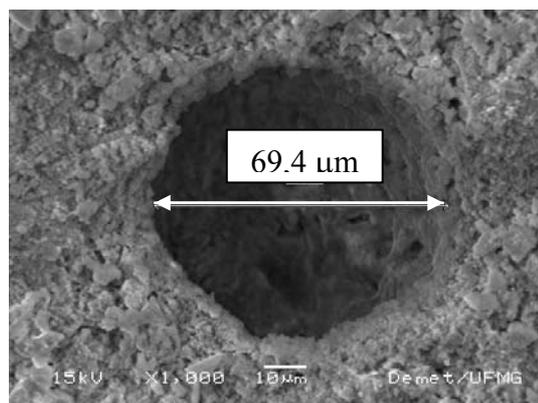
a) Aumento de 18x – Material impregnado na interface, visível a olho nu



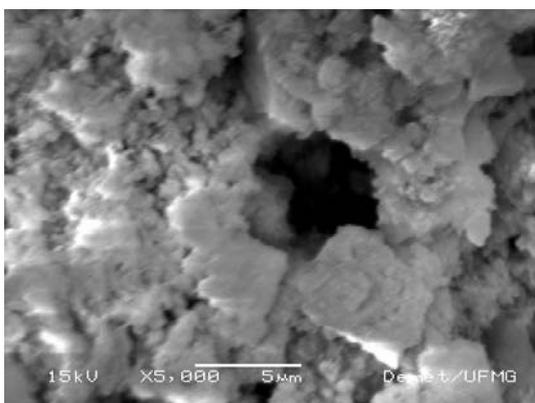
b) Aumento de 30x – Material impregnado na interface, visível a olho nu



c) Aumento de 1000x – Detalhe do poro com material impregnado



d) Aumento de 1000x – Diâmetro do vazio do concreto



d) Aumento de 5000x – Material de hidratação em torno do poro do concreto

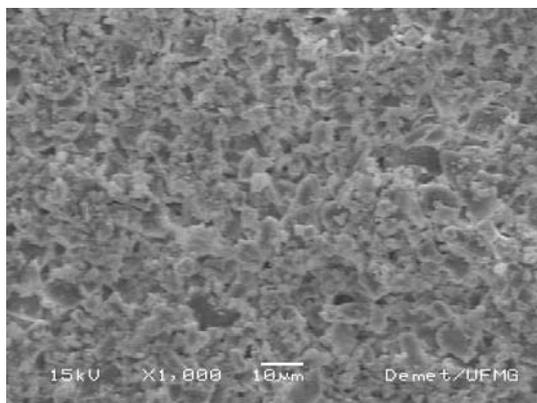
Figura 5.56 – MEV: Superfície da base de concreto sob argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa e relação polímero/cimento = 3,0 %

5.6.1.2. Superfície da argamassa de chapisco em contato com a base de concreto

A seguir serão apresentados os resultados obtidos na microscopia eletrônica de varredura realizada na superfície da argamassa de chapisco que forma a interface com a superfície de concreto.

Superfície da argamassa de chapisco em contato com a base de concreto

Cimento CPIII 32 RS - Relação polímero/cimento = 2,3 %

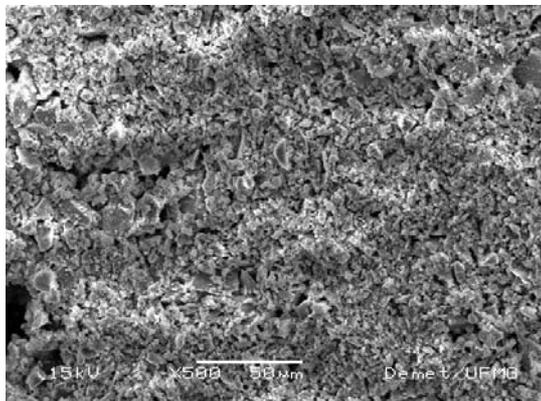


a) Aumento de 1000x – Ruptura adesiva na interface

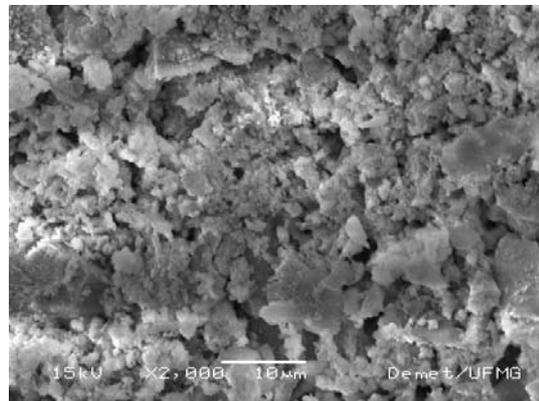
Figura 5.57 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPIII 32 RS e relação polímero/cimento = 2,3 %

Superfície da argamassa de chapisco em contato com a base de concreto

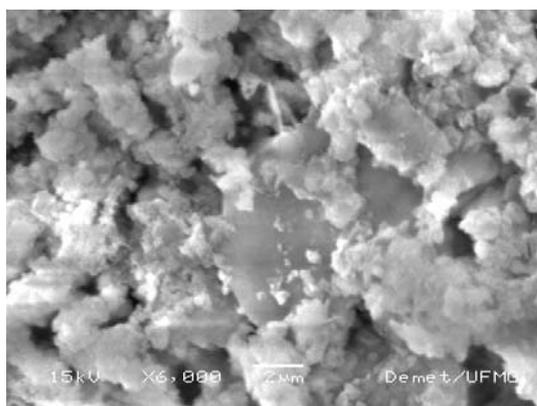
Cimento CPIII 32 RS - Relação polímero/cimento = 12,0 %



a) Aumento de 500x – Ruptura coesiva



b) Aumento de 2000x

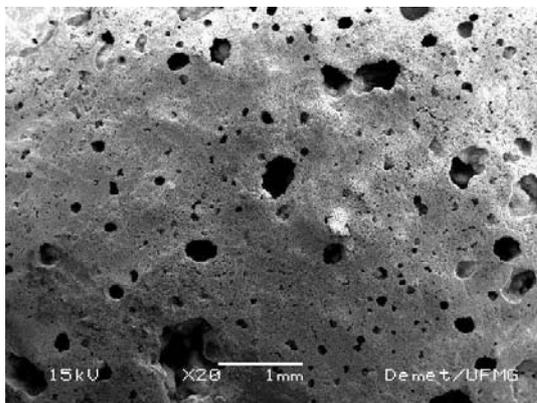


c) Aumento de 6000x – Grão de areia no centro com material de hidratação em volta

Figura 5.58 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPIII 32 RS e relação polímero/cimento = 12,0 %

Superfície da argamassa de chapisco em contato com a base de concreto

Cimento CPV ARI PLUS - Relação polímero/cimento = 0 %



a) Aumento de 20x – Ruptura adesiva na interface - Análise EDS

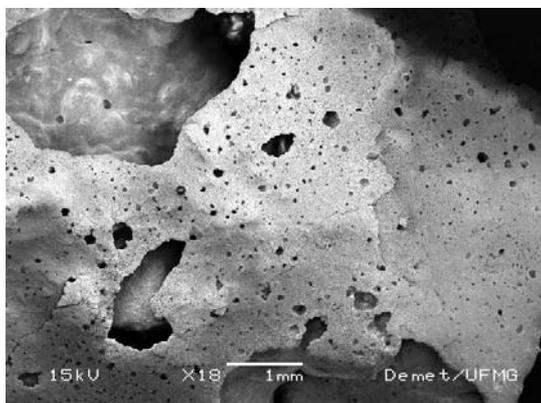
Figura 5.59 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 0 %

Tabela V.53 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.59 – a)

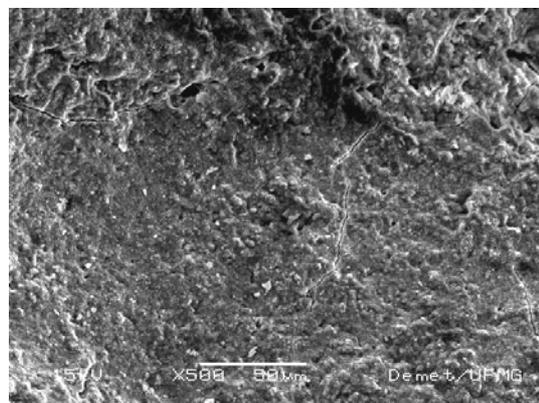
Elemento	Massa atômica (%)
O	58,10
Mg	0,09
Al	1,89
Si	15,24
K	0,58
Ca	23,49
Fe	0,62
	100,00

Superfície da argamassa de chapisco em contato com a base de concreto

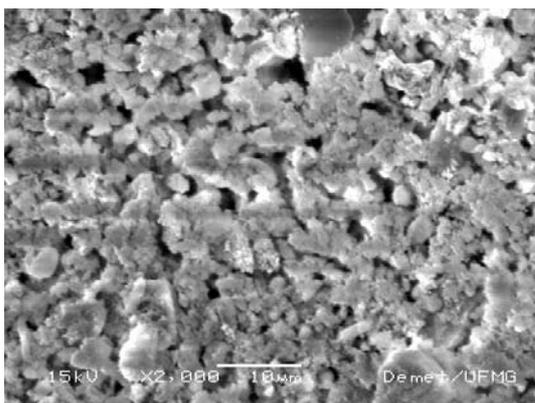
Cimento CPV ARI PLUS - Relação polímero/cimento = 2,3 %



a) Aumento de 18x – Ruptura adesiva na interface



b) Aumento de 500x - Ruptura adesiva na interface

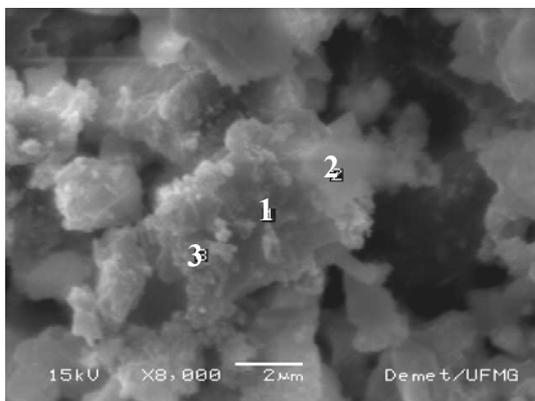


c) Aumento de 2000x – Efeito parede, plano sem aderência

Figura 5.60 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 2,3 %

Superfície da argamassa de chapisco em contato com a base de concreto

Cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa - Relação polímero/cimento = 0 %



- a) Aumento de 8000x – MEV com elétrons retroespalhados, presença de polímero (parte escura) – Análise EDS dos pontos 1, 2 e 3

Figura 5.61 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa e relação polímero/cimento = 0 %

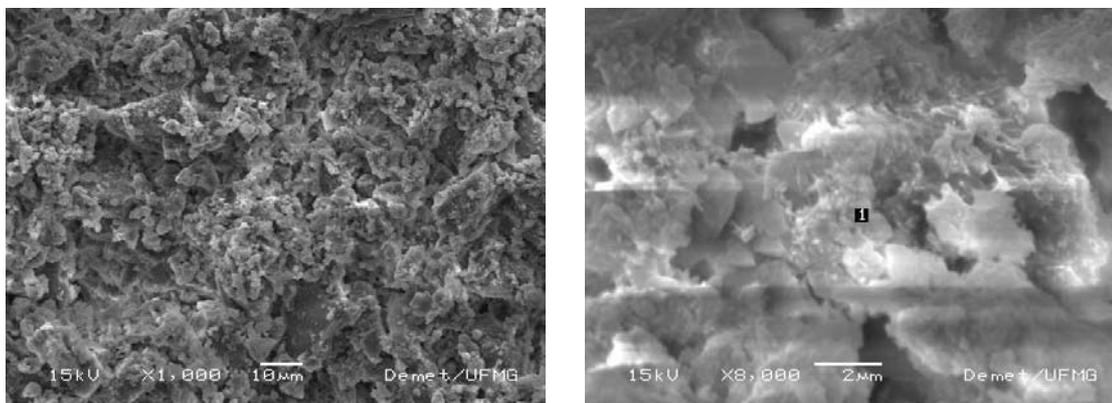
Tabela V.54 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.61 – c)

Ponto 1, 2 e 3

Elemento	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
	Massa atômica (%)	Massa atômica (%)	Massa atômica (%)
O	67,21	62,42	65,54
Al	-	5,89	0,69
Si	1,51	17,64	6,99
S	16,45	3,42	11,94
K	-	5,18	0,29
Ca	14,83	5,46	14,55
	100,00	100,00	100,00

Superfície da argamassa de chapisco em contato com a base de concreto

Cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa - Relação polímero/cimento = 2,3 %



a) Aumento de 1000x – Ruptura coesiva

b) Aumento de 8000x – Análise EDS no ponto A e em toda área

Figura 5.62 – MEV: Superfície da argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa e relação polímero/cimento = 2,3 %

Tabela V.55 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.62 – b)

Análise no ponto 1 e em toda área central

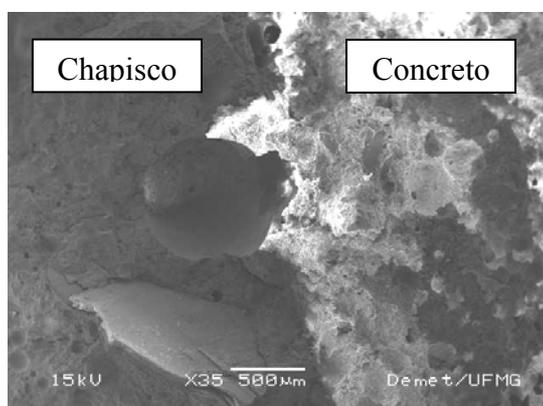
Elemento	Ponto 1	Toda área central
	Massa atômica (%)	Massa atômica (%)
O	64,74	55,79
Mg	-	0,08
Al	1,03	1,54
Si	4,68	10,65
K	-	0,40
S	12,23	-
K	0,34	-
Ca	16,97	30,80
Fe	-	0,74
	100,00	100,00

5.6.1.3. Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco

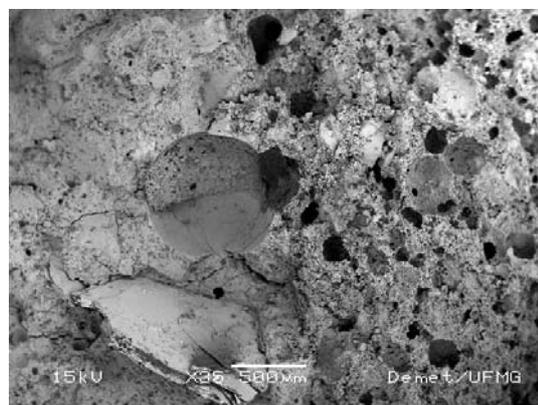
A seguir são apresentados os resultados da microscopia eletrônica de varredura realizada na interface entre a argamassa de chapisco e a base de concreto.

Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco

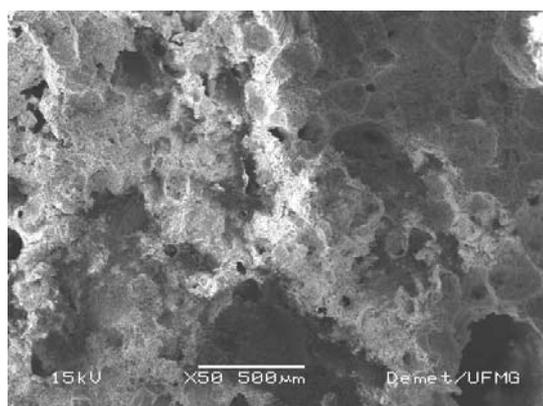
Cimento CPV ARI PLUS - Relação polímero/cimento = 12,0 %



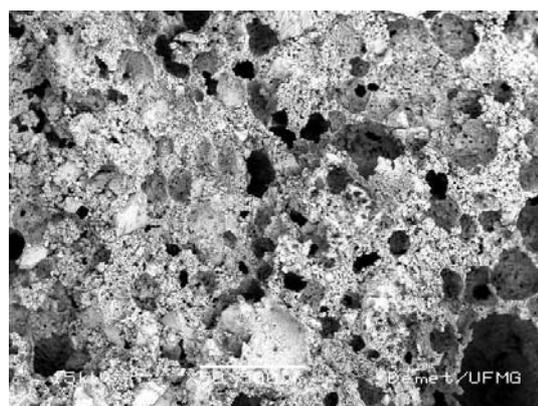
a) Aumento de 35x – Interface argamassa de chapisco / concreto



b) Aumento de 35x – Detalhe do grão

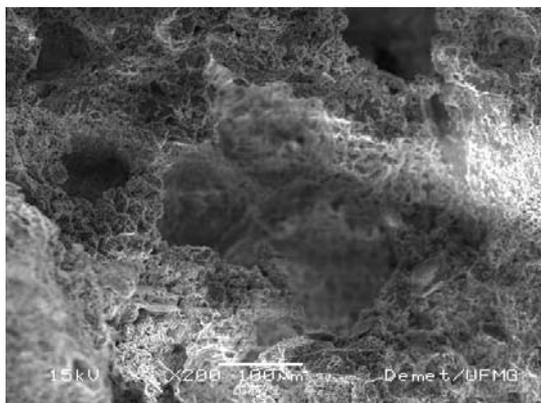


c) Aumento de 50x

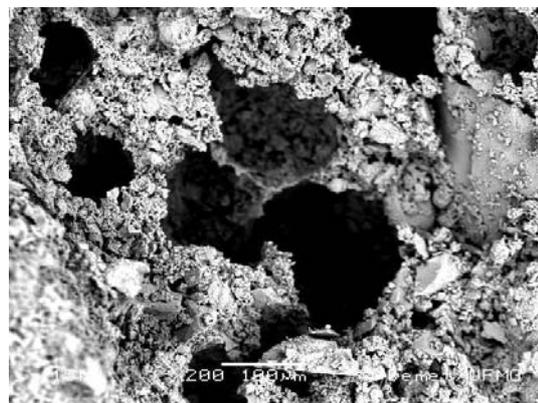


d) Aumento de 50x

Figura 5.63 A – MEV: Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS - Relação polímero/cimento = 12,0 %



e) Aumento de 200x - Visualização de material plástico, confirmado pela presença de carbono na análise EDS



b f) Aumento de 200x – Imagem por elétrons retroespalhados, presença de polímero

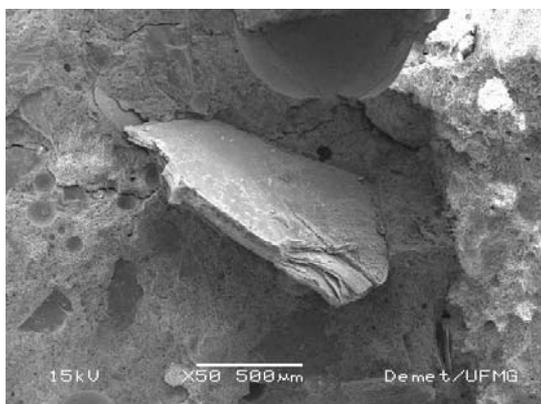
Figura 5.63 B – MEV: Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS - Relação polímero/cimento = 12,0 %

Tabela V.56 – Análise no microanalisador EDS na fotomicrografia da figura 5.63 B – e)

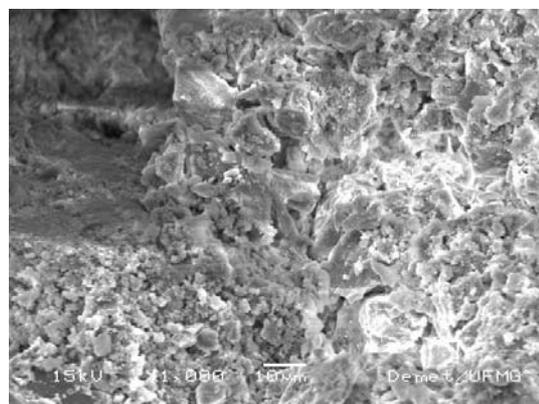
Elemento	Massa atômica (%)
C	43,78
O	40,03
Mg	1,22
Al	1,86
Si	4,12
K	0,39
Ca	8,60
	100,00

Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco

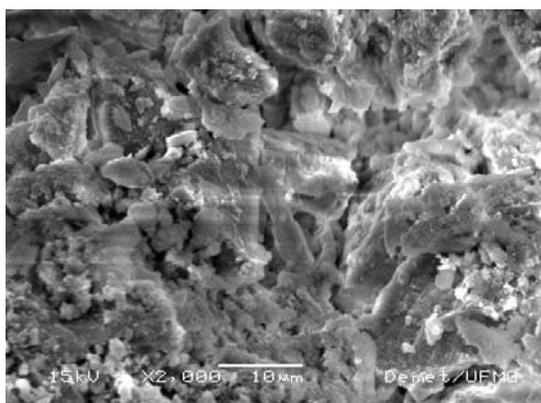
Cimento CPV ARI PLUS - Relação polímero/cimento = 12,0 %



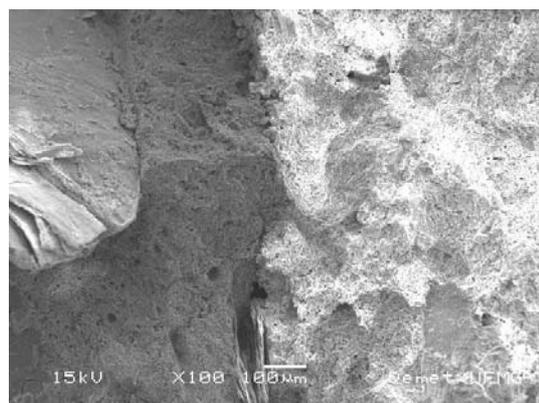
a) Aumento de 50x – Interface chapisco / concreto, grão de areia artificial, forma angular das arestas



b) Aumento de 1000x – Sulfato de cálcio, etringita, material impregnado

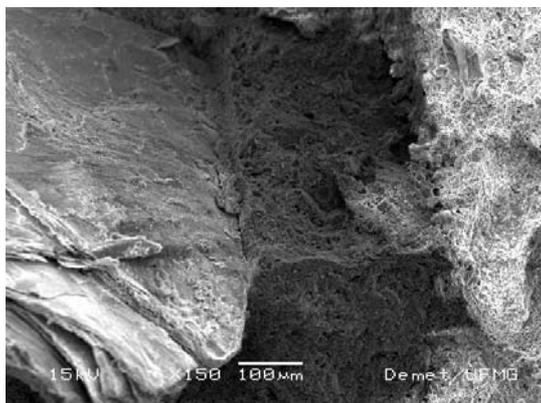


c) Aumento de 2000x – Concreto

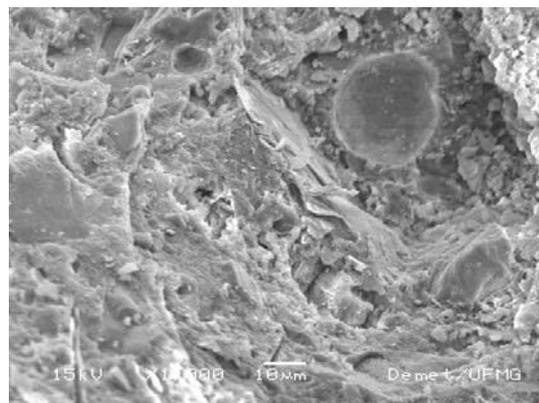


d) Aumento de 100x – Interface chapisco / concreto

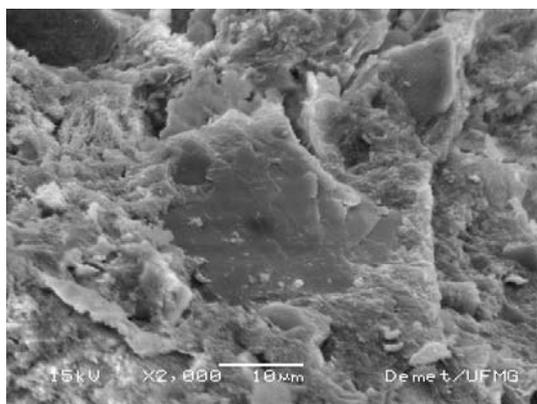
Figura 5.64 A – MEV: Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 12,0 %



e) Aumento de 150x – Interface, material reagido



f) Aumento de 1000x – Presença de material com aparência plástica



g) Aumento de 2000x – Material de reação em volta do grão

Figura 5.64 B – MEV: Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS e relação polímero/cimento = 12,0 %

Comentários gerais:

Presença de material de reação no contorno dos grãos e presença de material plástico (polímero)

Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco

Cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa – Relação polímero/cimento = 12,0 %

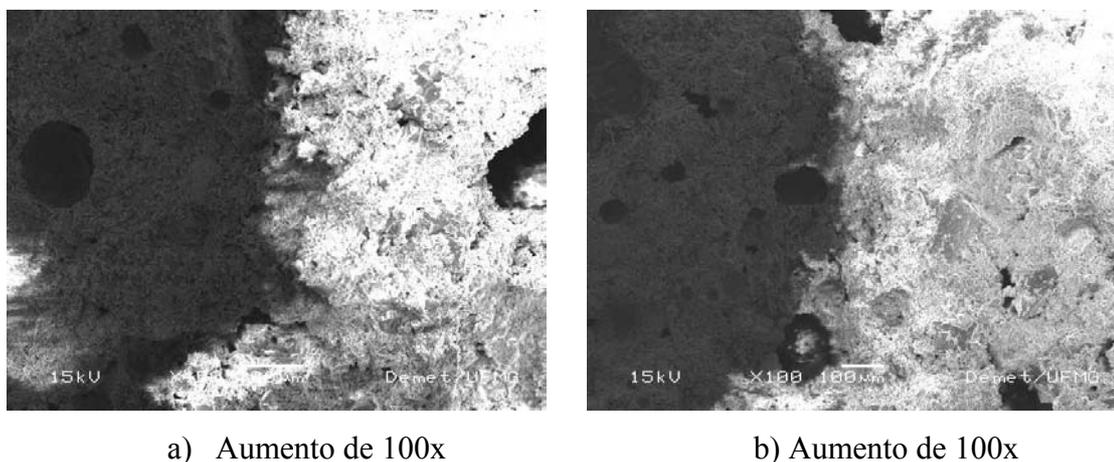


Figura 5.65 – MEV: Interface entre a base de concreto e a argamassa de chapisco com cimento CPV ARI PLUS + sílica ativa e relação polímero/cimento = 12,0 %

Comentários:

A interface entre concreto e argamassa de chapisco com uma relação polímero/cimento= 12,0% se encontra extremamente aderida, sem a definição clara desta região.

5.6.2. Difração de raios-x (DRX)

Através da realização do ensaio de difração de raios-X nos materiais componentes das argamassas de chapisco, foi possível detectar em cada um deles quais as parcelas de material cristalino e amorfo, conforme mostra a tabela V.57. Esta determinação da quantidade de material amorfo e cristalino foi realizada através da relação direta de suas áreas nos difratogramas de raios-X, mostrados nas figuras 5.66 a 5.70.

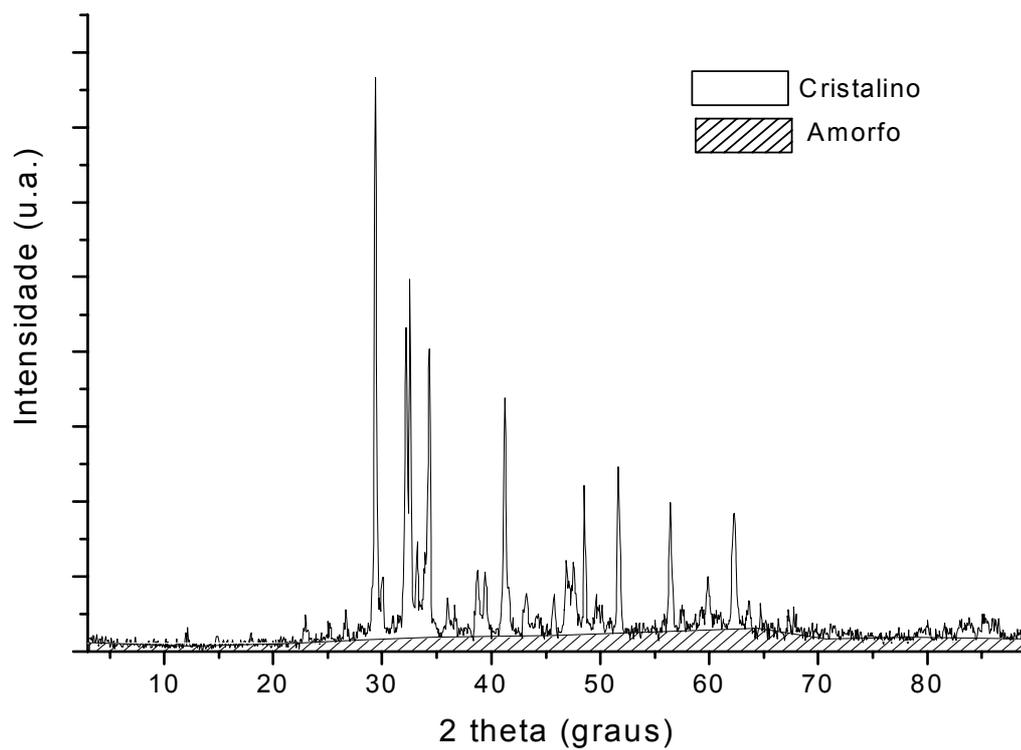


Figura 5.66 – Difração de raios-X no cimento CPV ARI PLUS

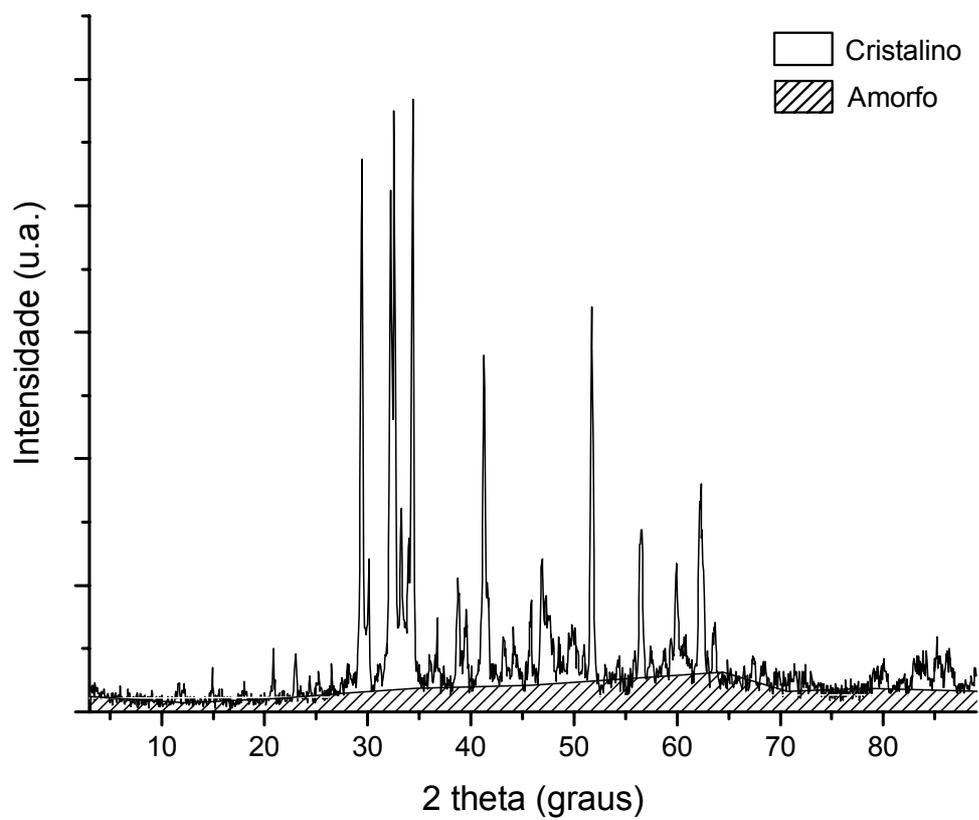


Figura 5.67 – Difração de raios-X no cimento CEM II E 32

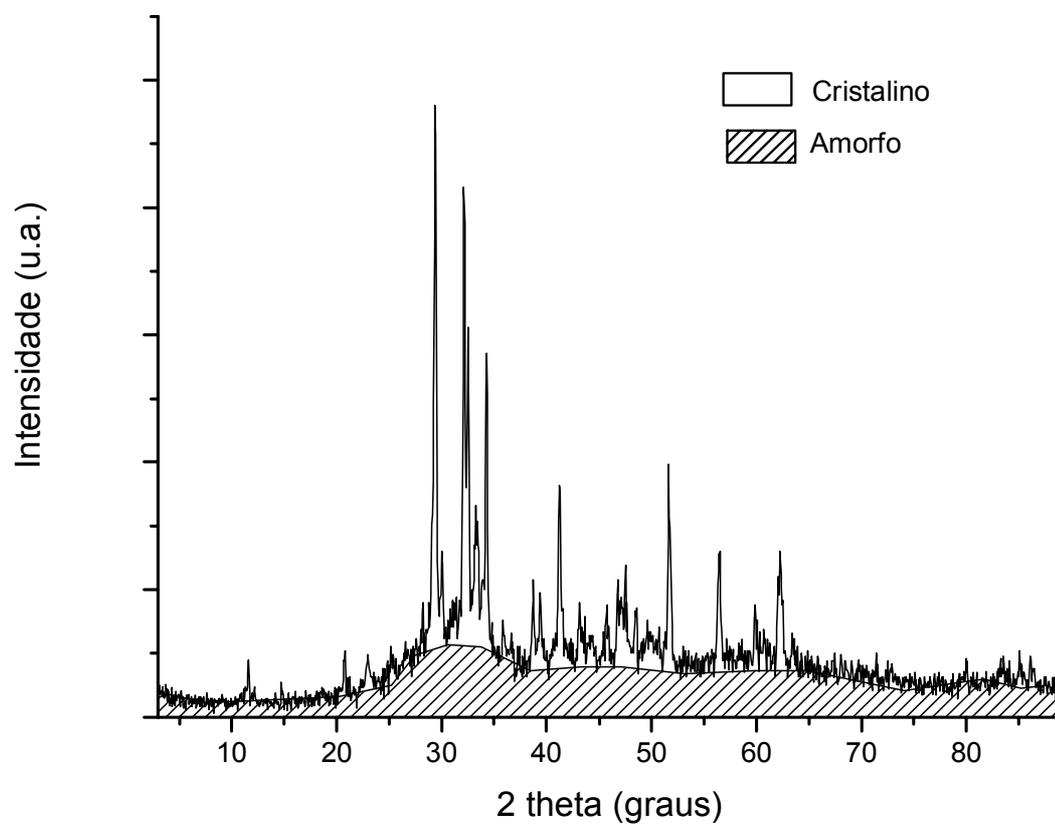


Figura 5.68 – Difração de raios-X no cimento CEM III 32 RS

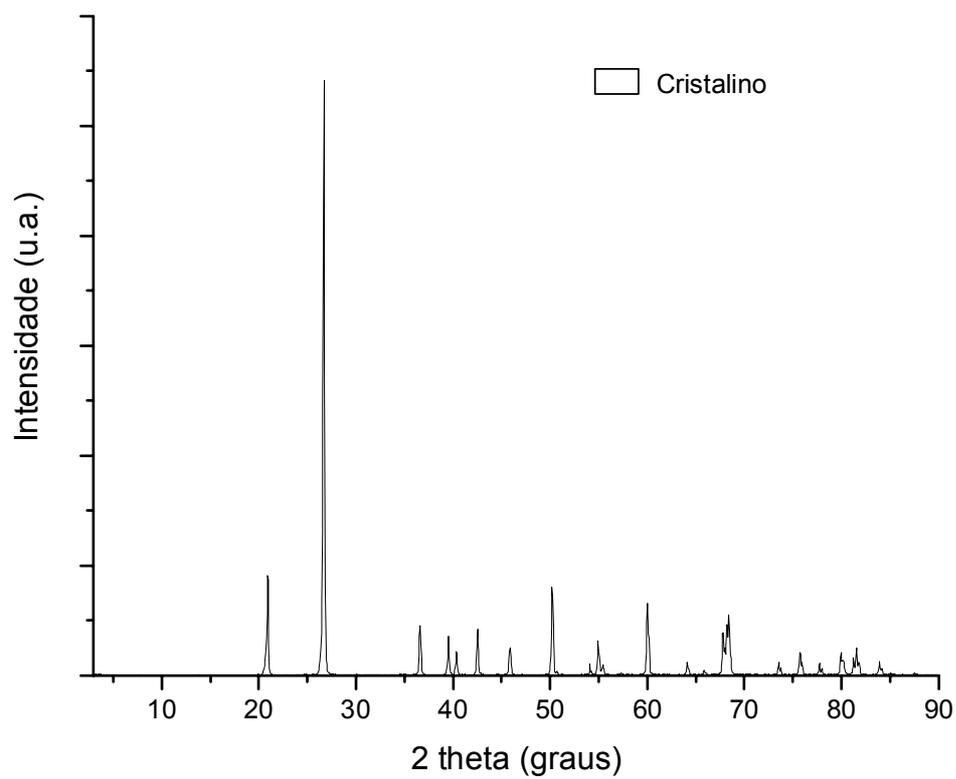


Figura 5.69 – Difração de raios-X da areia

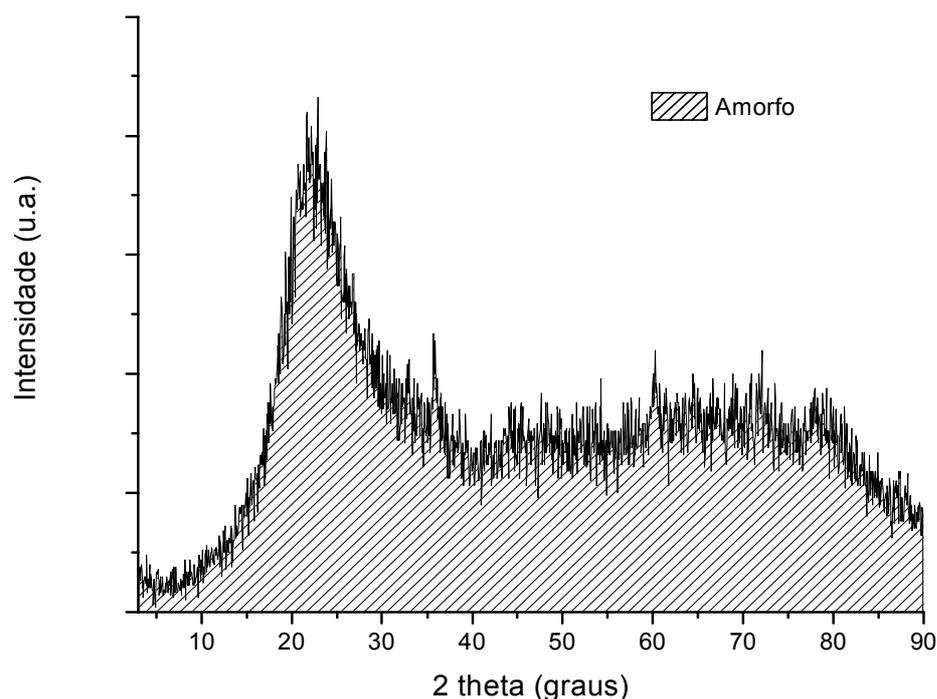


Figura 5.70 – Difração de raios-X da sílica ativa

Tabela V.57 – Quantidade de material amorfo e cristalino nos materiais da argamassa de chapisco

Material	Difração de raios-X		Total de material amorfo	
	Amorfo	Cristalino	Escória	Outros
Areia	0%	100%	-	-
Sílica ativa	100%	0%	-	-
CPV ARI PLUS	38%	62%	3%	35%
CPII E 32	41%	59%	29%	12%
CPIII 32 RS	64%	36%	61%	3%

Conforme tabela V.57, o teor de material amorfo encontrado no cimento (descontado a quantidade de escória de alto forno conhecida) demonstra o potencial de reação nas primeiras idades dos cimentos analisados. O material amorfo da escória de alto forno é conhecidamente lento e depende das reações iniciais do cimento para início de suas reações, principalmente de OH liberado nas reações iniciais. Portanto, para o caso em estudo, de camadas finas de chapisco sem cura úmida, é extremamente prejudicial aos cimentos CPIII 32 RS e CPII E 32, respectivamente.

5.6.3. Espectroscopia no infravermelho

Na figura 5.71 tem-se o resultado do ensaio de espectroscopia no infravermelho realizado no aditivo adesivo utilizado na confecção dos traços de argamassa deste trabalho.

Na tabela V.58 tem-se os grupos característicos e os polímeros correspondentes para cada número de onda obtido, caracterizando o material como PVAc.

Tabela V.58 – Modos vibracionais com números de onda correspondentes

Número de Onda (cm ⁻¹)	Grupo Característico	Polímero Correspondente
3550-3200	ν (OH) OH...OH	PVA e PVAc
2937-2870	ν (CH)	PVA e PVAc
1727-1712	ν (C=O)	PVAc
1650-1630	δ (OH) OH...OH	PVA e PVAc
1572	(-COO ⁻)	PVA*
1461-1417	δ (CH) – CH ₂	PVA
1376	δ (CH) – R-CH ₃	PVAc
1329	δ (OH) – C-OH	PVA
1270	ν_{as} (=C-O-C)	PVAc
1141	ν (C-O)	PVA
1093	ν (C-O) – C-OH	PVA
1023	ν_s (=C-O-C)	PVAc
945	(C-C)	PVAc
916	δ (CH) – CH ₂	PVA e PVAc
849	ν (C-C)	PVA
602	(C=O)	PVAc

*Íons carboxilados residuais do processo de saponificação.

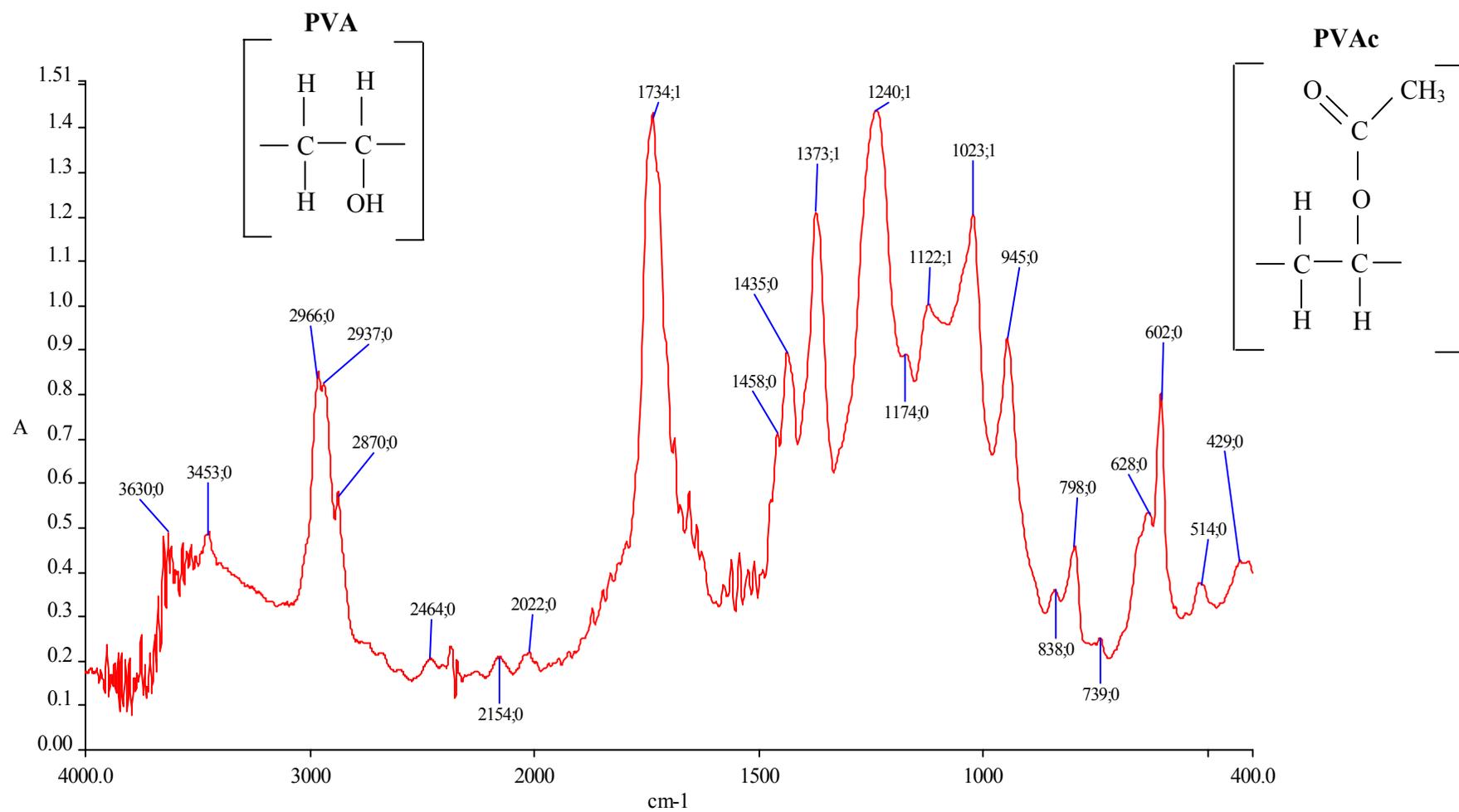


Figura 5.71 – Espectroscopia no infravermelho do aditivo adesivo utilizado na argamassa de chapisco

Absorbância (A) x Número de onda (cm⁻¹)

6. ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

6.1. ENSAIOS NA BASE DE CONCRETO EM CAMPO E SUBSTRATO-PADRÃO NO LABORATÓRIO

6.1.1. Resistência à compressão e consistência

O resultado de 33,6 MPa, obtido no ensaio de resistência à compressão do concreto, permite, num primeiro momento, supor que este material tem uma baixa porosidade em função da sua elevada resistência, conforme previsto (TAYLOR 1997, NEVILLE 1997, PETRUCCI 1978) devido à adição de escória de alto forno no cimento utilizado para a produção do concreto, sendo suas propriedades hidráulicas desenvolvidas a partir da desintegração de sua estrutura vítrea quando atacada por íons de OH^- . Conseqüentemente os cimentos de escória são citados como menor calor de hidratação, menor permeabilidade e menor durabilidade. O substrato padrão apresenta uma resistência característica $f_{ck} \geq 40,0$ MPa.

Os valores obtidos e as microfissuras verificadas na análise microestrutural caracterizam um concreto com comportamento normal.

6.1.2. Absorção de água por imersão e capilaridade

Os ensaios de absorção por imersão e capilaridade foram realizados para caracterizar o tipo de base para qual os resultados foram obtidos. Analisando-se os resultados pode ser observado que a absorção de água ocorrida foi crescente durante todo o tempo de realização dos ensaios previsto pela norma. Além disso, foram verificados comportamentos distintos entre as duas bases analisadas, substrato-padrão e concreto, conforme o seguinte:

- Base de concreto (campo) = $0,8 \text{ cm}^3$ em 15 minutos
- Base substrato-padrão (laboratório) = $0,03 \text{ cm}^3$ em 15 minutos

6.1.3. Permeabilidade por difusão ao ar na camada superficial de concreto

Os resultados obtidos são característicos de concreto com muito alta porosidade, apesar do resultado do ensaio de resistência à compressão ser característico de concretos com alta resistência.

A permeabilidade por difusão ao ar foi medida superficialmente, portanto não significa que seu interior também seja permeável.

O mecanismo de aderência (CARASEK et 1997) é descrito como as condições das superfícies a serem unidas por forças de atração ou ancoramento mecânico, resultando em presença de reações interfaciais. Portanto a seção da base, bem como sua permeabilidade, são fatores relevantes e podem ser utilizadas como parâmetros no estudo de comportamento de aderência. Para o estudo foram utilizadas dois tipos de bases distintas, com valores de permeabilidade ao ar significativamente diferentes, para melhor avaliação da aderência e seu comportamento.

6.2. ENSAIOS NA ARGAMASSA DE CHAPISCO

6.2.1. Massa específica da argamassa

Neste ensaio foi observado em todos os tipos de cimento testados que a massa específica altera-se em função da quantidade de polímero adicionada. Para uma relação polímero/cimento igual a 0,0%, todas as argamassas de chapisco apresentaram uma plasticidade similar, independente do tipo de cimento utilizado. No entanto, foram observadas grandes variações de massa específica a medida em que se aumentou a relação polímero/cimento, quando comparados os quatro tipos de argamassa de chapisco.

A massa específica da argamassa de chapisco está ligada diretamente à massa específica de cada componente da mistura e foi reduzida em função do teor de ar incorporado e quantidade de água não equivalente da mistura quando da adição de diferentes concentrações de polímero.

6.2.2. Teor de ar incorporado

Neste ensaio foi observado em todos os tipos de cimento testados que o teor de ar incorporado aumenta em função da quantidade de polímero adicionada. Para uma relação polímero/cimento igual a 0,0%, o resultado pouco se altera em função do tipo de cimento.

O fenômeno da incorporação de ar está associado ao processo da mistura (OHAMA 1998, KIM & ROBERTSON, 1997) nas argamassas sem polímeros e nas misturas modificadas com polímeros devido a presença de surfactantes. As bolhas formadas são pequenas e estáveis dificultando sua remoção, e conseqüentemente, a redução da massa específica em função do teor de ar incorporado. A quantidade de bolhas está associada ao número de partículas.

6.2.3. Retenção de água

A partir dos resultados apresentados, observa-se que para relações polímero/cimento entre 0,0% e 2,3% a retenção de água nas argamassas não sofreu sensíveis variações. De 3,0% a 12,0% houve um crescimento considerável da retenção de água com todos os tipos de cimento

Pode-se notar claramente que o comportamento está ligado a concentrações de polímero/cimento, declarado no estudo (OHAMA 1998, CHANDRA & FLODIN, 1997, AFRIDI et al 1997). Uma das razões deste comportamento é devido ao efeito inicial das propriedades hidrofílicas dos látices do polímero e a inibição da saída da água. Pelo efeito do fechamento dos poros capilares pela formação de filme polimérico.

6.2.4. Resistência à compressão

Foi verificado um comportamento de queda da resistência à compressão nas argamassas de chapisco quando realizada a adição de polímero, com exceção da argamassa com utilização de CPV ARI PLUS com adição de sílica ativa.

Também foi verificada uma menor resistência à compressão aos 28 dias da argamassa com cimento CPIII 32 RS e sem adição de polímero, quando comparada com as demais.

A redução da resistência à compressão está diretamente ligada a proporção polímero/cimento e pode ser entendida (AFRIDI et al 1997, OHAMA 1997 e 1998), sendo clássica quando não existe polímero, apenas com a variação do fator água/cimento. No entanto, no caso em estudo, é citada a introdução do polímero como fator considerável pois têm menor resistência que as argamassas e alteram significativamente o teor de ar incorporado.

6.2.5. Tempo de pega

Foram verificadas grandes variações de tempo no início de pega quando comparadas todas argamassas de chapisco. Essa variação chegou até 2 horas e 35 minutos, comparando-se as argamassas compostas por CPIII 32 RS e CPV ARI PLUS com sílica ativa.

Foi verificado também que a argamassa de chapisco com cimento CPIII 32 RS apresentou um acréscimo do tempo de pega, conforme abordagem (CHANDRA & FLODIN 1987, SU et al 1993, ATZENI et al 1993). A adição de polímeros à base de PVAc atua na taxa de dissolução das fases anidras do cimento, passando a consumir logo após íons Ca^{++} da fase aquosa pela reação com anions acetato (CH_3COO^-) liberados pela eletrólise do polímero formando acetato de cálcio e retardando as fases hidratadas no cimento (retardo na nucleação e crescimento dos cristais de etringita). Isto confirma que as reações químicas promovidas pelos polímeros também intervêm na velocidade da reação de hidratação.

Na figura 5.15 é demonstrado o comportamento ligado à superfície específica Blaine dos cimentos, que o CII E 32 se apresenta com menor superfície e, possivelmente, devido à dificuldade de medida no ensaio quando da adição de polímero, fato conhecido como falsa pega.

6.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DA ARGAMASSA DE CHAPISCO

6.3.1. Análise química dos materiais

A análise química realizada apresenta resultados característicos em cada tipo de cimento, agregado e sílica ativa, atendendo aos requisitos normais de utilização sem nenhum tipo de contaminação ou mesmo alterações indesejadas de comportamento.

6.3.2. Granulometria a laser dos cimentos

Através da análise do gráfico pode-se constatar a dimensão dos grãos dos cimentos ensaiados, sendo que o CII E 32 foi aquele que apresentou maiores grãos e os CPV ARI PLUS com adição de sílica ativa os menores.

6.3.3. Determinação do teor de escória granulada de alto forno nos cimentos da argamassa de chapisco

Os teores de escória de alto forno nos cimentos, determinados através da realização deste ensaio, estão bem próximos dos valores declarados pelos fabricantes e atendem a normalização brasileira.

6.4. ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ADERÊNCIA DO SISTEMA REVESTIMENTO / BASE

A adição de polímeros em argamassas é utilizada para a melhoria de adesão na interface devido à formação de filme polimérico na interface entre a pasta de cimento e o substrato. Isto resulta do fato de que a maioria dos poros superficiais destas misturas são inferiores a 1 μm . Nos ensaios pode-se verificar que em todos os cimentos utilizados, a grande maioria dos grãos encontra-se abaixo destes valores, conforme mostrado na granulometria a laser (item 5.3.3). Associado a este mecanismo, conforme OHAMA (1998), também é verificado o efeito de coalescimento das partículas poliméricas com a formação de uma camada contínua na interface, favorecendo a ligação entre os materiais, fatos que podem interferir diretamente nos ensaios de aderência.

6.4.1. Ensaio de resistência de aderência à tração em painéis de teste com base de concreto (em campo)

6.4.1.1. Avaliação da relação polímero/cimento

- **3% de escória de alto forno – CPV ARI PLUS + sílica ativa:**

Na figura 6.1 tem-se um gráfico que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS e sílica ativa, obtido a partir dos resultados realizados em campo.

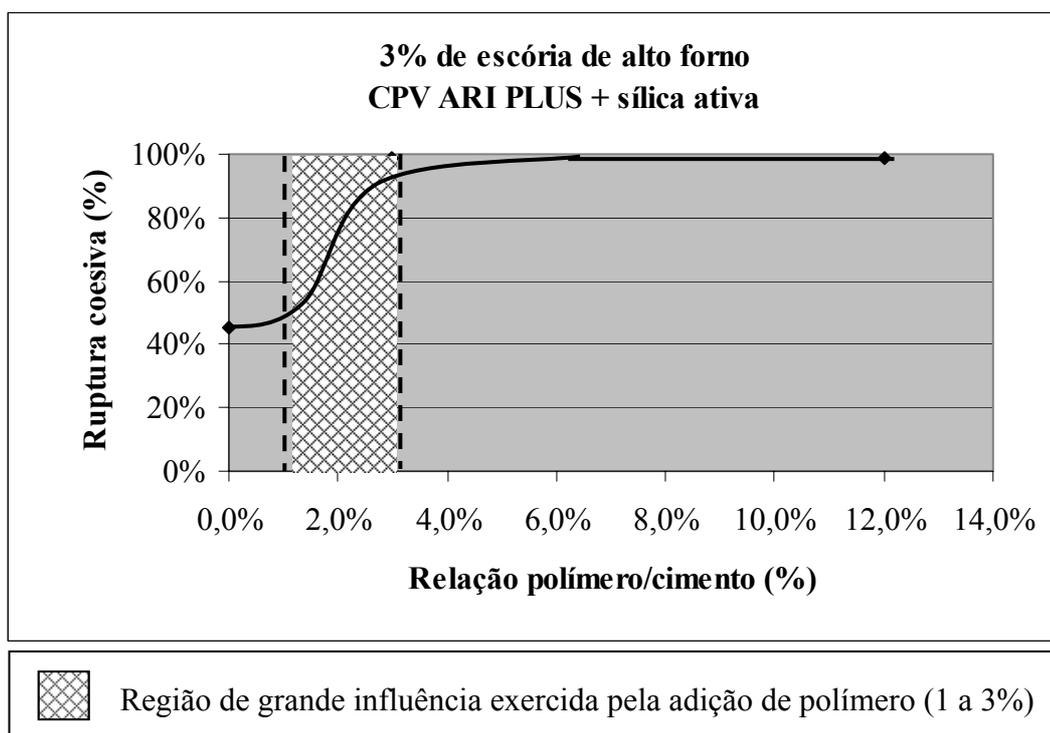


Figura 6.1 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS e sílica ativa (em campo – concreto)

- **4% de escória de alto forno – CPV ARI PLUS:**

Na figura 6.2 tem-se um gráfico que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS, obtido a partir dos resultados realizados em campo.

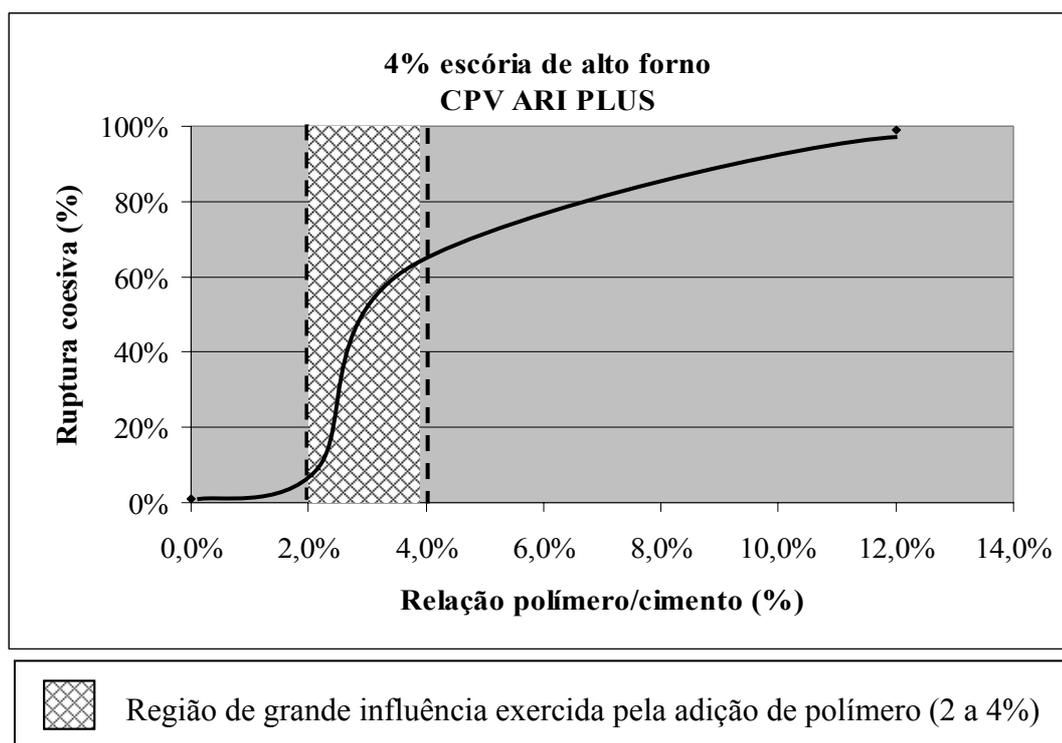


Figura 6.2 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS (em campo – concreto)

- **32% de escória de alto forno – CII E 32:**

Na figura 6.3 tem-se um gráfico que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CII E 32, obtido a partir dos resultados realizados em campo.

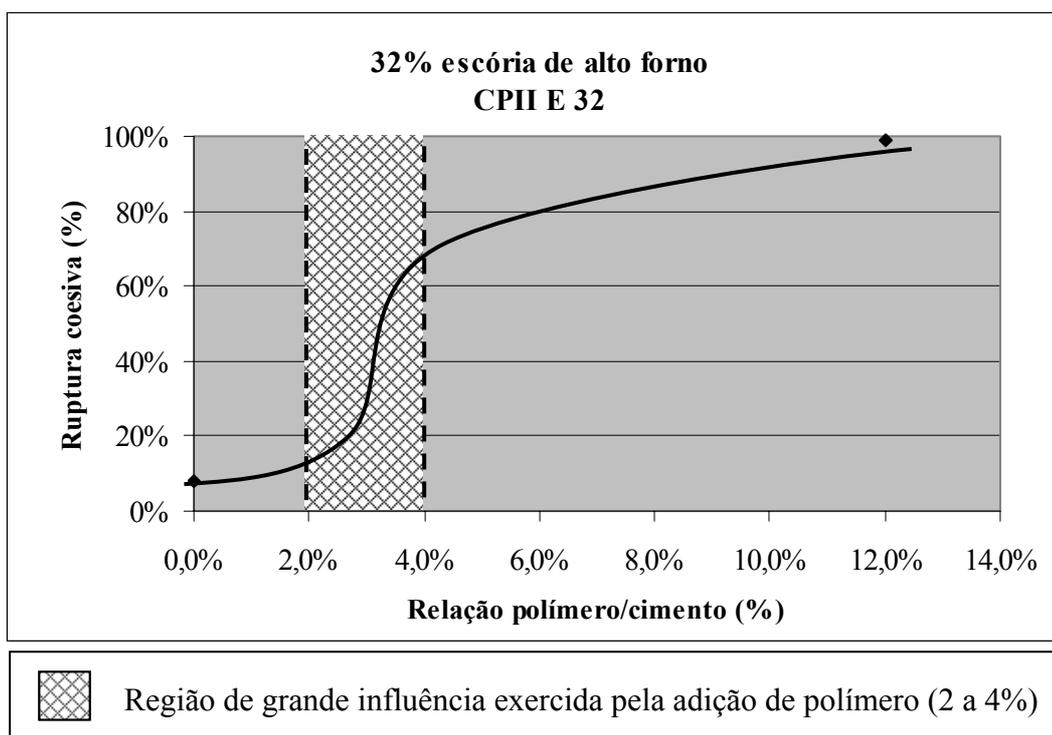


Figura 6.3 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CII E 32 (em campo – concreto)

- **68% de escória de alto forno – CPIII 32 RS:**

Na figura 6.4 tem-se um gráfico que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPIII 32 RS, obtido a partir dos resultados realizados em campo.

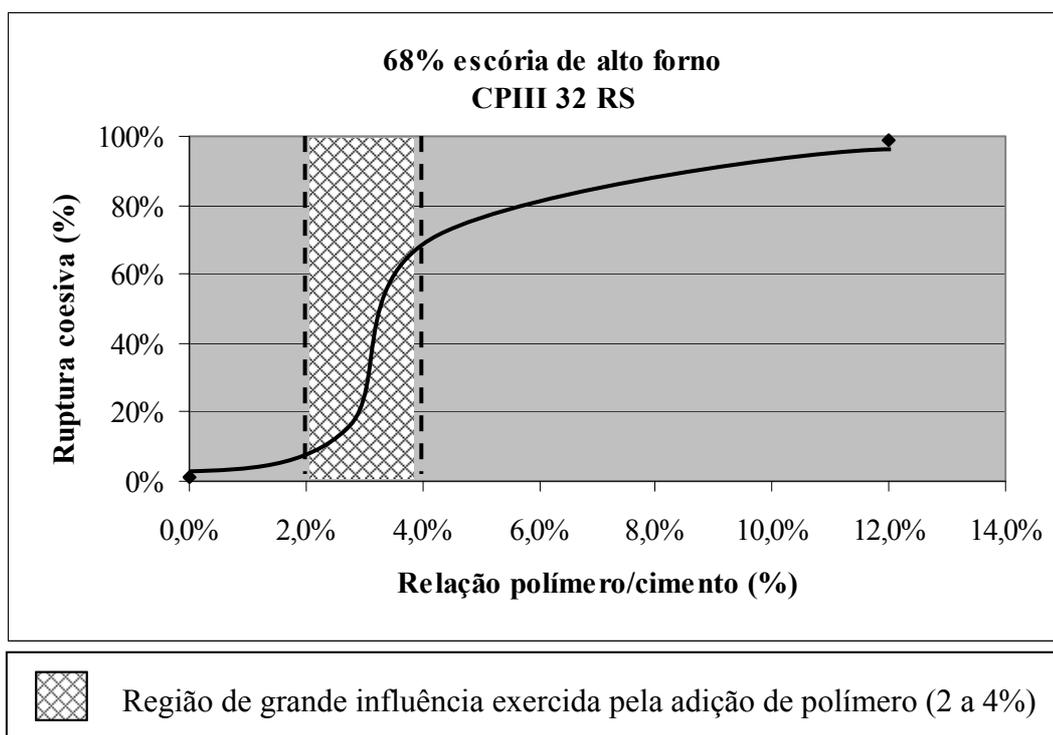


Figura 6.4 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPIII 32 RS (em campo – concreto)

Nas figuras 6.1 a 6.4 verifica-se um comportamento típico evidenciando a interferência de característica, com controle de processo dificultado. Independente do tipo de cimento, a relação polímero/cimento na faixa 2,0 a 4,0 % pode ser classificada como região crítica de controle. A área de interferência somente é alterada no cimento com adição de sílica ativa, que tem uma influência menor da relação polímero/cimento (1,0 a 3,0%).

6.4.1.2. Avaliação da influência do teor de escória de alto forno do cimento

- **Relação polímero/cimento = 0,0%:**

Na figura 6.5 tem-se um gráfico que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco e a relação polímero/cimento igual a 0,0%, obtido a partir dos resultados realizados em campo.

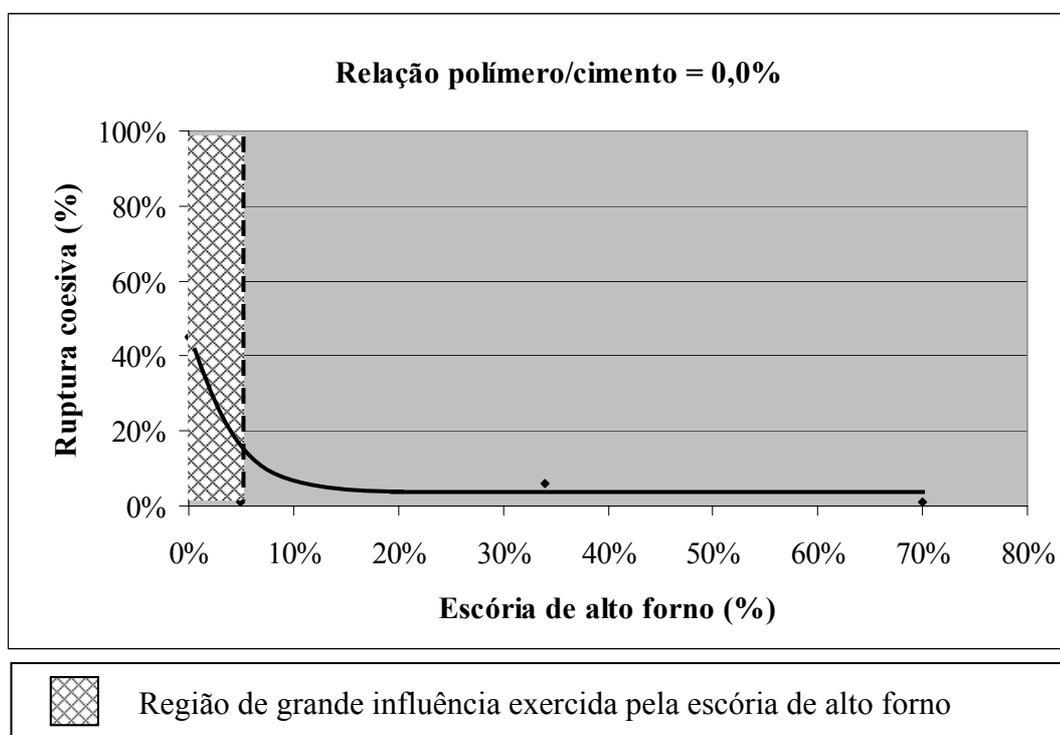


Figura 6.5 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 0,0% (em campo – concreto)

A área de influência somente é verificada para adição de escória de alto forno inferior a 5% quando a relação polímero/cimento = 0,0%.

- **Relação polímero/cimento = 2,3%:**

Na figura 6.6 tem-se um gráfico que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 2,3%, obtido a partir dos resultados realizados em campo.

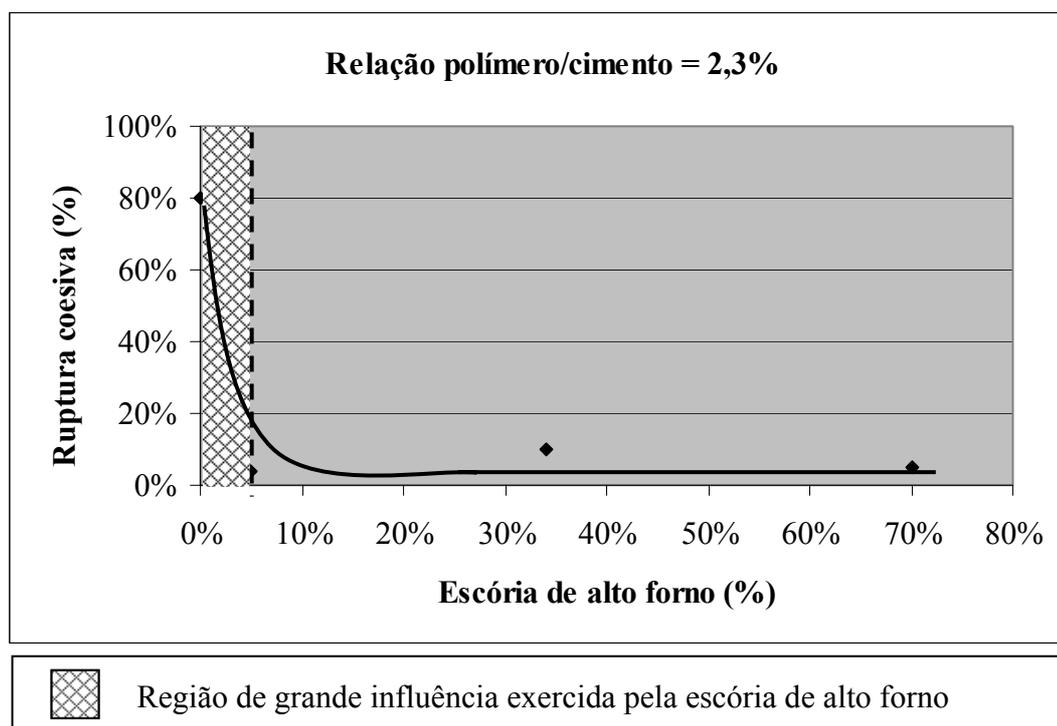


Figura 6.6 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 2,3% (em campo – concreto)

A relação polímero/cimento = 2,3% não alterou o comportamento de aderência quando da adição de escória de alto forno além de 5%.

- **Relação polímero/cimento = 3,0%:**

Na figura 6.7 tem-se um gráfico que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 3,0%, obtido a partir dos resultados realizados em campo.

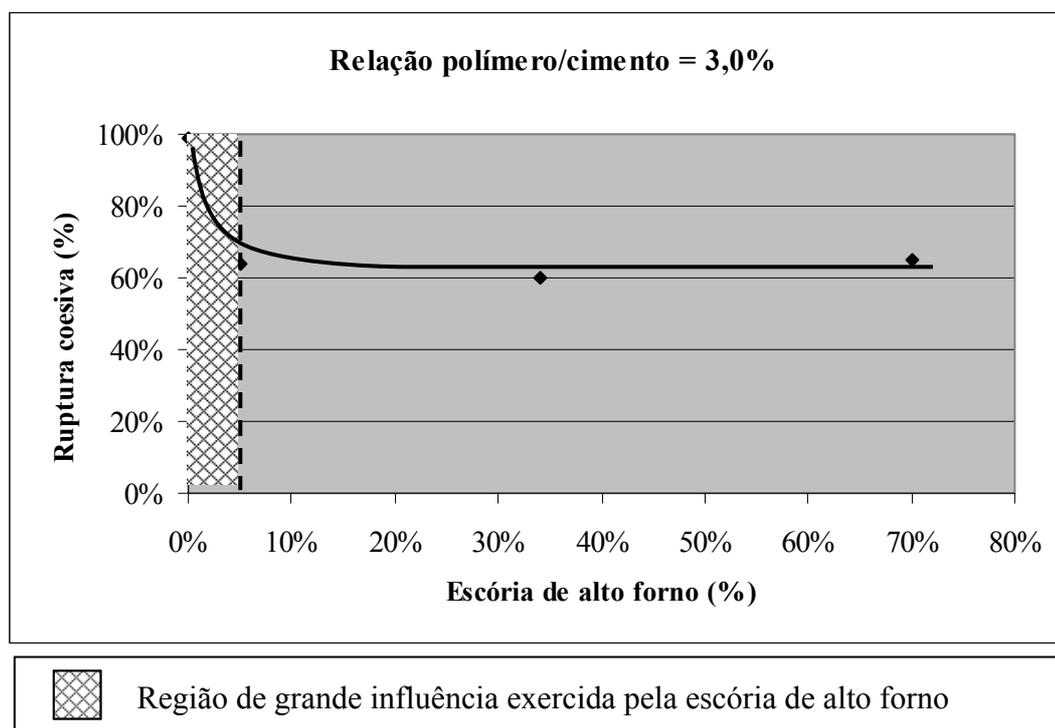


Figura 6.7 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 3,0% (em campo – concreto)

É notável a influência com alteração brusca de comportamento em relação à adição de escória de alto forno, tornando-se significativa de 0 a 5 %. Após esta adição de escória, a relação polímero/cimento apresenta característica uniforme e aderência coesiva.

- **Relação polímero/cimento = 12,0%:**

Na figura 6.8 tem-se um gráfico que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 12,0%, obtido a partir dos resultados realizados em campo.

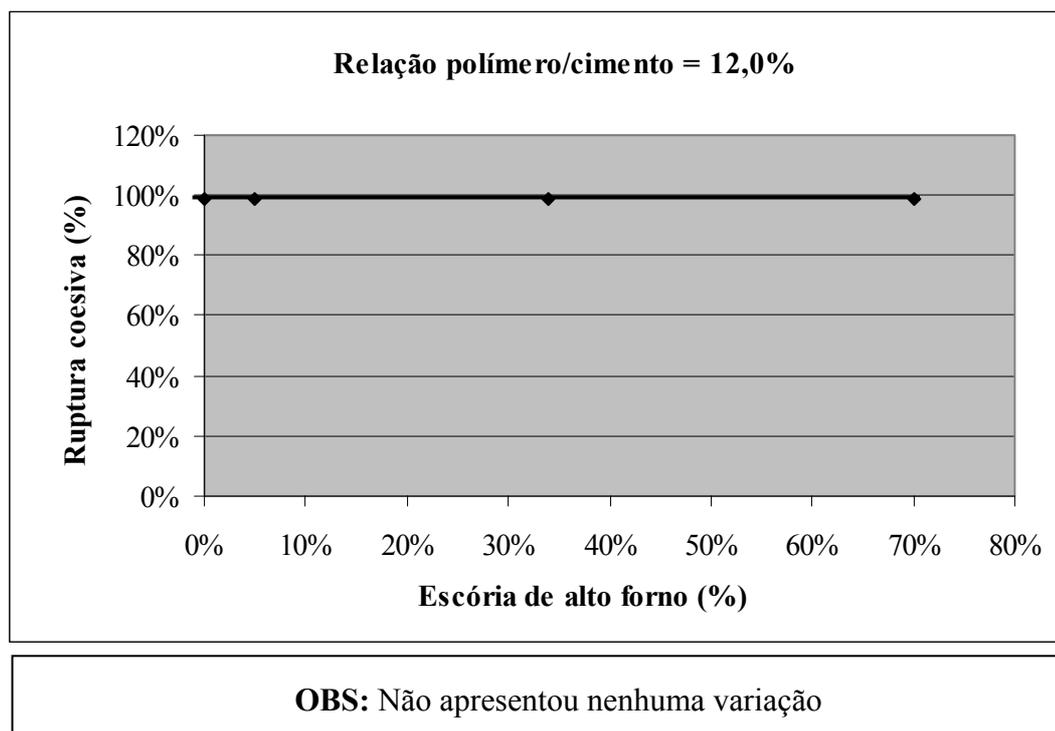


Figura 6.8 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 12,0% (em campo – concreto)

A relação polímero/cimento = 12,0 não apresentou variação no comportamento do tipo de ruptura independente da quantidade de escória de alto forno.

6.4.2. Ensaio de resistência de aderência à tração em painéis de teste com substrato padrão como base (em laboratório)

6.4.2.1. Avaliação da relação polímero/cimento

- **3% de escória de alto forno – CPV ARI PLUS + sílica ativa:**

Na figura 6.9 tem-se um gráfico que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco utilizando CPV ARI PLUS com adição de sílica ativa, obtido a partir dos resultados do ensaio de aderência realizados em laboratório.

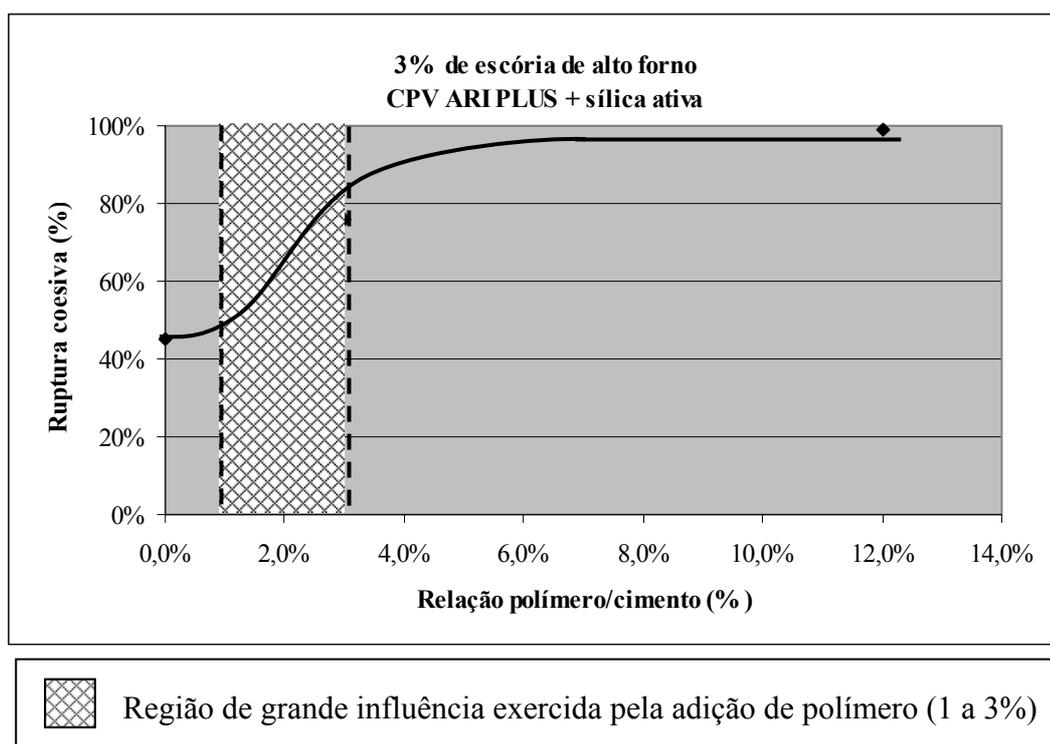


Figura 6.9 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS e sílica ativa (em laboratório – substrato padrão)

- **4% de escória de alto forno – CPV ARI PLUS:**

Na figura 6.10 tem-se um gráfico que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco utilizando CPV ARI PLUS, obtido a partir dos resultados do ensaio de aderência realizados em laboratório.

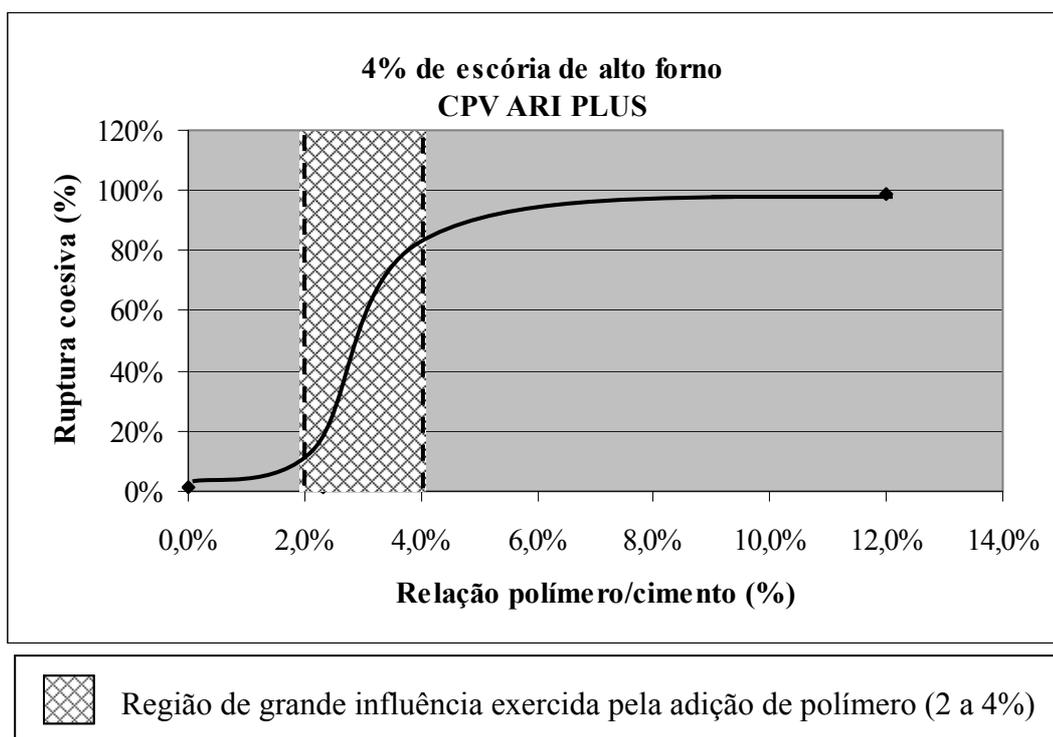


Figura 6.10 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS (em laboratório – substrato padrão)

- **32% de escória de alto forno – CII E 32:**

Na figura 6.11 tem-se um gráfico que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco utilizando CII E 32, obtido a partir dos resultados do ensaio de aderência realizados em laboratório.

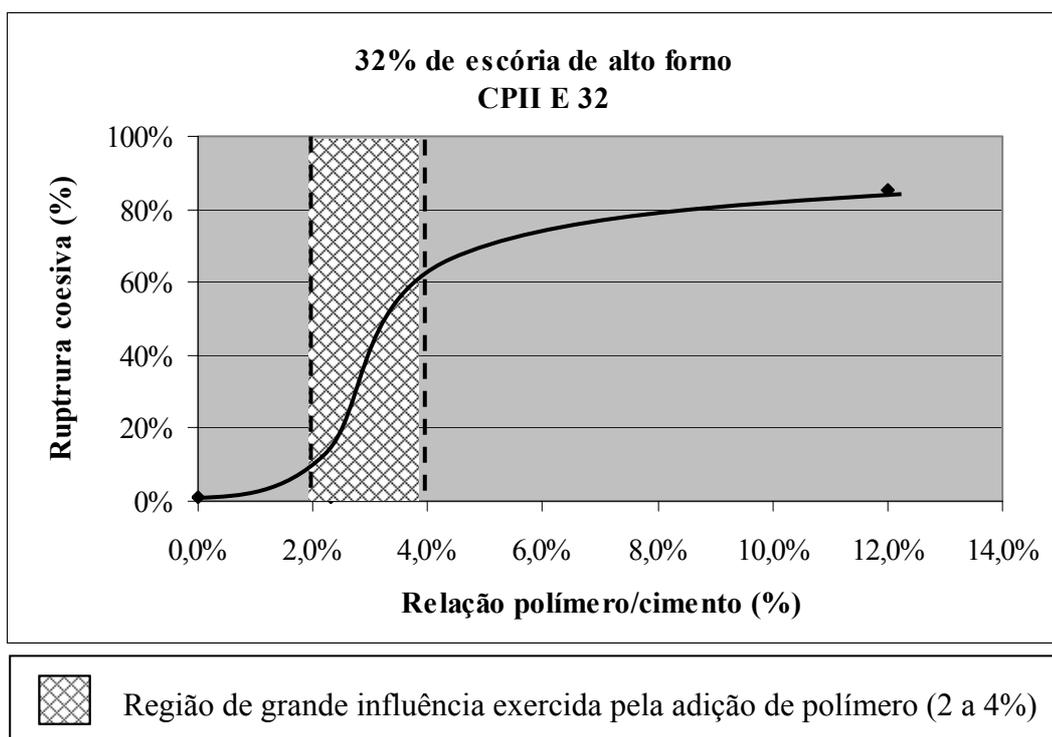
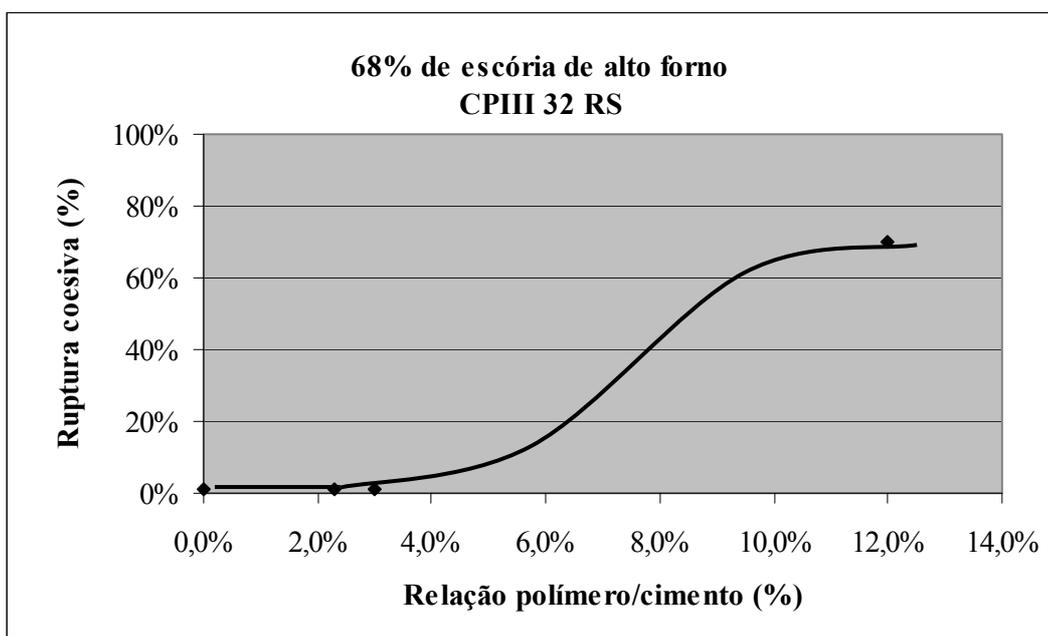


Figura 6.11 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CII E 32 (em laboratório – substrato padrão)

- **68% de escória de alto forno – CPIII 32 RS:**

Na figura 6.12 tem-se um gráfico que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco utilizando CPIII 32 RS, obtido a partir dos resultados do ensaio de aderência realizados em laboratório.



OBS: Não existe região de grande influência e sim uma tendência de comportamento

Figura 6.12 – Gráfico da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPIII 32 RS (em laboratório – substrato padrão)

6.4.2.2. Avaliação da influência do teor de escória de alto forno do cimento

- **Relação polímero/cimento = 0,0%:**

Na figura 6.13 tem-se um gráfico que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 0,0%, obtido a partir dos resultados realizados em laboratório.

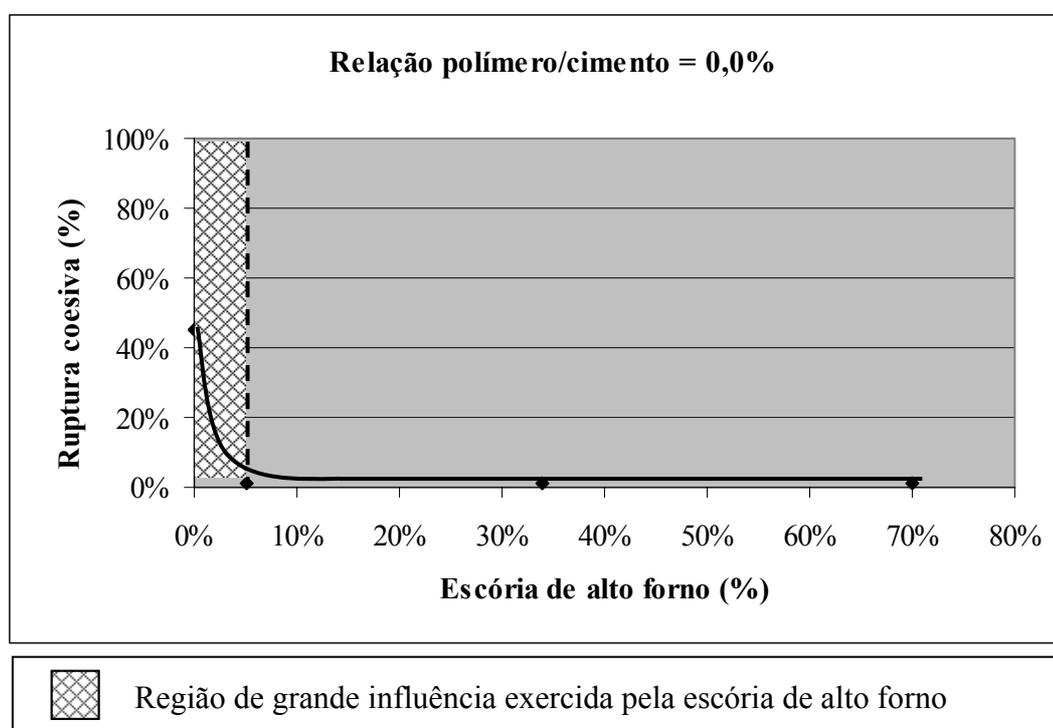


Figura 6.13 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 0,0% (em laboratório – substrato padrão)

Em laboratório também verifica-se a faixa de influência de até 5 % de adição de escória de alto forno nas argamassas de chapisco com relação polímero/cimento = 0,0%.

- **Relação polímero/cimento = 2,3%:**

Na figura 6.14, tem-se um gráfico que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 2,3%, obtido a partir dos resultados realizados em laboratório.

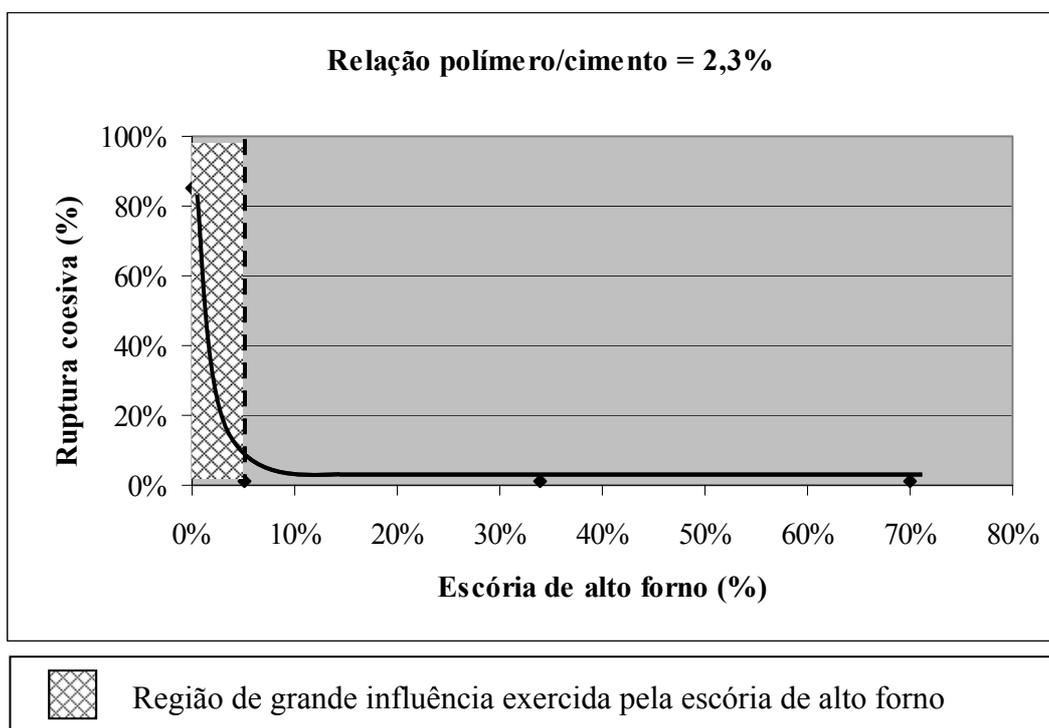


Figura 6.14 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 2,3% (em laboratório – substrato padrão)

Em laboratório também verifica-se a faixa de influência de até 5 % de adição de escória de alto forno nas argamassas de chapisco com relação polímero/cimento = 2,3%.

- **Relação polímero/cimento = 3,0%:**

Na figura 6.15, tem-se um gráfico que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 3,0%, obtido a partir dos resultados realizados em laboratório.

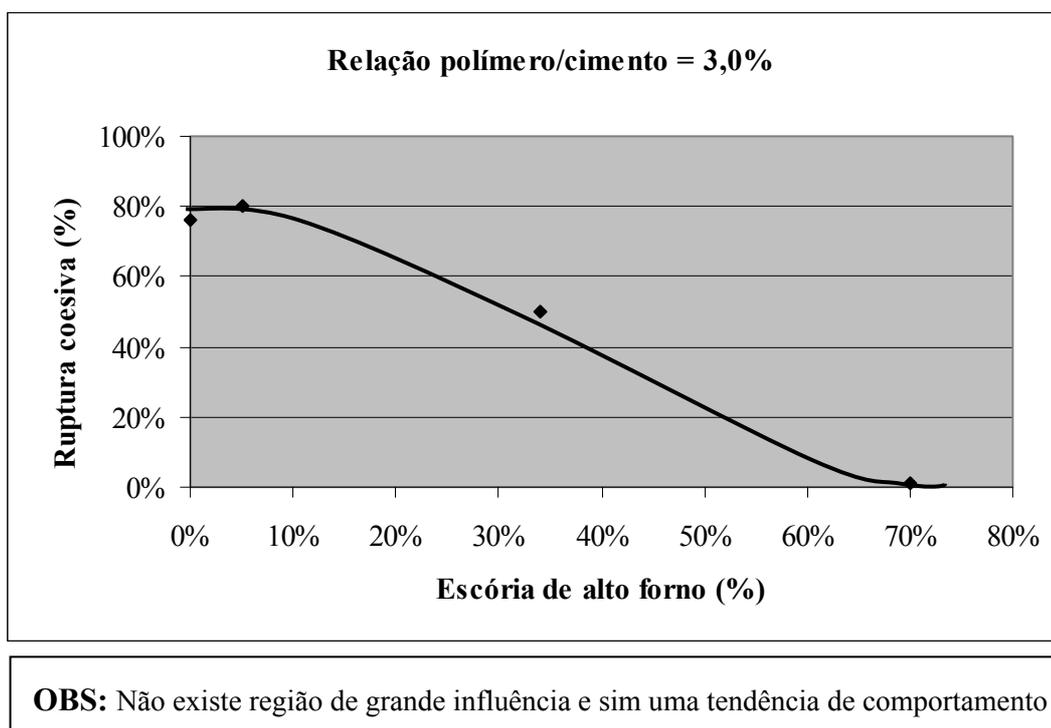
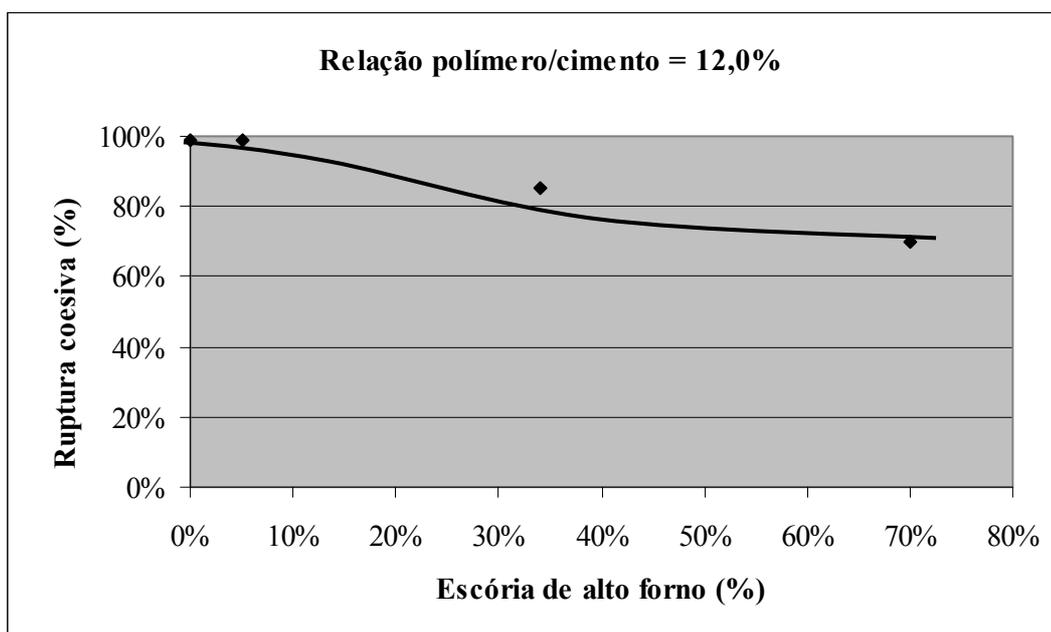


Figura 6.15 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 3,0% (em laboratório – substrato padrão)

- **Relação polímero/cimento = 12,0%:**

Na figura 6.16, tem-se um gráfico que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 12,0%, obtido a partir dos resultados realizados em laboratório.



OBS: Não existe região de grande influência e sim uma tendência de comportamento

Figura 6.16 – Gráfico da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 12,0% (em laboratório – substrato padrão)

6.4.3. Comparativo do comportamento de ruptura com base de concreto e substrato padrão

6.4.3.1. Avaliação da relação polímero/cimento

- **3% de escória de alto forno – CPV ARI PLUS + sílica ativa:**

Na figura 6.17 tem-se um gráfico comparativo que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS e sílica ativa, através dos resultados obtidos utilizando-se base de concreto e substrato-padrão.

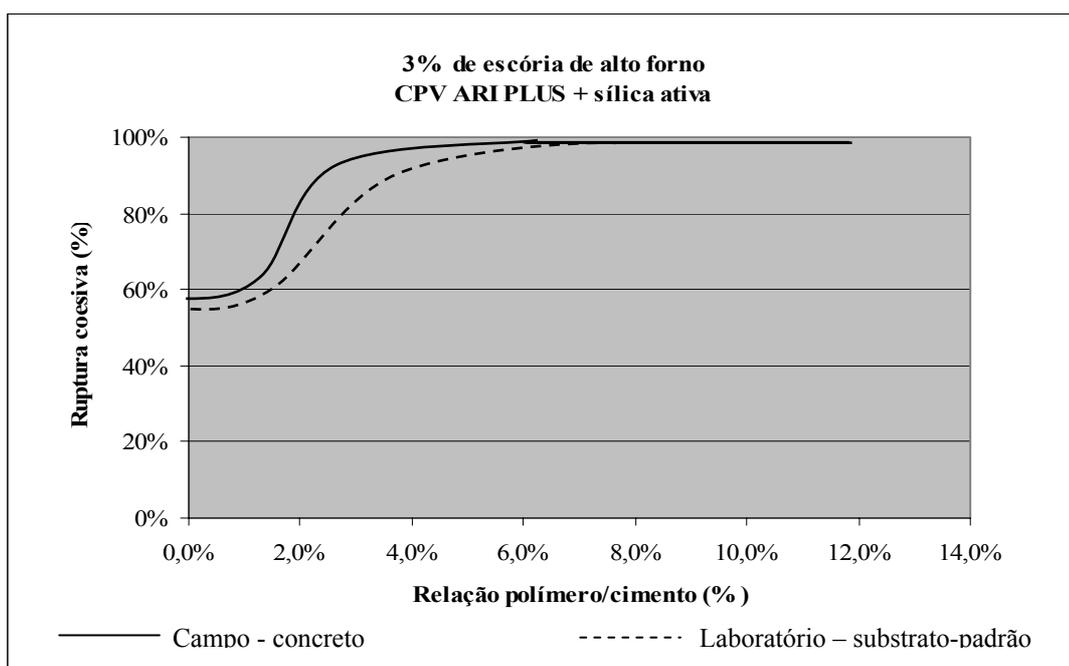


Figura 6.17 – Gráfico comparativo da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS e sílica ativa

O comparativo entre resultados, em obra e no laboratório, apresenta um comportamento uniforme e similar, ou seja, a base não alterou significativamente os tipos de ruptura em relação a variação polímero/cimento para o cimento CPV ARI PLUS com adição de sílica ativa.

4% de escória de alto forno – CPV ARI PLUS:

Na figura 6.18 tem-se um gráfico comparativo que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS, através dos resultados obtidos utilizando-se base de concreto e substrato-padrão.

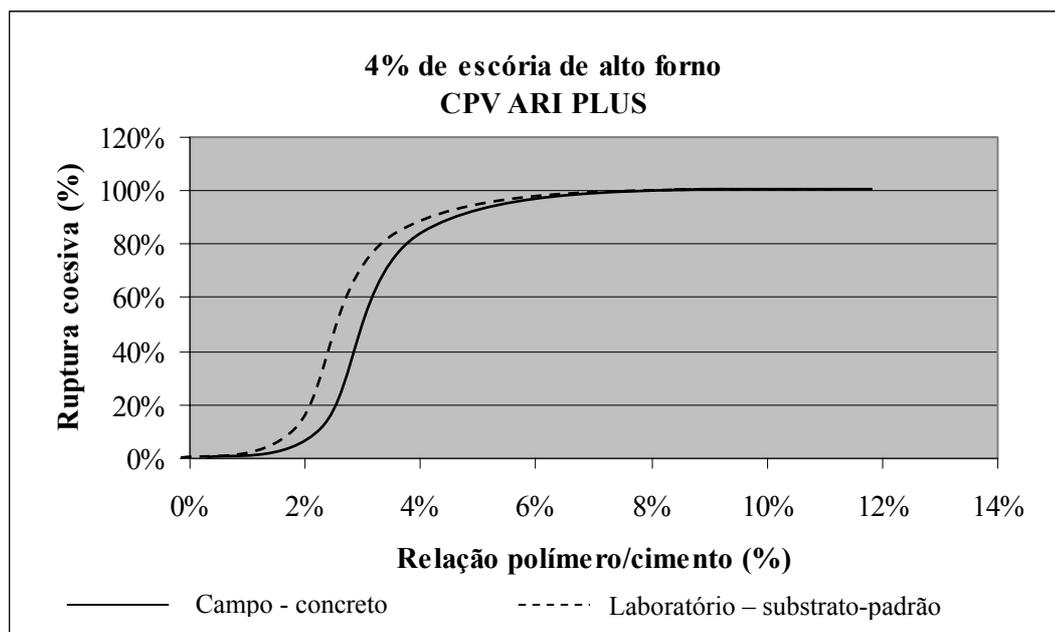


Figura 6.18 – Gráfico comparativo da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPV ARI PLUS

Nas duas situações, obra e laboratório, pode-se notar também a ocorrência da área de significativa alteração de comportamento na faixa de relação polímero/cimento de 2,0 a 4,0 %.

- **32% de escória de alto forno – CII E 32:**

Na figura 6.19 tem-se um gráfico comparativo que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CII E 32, através dos resultados obtidos utilizando-se base de concreto e substrato-padrão.

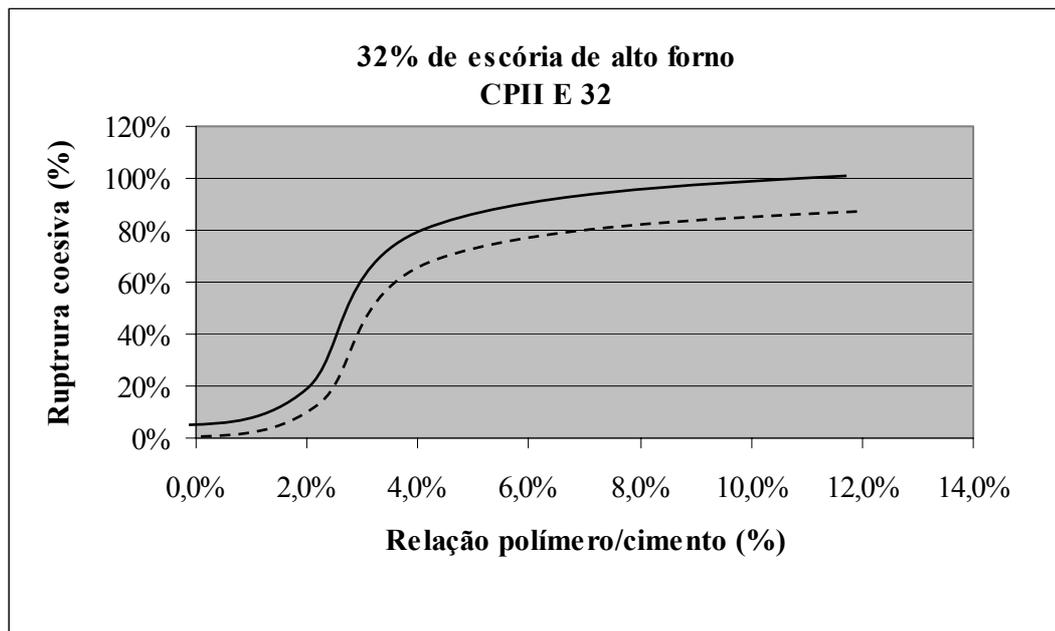


Figura 6.19 – Gráfico comparativo da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CII E 32

Para o cimento CII E 32, com 32% de escória de alto forno, o comportamento de aderência é similar variando a relação polímero/cimento e também registra a área de alteração significativa de 2,0 a 4,0 %.

- **68% de escória de alto forno – CPIII 32 RS:**

Na figura 6.20 tem-se um gráfico comparativo que mostra a influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPIII 32 RS, através dos resultados obtidos utilizando-se base de concreto e substrato-padrão.

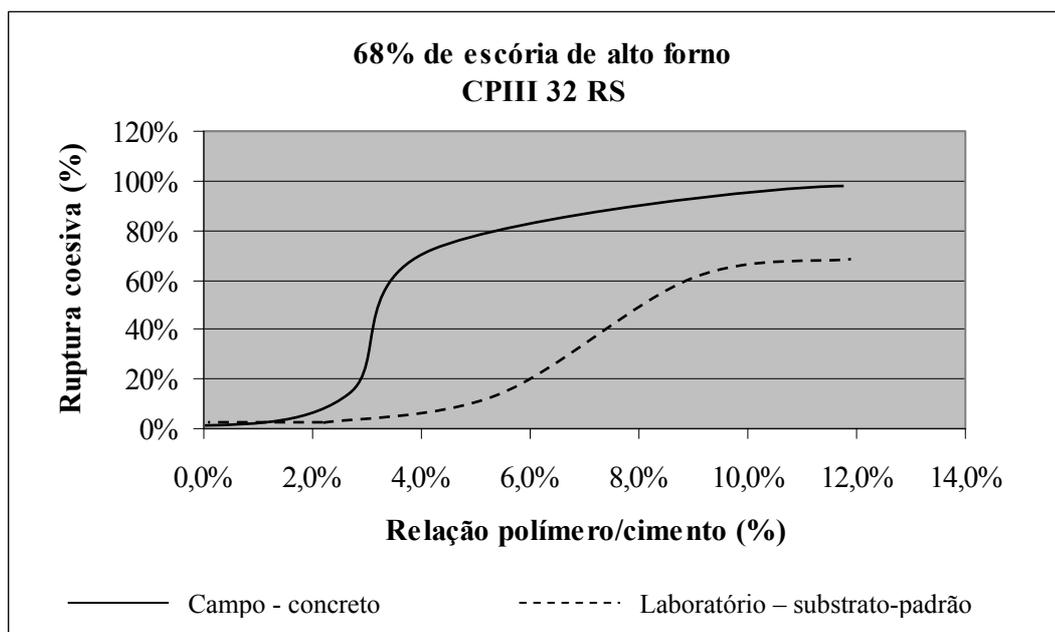


Figura 6.20 – Gráfico comparativo da influência da relação polímero/cimento na ruptura coesiva da argamassa de chapisco com CPIII 32 RS

Para o cimento com maior adição de escória de alto forno pode-se notar a área de alteração significativa, ou seja, não há controle das propriedades nesta relação 2,0 a 4,0%.

6.4.3.2. Avaliação da influência do teor de escória de alto forno do cimento

- **Relação polímero/cimento = 0,0%:**

Na figura 6.21, tem-se um gráfico comparativo que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 0,0%, através dos resultados obtidos utilizando-se base de concreto e substrato-padrão.

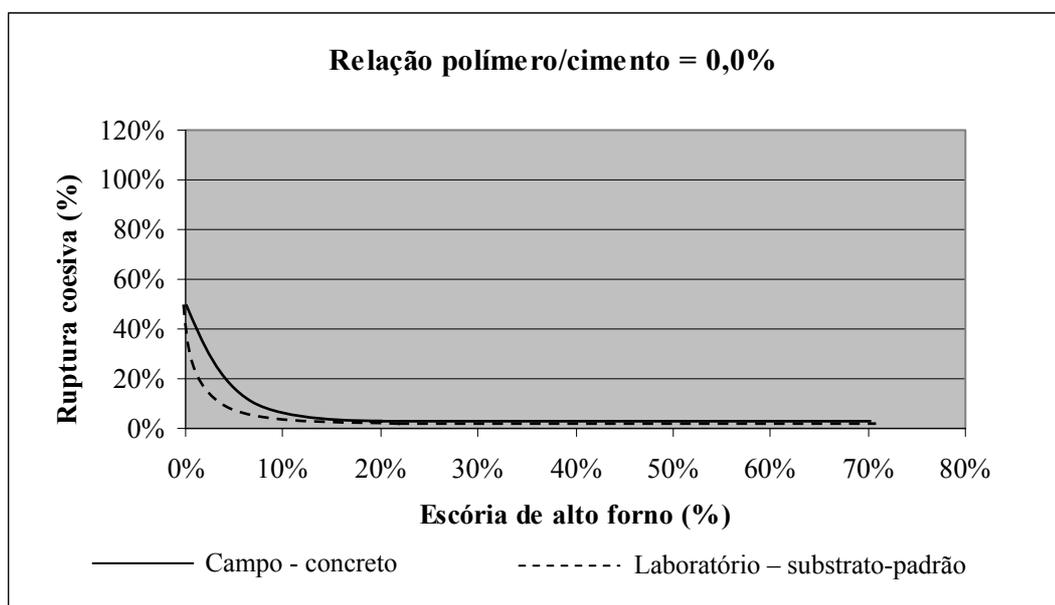


Figura 6.21 – Gráfico comparativo da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 0,0%

- **Relação polímero/cimento = 2,3%:**

Na figura 6.22, tem-se um gráfico comparativo que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 2,3%, através dos resultados obtidos utilizando-se base de concreto e substrato-padrão.

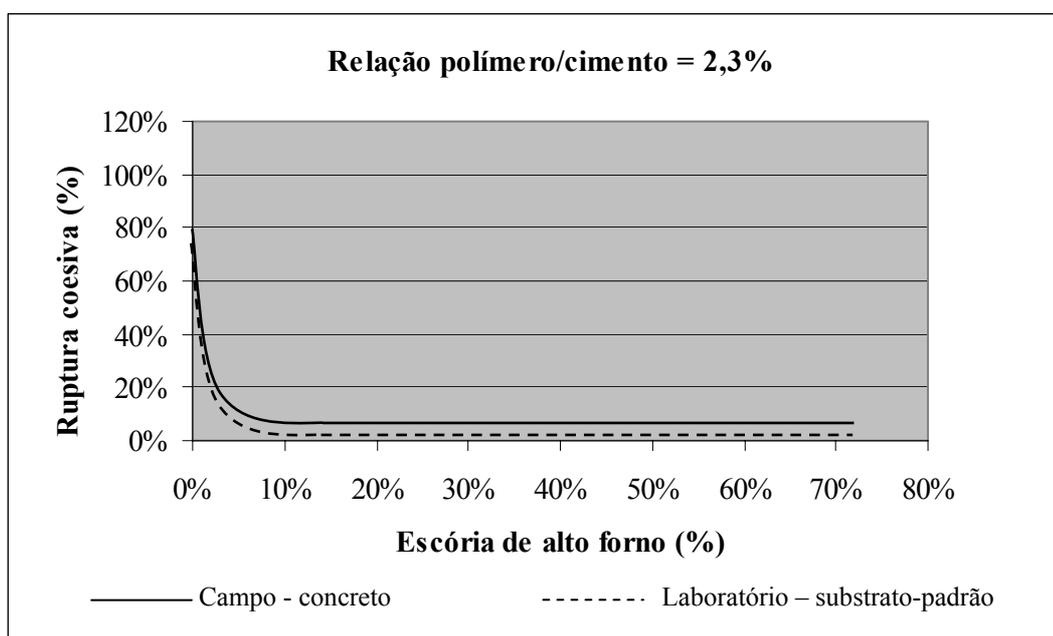


Figura 6.22 – Gráfico comparativo da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 2,3%

- **Relação polímero/cimento = 3,0%:**

Na figura 6.23, tem-se um gráfico comparativo que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 3,0%, através dos resultados obtidos utilizando-se base de concreto e substrato-padrão.

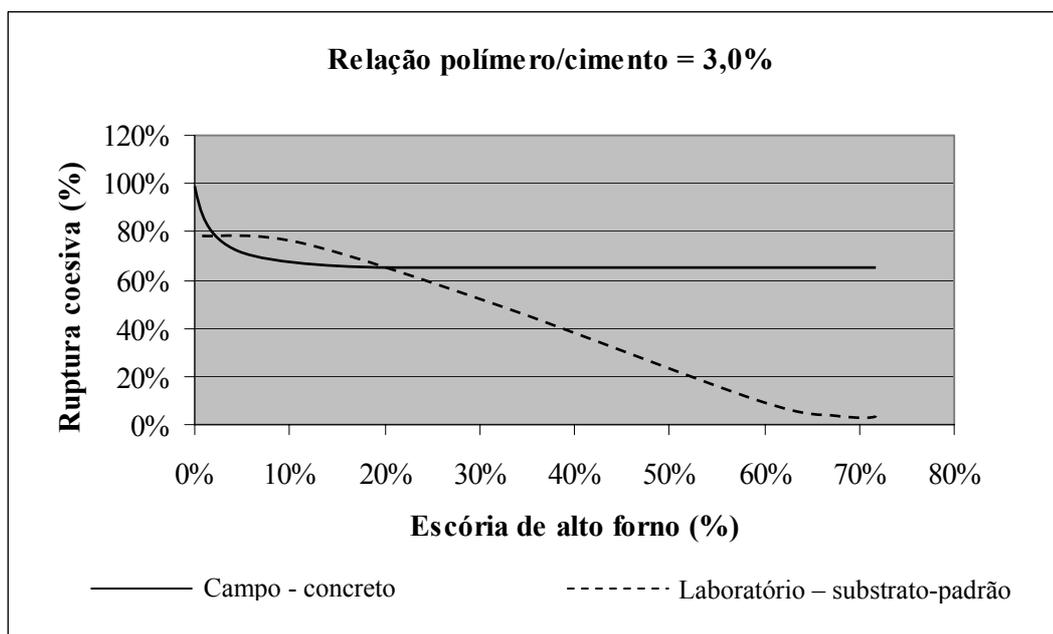


Figura 6.23 – Gráfico comparativo da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 3,0%

A reação polímero/cimento está na região de transição de grande interferência, conforme anunciado anteriormente (3,0 %). Portanto seu comportamento pode se alterar sem controle, principalmente em cimentos com adições maiores de escória de alto forno.

- **Relação polímero/cimento = 12,0%:**

Na figura 6.24, tem-se um gráfico comparativo que mostra a influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 12,0%, através dos resultados obtidos utilizando-se base de concreto e substrato-padrão.

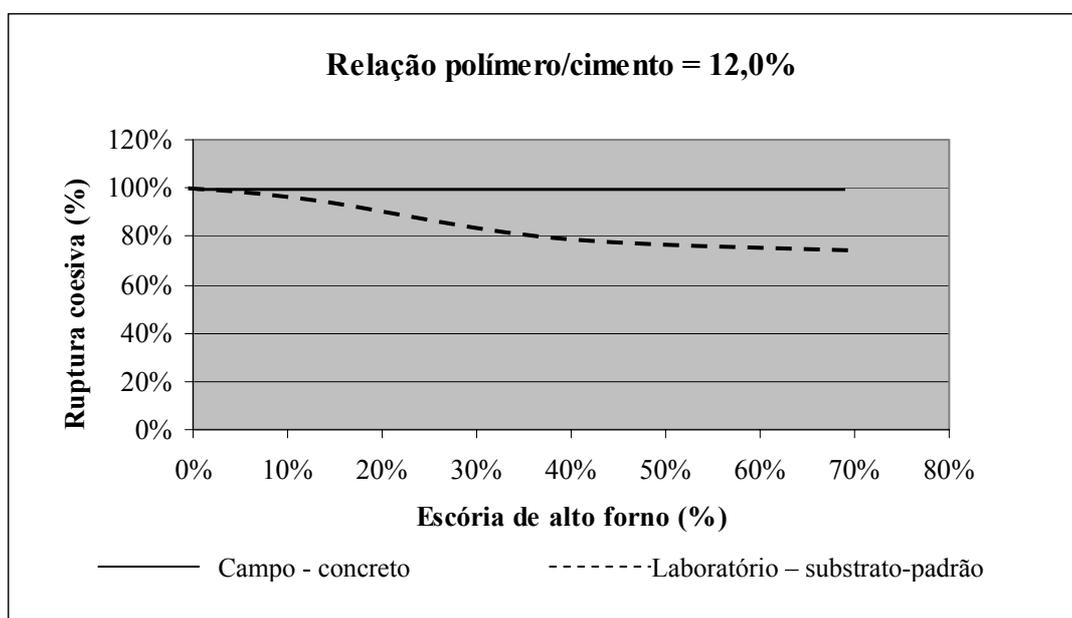


Figura 6.24 – Gráfico comparativo da influência do teor de escória de alto forno na ruptura coesiva das argamassas de chapisco com relação polímero/cimento igual a 12,0%

7. CONCLUSÕES

A pesquisa mostra a necessidade de aprimorar as especificações para argamassas de chapisco sobre superfícies de concreto, quanto as diversas variações principais verificadas:

- Tipo de cimento;
- Porcentagem de escória de alto forno no cimento;
- Tipo da cadeia do polímero utilizado;
- Relação polímero/cimento;
- Superfície específica do cimento;
- Teor de ar incorporado da mistura;
- Retenção de água da mistura;
- Relação água/cimento da mistura.

Considerou-se, pelos resultados obtidos, algumas afirmativas relevantes para o estudo de argamassas de preparo para revestimentos sobre estruturas de concreto:

- O cimento exerce um fator predominante no comportamento de aderência das argamassas sobre superfícies de concreto;
- A adição de escória de alto forno nos cimentos não deverá ser superior a 5%, para este tipo de utilização, ou seja, argamassa de chapisco sobre estrutura de concreto;
- A relação polímero/cimento na faixa de 2,0 a 4,0 % mostrou-se vulnerável a variações de controle de processo, quando da presença de escória de alto forno acima de 5%;
- A superdosagem de polímeros, relação polímero/cimento superior a 4,0%, interfere em propriedades importantes do sistema de revestimento pela formação de filme, perda de resistência à compressão e aumento do teor de ar incorporado.

- A difração de raios-X mostra a grande variação em relação aos cimentos com adição de escória de alto forno, das frações amorfa e cristalina dos cimentos, que justifica grandes variações no comportamento.
- A importância da superfície específica do cimento está relacionada ao desempenho, porém a adição de escória não favorece o ganho que esta superfície específica favorece.
- A adição de sílica ativa se mostra favorecer no comportamento de aderência, necessitando de novas pesquisas para avaliação do seu desempenho;

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. 7e. São Paulo, 2002. 28p.

AFRIDI, M. U. K. et al. Water Retention and Adhesion of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars. *Cement & Concrete Composites*, v.17, p. 113-118, 1995.

AFRIDI, M. U. K. et al. Strength and Elastic Properties of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars. *Cement and Concrete Research*, v. 24, p. 1199-1213, 1994.

AFRIDI, M. U. K. et al. A Note on the Comparison of Crack Resistance of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Crystals of Unmodified Mortar and Polymer-Modified Mortars in Carbonated Atmosphere. *Cement and Concrete Research*, v. 31, p. 1643-1645, 2001.

AFRIDI, M. U. K. et al. Behaviour of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Polymer Modified Mortars. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, v. 11, p. 235-244, 1989.

AFRIDI, M. U. K. et al. Morphology of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Polymer Mortars and Effect of Freezing and Thawing Action on its Stability. *Cement & Concrete Composites*, v. 12, p. 163-173, 1990.

AFRIDI, M. U. K. et al. Hydrogarnet-Type Cubic Crystals in Polymer-Modified Mortars. *Cement and Concrete Research*, v. 27, p. 1787-1789, 1997.

AFRIDI, M. U. K. et al. Effects of Polymer Modification on the Formation of High Sulphoaluminate or Ettringite-Type (Aft) Crystals in Polymer Modified Mortars. *Cement and Concrete Research*, v. 24, p. 1492-1494, 1994.

AFRIDI, M. U. K. et al. Morphological Characterization of Low Sulphoaluminate-Type (Afm) Crystals, Holloe-Tubes and Hollow-Crystals in Polymer-Modified Mortars. *Cement and Concrete Research*, v. 25, p. 271-275, 1995.

AGUILAR, M. T. P., CORRÊA, E. C. S., CARVALHO JR., A. N., CETLIN, P. R. Estudo do desempenho de argamassas de revestimento fabricadas com sílica ativa e escória. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM – INTERNACIONAL, 57, 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: ABM, 2002. p186-194.

AITCIN, P.C. *Concreto de Alto Desempenho*. 1 ed. São Paulo: Pini, 2000. 667p.

ALMEIDA, A. E. F. S.; SICHIERI, E. P. Estudo da influência da cura na aderência entre argamassas com adições poliméricas e placas de porcelanato. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: 2005.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMITEE reported by Connitee 116, *Cement and Concrete Terminology*, SP-19, 1985.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-C 125.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Philadelphia. ASTM C267-82 (Reapproved 1990) - Standard test method for chemical resistance of mortars, grouts and monolithic surfacings. 1994. apud CINCOTTO et al. *Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio* (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-C 270-82; Standard specification for mortar for unit masonry. 1982 apud FIORITO, A. J. S. I. *Manual de argamassas e revestimentos; estudos e procedimentos de execução*. 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 1994. 221p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Easton. ASTM C 67 – 97; Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. In: Annual Book of ASTM Standards. Easton, 1997, p43-44.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-C 780; Preconstruction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry. apud FIORITO, A. J. S. I. Manual de argamassas e revestimentos; estudos e procedimentos de execução. 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 1994. 221p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Philadelphia. ASTM C848-88 - Standard Test Method for Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Ceramic Whitewares by Resonance. 1999. 6p. apud CARVALHO, JR., A. N. et al. Avaliação de propriedades mecânicas de argamassas de revestimento confeccionadas com cimento, cal aditivada e areia (modificadas com adição de escória de alto forno); Relatório Técnico submetido a ICAL – Indústria de Calcinação Ltda. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia de Materiais e Construção/EE.UFMG, 2001. 118p.

APOSTILA FECHAMENTOS DAS ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS; Sistemas de Aplicação e Proteção para Evitar-se Patologias nas Obras. Monobeton Soluções Tecnológicas. São Paulo.

ARQUIVO FOTOGRÁFICO CONSULTARE. Belo Horizonte, 2005.

ARROBAS, A. A. M. N., DJANIKIAN, J. G. Argamassa dosada em central – O desempenho da plasticidade após 12 horas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. Anais... Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999. p73-83.

ASH, J. E.; HALL, M. G.; MELLAS, M. Estimations of Degree of Hydration of Portland Cement Pastes. Cement and Concrete Research, v.23, p. 399-406, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 5735; Cimento Portland de alto forno, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 5733; Cimento Portland de alta resistência inicial, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 5737; Cimento Portland resistência a sulfatos, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 5739; Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 5754; Cimento Portland – Determinação do teor de escória granulada de alto por microscopia, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 6118; Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1998. apud Curso Intensivo sobre Argamassas de Assentamento e Revestimento – CIARE, 18, 2001, Belo Horizonte. Revestimento de argamassas de paredes e tetos de edifícios; Projeto, execução e manutenção. São Paulo: ABCP, 1996. 57p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 7171; Bloco cerâmico para alvenaria. Especificação. Rio de Janeiro, 1992. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 7175; Cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 7200; Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 7211; Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 7215; Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1992. 8p. apud CINCOTTO et al. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 7218; Agregado – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 7220; Agregado – Determinação das impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo . Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 7222; Argamassas e concretos – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. 1982. apud CINCOTTO et al. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 7223; Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 8042; Bloco cerâmico para alvenaria – Formas e dimensões. Rio de Janeiro, 1992. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 8490; Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural – Retração por secagem. 1984. apud CINCOTTO et al. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 8947; Telha cerâmica – Determinação da massa e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 8947; Bloco cerâmico para alvenaria – Verificação da resistência à compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 8953; Concretos para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 9287; Argamassa de assentamento para alvenaria de bloco de concreto – Determinação da retenção de água. 1986. 6p. apud CINCOTTO et al. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 9778; Argamassas e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. 1986. apud CINCOTTO et al. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 9778; Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 9779; Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 11578; Cimento Portland composto, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 11768; Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 13277. Argamassa para revestimento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da retenção de água, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 13278. Argamassa para revestimento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 13279 – Argamassa para revestimento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 13281; Argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - especificação. Rio de Janeiro, 2001. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 13528; Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. 1995. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 13530; Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Classificação. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 13749; Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. 1996. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NBR 14082; Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas- Execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para. 2004. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NM 26 – Agregados - Amostragem, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NM 52 – Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NM 53 – Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. NM 65 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega, 2002.

ATZENI, C.; MASSIDDA, L.; SANNA, U. Dimensional Variations, Capillary Absorption and Freeza-Thaw Resistance of Repair Mortars Admixed with Polymers. Cement and Concrete Admixed with Polymers. Cement and Concrete Research, v.23, p. 301-308, 1993.

ATZENI, C.; MASSIDA, L.; SANNA, U. Dimensional Variations, Capillarity Absorption and Concrete Research, v. 23, p. 301-308, 1993.

BAUER, L. A. F. *Materiais de Construção*. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. 435p. V.1.

BEELDENS, A et al. From Microstructure to Macrostructure: an Integrated Model of Structure Formation in Polymer Modified Concrete. In: 4th SYPOSIUM ON POLYMERS IN CONCRETE, 2003, Chunchon, Korea. Proceedings...2003.

BOLETIM TÉCNICO BT-106, Guia Básico de Utilização do Cimento Portland, ABCP, São Paulo, 1994, 28p.

BONAPASTA, A. A. Interaction Between Ca Íons and Poly (acrylic acid) Chains in Macrodefect-Free Cements: A Theoretical Study. Chem. Mater., v. 13, p. 64-70, 2001.

BONAPASTA, F. Cross-Linking of Poly (vinyl alcohol) Chains by Ca Íons in Macro-Defect-Free Cements. Chem. Mater., v. 14, p. 1016-1022, 2002.

BRANDÃO, P. R. G. Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – CPGEM. EE.UFMG, 2001.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION.BS 4551. Methods of testing mortars, screeds and plasters. London, 1980. 31p. apud CINCOTTO et al. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

BUREAU, L et al. Mechanical Characterization of of a Styrene-Butadiene Modified Mortar. *Materials Science and Engineering A*, v. 308, p. 233-240, 2001.

CALHAU, E. L., TRISTÃO, F. A. Influência do teor de ar incorporado nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. Anais... Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999. p219-230.

CARASEK, H. Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos; avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1996. 285p. (Tese, Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana).

CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p133-146.

CARASEK, H., CASCUDO, O., CINCOTTO, M. A., DJANIKIAN, J. G. Microestrutura da interface argamassa/tijolo cerâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p469-483.

CARASEK, H., CASCUDO, O., SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

CARVALHO JR., A. N. Técnicas de Revestimento; Apostila do Curso de Especialização em Construção Civil. 1.ed. Belo Horizonte: DEMC- EE.UFMG, 1999. 54p.

CARVALHO, JR., A. N., GOMES, A. M., AGUILAR, M. T. P. Avaliação de propriedades mecânicas de argamassas de revestimento confeccionadas com cimento, cal aditivada e areia (modificadas com adição de escória de alto forno); Relatório Técnico submetido a ICAL – Indústria de Calcinação Ltda. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia de Materiais e Construção/EE.UFMG, 2001. 118p.

CARVALHO, JR., A. N., SILVA, A. P., NETO, F. M. Perícias em patologias de revestimentos de fachadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, X COBREAP, 1999, Porto Alegre. Anais em disquete (artigo nº 20)... Porto Alegre: IBAPE, 1999.

CAVANI, G. R., ANTUNES, R. P. N., JOHN, V. M. Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p110-119.

CAVANI, G. R., OLIVEIRA, M. C. B. Investigação das causas das fissuras e descolamentos de revestimento de argamassa de fachada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo Horizonte. Anais em disquete ... Belo Horizonte: IBRACON, 2002.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION – Hidrofuges de surfaces: choix et mise en oeuvre. Bruxelles, 1982. 24p. (Note D'Information Technique, 140). apud CINCOTTO et al. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB) – Modalités d'essais des enduits extérieurs d'imperméabilisation de mur à base de liants hydrauliques. Cahier n° 1779, 1982. apud GOMES, A. M., Caracterização de argamassas tradicionais utilizadas nos revestimentos exteriores dos edifícios. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico (IST), 1995. 269p. (Tese, Doutorado em Engenharia Civil).

CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÉLLO, F. S. S.; DA SILVA, S. A. C.; MATTOS, F. V. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA/ANTAC, 1997.

CHANDRA, S.; FLODIN, P., Interactions of polymers and organic admixtures on Portland cement hydration. Cement and Concrete Research, vol 17, p. 875-890, 1987

CHASE, G. W. Investigations of the interface between Brick and Mortar. The Masonry Society Journal, v.3, n.2, pT1-T9, 1984. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Departament of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

CINCOTTO, M. A. Patologias das argamassas de revestimentos: análise e recomendações. In: VÁRIOS. Tecnologia das Edificações (Publicação IPT 1801). 2.ed. São Paulo: Editora Pini, 1989. p549-554.

CINCOTTO, M A., BOLORINO, H. A influência do tipo de cimento nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA/ANTAC, 1997. p15-25.

CINCOTTO, M. A., SILVA, M. A. C., CARASEK, H. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

CIARE - Curso Intensivo sobre Argamassas de Assentamento e Revestimento, 18, 2001, Belo Horizonte.

DÉTRICHÉ, C. H. et al. Influence des paramètres de mise en oeuvre et de composition sur le comportement des mortiers d'enduit. *Matériaux et Constructions*, v.18, n.105, p193-200,1985. apud CARASEK et al. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Berlim. DIN 52615 – Testing of thermal insulating materials: determination of water vapour (moisture) permeability of construction and insulating materials.1987. 5p. apud CINCOTTO et al. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

DUPIN, I.; DÉTRICHÉ, C. H.; MASO, J. C. Accrochage direct d'un enduit sur un isolant par une liaison de type mécanique dans le cadre d'un procédé d'isolation par l'estérieur. *Matériaux et Constructions*, v.21, p370-378, 1988. apud CARASEK et al. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

FERREIRA, A. O. M., LARA, D. S., FRANÇA, E. P., SILVA, L. P., ROCHA, G. G. N., SOUZA, M. G., NASCIMENTO, O. L. VIEIRA, P. L. P., ALONSO, R. Z., REIS, R. J. P. Projeto Argamassa; Projeto de Desenvolvimento Experimental de Argamassas. Relatório Técnico 1.ed. Belo Horizonte, 1996. 302p.

FIORITO, A. J. S. I. Manual de argamassas e revestimentos; estudos e procedimentos de execução. 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 1994. 221p.

GALLEGOS, H. Adhesion entre el mortero y las unidades de albañilería. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I, 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p117-133.

GODOY, E. H. P., BARROS, M. M. S. B. Contribuição ao estudo da influência do teor de polímero nas propriedades das argamassas de cimento Portland. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. Anais... Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999. p249-265.

GOLDSTEIN et al. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis; A Text for Biologists, Materials Scientists, and Geologists. 2.ed. New York: Plenum Press, 1992. 820p.

GOMES, A. M., Caracterização de argamassas tradicionais utilizadas nos revestimentos exteriores dos edifícios. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico (IST), 1995. 269p. (Tese, Doutorado em Engenharia Civil).

GOMES, C. E. M.; FERREIRA, O. P. Influência da adição de fibras sintéticas na resistência de aderência das argamassas colantes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: 2005.

GRIGOLI, A. S. Argamassa contendo entulho de obra – Procedimento de molhagem antes do uso para melhoria do desempenho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p249-262.

GROOT, C. J. W. P. The Characteristics of Brick and Mortar Considering Mortar/Brick Bond. In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 11th, 1997, Shanghai. Proceedings ...Shanghai: Tongji University, 1997. p50-58. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

GUIMARÃES, J. E. P. A Cal; Fundamentos e Aplicações na Construção Civil. 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 1997. 285p.

IOPPI, P. R., PRUDÊNCIO, L. R., IRIYAMA, W. J. Estudo da absorção inicial de substratos de concreto: metodologias de ensaio e influência na aderência das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I, 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p93-102.

ISBERNER, A. W. Properties of masonry cement mortars. In: Designing engineering and constructing with masonry products. Houston, Gulf, 1969. p42-50 apud SABBATINI, F. H. Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente; Estudo Técnico ET-91. 2.ed.São Paulo: ABCP, 1998. 44p.

ISENBURG, J. E.; VANDERHOFF. J. W. Hypothesis for Reinforcement of Portland Cement Polymer Latexes Journal of The American Ceramic Society, v. 57, p. 242-245, 1974.

JANOTKA, L et al. Behaviour of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in the Presence of the Set Styrene-Acrylate Dispersion. Cement and Concrete Research, v. 26, p. 1727-1735, 1996.

JENNINGS, H. M.; KJELLEN, K. O.; LAGERBLAD, B. Hollow-Shell Formation – An Important Mode in the Hydration of Portland Cement. Journal of Materials Science, v.32, p. 2921-2927, 1997.

JENNINGS, H. M.; SONG, S. Pore Solution Chemistry of Alkali-Activated Ground Granulated Blast-Furnace Slag. *Cement and Concrete Research*, v. 29, p. 159-170, 1999.

JENNINGS, H. M.; ZAMPINI, D.; SHAH, S. P. Early Age Microstructure of the Paste-Aggregate Interface and its Evolution. *Journal of Materials Research*, v. 13, p. 1888-1898, 1998.

KAMPF, L. Factors affecting Bond of Mortar to Brick. Symposium on Masonry Testing, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM STP 1063, p217-234. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

KIM, J. H.; ROBERTSON, R. E. Prevention of Air Void Formation in Polymer-Modified cement Mortar by Pre-Wetting. *Cement and Concrete Research*, v. 27, p. 171-176, 1997.

KIM, J. H.; ROBERTSON, R. E. Effects of Polyvinyl Alcohol on Aggregate-Paste Bond Strength and Interfacial Transition Zone. *Advanced Cement Based Materials*, v. 76, p. 66-76, 1998.

KIM, J. H.; ROBERTSON, R. E.; NAAMAN, A. Structure and Properties of Poly(vinyl alcohol)-Modified Mortar and Concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 29, p. 407-415, 1999.

KROPP, J., “Relations Between Different Types of Permeability and Selected Durability Characteristics of Concrete” Draft Report, RILEM TC 116-PCD 1990.

KURODA, M., WATANABE, T., TERASHI, N. Increase of bond strength at interfacial transition zone by use of fly ash. *Cement and Concrete Research*, Artigo obtido via internet: Elsevier Science Ltd. v. 30, p253-258, 2000.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – FE Pa 25 – Ficha de Ensaio – Revestimentos de paredes – Ensaio de choque da esfera. Lisboa, 1980. 3p. apud CINCOTTO et al. *Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378)*. 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

LANGE, D. A., DEFORD, H. D., AHMED, A. Microstructure and Mechanisms of Bond in Masonry. In: NORTH AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 7th, 1996, South Bend. Proceedings ...South Bend: University of Notre Dame, 1996. p167-174. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

LANGE, D. A., DEFORD, H. D., WERNER, A. M. Microstructural Investigation of Mortar/Unit Interaction. *Journal of The Masonry Society*, p31-42, 1999. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

LARBI, J. A.; BIJEN, J. M. J. M. Interaction of Polymers with Portland Cement Durind Hydration: a Study of the Chemistry of the Pore Solution. *Cement and Concrete Research*, v.20, p. 139-147, 1990.

LAWRENCE, S. J., CAO, H. T. An Experimental Study of the Interface between Brick and Mortar. In: AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 4th, 1987, Los Angeles. Proceedings ...Los Angeles, 1987. p48/1-48/14. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

LAWRENCE, S. J., CAO, H. T. Microstructure of The Interface Between Brick and Mortar. In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 8th, 1988, Dublin. Proceedings ...Dublin: DeCourcy, J. W., Ed., v1, 1988. p194-204. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

LAWRENCE, C. D. “Transport of oxygen through concrete in Chemistry and Chemically related Properties of Cement” (British Ceramic Society, London, 1984.

LEVY, S. M.; MARTINELLI, F. A.; HELENE, P. R. L. A influência de argamassas endurecidas e resíduos cerâmicos, finamente moídos, nas propriedades de novas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: 1997.

LEVY, S. M., HELENE, P. R. L. Reciclagem de entulhos na construção civil, a solução política e ecologicamente correta. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I, 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p315-325.

MANSUR, A. A. P. Mecanismos Físico-Químicos da Interface Argamassa Modificada com Polímeros/Cerâmica de Revestimento, Proposta de Tese de Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2004.

MARCIANO, JR., E.; KIHARA, Y. Potencialidade do uso de escórias não convencionais de níquel como material pozolânico. In: 3º Congresso Brasileiro de Cimento, São Paulo, 1993.

McGINLEY, W. M. IRA and The flexural Bond Strength of Clay Brick Masonry, Masonry: Components to assemblages, Matthys, J. H., Ed., AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM STP 1063, p217-234. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

MEHTA, P. K. Concrete, Structure, Properties and Materials. New York: Prentice-Hall, Inc, 1986. 450p. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

MEHTA P. K., MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*. 1 ed. São Paulo: Pini, 1994. 581p.

MIRANDA, L. F. R., SELMO, S. M. S. Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem – parte I. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. Anais... Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999. p295-307.

MIRANDA, L. F. R., SELMO, S. M. S. Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem – parte II. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p225-236.

MOROPOULOU, A., BAKOLAS, A., BISBIKOU, K. Physico-chemical adhesion and cohesion bonds in joint mortars imparting durability to the historic structures. *Construction and Building Materials*, Artigo obtido via internet: Elsevier Science Ltd. v. 14, p35-46, 2000.

MULLER, M. S. K., BUNCHER, H. R. E. Argamassas semiprontas para revestimento de superfícies e assentamento de alvenaria. In: 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 1993, São Paulo. Anais... São Paulo: ABCP, 1993. p657-676.

MURRAY, I. H. The adhesion of cementitious render to a brick background. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LOAD BEARING BRICKWORK, 8, 1983. Proceedings. London: BCS, 1983. P1-12. apud CARASEK et al. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Tradução Salvador E. Giammusso, 2.ed. São Paulo: Editora Pini, 1997. apud CARASEK et al. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

OHAMA, Y. Polymer-based Admixtures, *Cement and Concrete Composites*, vol. 20, 1998, p. 189-212.

OHAMA, Y. Recent Progress in Concrete-Polymer Composites. *Advn. Cem, Bas. Mat.*, v. 5, p. 31-40, 1997.

OLLITRAULT-FICHET, R.; GAUTIER, C.; CLAMEN, G.; BOCH, P., Microstructural aspects in a polymer-modified cement. *Cement and Concrete Research*, vol 28, n12, pp. 1687-1693, Elsevier Science, 1998.

OLIVEIRA, J. A. C., BAUER, E. Análise comparativa das alterações das propriedades dos revestimentos com polímeros base látex. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. Anais... Vitória: PPGE/ANTAC, 1999. p281-292.

OLIVEIRA, J.; SILVA, D. A. Efeito da saturação e secagem pós-saturação na aderência entre argamassa colante e porcelanato. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: 2005.

OPPERMANN, B., RUDERT, V. Untersuchungen zur verbesserung des haftverbundes mörtel/stein. Zement-Kalk-Gips, n.1, 1983 apud CARASEK et al. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p43-67.

PADILHA A. F., AMBROZIO FILHO, F. Técnicas de Análise Microestrutural. 1.ed. São Paulo: Editora Hemus, 1985. 190p.

PAES, I. N. L.; ANDRADE, M. A. S.; ANGELIM, R. R.; HASPARYK, N. P.; OLIVEIRA, R. A.; PASSOS, J. S.; THON, D. G.; CARASEK, H. O efeito dos finos de calcário nas propriedades da argamassa de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. Anais... Vitória: PPGE/ANTAC, 1999.

PANDEY, S. P.; SHARMA, R. L. Influence of Mineral Additives on the Hydration Characteristics of Ordinary Portland Cement. Cement and Concrete Research, v. 29, p. 1525-1529, 1999.

PAULON, A. V. *Estudos da Microestrutura da Zona de Transição entre a Pasta de Cimento e o Agregado*, Tese Doutorado em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1991.

PETRUCCI, E.G.R. *Materiais de Construção*. 3 ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1978. 435p.

QUARCIONI, V. A.; CINCOTTO, M. A.; CHOTOLI, F. F. Caracterização da Composição de Argamassas de Assentamento e de Revestimento – I: Reconstituição de Traço. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória.

RAO, G. A.; PRASAD, R. Influence of Roughness of Aggregate Surface on the Interface Bond Strength. *Cement and Concrete Research*, v. 32, p. 253-257, 2002.

REDA, M. N., SHRIVE, N. G. Enhancing Masonry Bond Using Fly Ash. *Masonry International - Journal of The British Masonry Society*, v14, n.1, p9-17, 2000. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Department of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

REGATTIERI, C. E. X. Contribuição ao estudo da influência da dosagem do concreto na absorção capilar e penetração de íons cloreto. São Paulo, 1998. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 237p

REGATTIERI, C.E.X., et al., Durabilidade das Estruturas de Concreto: Novas Metodologias para Avaliação da Permeabilidade ao Ar . VI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Rio de Janeiro, Novembro de 1995.

REIS, R. J. P. A influência de areias artificiais de rochas britadas na estrutura e nas propriedades de concretos de cimento Portland, Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2004, 201p.

RELATÓRIO TÉCNICO nº CC-T-702 (2004), da empresa Carlos Campos Consultoria e Construções Ltda e referente a um estudo de traços de argamassas de revestimento

RENSBURG, J. J. J. et al. Factors influencing the bond strength calcium silicate bricks and mortar. Pretoria, Council for Scientific and Industrial Research, 1978. (CSIR Research Report 340) apud SABBATINI, F. H. Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente; Estudo Técnico ET-91. 2.ed. São Paulo: ABCP, 1998. 44p.

RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX. RILEM Recommendations MR 1-21: Testing methods of mortars and renderings, Paris, France. RILEM, 1982. apud CINCOTTO et al. Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

REVISTA SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS, número 17, 1999.

RIBAS, M. Materiais de Construção. 2ed. São Paulo: Editora PINI, 1991. 267p.

RIBEIRO, C. C. PINTO, J. D. S., STARLING, T. Materiais de Construção Civil. 2ed. Belo Horizonte: Editora UFMG e Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 102p.

RIGO, S. C. A. *Desenvolvimento e Aplicação de uma Metodologia para Caracterização e Análise Estrutural de Concretos de Cimento Portland*; Tese de Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia, UFMG. Belo Horizonte, 1998. 410p.

RIPPER, E. Manual prático de materiais de construção. 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 1995. 252p.

RODRIGUES, M. P. S. F. F. Revestimentos de impermeabilização de paredes à base de ligantes minerais. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico (IST), 1993. 278p. (Dissertação, Mestrado em Construção).

ROSSIGNOLO, J. A., AGNESINI, M. V. C. Propriedades da argamassa de cimento Portland modificada com látex estireno-butadieno para revestimentos de fachadas – Estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. Anais... Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999. p267-279.

SABBATINI, F. H. Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente; Estudo Técnico ET-91. 2.ed.São Paulo: ABCP, 1998. 44p.

SABBATINI, F. H. Argamassas; notas de aula da disciplina Materiais de Construção Civil. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, 1981.

SABBATINI, F. H. O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico calcária. São Paulo: EPUSP/DECC, 1984. (Dissertação, Mestrado em Construção).

SAKAI, E.; SUGITA, J. Composite Mechanism of Polymer Modified Cement. Cement and Concrete Research, v. 25, p. 127-135, 1995.

SARAIVA, A. G. BAUER, E.; BEZERRA, L. M. Estudo de algumas propriedades de interesse das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. Anais... Vitória: 1999.

SCANDIUZZI, L.; ANDRIOLLO, F.R.. *Concreto e seus materiais: Propriedades e ensaios*, 1986.

SCRIVENER, K. L. Backscattered Electrons Imaging on Cimentitious Microstructures: Understanding and Quantification. Cement and Concrete Composites, 2004. In Press.

SENNA, D. O.; SOUZA, L. R. M. V.; SILVA, F. G. S.; COSTA, E. A. L. Análise da influência das diferentes águas de amassamento utilizadas na produção das argamassas inorgânicas de revestimento de paredes e tetos produzidas na cidade de Feira de Santana-BA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V, 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: 2003.

SHARP, J. H.; ESCALANTE-GARCIA, J. J. Effect of Temperature on the Hydration of the Main Clinker Phases in Portland cements: Part I, Neat Cements. *Cement and Concrete Research*, v. 28, p. 1245-1257, 1998.

SILVA, M. R. Técnicas de observação e análise. Brasília, UNB, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. 1996, 22 p. (Notas de Aula).

SILVA, A. S. R.; SILVA Fº, A. F.; AZEVEDO, M, T; MATTOS, E. G. Argamassa inorgânica com o emprego de entulho reciclado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: 1997.

SILVA, V. S., LIBÓRIO, J. B. L. Estudo da aderência de argamassas de revestimentos e chapiscos em estruturas de concreto armado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo Horizonte. Anais em CD... Belo Horizonte: IBRACON, 2002.

SILVA, V. S.; LIBÓRIO, J. B. L. Avaliação do efeito da sílica extraída da casca de arroz na aderência de argamassas e chapiscos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V, 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: 2003.

SKOG, D. A.; LEARY, J. J. Principles of instrumental analysis. 4º ed., Fort Worth: Saunders College Publishing, 1992, 814 p.

SILVA, D. A.; ROMAN, H. R.. Caracterização Microestrutural de Pastas de Cimento Aditivadas com Polímeros HEC e EVA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS – IV SBTA, 2001, Brasília, Brasil. Anais...São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica Ltda., 2001. p. 15-

SOUZA, R., MEKBEKIAN, G., FRANCO, L. S., BARROS, M. M. S. B., ASSAHI, P. N., UEMOTO, K. L. Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras. 1ed. São Paulo: Editora Pini, 1996. 275p.

SU, Z. et al. The Evolution of the Microstructure in Styrene Acrylate Polymer-Modified Cement Pastes at the Early Stage of cement Hydration. *Advanced Cement Based materials*, v. 3, p. 87-93, 1993.

SU, Z.; BIJEN, J. M. J. M.; LARBI, J. A. Influence of Polymer Modification on the Hydration of Portland Cement. *Cement and Concrete Research*, v. 21, p. 242-250, 1991.

SU, Z. at al, The Evolution of the Microstructure in Styrene Acrylate Polymer-Modified Cement Pastes at the Early Stage of Cement Hydration. *Advanced Cement Based materials*, v. 3 p. 87-93, 1993.

SUGO, H. O. Strength and Microstructural Characteristics of Brick/Mortar Bond. Newcastle: University of Newcastle, 2001. (Tese, Doutorado no Departament of Civil, Surveing and Environmental Engineering). apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: *CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM*, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Departament of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

SUGO, H. O., PAGE, A. W., LAWRENCE, S.J. The development of mortar/unit bond. In: *CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM*, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Departament of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

SUGO, H. O., PAGE, A. W., LAWRENCE, S. J. Characterization of Bond Strengths of Mortars with Clay Masonry Units. In: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 11th, 1997, Shanghai. Proceedings ...Shanghai: Tongji University, 1997. p59-68. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Departament of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

TAHA, M. M. R., EL-DIEB, A. S., SHRIVE, N. G. Sorptivity: A Reliable Measurement for Surface Absorption of Masonry Brick Units, In Press, Materials and Structures, RILEM, 2001, France. apud TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Departament of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

TAHA, M. M. R., SHRIVE, N. G. The use of pozzolans to improve bond and bond strength. In: CANADIAN MASONRY SYMPOSIUM, 9th, Fredericton. Artigo obtido via internet: Departament of Civil Engineering – University of New Brunswick, 2001.

TAUBE, C. R.; GAVA, G. P.; COURI PETRAUSKI, S. M. F. Avaliação das propriedades de uma argamassa de revestimento industrializada em comparação a uma argamassa produzida em obra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V, 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: 2003.

TAYLOR, H. F. W. Cement Chemistry. 2ed. London: Thomas Telford Publishing, 1997.

TEZUKA, Y. Guia de Utilização de Cimentos Hidráulicos, ABCP, São Paulo, 1988, 49p.

TEZUKA, Y.; MARTINS, J. M.; DJANIKIAN, J. G. Influência na cinética da hidratação do cimento Portland com adição de filler calcário. In: 3º Congresso Brasileiro de Cimento Portland, São Paulo, 1993.

TORRENT R.J., EBENSBERGER L. Studie über “Methoden zur Messung und Beurteilung der Kennwerte des Überdeckungsbetons auf der Baustelle”, No. 506 Bundsamt für Strassenbau, Switzerland, Research Contract No. 89/89, January 1993.

TORRENT, R. J., FRENZER G. The Permeability of Cover Concrete – TORRENT Permeability Tester Operating Instructions - PROCEQ SA, Zurich. 1997 TORRENT, R.J. A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site - Materials and structures, , v.25, n. 150, pp.358-365 July1992

VAIDERGORING, E. Y. L. Características Químicas dos Cimentos Portland: Uma Abordagem Química. A Construção São Paulo, v.1869, p. 13-16, 1983.

YAZIGI, W. A técnica de edificar. 4ed. São Paulo: Editora Pini/Sinduscon-SP, 2002. 669p.

WU, K. R.; ZHANG, D.; SONG, J. M. Properties of Polymer-Modified cement Mortar Using Pre-Enveloping Method. Cement and Concrete Research, v. 32, p. 425-429, 2002.

ZHU, M., CHUNG, D. D. L. Improving brick-to-mortar bond strength by the addition of carbon fibers to mortar. Cement and Concrete Research, Artigo obtido via internet: Elsevier Science Ltd. v. 27, n. 12, p1829-1839, set. 1997.