

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL -PPGEC**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COLANTES  
SUBMETIDAS À SATURAÇÃO E SECAGEM**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

**JULIANA DE OLIVEIRA**

**Florianópolis, março de 2004**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COLANTES  
SUBMETIDAS À SATURAÇÃO E SECAGEM**

**JULIANA DE OLIVEIRA**

Dissertação julgada para obtenção do título de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

---

Prof. HENRIETTE LEBRE LA ROVERE, Ph.D. – COORDENADORA DO PPGE

---

Prof. DENISE ANTUNES DA SILVA, Dra. (UFSC) – ORIENTADORA

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. HUMBERTO RAMOS ROMAN, Ph.D. (UFSC)

---

Prof. WELLINGTON LONGUINI REPETTE, Dr. (UFSC)

---

Prof. MARIA ALBA CINCOTTO, Dra. (USP)

*Aos meus pais, Paulo e Vera,  
e minha irmã Marília.*

*“A mente que se abre para uma nova idéia,  
jamais voltará ao seu tamanho original.”*

*Albert Einstein*

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço à minha orientadora Denise pelo apoio, incentivo e confiança. Pela orientação e dedicação a este trabalho, contribuindo incansavelmente com discussões e melhoramentos.

Aos meus pais, Paulo e Vera, e minha irmã Marília pelo carinho, compreensão e incentivo, contribuindo essencialmente para meu desenvolvimento pessoal e profissional. E por me acompanharem inúmeras vezes ao laboratório em finais-de-semana.

Aos grandes amigos Miche e Zé, pela ajuda, incentivo e conselhos dados durante toda esta caminhada, especialmente nos últimos meses.

Aos professores Humberto, Maria Alba e Wellington pelas sugestões e contribuições dadas ao trabalho, professores Luis Gómez e Philippe pelo apoio e aos professores Maccarini, Narbal, Janaíde e Prudêncio agradeço a atenção e disponibilização de equipamentos imprescindíveis para a realização da pesquisa.

Ao professor José Luis Duarte Ribeiro, da UFRGS, pela contribuição nas análises estatísticas.

Aos companheiros do GDA e colegas de curso, em especial ao Avancini, Andréa, Georg's, Tina, Cledison, Débora, Odilar, Ju Casali, Giovanna, Mila e Léo, pelas discussões e companheirismo. À Luca pela companhia e diversos ensinamentos repassados em Laboratório. Ao Flávio pelas informações e contribuições bibliográficas. À Gabi e Fernanda pela amizade e conselhos.

À Tereza pela ajuda na realização dos ensaios e companheirismo.

Aos laboratoristas do LMCC, Luiz Henrique e Renato, pela ajuda e amizade, e em especial ao “Roque Jr.” pela efetiva colaboração e por seu contagiante senso de humor.

Ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida durante o último ano do curso, e ao FUNPESQUISA-UFSC pelo suporte financeiro.

À Cerâmica Urussanga S.A., na pessoa de Gilmar Menegon, à Argasuper e à Cimento Rio Branco S.A., em nome do amigo Daniel Baldissera, pela doação dos materiais empregados.

Por fim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, meu reconhecimento e gratidão.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES .....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Considerações iniciais e objetivos.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Motivação para a pesquisa e justificativa.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Estrutura da dissertação.....</b>	<b>4</b>
<b>2 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COLANTES ...</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Histórico da utilização de argamassas colantes .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 A utilização de polímeros .....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Látex de EVA .....	8
2.2.2 Éter de celulose HEC .....	9
<b>2.3 Influência dos polímeros no estado fresco .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Características e propriedades no estado endurecido .....</b>	<b>13</b>
2.4.1 Microestrutura de argamassas colantes .....	13
2.4.2 Propriedades mecânicas .....	16
2.4.3 Influência das condições ambientais .....	20
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Planejamento experimental .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Caracterização dos materiais .....</b>	<b>33</b>
3.2.1 Cimento .....	33
3.2.2 Areia .....	33
3.2.3 Copolímero acetato de vinila/etileno – EVA .....	35
3.2.4 Hidroxietil-celulose – HEC .....	37
3.2.5 Placa cerâmica – Porcelanato .....	39
<b>3.3 Dosagem e preparo das argamassas .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4 Condições de exposição dos corpos-de-prova .....</b>	<b>41</b>

<b>3.5 Ensaio no estado fresco .....</b>	<b>42</b>
<b>3.6 Ensaio no estado endurecido .....</b>	<b>44</b>
3.6.1 Resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral .....	45
3.6.2 Resistência à tração na flexão e deformação à flexão .....	45
3.6.3 Aderência .....	48
3.6.4 Determinação de massa específica .....	51
3.6.5 Absorção de água por imersão e secagem pós imersão .....	51
3.6.6 Variação dimensional .....	51
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1 Ensaio no estado fresco .....</b>	<b>53</b>
4.1.1 Índice de consistência.....	53
4.1.2 Retenção de água.....	54
4.1.3 Massa específica e teor de ar incorporado.....	56
4.1.4 Principais conclusões.....	58
<b>4.2 Ensaio no estado endurecido .....</b>	<b>59</b>
4.2.1 Resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral .....	59
4.2.2 Resistência à tração na flexão e deformação à flexão .....	66
4.2.3 Aderência .....	72
4.2.4 Determinação de massa específica .....	79
4.2.5 Absorção de água por imersão e secagem pós-imersão .....	81
4.2.6 Variação dimensional.....	87
4.2.7 Discussões.....	97
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....</b>	<b>103</b>
<b>5.1 Conclusões .....</b>	<b>103</b>
<b>5.2 Sugestões para estudos futuros .....</b>	<b>106</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE A – RESULTADOS DOS ENSAIOS LABORATORIAIS .....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE B – RESULTADOS DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA DE MÉDIAS. ....</b>	<b>142</b>
<b>APÊNDICE C – GRÁFICOS TENSÃO X DEFORMAÇÃO .....</b>	<b>146</b>
<b>APÊNDICE D – CORRELAÇÕES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E PERDA DE MASSA POR SECAGEM ENTRE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS E PRISMÁTICOS .....</b>	<b>156</b>

## LISTA DE FIGURAS

## CAPÍTULO 2

<b>Figura 2.1 – Estrutura molecular do EVA (SILVA, D.A., 2001).....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2.2 – Aspectos das partículas do pó de EVA em MEV (SILVA, D.A., 2001)....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 2.3 – Estrutura molecular do HEC (EDMEADES e HEWLETT citados por SILVA, D.A., 2001).....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2.4 – Aspectos das partículas do pó de HEC em MEV (SILVA, D. A., 2001)...</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2.5 – Processo de formação de filme de látex polimérico (LAVELLE, 1988)...</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2.6 – Aspecto do filme polimérico formado nas pastas com EVA, observado em MEV (SILVA, D.A., 2001).....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2.7 – Comportamento dos polímeros em função da temperatura e massa molecular (BILLMEYER JR., 1984 citado por CALLISTER JR., 1997).....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 2.8 – Transformação sol-gel de soluções aquosas de éteres de celulose (SARKAR e WALTER, 1995).....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2.9 – Efeito da absorção de água na resistência à compressão de argamassas modificadas com látex (OHAMA, 1984).....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 2.10 – Efeito das condições de cura na resistência à flexão (a) e à tração (b) de argamassas modificadas com látices (LAVELLE, 1988).....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 2.11 – Efeito das condições de cura na resistência à flexão em argamassas modificadas com diferentes tipos de látices (OHAMA, 1984).....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 2.12 – Efeito da absorção de água na aderência à tração e à flexão de argamassas modificadas com látex (OHAMA, 1984).....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 2.13 – Microestrutura em argamassa modificada com éter de celulose (a) previamente a imersão e (b) após a imersão (JENNI, 2003).....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 2.14 - Absorção de água em função do tempo de imersão para argamassas modificadas com EVA (OHAMA, 1984).....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 2.15 – Efeito da cura na aderência de diferentes argamassas, modificadas com éter de celulose, PVA e EVA (JENNI, 2003).....</b>	<b>29</b>

## CAPÍTULO 3

<b>Figura 3.1 – Esquema ilustrativo do planejamento experimental.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 3.2 – Composição granulométrica da areia .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 3.3 – Espectro no infravermelho do pó de EVA (SILVA, D.A., 2001) .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 3.4 – Espectro no infravermelho do pó de HEC (SILVA, D.A., 2001) .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 3.5 – Equipamento utilizado para determinação da retenção de água .....</b>	<b>44</b>

<b>Figura 3.6 – Detalhamento do equipamento utilizado para o ensaio de tração na flexão .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 3.7 – Desenho esquemático do aparato para o ensaio de tração na flexão – (a) vista superior e (b) vista lateral.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 3.8 – Esquema ilustrativo do conjunto argamassa colante - placa cerâmica (dimensões em cm) .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 3.9 – Equipamento utilizado para o ensaio de aderência .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 3.10 – Equipamento utilizado para determinação da variação dimensional dos corpos-de-prova (<i>demec-gauge</i>) .....</b>	<b>52</b>
 <b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>Figura 4.1 – Resultados do ensaio de determinação do índice de consistência .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 4.2 – Migração de água das argamassas sem aditivo celulósico para o papel filtro, em função do tempo.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 4.3 – Resultados de densidade de massa específica e teor de ar incorporado no estado fresco .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 4.4 – Efeito da interação dos polímeros HEC e EVA na incorporação de ar das argamassas .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 4.5 – Efeito dos teores de EVA e HEC na resistência à compressão axial.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 4.6 – Resistência à compressão axial das argamassas em função das diferentes condições de exposição.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 4.7 – Resistência à compressão axial das argamassas nas diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 4.8 – Efeito dos teores de EVA e HEC na resistência à tração por compressão diametral .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 4.9 – Efeito da condição de exposição na resistência à tração por compressão diametral .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 4.10 – Resistência à tração por compressão diametral das argamassas nas diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 4.11 – Resistência à tração na flexão das argamassas em função das diferentes condições de exposição .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 4.12 – Módulo de elasticidade das argamassas em função das diferentes condições de exposição .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 4.13 – Efeito dos teores de EVA e HEC na resistência à tração na flexão das argamassas em função das diferentes condições de exposição .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 4.14 – Efeito dos teores de EVA e HEC no módulo de elasticidade das argamassas em função das diferentes condições de exposição .....</b>	<b>70</b>

<b>Figura 4.15 – Resistência à tração na flexão das argamassas submetidas às diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 4.16 – Módulo de elasticidade das argamassas submetidas às diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 4.17 –Aderência entre as argamassas e porcelanato em função das diferentes condições de exposição.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 4.18 – Efeito dos teores de EVA e HEC na aderência entre as argamassas e porcelanato em função das diferentes condições de exposição .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 4.19 – Aderência das argamassas nas diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 4.20 – Resultados de aderência de argamassas com 0,5% de HEC, em função do teor de EVA e dos diferentes períodos de imersão .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 4.21 – Resultados de aderência de argamassas com 0,5% de HEC após secagem, em função do teor de EVA e dos diferentes períodos de imersão.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 4.22 – Efeito dos polímeros HEC e EVA na massa específica das argamassas, no estado endurecido .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 4.23 – Efeito da interação dos polímeros HEC e EVA na absorção máxima por imersão em corpos-de-prova cilíndricos .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 4.24 – Efeito da interação dos polímeros HEC e EVA na absorção máxima por imersão em corpos-de-prova prismáticos .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 4.25 – Resultados de absorção de água por imersão e secagem pós-imersão em corpos-de-prova cilíndricos em função do tempo .....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 4.26 – Resultados de absorção de água por imersão e secagem pós-imersão em corpos-de-prova prismáticos em função do tempo .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 4.27 – Efeito da interação dos polímeros HEC x EVA na variação dimensional específica das argamassas após imersão 10 dias em imersão.....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 4.28 – Resultados da variação dimensional específica das argamassas em função do tempo de imersão .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 4.29 – Resultados da variação dimensional específica das argamassas em função do tempo de secagem pós-imersão .....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 4.30 – Gráficos de absorção de água por imersão <i>versus</i> variação dimensional específica das argamassas A0 a A4, em função do período de imersão (10 dias) .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 4.31 – Gráficos de absorção de água por imersão <i>versus</i> variação dimensional específica das argamassas A5 a A8, em função do período de imersão (10 dias) .....</b>	<b>93</b>

<b>Figura 4.32 – Gráficos de perda de massa por secagem <i>versus</i> variação dimensional específica das argamassas A0 a A4, em função do período de secagem (16 dias) .....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 4.33 – Gráficos de perda de massa por secagem <i>versus</i> variação dimensional específica das argamassas A5 a A8, em função do período de secagem (16 dias) .....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 4.34 – Aspecto dos corpos-de-prova de argamassas com EVA, após secagem em estufa e posterior imersão – (a) Argamassa A1 (0%HEC; 10%EVA); (b) Argamassa A2 (0%HEC; 20%EVA); (c) Argamassa A4 (0,5%HEC; 10%EVA); (d) Argamassa A8 (1%HEC; 20%EVA)...</b>	<b>96</b>
<b>Figura 4.35 – Aspecto de filme polimérico em pasta de cimento modificada com 20% de EVA sob condições úmidas (SILVA, D.A.).....</b>	<b>100</b>

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 – Caracterização química, física e mecânica do cimento CPH-F32 .....	33
Tabela 3.2 – Caracterização física da areia .....	34
Tabela 3.3 – Caracterização física do EVA .....	35
Tabela 3.4 – Bandas do espectro no infravermelho do pó de EVA (SILVA, D.A., 2001) .....	36
Tabela 3.5 – Caracterização física do HEC .....	37
Tabela 3.6 – Bandas do espectro no infravermelho do pó de HEC (SILVA, D.A., 2001) .....	38
Tabela 3.7 – Caracterização do porcelanato .....	39
Tabela 3.8 - Teores de polímeros das argamassas (% em relação à massa de cimento) .....	40

### CAPÍTULO 4

Tabela 4.1 – Resultados de retenção de água .....	55
Tabela 4.2 – Análise de variância dos resultados de massa específica no estado fresco .....	57
Tabela 4.3 – Análise de variância dos resultados de teor de ar incorporado .....	58
Tabela 4.4 – Análise de variância dos resultados de resistência à compressão axial .....	60
Tabela 4.5 – Análise de variância dos resultados de resistência à tração por compressão diametral .....	63
Tabela 4.6 – Análise de variância dos resultados de resistência à tração na flexão .....	66
Tabela 4.7 – Análise de variância dos resultados de módulo de elasticidade .....	67
Tabela 4.8 – Análise de variância dos resultados de aderência .....	73
Tabela 4.9 – Análise de variância dos resultados de aderência de argamassas com 0,5 % de HEC em função de diferentes condições de exposição .....	77
Tabela 4.10 – Análise de variância dos resultados de massa específica no estado endurecido .....	80
Tabela 4.11 – Análise de variância dos resultados de absorção máxima de água por imersão em corpos-de-prova cilíndricos .....	81
Tabela 4.12 – Análise de variância dos resultados de absorção máxima de água por imersão em corpos-de-prova prismáticos .....	82
Tabela 4.13 – Análise de variância da variação dimensional máxima dos corpos-de-prova após imersão .....	87

## LISTA DE EQUAÇÕES

## CAPÍTULO 3

<b>Equação 3.1</b>	$RA = \left( \frac{A - 125}{B - 125} \right) \times 100$ .....	<b>43</b>
<b>Equação 3.2</b>	$RA = \left[ 1 - \left( \frac{Mma - Ms}{AF \times (Mma - Mm)} \right) \right] \times 100$ .....	<b>43</b>
<b>Equação 3.3</b>	$\sigma = \frac{1,5PL}{bh^2}$ .....	<b>46</b>
<b>Equação 3.4</b>	$E_c = \frac{(\sigma_{30} - \sigma_{10})}{(\varepsilon_{30} - \varepsilon_{10})}$ .....	<b>48</b>

## RESUMO

Com o aumento do consumo de materiais para revestimento pela indústria da construção civil e o desenvolvimento de produtos cerâmicos de baixa absorção de água, como é o caso do porcelanato, existe preocupação em relação à durabilidade do sistema cerâmico, especialmente no caso de fachadas. Na literatura, há indicação de perda de aderência e resistência mecânica de argamassas colantes quando saturadas ou submetidas a elevadas umidades. Desta forma, este estudo teve como objetivo verificar os efeitos da saturação e secagem pós-saturação em água nas propriedades de argamassas modificadas com os polímeros HEC (hidroxietil celulose) e EVA (copolímero acetato de vinila/etileno), os quais são correntemente utilizados na produção das argamassas colantes nacionais. Para tanto, foi desenvolvido um programa experimental em que argamassas com diferentes relações polímero/cimento (0, 0.5 e 1% de HEC, e 0, 10 e 20% de EVA, em relação à massa de cimento) foram submetidas à imersão em água supersaturada em hidróxido de cálcio durante 10 dias e posterior secagem por 16 dias. Além da caracterização das argamassas no estado fresco, as mesmas foram submetidas, no estado endurecido, a ensaios para determinação de massa específica, variação de massa por absorção de água e secagem pós-imersão, variação dimensional e ensaios mecânicos (resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão, deformação na flexão e aderência com placas cerâmicas do tipo porcelanato). Os resultados mostraram que, quando saturadas, as argamassas modificadas com EVA e HEC apresentam uma tendência de diminuição da resistência à compressão, e perdas significativas de resistência à tração na flexão e aderência. Estes efeitos são diferenciados em função do tipo e teor de polímero. A maior sensibilidade das argamassas com EVA à saturação indica que a fase polimérica ou uma eventual fase resultante da interação polímero-cimento formada nessas argamassas é sensível à ação da umidade, causando modificação nas propriedades. Constatou-se, também, uma tendência de recuperação do desempenho dessas argamassas, indicando que as modificações são parcial ou totalmente reversíveis após secagem do filme polimérico.

## ABSTRACT

The use of polymer-modified mortars for ceramic tiles installation on walls and floors of Brazilian buildings is being increased. However, it has been reported that such mortars show lower strengths when absorb water. The durability of ceramic tile systems can be affected, especially in façades. In an attempt to understand the mortars behavior under service, the main objective of this research was the evaluation of the properties of polymer-modified mortars under a wetting-drying cycle. Hydroxyethyl cellulose (HEC) and poly(ethylene-co-vinyl acetate) (EVA) polymers were mixed to cement, fine sand and water in order to prepare the polymer-modified mortars. HEC and EVA contents were 0, 0.5, 1.0%, and 0, 10, 20%, respectively, in cement weight basis. Properties and characteristics of the mortars in the fresh state were evaluated. After cured for 46 days, the mortars were immersed into calcium hydroxide supersaturated solution for 10 days and then air dried for 16 days. Specific gravity, water absorption and length stability of the mortars were determined during this cycle. Their mechanical behavior was also evaluated through compressive and split tensile tests, flexural tests and bond strength to a low-water absorption ceramic tile (porcelain). The results have shown that polymer-modified mortars have a slightly lower compressive strength when saturated by water. However, they show a sharp decrease in both flexural and bond strengths. The effect of both polymers – HEC and EVA – on the strength behavior is impressive. The high sensibility of EVA-modified mortars to the wetting-drying cycle indicates that the polymeric phase or an eventual cement-polymer phase is affected by the water absorbed by the mortar. However, the phenomenon seems to be partially or completely reversible.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais e objetivos

A utilização de argamassas adesivas para a fixação de componentes cerâmicos, em relação a argamassas convencionais, vem crescendo consideravelmente, devido à maior aderência entre a placa cerâmica e o substrato, à diminuição do desperdício de materiais e ao aumento da produtividade da mão-de-obra aliadas ao uso das mesmas.

As argamassas colantes consistem basicamente em argamassas de cimento e areia aditivadas com polímeros, sendo, atualmente, o hidroxietil celulose (HEC) e o copolímero acetato de vinila/etileno (EVA) os mais empregados em sua produção no Brasil. Estes polímeros são responsáveis, basicamente, por conferir maior capacidade de retenção de água, melhor trabalhabilidade e maior adesividade e flexibilidade às argamassas.

O surgimento destas argamassas ocorreu através do desenvolvimento de pesquisas em busca de técnicas mais racionalizadas para fixação de componentes cerâmicos, as quais foram iniciadas nos Estados Unidos no final da II Guerra Mundial, em 1945, e no Brasil em meados da década de 60, motivadas principalmente pelo aparecimento de inúmeros problemas de descolamentos em revestimentos de pisos e paredes (FIORITO, 1994).

A proporção dos materiais empregados na produção das argamassas – cimento, areia, adições, aditivos e água, bem como sua natureza e características, determinam as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido. Dessa forma, as proporções de mistura devem ser adotadas em função das condições de aplicação e exposição dos revestimentos, levando-se em consideração os diversos esforços a que os mesmos estarão submetidos ao longo de sua vida útil.

Apesar da grande utilização das argamassas colantes na construção civil e do crescente número de pesquisas realizadas sobre as propriedades e desempenho das mesmas, inclusive por parte das indústrias fabricantes, existe carência de estudos sobre seu comportamento mecânico e das interações que ocorrem entre seus materiais constituintes em função de diferentes condições de exposição.

A diversidade de placas cerâmicas e outros elementos construtivos existentes no mercado constituem diferentes substratos e, por sua vez, resultam em diferentes propriedades das argamassas a eles aderidas. Hoje, com o surgimento de produtos cerâmicos de baixa absorção de água, como é o caso do porcelanato, e o constante aumento da demanda de revestimentos cerâmicos em áreas molháveis e em ambientes externos, como fachadas, certas preocupações em relação à durabilidade do sistema cerâmico vêm sendo ressaltadas.

Sabe-se que há queda do desempenho mecânico e aderência de argamassas modificadas com polímeros quando em maior grau de saturação, sobretudo quando empregadas com revestimentos de baixa absorção (FRITZE, 2002; JENNI, 2003). Como a absorção do porcelanato é praticamente nula, a pasta de cimento da argamassa não é succionada para dentro dos capilares superficiais, havendo um acúmulo de água na interface, formando uma fina película, por efeito parede (MASO citado por SAVASTANO JR., 1992). Com a secagem, há formação de filme polimérico nessa interface (HEROLD, 2000), o que garante a aderência do sistema.

Estudos realizados por Chandra e Ohama (1994) indicam que materiais à base de cimento modificados com látices<sup>1</sup> 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.

A saturação da argamassa colante em água é bastante comum em áreas molháveis das edificações (fachadas, banheiros, saunas, piscinas), seja pela presença de fissuras causadas por movimentações estruturais, movimentações térmicas, rigidez excessiva da argamassa de rejunte, ou, ainda, por falhas na aplicação dos materiais de revestimento.

Além do desconhecimento dos efeitos da saturação em água, pouco se sabe sobre o efeito da secagem posterior à saturação no desempenho das argamassas colantes. Não se sabe se ocorre uma recuperação, parcial ou integral, das resistências mecânicas após a imersão, bem como a influência do tipo e teores de polímeros nesses fenômenos. A maior contribuição encontrada na literatura é um estudo recente realizado por Jenni (2003), que avaliou a influência de ciclos

---

<sup>1</sup> Látex (sing), látices (pl): dispersão estável de partículas poliméricas orgânicas em água (RILEY e outros, 1974, citado por CHANDRA e OHAMA, 1994).

de molhamento e secagem sobre algumas propriedades de uma argamassa modificada com éter de celulose e o copolímero EVA.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo principal verificar os efeitos da saturação e secagem pós-saturação em água nas propriedades de argamassas colantes aditivadas com o polímero hidroxietil celulose (HEC) e o copolímero acetato de vinila/etileno (EVA).

Com intuito de atingir este objetivo, o presente trabalho compreende as seguintes etapas:

1. Avaliação do efeito da saturação e posterior secagem nas resistências mecânicas de argamassas colantes com diferentes relações polímero/cimento, a partir de ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão e aderência com placas cerâmicas de baixa absorção de água – porcelanato;
2. Avaliação das propriedades físicas de argamassas colantes com diferentes relações polímero/cimento frente a diferentes condições de exposição, a partir de ensaios de variação de massa por absorção de água e secagem pós-imersão, bem como de variação dimensional;
3. Avaliação do efeito da saturação e posterior secagem na deformabilidade das argamassas, determinando-se o módulo de elasticidade à flexão das argamassas colantes estudadas.

## **1.2 Motivação para a pesquisa e justificativa**

O crescente consumo de cerâmics para revestimento, principalmente em áreas externas, e o elevado número de manifestações patológicas que vêm ocorrendo nas edificações ressaltam a necessidade de estudos sobre o comportamento das argamassas frente a diferentes condições de exposição.

O uso de produtos cerâmicos ocupa importante posição no mercado da construção civil, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundiais, com uma produção de 508,30 milhões de m<sup>2</sup> no ano de 2002, tendo sido o consumo no território nacional de 456,3 milhões de m<sup>2</sup> naquele ano, o que torna o país o segundo maior consumidor mundial de cerâmica para revestimento (ANFACER, 2002).

Paralelamente ao crescimento da indústria cerâmica, aumenta o consumo de materiais para o assentamento dos revestimentos. Se considerado que toda cerâmica para revestimento consumida no País é assentada com argamassa colante, e estimando-se no assentamento um consumo médio de argamassa colante de 5 kg/m<sup>2</sup> (FIORITO, 1994), a produção nacional em 2002 teria sido de 2.281.500 toneladas. Esse número tem estimulado o surgimento de novos produtos, os quais se diferenciam em função do tipo de placa cerâmica empregada e das condições de exposição.

Assim sendo, a principal motivação desta pesquisa foi aprofundar o conhecimento das propriedades da argamassa colante e, conseqüentemente, auxiliar no desenvolvimento de materiais adesivos com maior qualidade e durabilidade, que atendam aos requisitos de desempenho pré-estabelecidos. Além disso, a mesma dá continuidade à linha de pesquisa sobre caracterização e desempenho de argamassas colantes desenvolvidas no Núcleo de Pesquisa em Construção da Universidade Federal de Santa Catarina (SAGAVE, 2001; SILVA, D.A., 2001).

### **1.3 Estrutura da dissertação**

A dissertação está estruturada em cinco capítulos, compreendendo este primeiro capítulo (Introdução) considerações iniciais sobre o tema, os objetivos da pesquisa e a motivação e justificativa para seu desenvolvimento.

No capítulo 2 consta uma revisão bibliográfica referente às argamassas colantes, onde são apresentados um breve histórico sobre a utilização das mesmas, características e propriedades dos polímeros constituintes, bem como as influências dos mesmos no estado fresco, e características e propriedades no estado endurecido, mais especificamente, sobre a microestrutura das argamassas colantes, propriedades mecânicas e a influência das condições ambientais.

No capítulo 3 descreve-se o programa experimental desenvolvido, abordando as variáveis e condições fixas adotadas, bem como os métodos de ensaio e a caracterização dos materiais empregados.

No capítulo 4 estão apresentados os resultados obtidos e discussões, e no capítulo 5, as considerações finais, conclusões e sugestões para futuros trabalhos, com o intuito de aprofundar as pesquisas referentes ao tema abordado.

## 2 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COLANTES

### 2.1 Histórico da utilização de argamassas colantes

Anteriormente ao surgimento das argamassas colantes no mercado, o assentamento das placas cerâmicas era feito com argamassas convencionais, sem uso de aditivos, as quais eram misturadas nos próprios canteiros de obras. A camada de argamassa utilizada era de aproximadamente 20mm de espessura, o que acarretava grandes perdas de água, tanto por sucção como por evaporação (FIORITO, 1994).

De acordo com Almeida e outros (1995), os resultados eram considerados satisfatórios, uma vez que os revestimentos cerâmicos eram geralmente aplicados em áreas internas e em áreas externas de dimensões reduzidas. Com o surgimento de novos produtos no mercado, o consumo de revestimentos cerâmicos aumentou inesperadamente, fazendo-se necessário o desenvolvimento de uma argamassa com garantia de qualidade e durabilidade do revestimento, aliadas a um baixo custo e maior produtividade.

A primeira argamassa modificada com polímeros, para assentamento de placas cerâmicas, foi desenvolvida ainda na década de 60, na Europa e nos Estados Unidos, sendo utilizado inicialmente o polímero metil celulose, devido à sua grande capacidade de retenção de água (WAGNER, 1973). Desde então, diversos tipos de polímeros vêm sendo estudados pelo meio técnico e empregados pelas indústrias fabricantes de argamassas colantes.

No Brasil, a primeira argamassa colante surgiu por volta de 1971, inspirada na “dry-set mortar” (FIORITO, 1994), que já vinha sendo empregada nos Estados Unidos, Europa e Japão (OHAMA, 1984). Essa denominação se deve ao fato da argamassa ser uma mistura pronta, necessitando, unicamente, o acréscimo de água.

Na década de 80, as indústrias brasileiras passaram a produzir a argamassa colante em maior escala, surgindo a necessidade de uma normalização específica. O Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados, CB-18 da ABNT, iniciou os estudos para normalização das argamassas colantes em 1994 (SILVA, C.O., 2003), tendo sido os projetos de norma aprovados e publicados em 1998, dando origem às NBR 14081 a 14086/1998.

A NBR 14081 (ABNT, 1998) classifica as argamassas em quatro tipos (I, II, III e III-e), em função do local de aplicação e conforme características de aderência à tração, tempo em aberto e deslizamento. A normalização não prescreve a quantidade de água a ser adicionada, bem como um critério para proporcionamento e escolha dos materiais constituintes (aditivos, adições, agregado e aglomerante), sendo os mesmos determinados pelos próprios fabricantes.

## 2.2 A utilização de polímeros

O emprego de polímeros em materiais cimentícios ocorreu anteriormente a 1920, quando dispersões de borracha natural eram utilizadas, porém a difusão dos mesmos e o desenvolvimento de pesquisas ocorreram a partir dos anos 40, especialmente nas últimas décadas (SU, 1995).

Os polímeros são materiais cuja estrutura consiste essencialmente de longas cadeias compostas a partir de moléculas de grande comprimento, geralmente à base de compostos de carbono (CAMPOS FILHO, 1967). As pontes de hidrogênio e as forças de Van der Waals que atuam nessas moléculas criam resistência maior no estado sólido do que em moléculas de cadeias curtas. Da mesma forma, proporcionam um aumento de viscosidade, não observado nas moléculas de menores comprimentos (MANO, 1985).

De forma geral, os polímeros são utilizados em argamassas e concretos com o intuito de modificar algumas de suas propriedades, como retenção de água, permeabilidade, absorção de água, adesividade, deformabilidade, trabalhabilidade, resistência química, e resistências mecânicas. Estas modificações ocorrem devido à interação desenvolvida entre os polímeros e o cimento durante todo o processo de hidratação, a qual depende diretamente do tipo de polímero utilizado, uma vez que existem diferentes mecanismos de ação na fase aquosa e distintos processos de polimerização<sup>2</sup> (LAVELLE, 1988).

São cinco os tipos de compostos poliméricos mais comumente empregados em misturas à base de cimento: látices ou dispersões poliméricas, pós redispersíveis, polímeros solúveis em água, monômeros e resinas líquidas (OHAMA, 1984). Atualmente, os polímeros mais

---

<sup>2</sup> Polimerização: é reação química dos monômeros que conduz à formação dos polímeros, podendo a mesma ser em volume, solução, suspensão ou emulsão (MANO, 1985; LAVELLE, 1988; SMITH, 1998).

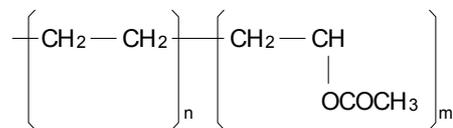
utilizados pela indústria de argamassas colantes são os éteres de celulose solúveis em água e os pós redispersíveis (SILVA, D.A., 2001).

Como nesta pesquisa foram utilizadas argamassas aditivadas com o polímero hidroxietil celulose – HEC, pertencente ao grupo dos éteres de celulose solúveis em água, e o copolímero acetato de vinila/etileno – EVA, pertencente ao grupo de látices e pós redispersíveis, as características e efeitos de polímeros pertencentes aos demais grupos não são abordados.

### 2.2.1 Látex de EVA

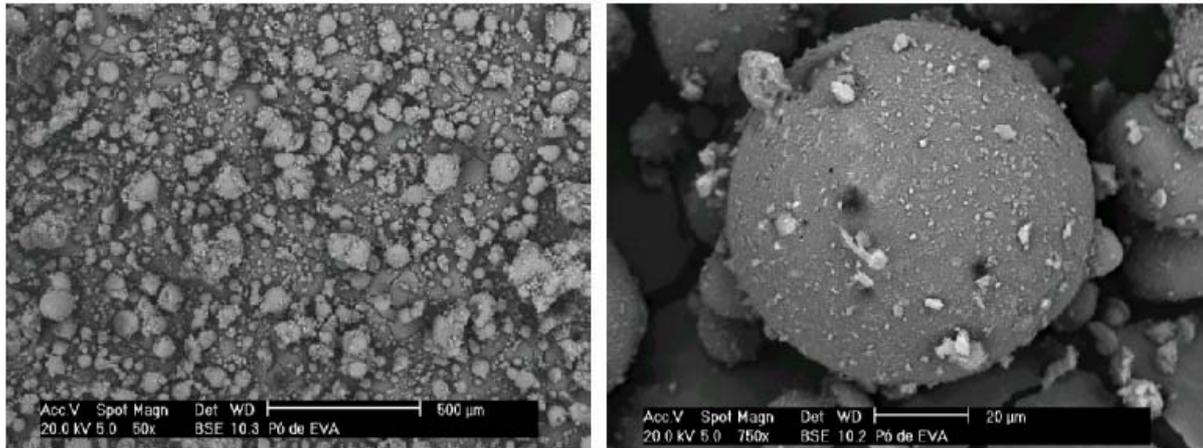
O EVA – copolímero acetato de vinila/etileno – é um polímero termoplástico<sup>3</sup>, obtido pela copolimerização do poliacetato de vinila (PVAc) com etileno. É empregado pela maioria das indústrias nacionais de argamassas colantes, na forma de pó redispersível, para modificar ou conferir melhorias em algumas de suas propriedades no estado fresco, como viscosidade, consistência, plasticidade e trabalhabilidade, e também no estado endurecido, podendo propiciar maiores resistências mecânicas e durabilidade.

A estrutura molecular do copolímero e os aspectos das partículas do pó de EVA, observadas em microscópio eletrônico de varredura – MEV, estão apresentadas nas Figuras 2.1 e 2.2, respectivamente.



**Figura 2.1 – Estrutura molecular do EVA (SILVA, D.A., 2001).**

<sup>3</sup> Os plásticos são divididos em duas classes: termoplástico e termoendurecíveis. Os termoplásticos caracterizam-se por sofrerem fusão por aquecimento e solidificação por resfriamento (MANO, 1985).



**Figura 2.2 – Aspectos das partículas do pó de EVA em MEV (SILVA, D.A., 2001).**

O látex do copolímero é obtido através da polimerização em emulsão de seus componentes (álcool polivinílico, sistemas catalisadores, acetato de vinila e etileno líquido) em um reator sob pressurização e aquecimento. No final deste processo, o látex é transferido para outro recipiente, onde são colocados aditivos para corrigir o pH e a viscosidade, além de outros tipos de aditivos como bactericidas, agentes de secagem, superplastificantes e anti-espumantes. O látex é então submetido à secagem em uma câmara pulverizadora, onde é aplicado um aquecimento entre 170 e 200°C, para evaporação da água do sistema, transformando o látex de EVA em um pó fino (WALTERS, 1992).

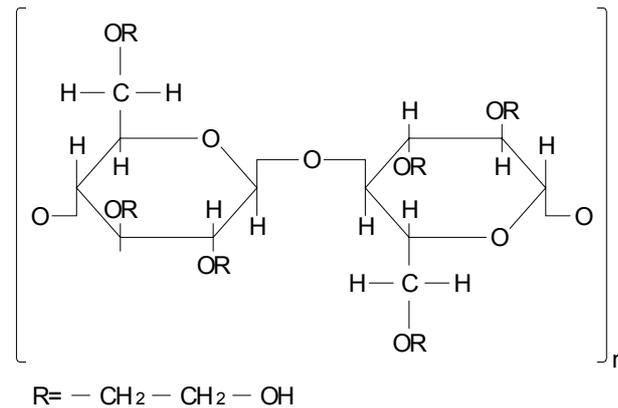
Adicionado-se água ao EVA em pó, o mesmo redispersa. Em materiais à base de cimento, após esta redispersão, inicia-se o processo de hidratação do cimento e a saída de água do sistema, havendo diminuição do espaço intersticial e a coalescência das partículas do polímero, formando, então, um filme polimérico contínuo (OHAMA, 1984; LAVELLE, 1988).

### 2.2.2 Éter de celulose HEC

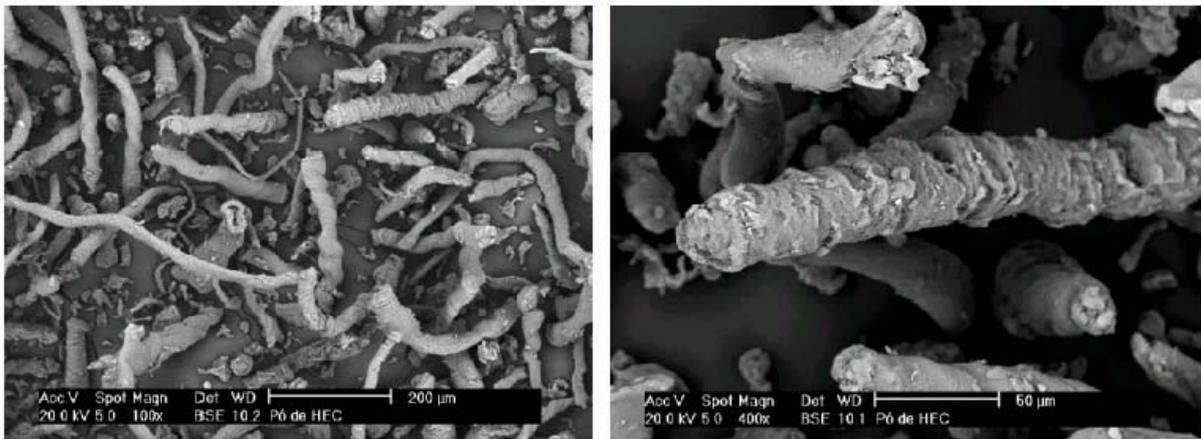
O HEC – hidroxietil celulose – é um polímero termoplástico, obtido a partir de uma modificação feita no polímero de celulose natural, através da eterificação parcial de alguns grupos hidroxila com álcali celulose, que, por sua vez, reagem com óxido de etileno formando o HEC (GRAHAM, 1983; ALGER, 1989). Os éteres incorporados aos grupos hidroxila

impedem a formação das pontes de hidrogênio, o que permite a solubilização do aditivo na água de amassamento (TURNER citado por PÓVOAS e outros, 2002).

A Figura 2.3 mostra a estrutura molecular do HEC e a Figura 2.4 apresenta os aspectos das partículas do pó de HEC, em MEV.



**Figura 2.3 – Estrutura molecular do HEC (EDMEADES e HEWLETT citados por SILVA, D.A., 2001).**



**Figura 2.4 – Aspectos das partículas do pó de HEC em MEV (SILVA, D. A., 2001).**

A principal razão do uso deste aditivo é alterar as propriedades no estado fresco das argamassas, sendo o HEC considerado um ótimo retentor de água, por causar aumento de viscosidade da fase aquosa. De acordo com Khayat (1998), a forma de ação dos éteres de celulose pode ser classificada em: (I) adsorção: as moléculas poliméricas, adsorvem e fixam parte da água do sistema com expansão; (II) associação: promovem o surgimento de forças atrativas entre moléculas próximas, resultando na formação de um gel; (III) entrelaçamento:

em altas concentrações de polímero e sob baixas tensões cisalhantes de mistura, as cadeias podem se entrelaçar.

Devido à alta higroscopicidade dos polímeros celulósicos, os mesmos tendem a formar “lentes” de dissolução lenta em contato com umidade e, desta forma, é recomendada a dissolução dos mesmos em água anteriormente ao uso em argamassas e concretos (MAILVAGANAM, 1984).

### **2.3 Influência dos polímeros no estado fresco**

O uso de látices poliméricos e éteres de celulose em argamassas influencia diretamente na trabalhabilidade das mesmas, uma vez que alteram propriedades como viscosidade, plasticidade, coesão, consistência, adesão inicial e retenção de água.

Os látices permitem uma diminuição da demanda de água para uma mesma consistência, e incorporam ar durante a mistura devido à presença de espécies químicas tensoativas. O movimento entre os grãos de cimento é facilitado pelo efeito de rolamento ocasionado pelas partículas de polímero e bolhas de ar, resultando, desta forma, em um material mais homogêneo e com possibilidade de exsudação e segregação reduzidas (SU, 1995; BEELDENS, 2001).

Os éteres de celulose são modificadores reológicos, empregados para melhorar a trabalhabilidade das argamassas colantes, através da incorporação de ar, viscosidade e retenção de água promovidas pelo aditivo (JENNI e ZURBRIGGEN, 2003).

Ambos os polímeros afetam significativamente as reações de hidratação do cimento (SILVA, D.A., 2001). Na presença dos látices, estas reações são mais lentas, o que acaba retardando os tempos de pega das argamassas, sendo que para maiores teores de polímeros, maior é este efeito (OHAMA, 1984; SU, 1995). O efeito do retardo da hidratação do cimento pode ser atribuído a diferentes aspectos, tais como: a adsorção de partículas poliméricas na superfície dos grãos de cimento em hidratação, reduzindo a taxa de dissolução e, em consequência, a taxa de formação dos produtos hidratados; a formação de filme polimérico com o curso da hidratação, envolvendo os grãos de cimento e interrompendo as reações; e a formação de

complexos entre as partículas de polímero e íons  $\text{Ca}^{+2}$  em solução (SU,1995; O'KEEFE citado por ZENG e outros, 1996; BEELDENS, 2001; SILVA, D.A., 2001).

Por outro lado, as reações de hidratação, na presença de éteres de celulose, tornam-se mais lentas devido à inibição do transporte de íons e da mobilidade da água, retardando o tempo de pega e endurecimento (EDEN e BAILEY, 1986). Silva e Roman (2001) constataram em seus estudos que, por modificar a viscosidade da fase aquosa das pastas de cimento, o HEC retarda as reações de hidratação nas primeiras idades. No entanto, por reterem água no sistema, o polímero resulta em maior maturidade das pastas em idades mais avançadas.

A interação das moléculas do polímero com a água e das moléculas entre si por pontes de hidrogênio dificultam a separação entre a fase aquosa e os sólidos, aumentando a coesão e estabilidade da mistura e reduzindo a possibilidade de segregação e exsudação. No entanto, pelo fato do uso do polímero reduzir a exsudação em materiais cimentícios, pode haver um aumento à fissuração superficial das peças por retração plástica, ou seja, pode haver dessecação superficial por evaporação (KHAYAT, 1998). O HEC provoca fissuração nas pastas de cimento, especialmente na ausência do EVA e nas superfícies dos corpos-de-prova, devido à intensificação dos fenômenos de retração plástica, química e hidráulica (SILVA, D.A., 2001).

Devido à elevada retenção de água e ao retardo do tempo de pega, o HEC proporciona um aumento no tempo em aberto<sup>4</sup> das argamassas, constatado por Póvoas (1999). A autora verificou também que, em argamassas modificadas com ambos aditivos (HEC e EVA), há um incremento na capacidade de retenção de água, tanto em relação à evaporação como à sucção da base. A perda de água por sucção é influenciada pelo volume de poros do substrato e pela força capilar, que depende do diâmetro dos mesmos (SELMO, 1989).

Póvoas e outros (1999) encontraram valores médios de perda de água por sucção, em argamassas modificadas com 0,4% de HEC e 10% de EVA, de aproximadamente 17% (após 30 minutos). Este valor é bastante baixo se comparado com argamassas convencionais (aproximadamente 67%), influenciando de maneira positiva na hidratação do cimento, na

---

<sup>4</sup> O tempo em aberto é definido como o período de tempo após o espalhamento da argamassa sobre o substrato, em que é possível o assentamento da cerâmica obtendo-se a resistência de aderência adequada, definida pela NBR 14083/98 como maior ou igual a 0,5 MPa (PÓVOAS, 1999).

plasticidade, na coesão e na aderência do conjunto. Os experimentos foram realizados em laboratório, com temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(65 \pm 5)\%$ .

Apesar de grandes perdas de água por sucção serem indesejáveis, considera-se necessário um mínimo de absorção pela placa cerâmica para garantir a aderência. Isso demonstra a preocupação que deve ser tomada com alguns materiais cerâmicos com baixa ou ausência de sucção, conforme dito anteriormente.

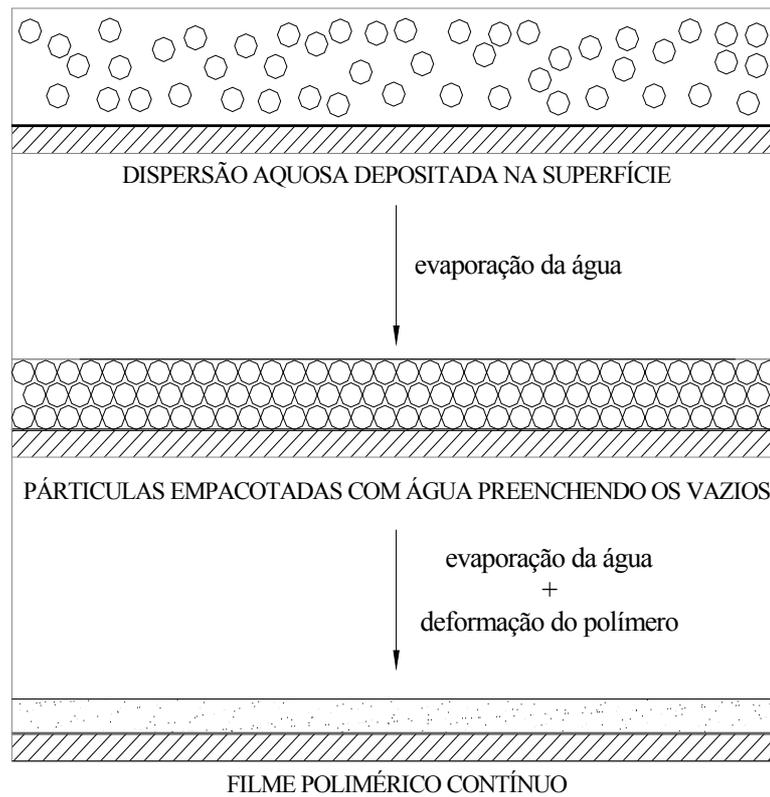
## **2.4 Características e propriedades no estado endurecido**

### 2.4.1 Microestrutura de argamassas colantes

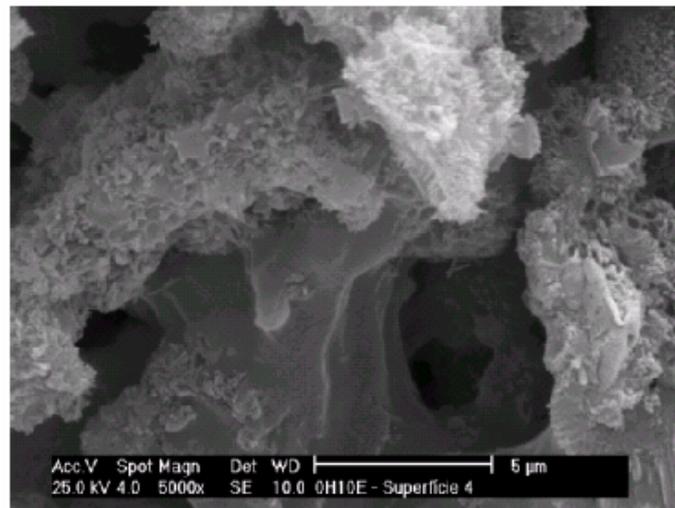
Os polímeros causam modificações na microestrutura das argamassas colantes durante a sua evolução, refletindo nas propriedades das mesmas. Essas alterações influenciam diretamente a durabilidade do sistema cerâmico durante sua vida útil, sendo fundamental a compreensão do efeito dos látices poliméricos e éteres de celulose na microestrutura das argamassas.

Conforme dito anteriormente, após a redispersão do EVA em água, ocorre a formação de um filme polimérico, a partir da coalescência das partículas do polímero. Esse filme ou membrana polimérica forma-se em torno dos produtos de hidratação do cimento e nos poros capilares, numa estrutura contínua, na qual a fase de cimento hidratado e a fase de polímero se interpenetram, envolvendo os grãos de agregado (OHAMA, 1984; LAVELLE, 1988).

A Figura 2.5 mostra o processo de formação de filme de látex polimérico e a Figura 2.6 apresenta o aspecto do filme polimérico formado em pastas com EVA em pó, visto em microscópio eletrônico de varredura – MEV.



**Figura 2.5 – Processo de formação de filme de látex polimérico (LAVELLE, 1988).**



**Figura 2.6 – Aspecto do filme polimérico formado nas pastas com EVA, observado em MEV (SILVA, D.A., 2001).**

A formação do filme pode ser influenciada por três fatores: (I) ambiental - condições de tempo e temperatura (devendo ser acima da MFT<sup>5</sup>); (II) físico - tamanho das partículas e qualidade da dispersão; (III) composicional - estrutura física e estrutura química do polímero (LAVELLE, 1988). Nas argamassas, as partículas do látex encontram-se dispersas na fase aquosa, então, onde houver maior teor de água, haverá maior concentração de partículas poliméricas, resultando em maior probabilidade de formação de filme nessas regiões.

O filme polimérico concentra-se no sistema de vazios da argamassa endurecida, como pode ser observado na Figura 2.6. Os produtos de hidratação do cimento são envoltos pelo filme polimérico, que se forma também em locais onde há maior concentração de água, como na interface pasta-agregado.

Análises microscópicas realizadas por Silva, D.A. (2001), em pastas de cimento, mostraram que há formação de filme polimérico também na superfície de evaporação e em contato com o molde, o que indica que há formação de filme na interface com materiais em contato. Como as partículas poliméricas encontram-se dispersas na fase aquosa, a formação de filme é mais intensa na interface com materiais com baixa absorção, onde há maior quantidade de água pelo efeito parede.

Ohama (1984) e Schulze (1999) afirmam, também, que o polímero age como um reforço e, desta forma, o filme de polímero formado impede a propagação de microfissuras e aumenta a resistência à tração e a tenacidade. Entretanto, é preciso ressaltar que somente ocorre aumento de resistências com maior concentração de polímero se houver redução da relação água/cimento, como será discutido adiante.

Segundo Beeldens e outros (2001), há, na presença de polímeros, a formação de uma estrutura mais amorfa, uma vez que o filme polimérico evita o crescimento de cristais grandes de hidróxido de cálcio. Silva, D.A. (2001) detectou evidências da existência de fases compósitas, provavelmente acetato de cálcio, além de alterações na morfologia do C-S-H na presença de látex de EVA.

---

<sup>5</sup> MFT – *Minimum Film formation Temperature* (Temperatura mínima de formação de filme): é a temperatura mínima em que as partículas do polímero da dispersão têm mobilidade e flexibilidade para coalescer em um filme contínuo (SU, 1995; OHAMA, 1998).

Em concentrações suficientes, a solução de HEC após secagem pode resultar na formação de um filme bastante fino e transparente, de baixa resistência, retornando o polímero ao estado gel ou de solução aquosa, quando imerso em água (SILVA, D.A., 2001). A presença deste filme em argamassas modificadas com éter de celulose também foi constatada por Jenni (2003).

Efeitos combinados dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento conferem às mesmas baixa permeabilidade (SILVA, D.A., 2001). Apesar do grande incremento de ar incorporado nos materiais modificados com estes polímeros, a permeabilidade é baixa, devida à formação de filme polimérico sobre as fases cimentícias, o qual preenche parcial ou totalmente os poros e vazios (OHAMA, 1984; SILVA, D.A., 2001). É importante ressaltar que, caso o filme venha sofrer degradação, o material pode se tornar altamente permeável, e perder parcialmente a capacidade adesiva.

#### 2.4.2 Propriedades mecânicas

Os polímeros, por modificarem as propriedades no estado fresco e a microestrutura dos materiais à base de cimento, modificam também as suas propriedades no estado endurecido. Apesar dos vários artigos publicados na literatura sobre os efeitos dos polímeros em argamassas e concretos, ainda não há consenso sobre os mecanismos de modificação.

##### **a) Resistência à compressão**

Com relação à resistência à compressão, diversos pesquisadores (BANFILL e outros, 1993; SAKAI e SUGITA, 1995; SILVA, D.A., 1999; PÓVOAS, 1999; SCHULZE, 1999) constataram uma redução da resistência à compressão em ensaios realizados com materiais à base de cimento aditivados com látices poliméricos. Entretanto, outros autores (RILEY e RAZL, 1974; OHAMA, 1984; AFRIDI e outros, 1989; entre outros) observaram em seus ensaios aumento da resistência em presença do copolímero EVA.

Esta divergência nos resultados pode ser atribuída ao fato de muitos autores omitirem o emprego de diferentes relações água/cimento juntamente com a variação das relações polímero/cimento, e, desta forma, os ganhos de resistência são atribuídos apenas à variação do

teor do polímero, desconsiderando que houve simultaneamente redução da relação água/cimento.

Schulze (1999), de fato, constatou que a diminuição da relação água/cimento provoca um aumento na resistência à compressão das argamassas modificadas com polímeros, sendo o teor de cimento menos significativo. Comparando a argamassa modificada com pó redispersível e outra de referência, para uma mesma relação água/cimento (0,49), o autor verificou que o polímero reduz a resistência à compressão das argamassas. Isso se deve, provavelmente, à menor proporção de cimento na mistura com a adição do polímero, à baixa resistência à compressão da fase polimérica e à incorporação de ar promovida pela adição de polímeros.

#### **b) Resistências à tração e à flexão**

Com relação às resistências à tração e à flexão, os materiais à base de cimento modificados com látices aumentam em comparação aos materiais sem aditivo (OHAMA, 1984). Sakai e Sugita (1995) atribuem este aumento das resistências à deposição de partículas poliméricas sobre os grãos de cimento, o que aumenta a adesão no interior da matriz cimentícia. Entretanto, novamente ressalta-se que o aumento de resistência pode estar ligado a uma possível redução da relação água/cimento, não informada pelos autores.

Já o módulo de elasticidade das argamassas modificadas com látices poliméricos é menor que o módulo das argamassas convencionais, o que resulta em maior deformação na ruptura e maior resiliência das argamassas modificadas com polímeros (OHAMA, 1984). Além da maior deformabilidade da fase polimérica, a incorporação de ar promovida durante o processo de mistura colabora para a redução do módulo de elasticidade.

A falta de convergência de conclusões observada nos artigos que se referem às argamassas modificadas com látices poliméricos também ocorre para argamassas com éteres de celulose. Os resultados de ensaios realizados por Silva, D.A. e outros (2000) em argamassas modificadas com MHEC (metil-hidroxietil celulose) mostram uma redução significativa da resistência à compressão e à tração por compressão diametral para teores de polímero de até 0,5% do polímero em relação à massa de cimento, acima desses teores a resistência se

mantém constante. Essa diminuição de resistência está, provavelmente, relacionada à elevada incorporação de ar gerada pelo polímero.

Os resultados de ensaios realizados por Fu e Chung citados por Silva, D.A. (2001) indicam que a adição de HEC em teores de 0,2 a 0,8%, em relação à massa de cimento, melhora o desempenho da pasta à tração, apresentando maiores resistência e deformação na ruptura e menor módulo de elasticidade. Esta diminuição do módulo de elasticidade é devida, principalmente, à presença de vazios gerados pela incorporação de ar durante a mistura.

### **c) Aderência**

Um dos grandes benefícios dos materiais cimentícios modificados com polímeros é a melhora da aderência com diversos tipos de substrato, se comparados com os concretos e argamassas convencionais (OHAMA, 1984).

A aderência de revestimentos cerâmicos à base está diretamente ligada ao grau de penetração e endurecimento dos compostos hidratados do cimento nos poros da base ou das placas cerâmicas (SILVA, D.A., 1999; COSTA E SILVA, 2001), sendo este mecanismo denominado de ancoragem mecânica. Na presença de polímeros, há um aumento da retenção de água, havendo uma sucção da nata de cimento para a cerâmica e para o substrato de forma gradual e contínua, gerando maior extensão de contato físico, e subsequente melhor ancoragem mecânica (SELMO e LICHTENSTEIN, 1986 citados por SILVA, D.A., 2001).

A aderência também pode ocorrer por ancoragem química<sup>6</sup> e por ancoragem física, esta através de atrações intermoleculares, decorrentes de ligações secundárias de Van der Waals e pontes de hidrogênio (VAN VLACK, 1994; GALLEGOS, 1995; THURLER e FERREIRA, 1995; CALLISTER JR., 1997; SMITH, 1998; GLEIZE, 2001), promovida pelo polímero com acréscimo de aderência placa cerâmica-base. Isso ocorre devido à formação de filme polimérico na interface argamassa/placa cerâmica (HEROLD, 2000), especialmente naquelas que apresentam baixa absorção de água.

---

<sup>6</sup> A ancoragem química ocorre através de ligações primárias – iônicas, covalentes ou metálicas (THURLER e FERREIRA, 1995; CALLISTER JR., 1997; SMITH, 1998)

De acordo com Riley e Razl (1974), os látices poliméricos devem ser adicionados às argamassas em teores que variam entre 10 e 20%, em relação à massa de cimento, para que uma boa aderência seja garantida. Em estudos realizados por Póvoas (1999), argamassas modificadas com EVA apresentaram elevada aderência, alcançando resistência de 1,1 MPa para teores de 10% de polímero. Maiores resistências foram obtidas ainda nas argamassas modificadas com EVA e HEC, segundo a autora, porque, além do aumento de resistência, a elevada retenção de água promovida pelo HEC contribuiu para a hidratação do cimento.

Quanto ao uso dos polímeros celulósicos, Silva D.A. (2001) observou, para as argamassas modificadas com aditivo vinílico e o éter de celulose MHEC (metil-hidroxietil celulose), que há um aumento de aderência à tração com teor de polímero de até 0,5%; acima deste teor há uma estabilização.

Maranhão e outros (2003) avaliaram a evolução da aderência com o tempo em argamassas do tipo ACI, ACII e ACIII<sup>7</sup> assentadas em placas de cerâmica semi-grês, granito e porcelanato, e concluíram que o ganho de resistência deve estar relacionado ao tipo de ancoragem predominante em cada caso. As maiores taxas de crescimento foram observadas para a argamassa ACI, seguida pela ACII, o que, segundo os autores, pode ser atribuído à predominância de ancoragem mecânica, a qual ocorre por penetração da argamassa nos poros e capilares da placa aderida. Já nas argamassas do tipo ACIII, esse efeito é menos observado, devido à predominância de ancoragem física, a qual tem maior atuação nas primeiras idades. O revestimento do tipo porcelanato obteve maior aderência com o emprego da argamassa tipo III. A metodologia adotada foi a prescrita na NBR 14084/98, tendo sido os corpos-de-prova armazenados em ambiente de laboratório (T= 25°C e U.R. 70%) até a idade de ensaio.

---

<sup>7</sup> De acordo com a NBR 14081/98 as argamassas colantes industrializadas são classificadas em quatro tipos, descritos sucintamente a seguir:

ACI – com características de resistência às solicitações mecânicas e termohigrométricas típicas de revestimentos internos;

ACII – com características de adesividade que permitam absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes externas;

ACIII – apresenta propriedades de modo a resistir a altas tensões de cisalhamento nas interfaces substrato/adesivo e placa cerâmica/adesivo, sendo indicada para uso em saunas, piscinas, estufas e ambientes similares;

ACIII-E – similar à ACIII, com tempo em aberto estendido.

### 2.4.3 Influência das condições ambientais

Nos parágrafos seguintes são comentados os efeitos das condições ambientais – especificamente temperatura e umidade – nas características e propriedades de polímeros e argamassas modificadas com polímero.

Como a presente pesquisa não objetivou o estudo do comportamento de argamassas modificadas com polímeros em função da temperatura, o sub-item (a) dedica-se apenas à exposição sucinta de aspectos importantes a respeito do efeito da temperatura no comportamento dos polímeros. Ao contrário, a abordagem dos efeitos da umidade no desempenho das argamassas modificadas com polímeros é feita de forma detalhada nos sub-itens (b) e (c). Procurou-se concentrar, no sub-item (b), a revisão do estado-da-arte sobre os efeitos de diferentes condições de cura no comportamento de argamassas modificadas com polímero. No sub-item (c) foram inseridas informações a respeito do efeito da saturação em água em argamassas modificadas com polímeros, depois de passarem por um período de exposição inicial. Além disso, são apresentadas discussões, encontradas na literatura consultada, sobre possíveis explicações para os fenômenos reportados.

Apesar da influência da temperatura sobre o desempenho de argamassas modificadas com polímeros não ter sido contemplada nesta pesquisa, ressalta-se a importância dessa abordagem em futuros trabalhos sobre desempenho de argamassas colantes, tendo em vista a carência de conhecimentos sobre o assunto.

#### **a) Efeito da temperatura no comportamento dos polímeros**

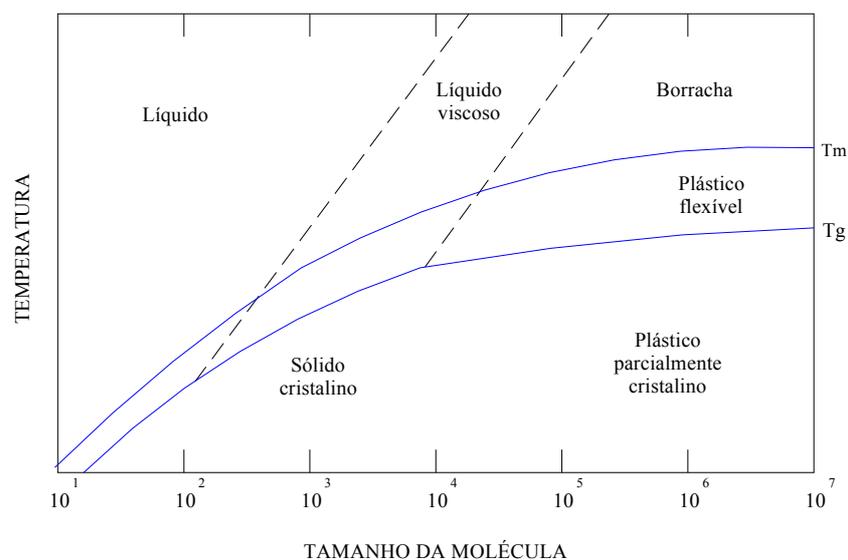
O efeito da temperatura no comportamento dos polímeros é relevante, especialmente no caso de polímeros termoplásticos (HEC e EVA), os quais caracterizam-se por amolecerem frente a temperaturas suficientemente altas, tornando-se facilmente deformáveis a partir da aplicação de pressão, e reassumirem suas propriedades originais, após o resfriamento (CAMPOS FILHO, 1962; CALLISTER JR., 1997).

Os átomos que formam as cadeias poliméricas são ligados através de ligações fortes do tipo primária, no entanto as cadeias moleculares dos termoplásticos são unidas por ligações de Van der Waals, as quais podem ser facilmente rompidas com o aumento de temperatura.

Assim sendo, quando esses materiais são aquecidos e expostos a temperaturas mais elevadas, as ligações intermoleculares são quebradas, permitindo que haja maior facilidade para a movimentação das cadeias poliméricas entre si, levando o polímero a se comportar como um líquido viscoso (CAMPOS FILHO, 1962; SMITH, 1998; GLEIZE, 2001).

O comportamento dos polímeros com a temperatura pode ser compreendido quantitativamente através de suas temperaturas de transição. Em baixas temperaturas, o polímero vibra com baixa energia, comportando-se como um sólido relativamente frágil e rígido, estágio conhecido como “estado vítreo”. Com o aumento da temperatura, as regiões amorfas do material vão adquirindo progressivamente sua mobilidade, passando a um estado mais deformável, sendo o ponto onde ocorre esta transição denominado temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ). Prosseguindo-se com o aquecimento, alcança-se a temperatura de fusão ( $T_m$ ), e acima desta, o polímero se comporta como um líquido (CALLISTER JR., 1997; GLEIZE, 2001).

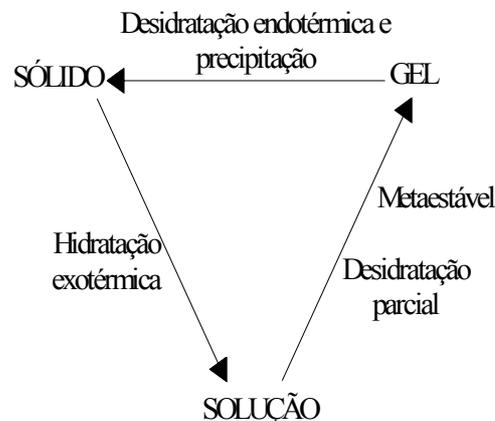
Pelo fato de os polímeros possuírem diferentes arranjos moleculares, não há valores de temperatura de fusão e de transição vítrea fixos. A Figura 2.7 a seguir, apresenta o comportamento dos polímeros em função da temperatura e de sua massa molecular.



**Figura 2.7 – Comportamento dos polímeros em função da temperatura e massa molecular (BILLMEYER JR., 1984 citado por CALLISTER JR., 1997).**

Para alcançar a mobilidade e flexibilidade desejável nas argamassas modificadas com estes polímeros termoplásticos, é necessário que a temperatura de exposição das mesmas seja entre a temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão. Além disso, no caso dos látices, é necessário que a temperatura mínima de formação de filme seja alcançada, caso contrário, o aditivo estará atuando apenas como filler na argamassa (SU, 1995).

Os éteres de celulose, por sua vez, podem se apresentar nas formas de solução aquosa, gel ou sólido, em função da temperatura e da taxa de grupos hidrofóbicos, conforme apresentado na Figura 2.8.



**Figura 2.8 – Transformação sol-gel de soluções aquosas de éteres de celulose (SARKAR e WALTER, 1995).**

As movimentações energéticas ocorrem de acordo com as mudanças de fases físicas, havendo no estado de solução, a baixas temperaturas, apenas um simples entrelaçamento das moléculas do polímero, as quais estão hidratadas. Com o aumento da temperatura, as moléculas vão absorvendo energia e gradualmente vão perdendo água da hidratação, e conseqüentemente, ocorrem interações das moléculas do polímero, com aumento da viscosidade e formação de uma estrutura em rede – o gel ou hidrogel (SARKAR e WALTER, 1995).

Há poucas pesquisas realizadas para avaliar o efeito da temperatura no desempenho das argamassas modificadas com éteres de celulose e látices poliméricos no estado endurecido. Um dos estudos é reportado por Ohama (1984), que afirma que a maioria das argamassas modificadas com látices poliméricos apresenta, no mínimo, 50% de diminuição de resistência quando expostas a temperaturas superiores a 50°C. Essa informação deve ser considerada no

caso de fachadas de edifícios revestidas com placas cerâmicas escuras, as quais podem atingir temperaturas entre 60 e 70°C (RIVERO, 1986; GOLDBERG, 1998).

#### **b) Efeito das condições de cura nas propriedades e comportamento mecânico de argamassas colantes**

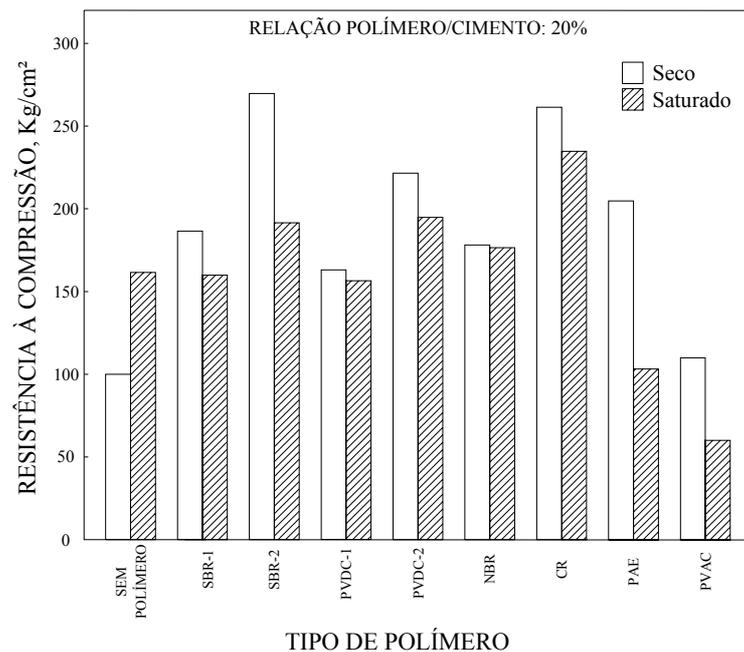
O efeito da cura nas resistências de argamassas com polímeros é diferente que em concretos e argamassas convencionais. Os materiais à base de cimento modificados com látices devem ser curados ao ar, ao contrário dos materiais não-modificados, que apresentam melhores propriedades mecânicas em cura úmida (LAVELLE, 1988). Isso se deve à necessidade de secagem da água de amassamento para ocorrer a formação do filme polimérico. Outra vantagem da exposição do material ao ar é permitir que o látex polimérico forme de imediato uma película superficial selando a superfície e dificultando a saída da água (RILEY e RAZL, 1974). Por outro lado, a cura úmida é importante para a hidratação do cimento.

De acordo com Repette (2003)<sup>8</sup>, a cura ideal para argamassas e concretos modificados com polímeros é alcançada expondo o material durante os três primeiros dias em água e após deixando-o curar ao ar. Para Ohama (1984), os melhores desempenhos de sistemas modificados com polímeros também são obtidos através de uma cura combinada, deixando o material de 1 a 3 dias em cura úmida, e em seguida exposto ao ar. O autor adverte, ainda, que a exposição de argamassas e concretos modificados com polímeros a condições úmida ou imersa em água, após a cura ao ar, acarreta diminuição das resistências, conforme será abordado adiante (item (c)).

Há redução considerável da resistência à compressão de argamassas modificadas com polímeros quando curadas imersas em água, conforme mostra a Figura 2.9, onde são apresentados os resultados de experimentos realizados por Ohama (1984) em argamassas modificadas com diferentes tipos de látices. Calculando-se as diferenças entre as alturas das barras da figura, chega-se à conclusão que a argamassa pura (sem polímeros) apresenta resistência 50% superior na condição saturada, comparativamente à condição seca. Contrariamente, as argamassas modificadas com polímeros apresentam redução de resistência na cura saturada. No caso do polímero PVAc (poliacetato de vinila) esta redução é de aproximadamente 50%, e no caso do PAE (éster poliacrílico), de 58%.

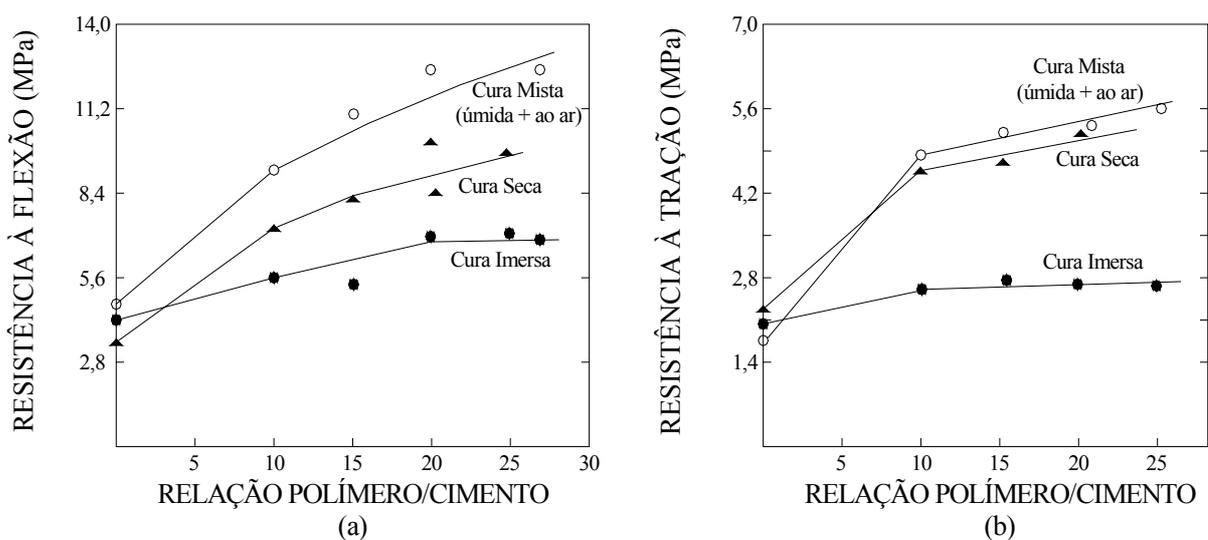
---

<sup>8</sup> REPETTE, W.L., 2003 – Comunicação pessoal.



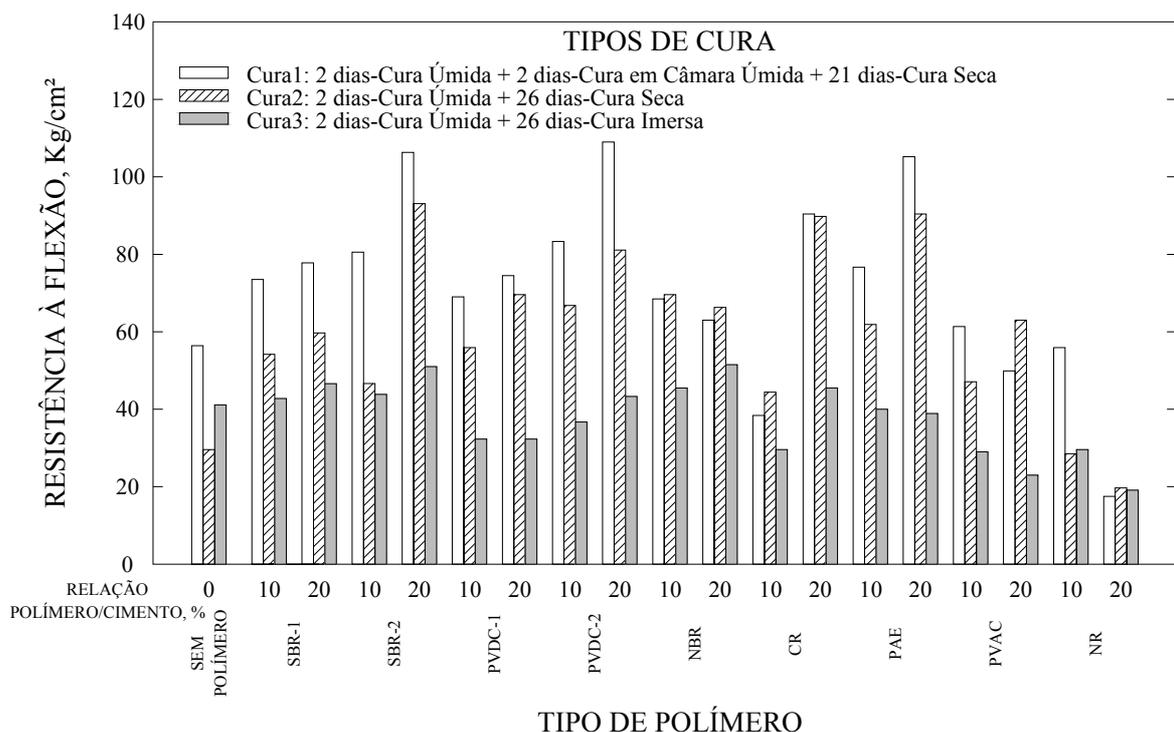
**Figura 2.9 – Efeito da absorção de água na resistência à compressão de argamassas modificadas com látex (OHAMA, 1984).**

Resultados de ensaios realizados por Lavelle (1988) evidenciam que o efeito da cura na resistência à flexão e à tração também é bastante significativo em argamassas modificadas com látex. Conforme mostra a Figura 2.10, pode-se perceber que a cura imersa provoca uma redução das resistências, enquanto na cura mista são obtidas as maiores resistências.



**Figura 2.10 – Efeito das condições de cura na resistência à flexão (a) e à tração (b) de argamassas modificadas com látex (LAVELLE, 1988).**

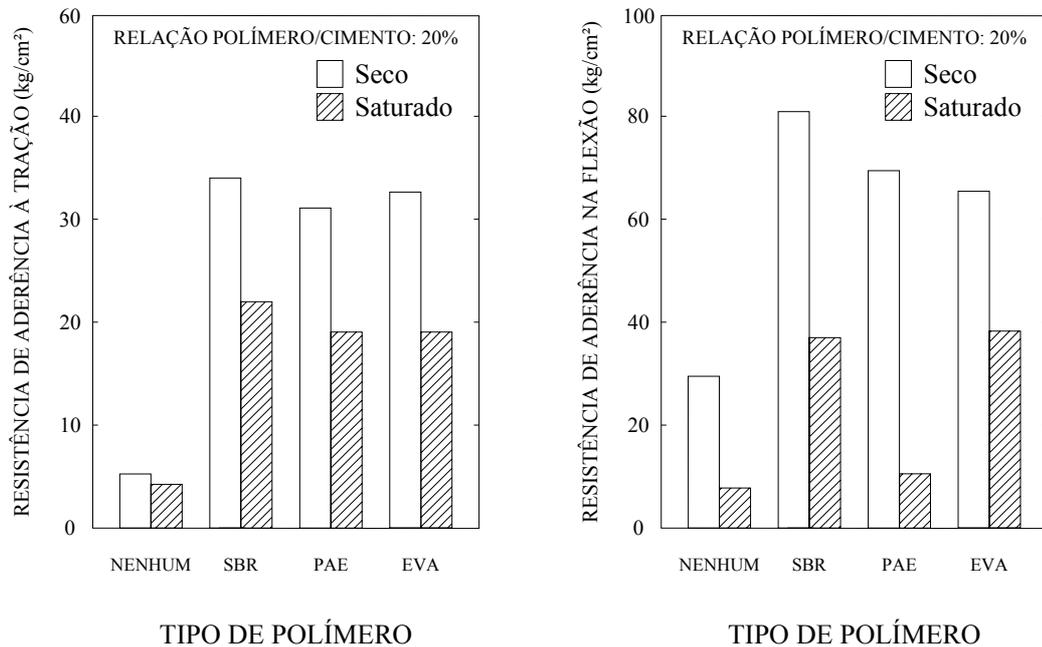
Segundo Ohama (1984), a flexão das argamassas modificadas com látices é a mais prejudicado em condições úmidas. A Figura 2.11 mostra resultados de experimentos realizados pelo autor, em que foram avaliadas argamassas com diferentes tipos de polímeros, variando-se os teores (10 e 20%). Como pode ser observado, as argamassas modificadas com polímeros submetidas à cura imersa após a cura úmida (Cura 3) apresentam queda de resistência se comparadas às demais condições (Cura 1 e 2), diferentemente do que ocorre com as argamassas puras. Isso torna evidente a importância da cura úmida nas primeiras idades, com o intuito de favorecer a hidratação do cimento, seguida de uma exposição ao ar, para promover a formação do filme polimérico, devido à coalescência das partículas dos látices. Além disso, a Figura indica, também, que para maiores idades há redução na resistência à flexão quando da exposição do sistema a elevadas umidades ou imersão em água.



**Figura 2.11 – Efeito das condições de cura na resistência à flexão em argamassas modificadas com diferentes tipos de látices (OHAMA, 1984).**

Fritze (2002) estudou o efeito das condições de cura na deformabilidade de argamassas modificadas com pó-redispersível. O autor observou que essa propriedade diminui consideravelmente quando as argamassas são submetidas a condições de cura com imersão (7 dias ao ar + 14 dias em imersão + 21 dias ao ar), se comparadas à cura seca (28 dias ao ar).

Ohama (1984) constatou redução na aderência à tração e à flexão entre argamassas modificadas com diferentes polímeros e placas cerâmicas, devido ao efeito da absorção de água em argamassas modificadas com látices. Os resultados estão apresentados na Figura 2.12, podendo-se observar também, que mesmo havendo uma redução das resistências das argamassas poliméricas quando em estado saturado, as mesmas são superiores às resistências das argamassas não modificadas.



**Figura 2.12 – Efeito da absorção de água na aderência à tração e à flexão de argamassas modificadas com látex (OHAMA, 1984).**

Os resultados de ensaios de aderência à tração, realizados por Fritze (2002), mostram que a aderência entre argamassas modificadas com pó redispersível e placas cerâmicas do tipo grês e porcelanato, em condições normais de exposição, aumenta com o aumento da relação polímero/cimento. Em condições imersas, a aderência reduziu drasticamente, principalmente para a placa cerâmica do tipo porcelanato, apresentando, inclusive, baixa aderência com a argamassa de referência. Da mesma forma, em estudos realizados por Jenni (2003) foi verificado que o descolamento de placas cerâmicas vitrificadas, quando expostas à água, ocorre predominantemente na interface argamassa-placa cerâmica.

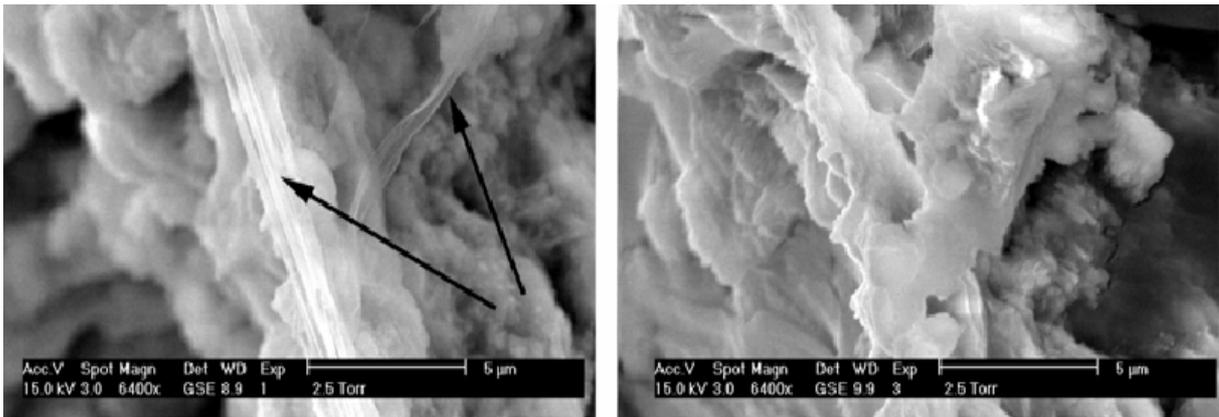
### **c) Efeito do teor de umidade nas propriedades e comportamento mecânico de argamassas colantes**

Conforme se observou, há consenso entre os pesquisadores de que as propriedades e o comportamento mecânico de argamassas colantes são influenciados na presença de água ou elevada umidade. Estudos realizados por Jenni (2003) foram os que mais contemplaram o desempenho dessas argamassas frente à saturação até o momento. No entanto, o efeito das condições de umidade sobre a microestrutura das argamassas ainda não está esclarecido. Há possibilidade de ocorrerem alterações no filme polimérico, bem como de se formarem produtos de interação cimento-polímero que sejam sensíveis à ação da umidade, e que, desta forma, justifiquem a redução das resistências mecânicas em teores elevados de umidade.

De acordo com Du Chesne e outros (2000), a presença de uma quantidade considerável de álcool polivinílico – PVA, que é utilizado como tensoativo na produção de látices, faz com que o filme de EVA desagregue quando imerso em água. Se esse fenômeno acontecer no filme formado no interior da argamassa colante, pode haver redução de resistência mecânica, especialmente de aderência a materiais em contato.

A ocorrência de hidrólise alcalina (saponificação) em pastas de cimento modificadas com EVA foi constatada por Silva, D.A. (2001), havendo a provável formação de acetato de cálcio como produto de interação do copolímero com o cimento em hidratação, além da incorporação de PVA na cadeia polimérica. Como o acetato de cálcio é um sal que apresenta elevada higroscopicidade, e o PVA é um polímero solúvel em água, materiais cimentícios que contenham EVA podem ter seu desempenho mecânico prejudicado com maior grau de saturação em água.

Em estudo recente, Jenni (2003) constatou, por meio de microscópio eletrônico de varredura ambiental, a presença de filme de EVA em argamassas, após a exposição das mesmas à água. Por outro lado, o autor observou a formação de um filme fino transparente na interface dos poros em argamassa aditivada com éter de celulose, o qual foi completamente dissolvido quando exposto à umidade, conforme pode ser visto na Figura 2.13.

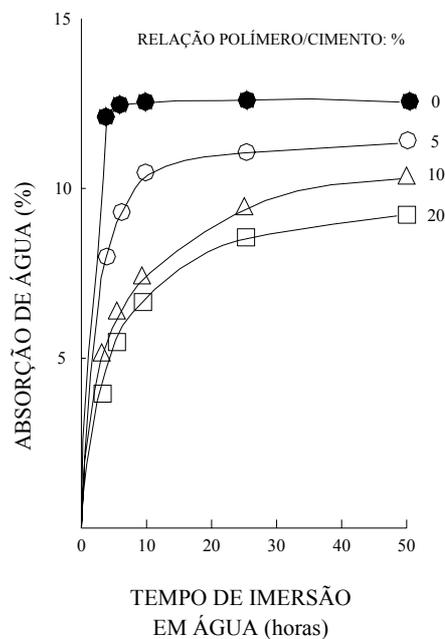


(a)

(b)

**Figura 2.13 – Microestrutura em argamassa modificada com éter de celulose (a) previamente à imersão e (b) após a imersão (JENNI, 2003).**

Por outro lado, Ohama (1984) afirma que há aumento da taxa de absorção de água com o aumento do tempo de imersão de argamassas modificadas com EVA até, no mínimo, 48 horas após imersão (Figura 2.14). Isso pode ser um indicativo de desagregação do filme polimérico em contato prolongado com água, ou de uma interação entre as partículas poliméricas liberadas na matriz cimentícia e as moléculas de água (SILVA, D.A. 2001).



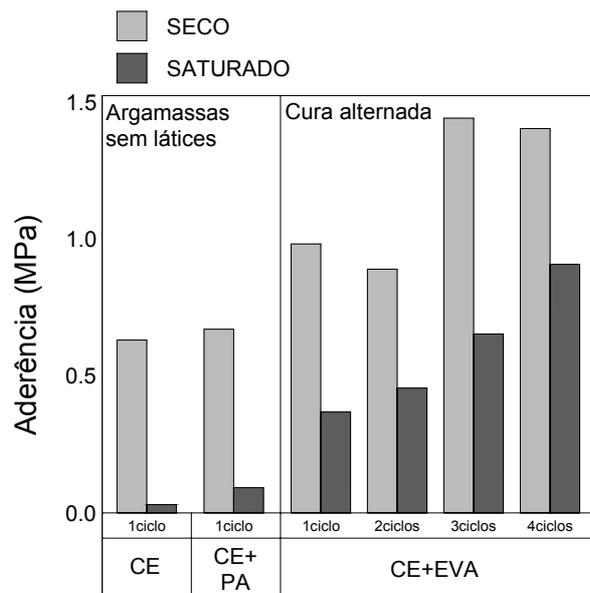
**Figura 2.14 – Absorção de água em função do tempo de imersão para argamassas modificadas com EVA (OHAMA, 1984).**

No caso de argamassas aditivadas com éteres de celulose, Ohama (1984) afirma que a absorção de água aumenta com maior relação polímero/cimento e a permeabilidade diminui. Segundo o autor, isso se deve ao fato dos éteres celulósicos sofrerem inchamento quando absorvem água, selando os vazios e poros capilares.

É possível que a redução de resistência de argamassas modificadas com polímeros em condições úmidas ou saturadas seja reversível com posterior secagem. Entretanto, não foram encontrados resultados e informações de estudos sobre essa possível recuperação. De acordo com Ohama (1984), isso só seria possível se não ocorressem alterações químicas no polímero durante a saturação (OHAMA, 1984).

Não há na literatura consultada, informações sobre o comportamento do módulo de elasticidade de produtos cimentícios modificados com polímeros, quando saturados em água.

O comportamento de aderência frente a ciclos alternados de molhamento e secagem foi avaliado por Jenni (2003) em diferentes argamassas compostas com éter de celulose, PVA e EVA. Os resultados mostram uma diminuição na aderência de todas as formulações após contato com água (Figura 2.15), sendo esta em menor grau nas argamassas com o éter de celulose e EVA. Pode-se verificar também que com o aumento dos ciclos de molhamento e secagem até quatro ciclos, a argamassa vai adquirindo um acréscimo de aderência.



**Figura 2.15 - Efeito da cura na aderência de diferentes argamassas, modificadas com éter de celulose, PVA e EVA (JENNI, 2003).**

De fato, existe consenso entre os pesquisadores de que a aderência da argamassa polimérica é reduzida consideravelmente quando em condição saturada (OHAMA, 1984; JENNI, 2003). Talvez a mais provável razão da queda de resistência seja a modificação das propriedades do filme polimérico quando em contato com a água, ou até mesmo a variação de volume da matriz cimentícia devida ao inchamento da fase polimérica e amolecimento de produtos de interação cimento/polímeros (OHAMA, 1984; JENNI, 2003). Entretanto, não foram encontrados na literatura ensaios que avaliem a variação dimensional de argamassas modificadas com látices em função de períodos de saturação e posterior secagem.

De acordo com Fowkes, citado por Rodrigues e Joeques (1998), a diminuição das resistências mecânicas dos materiais cimentícios modificados látices poliméricos é atribuída à intensidade das interações entre os componentes. Na presença de água, o polímero interage preferencialmente com a mesma, através de uma associação ácido-base, a qual é mais resistente que as ligações de Van der Waals presentes na interface polímero-cimento.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Planejamento experimental

O planejamento experimental foi traçado de acordo com a estrutura laboratorial disponível, buscando o cumprimento dos objetivos estabelecidos nesta pesquisa. Para isso, foram formuladas em laboratório diferentes argamassas compostas com materiais usualmente empregados pelas indústrias fabricantes de argamassas colantes.

As variáveis independentes adotadas foram a condição de exposição empregada e os teores de polímero – HEC e EVA. Os teores adotados correspondem a valores médios empregados na prática e citados na literatura, e a valores mais elevados, também citados na literatura, com o intuito de tornar o efeito do polímero mais extremo.

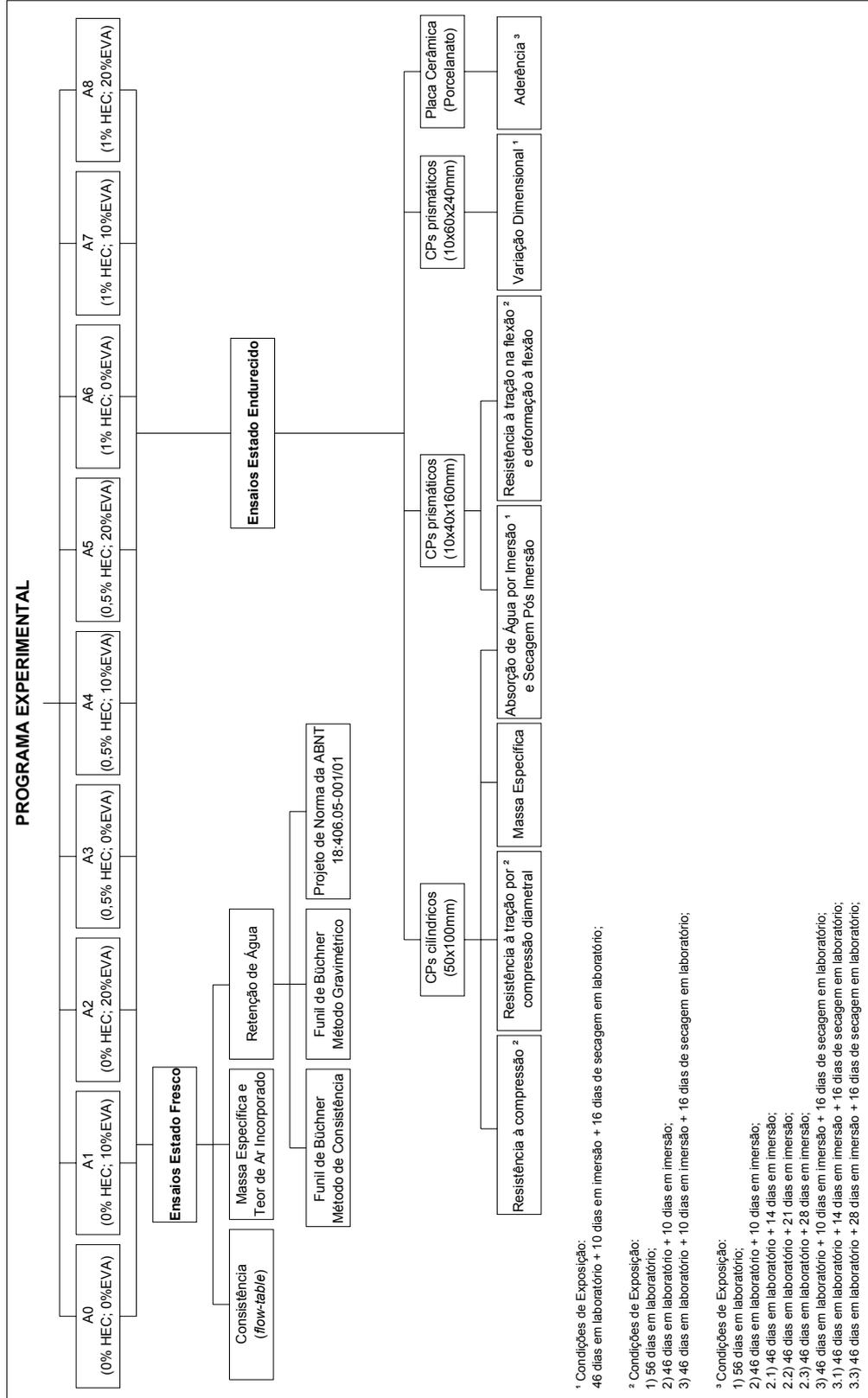
As quantidades de cimento e areia foram mantidas constantes para todas as argamassas, bem como a relação água/materiais secos, com a finalidade de avaliar unicamente a influência do tipo e teor de polímero nas propriedades das mesmas. Ressalta-se que não foi intuito deste trabalho propor formulações de argamassas apropriadas para aplicação prática.

Como variáveis dependentes foram estabelecidos os ensaios mecânicos (resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão, deformação na flexão e resistência de aderência com placa cerâmica – porcelanato) e os ensaios de determinação de massa específica, de absorção de água por imersão, secagem pós imersão e variação dimensional frente a um ciclo de saturação-secagem. Os resultados dos ensaios foram analisados estatisticamente por análise de variâncias (ANOVA).

Com o intuito de caracterizar e avaliar as propriedades no estado fresco das argamassas, também foram realizados ensaios para determinação da massa específica e do teor de ar incorporado, consistência e índice de retenção de água.

Cabe ressaltar, ainda, que os efeitos da temperatura e da umidade relativa do ar não foram avaliados neste estudo, tendo sido as condições de laboratório mantidas constantes (Temperatura=  $23\pm 2$  °C; Umidade Relativa do Ar=  $65\pm 5$  %).

Nos itens seguintes, será detalhado o programa experimental empregado no desenvolvimento da pesquisa. O esquema ilustrativo do programa experimental é apresentado na Figura 3.1, a seguir.



**Figura 3.1 – Esquema ilustrativo do planejamento experimental**

## 3.2 Caracterização dos materiais

### 3.2.1 Cimento

Na confecção de todas as argamassas foi empregado o cimento Portland composto com filler calcário – CII-F 32, produzido pela Votorantim Cimentos (Cimento Rio Branco S.A.). Optou-se pelo uso deste cimento em razão de o mesmo não possuir adições pozolânicas ou de escória, o que poderia influenciar nos resultados dos ensaios.

As características químicas, físicas e mecânicas do cimento foram obtidas com o fabricante e estão apresentadas na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 – Caracterização química, física e mecânica do cimento CII-F32**

#### Caracterização química (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	Perda ao fogo	Resíduo insolúvel
17,40	4,62	2,62	59,93	5,96	3,22	0,19	1,07	3,94	4,80	1,35

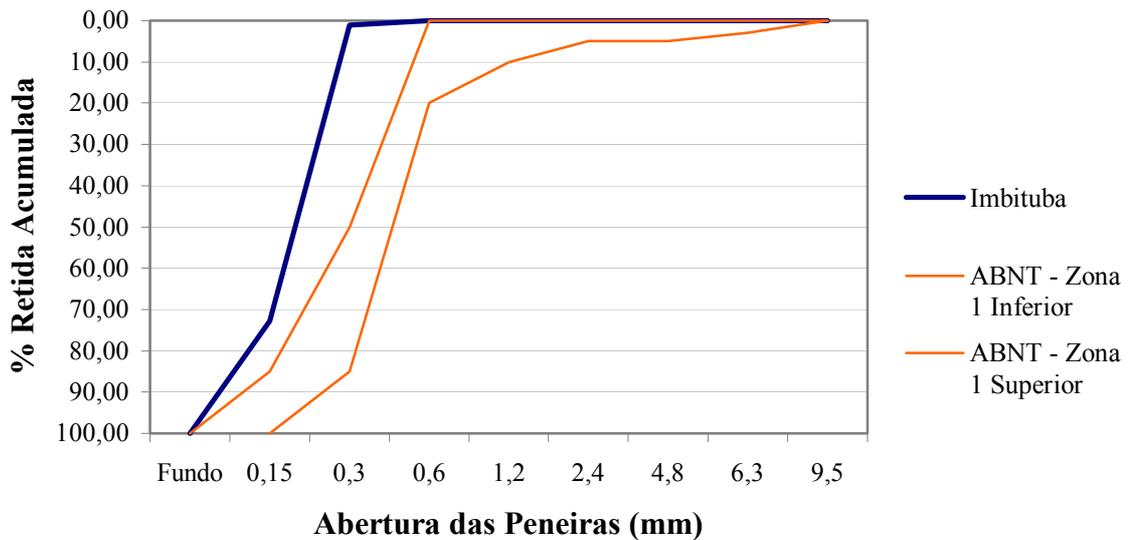
#### Caracterização física e mecânica

Tempo de pega (min)		Água de consistência (%)	Área específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Resíduo #200 (%)	Resíduo #325 (%)	Exp. a quente (mm)	Resistência à compressão (MPa)		
Inicial	Final						3 dias	7 dias	28 dias
275	345	26,69	3381	3,10	13,02	0,39	27,79	31,24	39,00

### 3.2.2 Areia

A areia empregada nas argamassas é de origem eólica, proveniente do município de Imbituba – SC, e caracteriza-se por ser bastante fina e descontínua. Esta areia tem sido utilizada por muitos fabricantes regionais, e por este motivo decidiu-se pelo uso da mesma.

Conforme pode ser visto através da composição granulométrica (Figura 3.2), a areia não se enquadra na classificação da ABNT (NBR 7211/83), apresentando valores inferiores aos estabelecidos para a Zona 1 (muito fina).



**Figura 3.2 – Composição granulométrica da areia**

Na Tabela 3.2 está apresentada a distribuição granulométrica e o resultado de módulo de finura, realizados de acordo com a NBR 7217/87, bem como os resultados da massa unitária (NBR 7251/82), massa específica (NBR 6508/84), materiais pulverulentos (NBR 7219/87) e matéria orgânica da areia (NBR 7220/87).

Como o teor de material pulverulento determinado foi inferior ao recomendado pela NBR 7219/87, optou-se por não lavar a areia.

**Tabela 3.2 – Caracterização física da areia**

	Abertura da peneira (mm)	Porcentagem retida (em massa)	
		individual	acumulada
Distribuição granulométrica - NBR 7217/87	0,6	0,03	0,03
	0,3	1,03	1,06
	0,15	71,81	72,87
	0,075	27,02	99,89
	<0,075	0,11	100,00
Módulo de finura – NBR 7217/87		0,74	
Massa unitária – NBR 7251/82		1,51 kg/dm <sup>3</sup>	
Massa específica – NBR 6508/84		2,64 kg/dm <sup>3</sup>	
Materiais pulverulentos – NBR 7219/87		0,81%	
Matéria orgânica – NBR 7220/87		< 300 ppm	

### 3.2.3 Copolímero acetato de vinila/etileno – EVA

O copolímero acetato de vinila/etileno Vinnapas RE-524Z, fabricado pela Wacker Chimie, foi adicionado às argamassas na forma de pó redispersível em água. A massa específica do polímero foi determinada através do método do frasco volumétrico de *Le Chatelier* (NBR 6474/84), utilizando-se xileno como líquido, uma vez que o mesmo não reage quimicamente com o EVA (BRANDRUP e IMMERGUT, 1989). As demais características foram obtidas junto ao fornecedor e através da pesquisa realizada por Silva, D.A. (2001), uma vez que o polímero empregado no presente estudo pertence ao mesmo lote.

A Tabela 3.3 apresenta a caracterização física do copolímero EVA empregado nesta pesquisa.

**Tabela 3.3 – Caracterização física do EVA**

<b>Características do pó</b>	
Teor de sólidos <sup>a</sup>	99±1%
Teor de inorgânicos (30min a 1000°C)	7,63%
Densidade aparente <sup>b</sup>	1,34g/cm <sup>3</sup>
Massa específica <sup>c</sup>	1,24g/cm <sup>3</sup>
Tamanho de partícula <sup>d</sup>	11% acima de 250µm
Colóide protetor <sup>e</sup>	Álcool polivinílico (PVA)
Temperatura de transição vítrea <sup>e</sup>	11,2°C
<b>Características da dispersão feita a partir do pó</b>	
Tamanho da partícula predominante <sup>f</sup>	1 a 8 µm
Temperatura mínima de formação de filme <sup>f</sup>	aproximadamente 4°C

<sup>a</sup> característica determinada por termogravimetria (SILVA, D.A., 2001)

<sup>b</sup> característica determinada por porosimetria por intrusão de mercúrio (SILVA, D.A., 2001)

<sup>c</sup> característica determinada conforme NBR 6474/84

<sup>d</sup> característica determinada por granulometria a laser em etanol (SILVA, D.A., 2001)

<sup>e</sup> característica determinada por DSC - calorimetria diferencial de varredura (SILVA, D.A., 2001)

<sup>f</sup> característica informada pelo fabricante

Na Figura 3.3 é apresentado o espectro de transmitância no infravermelho do polímero, em pastilha de KBr, e a identificação das principais bandas é apresentada na Tabela 3.4, com base na literatura consultada por Silva, D.A. (2001).

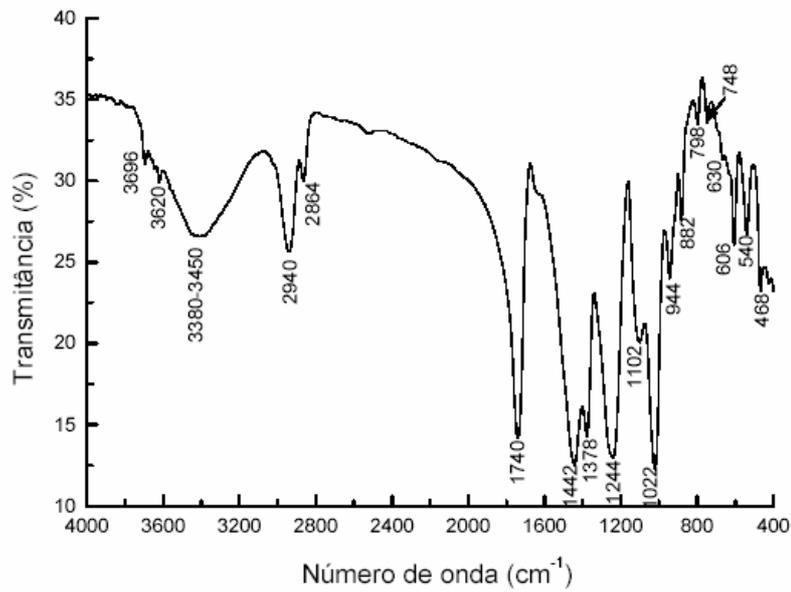


Figura 3.3 – Espectro no infravermelho do pó de EVA (SILVA, D.A., 2001)

Tabela 3.4 – Bandas do espectro no infravermelho do pó de EVA (SILVA, D.A., 2001)

Posição da banda (cm <sup>-1</sup> )	Grupo ou ligação
3696	OH
3620	CH <sub>2</sub>
3380-3450	OH, C=O ( <i>overtone</i> )
2940	CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub>
2864	CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub>
1740	C=O
1442	CH <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> , CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>
1378	C-CH <sub>3</sub>
1244	C-O
1102	C-O, OH
1022	C-O, CH <sub>3</sub>
944	C-C do grupo éster*
882	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>
798	
748	CH <sub>2</sub> , CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>
630	OCO
606	C=O; grupo éster*
540	C=O
468	CH, COO

\* grupo éster: (CH<sub>3</sub>COO)<sup>-</sup>

### 3.2.4 Hidroxietil-celulose – HEC

O polímero hidroxietil celulose Cellosize 100CG-FF, fabricado pela Dow/Union Carbide, foi empregado nas argamassas em forma de pó. A massa específica do HEC também foi determinada através do método do frasco volumétrico de *Le Chatelier* (NBR 6474/84), em acetona, pois esta não reage quimicamente com o polímero (BRANDRUP e IMMERGUT, 1989). As demais características foram obtidas através do fornecedor e da pesquisa realizada por Silva, D.A. (2001).

A Tabela 3.5 apresenta as características físicas do HEC e a Figura 3.4 apresenta o espectro de transmitância no infravermelho do polímero em pó, em pastilha de KBr. A identificação das principais bandas está apresentada na Tabela 3.6, e foi realizada com base na literatura consultada por Silva, D.A. (2001).

**Tabela 3.5 – Caracterização física do HEC**

Teor de inorgânicos (30min a 1000°C)	2,47%
Densidade aparente <sup>a</sup>	1,57g/cm <sup>3</sup>
Massa específica <sup>b</sup>	1,41g/cm <sup>3</sup>
Tamanho da partícula <sup>c</sup>	6% acima de 250µm
Temperatura de transição vítrea (Tg) <sup>d</sup>	-5,34°C
Pico de fusão <sup>d</sup>	100,42°C
Massa molecular <sup>e</sup>	1.900.000
Grau de polimerização <sup>e</sup>	7.600
Viscosidade (2% em solução aquosa) <sup>e</sup>	100.000 mPa.s

<sup>a</sup> característica determinada por porosimetria por intrusão de mercúrio (SILVA, D.A., 2001)

<sup>b</sup> característica determinada conforme NBR 6474/84

<sup>c</sup> característica determinada por granulometria a laser em etanol (SILVA, D.A., 2001)

<sup>d</sup> característica determinada por DSC - calorimetria diferencial de varredura (SILVA, D.A., 2001)

<sup>e</sup> característica informada pelo fabricante

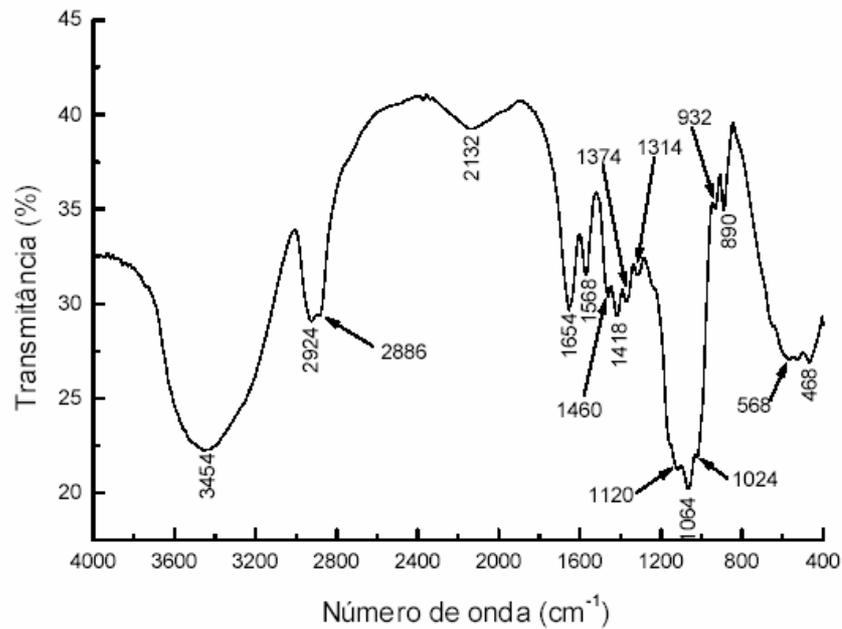


Figura 3.4 – Espectro no infravermelho do pó de HEC (SILVA, D.A., 2001)

Tabela 3.6 – Bandas do espectro no infravermelho do pó de HEC (SILVA, D.A., 2001)

Posição da banda (cm <sup>-1</sup> )	Grupo ou ligação
3454	O-H da hidroxila livre ou com ponte de H fraca
2940 e 2886	C-H no CH <sub>2</sub> e no CH
2132	
1654	HOH – água molecular
1568	
1460	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , CH <sub>2</sub>
1418	C-H no CH <sub>2</sub>
1374	C-H no CH
1314	Éter C-O-C; O-H no álcool
1120	C-O no éter C-O-C ou no C-O-H (álcool secundário)
1064	C-O no C-O-H (álcool secundário)
1024	C-O no C-O-H (álcool primário)
932	inorgânico
890	anel
568	inorgânico
468	inorgânico

### 3.2.5 Placa cerâmica – Porcelanato

Nos ensaios de aderência utilizou-se placas cerâmicas do tipo porcelanato não esmaltado, com dimensões de 425 x 425 x 9 mm e dureza MOHS 5, produzido pela CEUSA Revestimentos Cerâmicos (Cerâmica Urussanga S.A.). Adotou-se este tipo de placa cerâmica com o intuito de avaliar o seu desempenho frente a elevadas umidades ou saturação, uma vez que a mesma apresenta absorção de água praticamente nula.

A caracterização das placas cerâmicas foi realizada pelo Centro de Tecnologia em Materiais – CTC, localizado no município de Criciúma (SC), através de ensaios de determinação de expansão por umidade, segundo o Projeto de Norma da ABNT 02.002.10-003/96 e determinação de absorção de água, conforme a NBR 13818/97 – Anexo B. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.7.

**Tabela 3.7 – Caracterização do porcelanato**

<b>Absorção Média de Água (%)</b>	<b>Expansão por Umidade (mm/m)</b>
0,04	0,00

### 3.3 Dosagem e preparo das argamassas

Os ensaios foram realizados em argamassas compostas de cimento Portland composto com filler (CPII-F 32), areia fina, água deionizada, o polímero hidroxietil celulose – HEC, e o copolímero acetato de vinila/etileno – EVA.

As proporções dos materiais empregadas foram 1:3 (cimento:areia, em massa), mantendo-se constante a relação água/materiais secos em 0,19 – o que corresponde a uma relação água/cimento de 0,76. Esta relação foi definida após uma série de ensaios preliminares, nos quais variou-se a relação água/cimento e a forma de moldagem, adotando-se uma quantidade de água e métodos de moldagem aplicáveis para todas as argamassas.

Os teores dos polímeros HEC e EVA foram variados em três níveis cada, totalizando nove tipos de argamassas, conforme mostra a Tabela 3.8.

**Tabela 3.8 - Teores de polímeros das argamassas (% em relação à massa de cimento)**

Designação da Argamassa	Teor de HEC (%)	Teor de EVA (%)
A0	0	0
A1	0	10
A2	0	20
A3	0,5	0
A4	0,5	10
A5	0,5	20
A6	1	0
A7	1	10
A8	1	20

Os polímeros em estudo possuem espécies químicas inorgânicas em sua composição (SILVA, D.A., 2001). Desta forma, para a obtenção das relações polímero/cimento nominais apresentadas na Tabela 3.8, os teores foram corrigidos. As relações polímero/cimento de 10% e 20% de EVA foram corrigidas para 10,8% e 21,6%, respectivamente, e as relações polímero/cimento de 0,5% e 1% de HEC corrigidas para 0,51% e 1,03%.

A mistura mecânica das argamassas foi realizada em argamassadeira com capacidade de 5 litros, em velocidade baixa. O procedimento de mistura adotado foi fundamentado na NBR 14082 (ABNT, 1998) e está descrito a seguir:

1. mistura mecânica, a seco, do cimento, areia e polímeros durante 120 segundos;
2. retirada da mistura seca do recipiente e colocação da água no mesmo;
3. colocação da mistura seca sobre a água, de modo contínuo, durante aproximadamente 30 segundos;
4. mistura mecânica por 60 segundos;
5. mistura manual da argamassa com auxílio de uma espátula, com o misturador mecânico desligado, num intervalo de 60 segundos;
6. mistura mecânica por mais 60 segundos;
7. repouso da argamassa por 15 minutos, coberta com um pano úmido;
8. remistura mecânica por 15 segundos.

Finalizado o procedimento de mistura, as argamassas foram aplicadas ou moldadas de acordo com as especificações para cada tipo de ensaio a ser realizado, descritas nos itens 3.5 e 3.6 adiante.

Os procedimentos de mistura e moldagem dos corpos-de-prova foram realizados numa sala climatizada, onde a temperatura era de  $23\pm 2$  °C e umidade relativa do ar de  $65\pm 5$  %.

### **3.4 Condições de exposição dos corpos-de-prova**

Com o intuito de avaliar o efeito da saturação em água nas argamassas e o comportamento das mesmas em função do tempo de saturação e do tempo de secagem pós-saturação, os corpos-de-prova foram submetidos a três condições de exposição:

1. 56 dias em laboratório + 0 dias em imersão;
2. 46 dias em laboratório + 10 dias em imersão;
3. 46 dias em laboratório + 10 dias em imersão + 16 dias de secagem em laboratório;

Definiram-se estas idades pois, nestas condições, a hidratação do cimento já está bastante evoluída (SILVA, D.A., 2001), não interferindo de forma significativa no comportamento das argamassas em função da saturação.

Os tempos de imersão e secagem pós imersão foram definidos a partir de ensaios preliminares, nos quais fez-se um acompanhamento da variação de massa dos diferentes tipos de corpos-de-prova previamente à imersão e diariamente após a mesma. Este acompanhamento foi feito por um período de até 7 dias após a obtenção do valor de massa constante (absorção diária menor que 0,5%, em relação à massa seca), com o intuito de garantir a condição de saturação. Após este período, os corpos-de-prova foram retirados da caixa de água saturada com  $\text{Ca(OH)}_2$  e mantidos em caixas térmicas ( $T \cong 23^\circ\text{C}$  e U. R.  $\cong 75\%$ ). Da mesma forma que na imersão, fez-se um acompanhamento diário da massa dos corpos-de-prova para a determinação do tempo necessário de secagem dos mesmos. O acompanhamento foi feito por um período de até 7 dias após a obtenção do valor de massa constante (perda de massa diária média inferior a 0,5%, porcentagem em relação à massa saturada).

Os corpos-de-prova submetidos à condição em laboratório (incluindo um período de 7 dias nos moldes) permaneceram em caixas térmicas, onde a temperatura e a umidade relativa do ar foram mantidas constantes em aproximadamente 23°C e 75%, respectivamente. A umidade relativa foi garantida com o uso de uma solução supersaturada de NaCl, como corpo de chão. Na condição imersa, os corpos-de prova foram colocados em uma caixa com solução saturada de Ca(OH)<sub>2</sub>, em quantidade suficiente para cobri-los.

No ensaio de aderência, os corpos-de-prova das argamassas com 0,5% de HEC (A3, A4 e A5) foram submetidos a diferentes períodos de imersão, com o intuito de avaliar uma possível influência do tempo de saturação na resistência de aderência. De forma mais específica, estas argamassas foram submetidas às seguintes condições de exposição:

1. 56 dias em laboratório + 0 dias em imersão;
2. 46 dias em laboratório + 10 dias em imersão;
  - 2.1 46 dias em laboratório + 14 dias em imersão;
  - 2.2 46 dias em laboratório + 21 dias em imersão;
  - 2.3 46 dias em laboratório + 28 dias em imersão;
3. 46 dias em laboratório + 10 dias em imersão + 16 dias de secagem em laboratório;
  - 3.1 46 dias em laboratório + 14 dias em imersão + 16 dias de secagem em laboratório;
  - 3.2 46 dias em laboratório + 21 dias em imersão + 16 dias de secagem em laboratório;
  - 3.3 46 dias em laboratório + 28 dias em imersão + 16 dias de secagem em laboratório.

### **3.5 Ensaio no estado fresco**

A normalização brasileira referente às argamassas colantes industrializadas, vigente desde 1998, não contempla diversos requisitos para avaliação do desempenho das mesmas, incluindo ensaios de caracterização no estado fresco. Alguns destes requisitos são contemplados por normas internacionais, porém, como é sabido e comprovado em estudos realizados por Silva, C.O. (2003), os mesmos nem sempre são adequados para argamassas colantes.

Desta forma, neste estudo foram adotados ensaios adaptados aos especificados pela normalização brasileira de argamassas, com a finalidade de caracterização e controle das argamassas no estado fresco.

A determinação do índice de consistência foi realizada pelo método da mesa de consistência (*flow-table*) descrito na NBR 13276/95. O tampo da mesa e a parede interna do molde tronco-cônico foram ligeiramente impregnados com um óleo mineral, com o intuito de evitar a aderência da argamassa aos mesmos.

A retenção de água foi determinada através do método especificado no Anexo C do Projeto de Norma da ABNT para argamassa de rejuntamento 18:406.05-001/01, no qual é verificada a migração de água da argamassa, moldada em um anel com aproximadamente 48mm de diâmetro e 12mm de altura, para um papel filtro nos intervalos de 4, 7 e 10 minutos. Adotou-se também os métodos do Funil de Büchner modificado (conforme procedimento da NBR 9290/96), determinando-se a retenção de água por consistência (Equação 3.1) e por determinação gravimétrica da água succionada (Equação 3.2).

$$RA = \left( \frac{A - 125}{B - 125} \right) \times 100 , \quad (3.1)$$

onde: RA – índice de retenção de água (%);

A – consistência após a sucção no funil de Büchner modificado (mm);

B – consistência antes da sucção no funil de Büchner modificado (mm).

$$RA = \left[ 1 - \left( \frac{M_{ma} - M_s}{AF \times (M_{ma} - M_m)} \right) \right] \times 100 , \quad (3.2)$$

onde: RA – índice de retenção de água (%);

$M_{ma}$  – massa do conjunto com argamassa (g);

$M_s$  – massa do conjunto com argamassa após sucção (g);

$M_m$  – massa do conjunto vazio (g);

AF – fator água/argamassa fresca (a razão entre a massa total de água acrescentada à mistura e a soma das massas dos componentes anidros da argamassa);

A Figura 3.5 mostra o equipamento utilizado para a determinação da retenção de água por meio do funil de Büchner.



**Figura 3.5 – Equipamento utilizado para determinação da retenção de água**

O método adotado para determinação da massa específica e teor de ar incorporado é o prescrito na norma para argamassa de assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – NBR 13278/95. As determinações foram realizadas a partir da média de três repetições.

Todos os ensaios, com exceção do ensaio de consistência, foram realizados em sala climatizada com temperatura de  $23\pm 2$  °C e umidade relativa do ar de  $65\pm 5$  %.

### **3.6 Ensaio no estado endurecido**

O formato e dimensões dos corpos-de-prova submetidos aos ensaios descritos a seguir foram adotados em função das condições de ensaio disponíveis no laboratório, e pelo fato de algumas medidas (variação dimensional, e variação de massa por absorção de água e secagem) serem realizadas diariamente durante os períodos em que os corpos-de-prova foram submetidos à imersão e à secagem, o que exigia dos mesmos maior resistência e, no caso dos corpos-de-prova prismáticos, maior espessura.

Os corpos-de-prova foram mantidos em caixas térmicas ou sob imersão até a realização do ensaio, com intuito de manter as condições de temperatura e grau de umidade pré-fixadas.

### 3.6.1 Resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral

Os ensaios de resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral foram realizados conforme as normas NBR 7215/96 e NBR 7222/94, respectivamente.

A moldagem dos corpos-de-prova foi feita em moldes metálicos cilíndricos de 50mm de diâmetro e 100mm de altura, realizadas em quatro camadas com 20 golpes de espátula ao longo do perímetro de cada camada. Após a aplicação dos golpes, os moldes eram submetidos a uma vibração sobre uma mesa com um motor de 3425 r.p.m. acoplado, durante um período de 30 segundos, sendo então rasado. Os corpos-de-prova permaneceram cobertos por uma placa de vidro durante 72 horas e foram desmoldados transcorridos 7 dias da data de moldagem. Optou-se em desmoldar os corpos-de-prova após este período para garantir que os mesmos adquirissem uma resistência mínima, evitando, desta forma, qualquer dano ou quebra durante a desmoldagem.

Foram ensaiados quatro corpos-de-prova à compressão axial, para cada argamassa e condição de exposição, os quais foram capeados com uma mistura de cimento e enxofre previamente ao rompimento. Para o ensaio de tração por compressão diametral foram rompidos seis corpos-de-prova por combinação. Os ensaios foram realizados em uma prensa Shimadzu, no Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC, do Departamento de Engenharia Civil da UFSC.

### 3.6.2 Resistência à tração na flexão e deformação à flexão

Para avaliação da resistência à tração na flexão e deformabilidade das argamassas foram confeccionados seis corpos-de-prova para cada tipo de exposição e de argamassa, totalizando 162 corpos-de-prova.

A moldagem foi feita em moldes prismáticos de 10 x 40 x 160mm, aplicando-se 30 golpes de espátula ao longo de uma camada única de argamassa, seguidos de uma vibração sobre uma mesa com um motor de 3425 r.p.m. acoplado, durante 30 segundos. Finalizado este procedimento, os corpos-de-prova eram rasados e cobertos por uma placa de vidro, a qual foi

mantida durante as primeiras 72 horas. A desmoldagem foi realizada após 7 dias da moldagem.

Os ensaios foram realizados com base na metodologia especificada na norma ISO/DIS 679 - *Methods of testing cements - Determination of strength* (International Organization for Standardization, 1987). A tensão de tração na flexão é dada pela Equação 3.3 a seguir:

$$\sigma = \frac{1,5PL}{bh^2}, \quad (3.3)$$

onde:  $\sigma$  - tensão de tração na flexão (MPa)

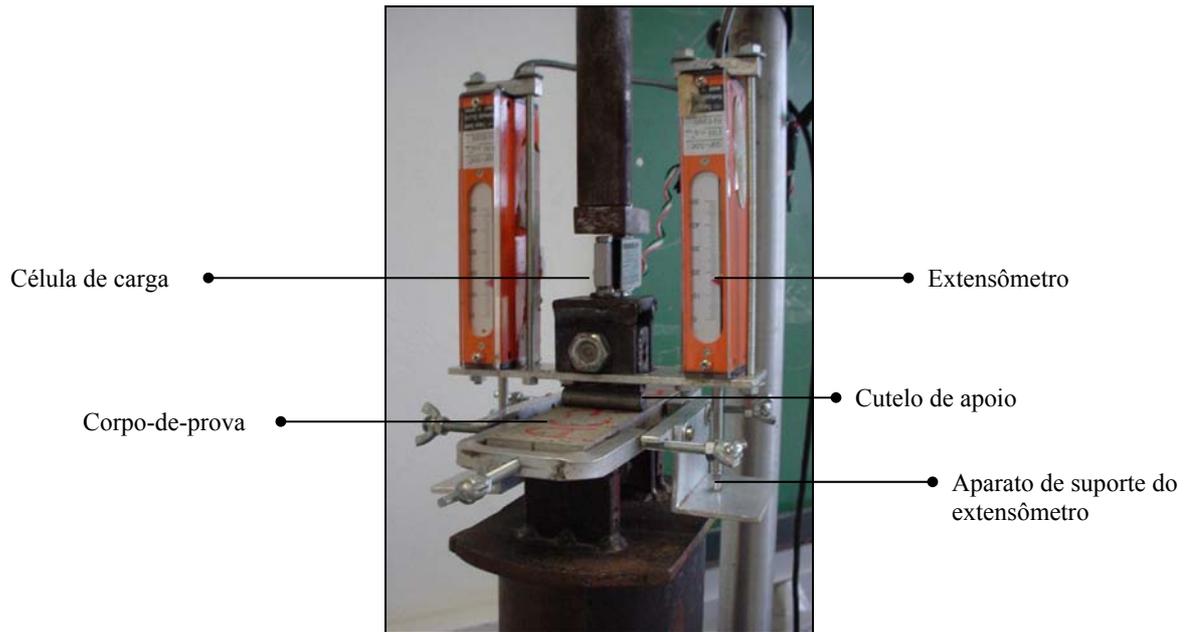
P - carga aplicada no centro do vão (N)

L - distância entre apoios (mm)

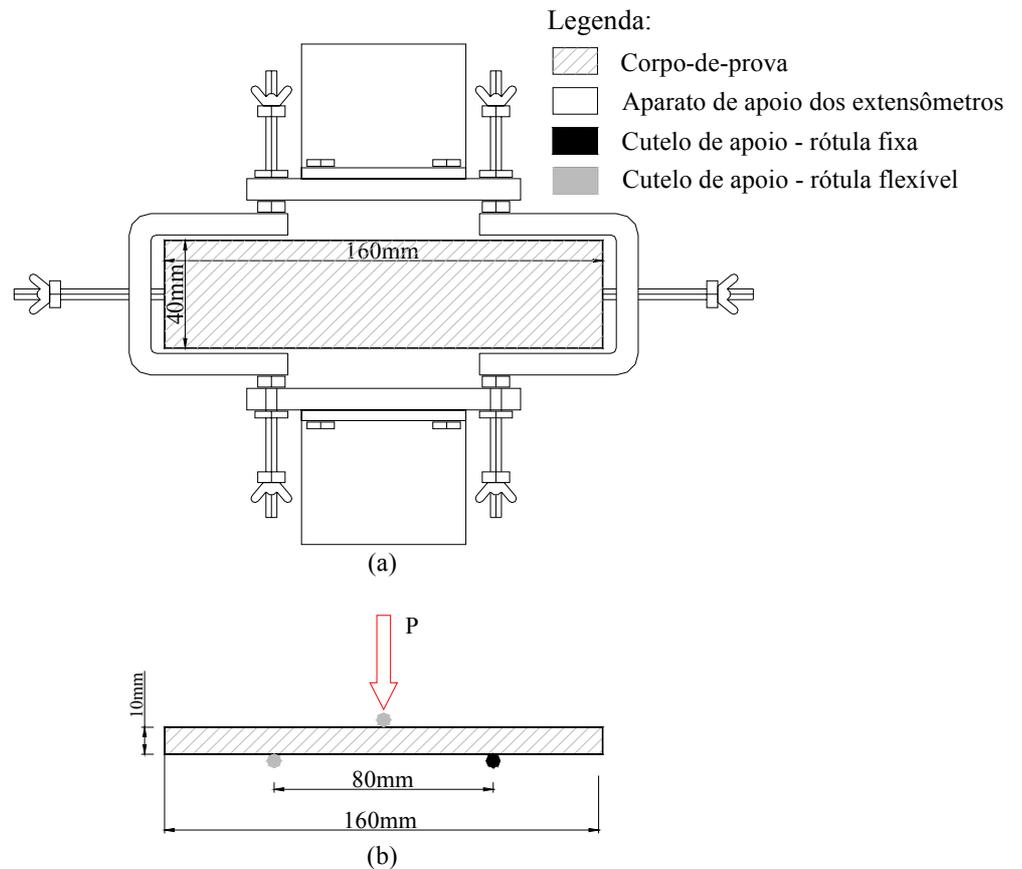
b - maior lado da seção transversal do corpo-de-prova (mm)

h - espessura do corpo-de-prova (mm)

No ensaio, os corpos-de-prova prismáticos foram submetidos à flexão (Figura 3.7), com uma velocidade constante de carregamento de 0,1mm/min. As leituras de deflexão e carga foram feitas no centro do vão dos corpos-de-prova bi-apoiados, através de dois extensômetros e de uma célula de carga com capacidade de 50kgf, respectivamente. As leituras foram capturadas por um sistema de aquisição de dados (*data logger*), e armazenados num programa computacional específico – VEE da *Hewlett Packard*. O equipamento utilizado no ensaio está apresentado na Figura 3.6, sendo o mesmo uma adaptação do equipamento desenvolvido por BETIOLI (2003).



**Figura 3.6 – Detalhamento do equipamento utilizado para o ensaio de tração na flexão**



**Figura 3.7 – Desenho esquemático do aparato e corpo-de-prova para o ensaio de tração na flexão – (a) vista superior e (b) vista lateral**

Como não houve proporcionalidade na relação tensão/deformação ao longo do ensaio, foram fixados parâmetros para simplificar o cálculo do módulo de deformação, adotando-se, desta forma, o módulo corda para representar a deformabilidade das argamassas (BASTOS, 2001). Como os valores de carga de ruptura obtidos neste estudo são relativamente baixos, adotou-se os pontos correspondentes a 10% e 30% da tensão de ruptura para o cálculo do módulo (Equação 3.4), evitando-se a obtenção de resultados errôneos, uma vez que abaixo de 10% da tensão de ruptura os corpos-de-prova ainda estavam sofrendo acomodação.

$$E_c = \frac{(\sigma_{30} - \sigma_{10})}{(\varepsilon_{30} - \varepsilon_{10})}, \quad (3.4)$$

onde:  $E_c$  = módulo corda (MPa);

$\sigma_{10}$  = tensão de tração na flexão igual a 10% da tensão de ruptura (MPa);

$\sigma_{30}$  = tensão de tração na flexão igual a 30% da tensão de ruptura (MPa);

$\varepsilon_{10}$  = deformação longitudinal específica de tração (mm/mm) no corpo-de-prova na posição mais distante da linha neutra, no meio do vão, correspondente à tensão de tração na flexão igual 10% da tensão de ruptura;

$\varepsilon_{30}$  = deformação longitudinal específica de tração (mm/mm) no corpo-de-prova na posição mais distante da linha neutra, no meio do vão, correspondente à tensão de tração na flexão igual 30% da tensão de ruptura.

A deformação longitudinal específica (mm/mm) foi calculada nos pontos de 10% e 30% da carga de ruptura pela relação  $\varepsilon = \sigma / E$ , sendo  $\sigma = 1,5PL/bh^2$  e  $E = PL^3 / 4\delta bh^3$  (onde  $\delta$  é o deslocamento no meio do vão, em mm) Foi considerado o regime elástico-linear apenas no trecho inicial do ensaio, até 30% da tensão de ruptura.

### 3.6.3 Aderência

O sistema de revestimento cerâmico nas edificações, geralmente, é composto por uma base ou substrato, emboço, argamassa colante e placas cerâmicas, sendo estes elementos, freqüentemente, submetidos à umidade e mudanças de temperatura, o que acaba gerando movimentos diferenciais entre as diversas camadas e, desta forma, provocando o surgimento

de tensões de cisalhamento e de tração (FIORITO, 1994). Portanto, as principais metodologias de ensaio que avaliam a aderência de argamassas colantes estão baseadas na determinação da aderência submetida a esforços de tração e de cisalhamento. A norma brasileira especifica apenas a determinação da resistência de aderência à tração<sup>9</sup>, tendo sido a mesma, elaborada com base na norma européia – EN 1348/99.

Para a determinação da aderência das argamassas ao porcelanato foi adotado um método não normalizado, onde a argamassa colante foi aplicada diretamente no tardo da placa cerâmica. Adotou-se este procedimento uma vez que se desejava avaliar a influência da saturação em água e secagem na aderência entre a argamassa colante e a placa cerâmica, e não com o substrato-padrão. Além disso, a heterogeneidade dos substratos-padrão poderia aumentar a dispersão dos resultados, por introduzir uma nova variável no estudo (sucção do substrato).

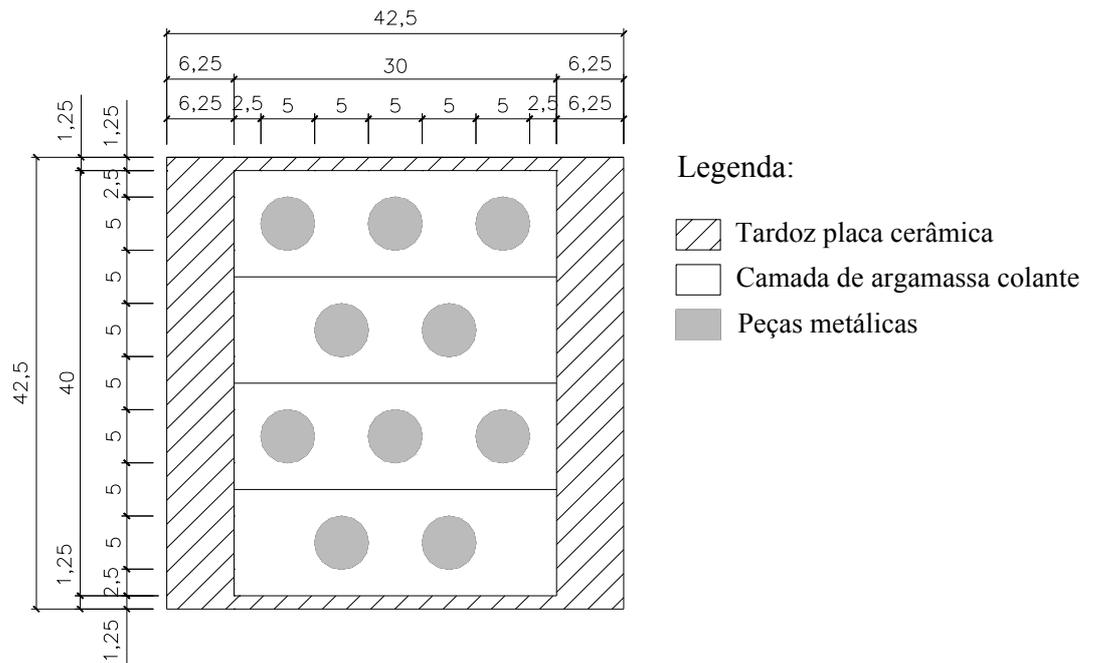
A moldagem foi realizada aplicando-se uma camada contínua de argamassa, utilizando-se o lado liso da desempenadeira, sobre o tardo da placa cerâmica (com dimensões de 425 x 425 x 9 mm), com o auxílio de um gabarito metálico, com dimensões de 400 x 300 x 6 mm, para garantir a forma e a espessura da camada de argamassa. A argamassa era rasada, e após cinco minutos era aplicada uma carga de 0,08 kgf/cm<sup>2</sup>, durante um período de trinta segundos. A aplicação foi realizada em quatro etapas, utilizando-se placas de vidro com uma camada de óleo como base, as quais foram retiradas após 72 horas.

Com o auxílio de uma serra-copo diamantada, foram realizados cortes circulares, com diâmetro aproximado de 50mm, sobre a camada da argamassa, conforme pode ser visto na Figura 3.8. O ensaio consistiu no arrancamento por tração de peças metálicas coladas<sup>10</sup> sobre estes cortes, realizado com um equipamento automático (Figura 3.9), modelo Form+Test, com velocidade de carregamento uniforme programada de 0,25 KN/s e com uma precisão de 0,01KN, para intervalos de resistência de 0 a 12KN.

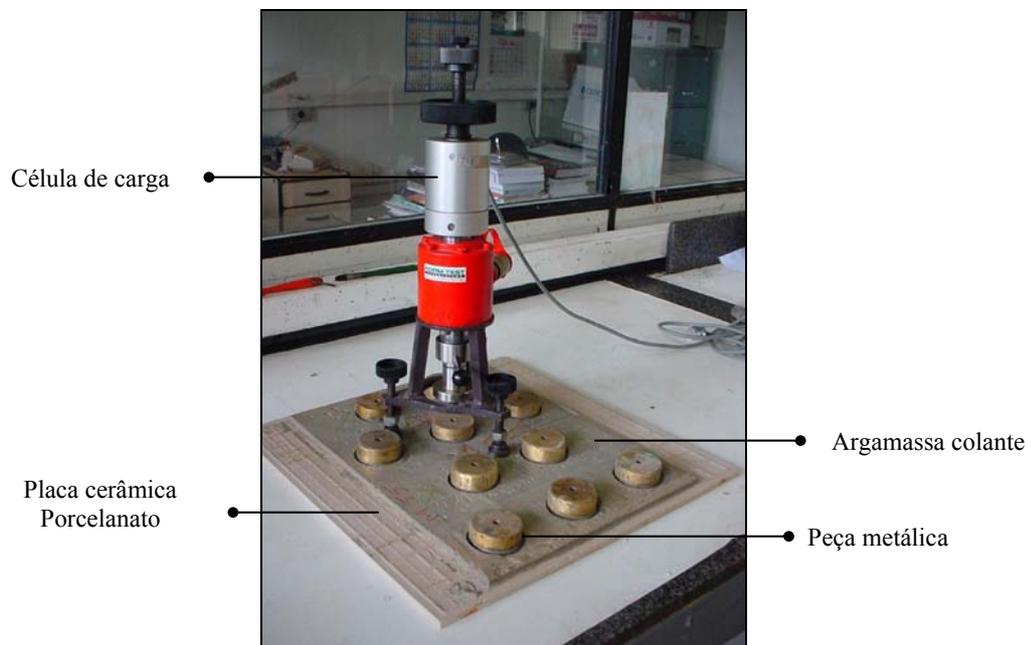
---

<sup>9</sup> Resistência de aderência à tração: é a força de tração máxima por área do plano de ruptura (NBR 14084/98).

<sup>10</sup> Utilizou-se um adesivo a base epóxi pastoso para colagem das peças metálicas sobre a argamassa.



**Figura 3.8 - Esquema ilustrativo do conjunto argamassa colante – placa cerâmica (dimensões em cm)**



**Figura 3.9 – Equipamento utilizado para o ensaio de aderência**

Foram ensaiadas uma placa deste porcelanato, contendo dez placas metálicas, para cada tipo de exposição e argamassa, e mais seis placas para cada uma das argamassas A3, A4 e A5 (as quais também foram ensaiadas com 14, 21 e 28 dias de imersão e com 14, 21 e 28 dias de imersão, seguidos de 16 dias de secagem), totalizando 45 placas cerâmicas.

### 3.6.4 Determinação de massa específica

O método adotado para determinação da massa específica foi baseado na metodologia descrita na norma para argamassa de assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – NBR 13280/95.

O ensaio foi realizado em quatro corpos-de-prova cilíndricos de cada argamassa, moldados conforme descrito no item 3.6.1. Transcorridos sete dias de moldagem, os mesmos foram desmoldados e imersos em água, onde permaneceram até completar 56 dias de idade, sendo então colocados em estufa a uma temperatura de aproximadamente 100°C<sup>11</sup>. Após atingir constância de massa, os corpos-de-prova foram retirados da estufa e colocados para esfriar num dessecador até atingir a temperatura ambiente, e então, foi realizada a determinação de massa e volume.

### 3.6.5 Absorção de água por imersão e secagem pós imersão

Para a determinação da absorção de água e secagem pós imersão utilizou-se os corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos moldados para os ensaios mecânicos de tração por compressão diametral e tração na flexão, respectivamente, submetidos à condição de exposição 3.

Os corpos-de-prova foram pesados previamente à imersão em água e diariamente após a mesma, fazendo-se o controle de perda e ganho de massa durante os períodos de imersão e secagem. Os valores de absorção e secagem pós imersão diários (em %) foram calculados a partir da massa inicial dos corpos-de-prova, sendo a média obtida através dos resultados de seis amostras de cada argamassa, para ambos os tipos de corpo-de-prova.

### 3.6.6 Variação dimensional

Para avaliação da variação dimensional das argamassas foram confeccionados quatro corpos-de-prova para cada tipo de exposição e de argamassa. A moldagem foi realizada em moldes

---

<sup>11</sup> Conforme ensaios termogravimétricos realizados por Silva, D.A. (2001) em pastas de cimento modificadas com HEC e EVA, somente ocorre decomposição térmica das fases poliméricas a partir de 200°C.

prismáticos de 10 x 60 x 240mm, aplicando-se 40 golpes de espátula ao longo de uma camada única de argamassa, seguidos de uma vibração sobre uma mesa com um motor de 3425 r.p.m. acoplado, durante 30 segundos. Finalizado este procedimento, os corpos-de-prova foram rasados e cobertos por uma placa de vidro, a qual foi mantida durante as primeiras 72 horas. A desmoldagem foi realizada após 7 dias da moldagem.

A variação dimensional dos corpos-de-prova foi determinada diariamente durante os períodos de imersão em água e secagem (condição de exposição 3), com o auxílio de um extensômetro mecânico – *demec-gauge* (Figura 3.10). As leituras foram feitas medindo-se a distância entre duas placas metálicas – *demec-points*, que foram colados nos corpos-de-prova com uma distância inicial entre eles de 200mm. As leituras foram marcadas por um relógio comparador, sendo cada divisão correspondente a 0,002mm.



**Figura 3.10 – Equipamento utilizado para determinação da variação dimensional dos corpos-de-prova (*demec-gauge*)**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

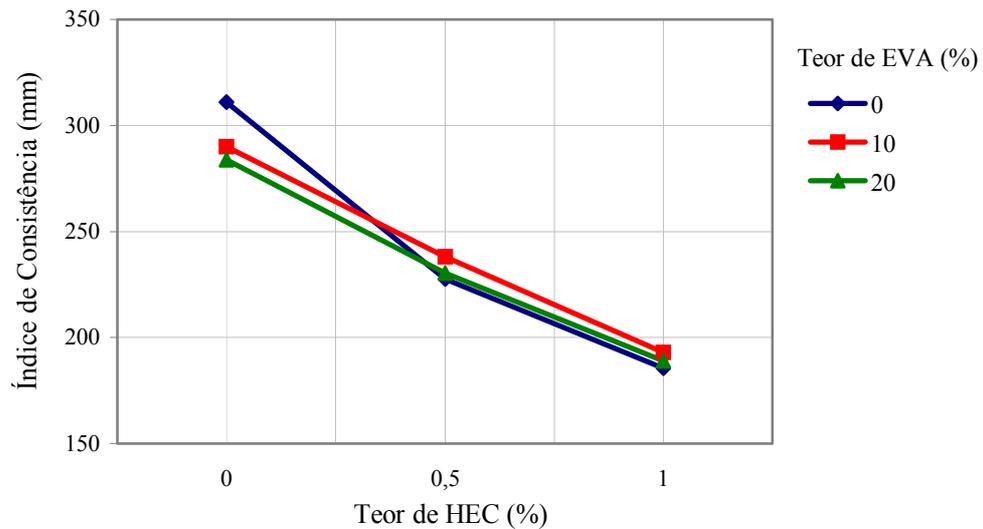
A análise das argamassas no estado fresco foi realizada a partir de ensaios de consistência, retenção de água e determinação de massa específica e teor de ar incorporado, apenas com o intuito de caracterizá-las, como dito anteriormente, e, desta forma, contribuir na avaliação do comportamento e propriedades no estado endurecido. Neste capítulo são apresentados os resultados finais, a análise estatística dos ensaios realizados e as discussões. Os resultados individuais de cada ensaio, bem como sua média, desvio-padrão e coeficiente de variação estão apresentados no Apêndice A.

A análise estatística dos dados foi realizada através do programa computacional *Statgraphics plus for Windows*. Os valores de “p” inferiores a 0,05 indicam correlações estatísticas significativas para um intervalo de confiança de 95%. Sempre que os fatores ou interações apresentaram influência significativa sobre as respostas analisadas, complementou-se a análise de variância através da realização do teste de Duncan para comparação múltipla de médias, determinando-se quais níveis eram diferentes estatisticamente entre si. Os resultados do teste de Duncan estão apresentados no Apêndice B.

### 4.1 Ensaio no estado fresco

#### 4.1.1 Índice de consistência

A Figura 4.1 apresenta o gráfico traçado a partir dos resultados de consistência, obtidos pelo método de ensaio da mesa de consistência, em função dos teores de HEC e EVA adicionados às argamassas. Apesar do método utilizado não ser o mais indicado para avaliar a trabalhabilidade de argamassas colantes e apresentar algumas dificuldades na execução, pelo fato da argamassa ficar aderida no soquete durante a compactação das camadas e haver uma maior coesão entre a argamassa e as laterais do molde tronco-cônico, o método permite caracterizar e verificar a influência dos aditivos nas argamassas estudadas.



**Figura 4.1 – Resultados do ensaio de determinação do índice de consistência**

A partir dos resultados apresentados, observa-se que o HEC exerce maior influência no índice de consistência, havendo uma redução do espalhamento sobre a mesa de consistência, com o aumento de teor do polímero. O aditivo torna as argamassas mais coesas e pegajosas, especialmente para maiores teores, podendo interferir de forma negativa na trabalhabilidade das mesmas.

Os teores de EVA não exerceram grande influência sobre a consistência das argamassas; no entanto, para a relação água/cimento empregada (0,76), as argamassas sem aditivo celulósico apresentaram maior plasticidade com o aumento do teor de polímero EVA, tornando-se mais consistentes se comparadas à argamassa sem ambos os aditivos, a qual apresentou elevada fluidez e exsudação. Póvoas (1999) encontrou resultados divergentes para argamassas com relação água/cimento mais baixa, havendo um aumento no índice de consistência com a adição de teores de até 10% de EVA, se comparada à argamassa sem aditivo. No entanto, com o aumento da relação água/cimento este comportamento torna-se menos evidente.

#### 4.1.2 Retenção de água

Os resultados dos ensaios de retenção de água realizados estão apresentados na Tabela 4.1 a seguir, e comprovam a capacidade de retenção de água dos éteres de celulose e do copolímero acetato de vinila/etileno (EVA).

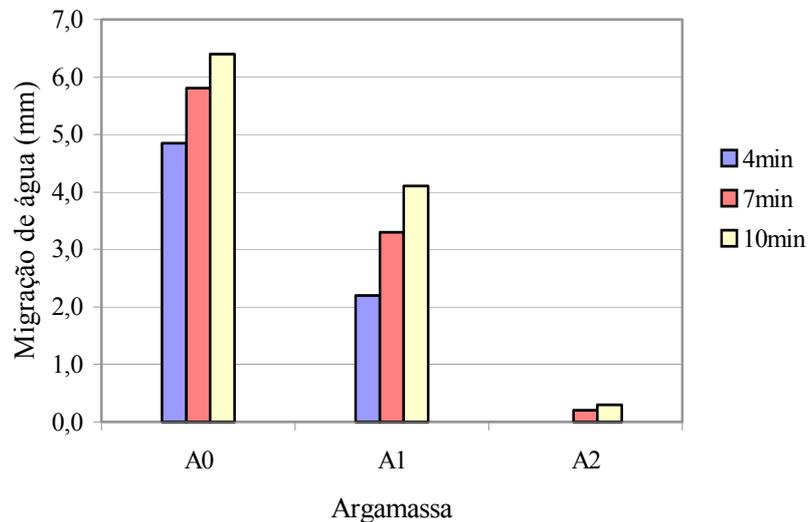
**Tabela 4.1 – Resultados de retenção de água**

Argamassa	Funil de Büchner Método de Consistência	Funil de Büchner Método Gravimétrico	Projeto de Norma da ABNT 18:406.05-001
	Retenção de água (%)		(Migração de água aos 10 min, em mm)
A0 (0%HEC, 0%EVA)	38	85	6,4
A1 (0%HEC, 10%EVA)	55	91	4,1
A2 (0%HEC, 20%EVA)	81	100	0,3
A3 (0,5%HEC, 0%EVA)	100	100	0,0
A4 (0,5%HEC, 10%EVA)	100	100	0,0
A5 (0,5%HEC, 20%EVA)	100	100	0,0
A6 (1%HEC, 0%EVA)	100	100	0,0
A7 (1%HEC, 10%EVA)	100	100	0,0
A8 (1%HEC, 20%EVA)	100	100	0,0

As argamassas que contêm HEC em sua composição apresentaram 100% de retenção de água em todos os métodos de ensaio avaliados, não havendo alteração com a adição de 10% e 20% de EVA. Estudos realizados por Silva, D.A. (1997) mostraram que a capacidade máxima de retenção de água em argamassas modificadas com polímero celulósico (MHEC), em contato com papel filtro (Método proposto pela RILEM – MR4), é obtida a partir da adição de 0,5% do polímero. Este é o teor mínimo empregado neste trabalho, resultando, também, uma máxima retenção.

A adição do copolímero EVA às argamassas sem polímero celulósico influenciou de forma significativa os resultados, evidenciando também um acréscimo em sua capacidade de retenção com o aumento do teor de 10% para 20%, chegando a atingir 100% de retenção de água no ensaio do Funil de Büchner, através do método de determinação gravimétrica de água perdida após sucção. Pode-se constatar, também, através da metodologia proposta no Projeto de Norma 18:406.05-001 (ABNT, 2001), que a argamassa com 20% de EVA não apresentou migração de água para o papel filtro durante os primeiros quatro minutos de ensaio, havendo uma pequena migração após este período.

A influência do tempo na migração de água das argamassas sem HEC (A0, A1 e A2) está apresentada na Figura 4.2 a seguir. As demais argamassas não apresentaram alterações durante o período de dez minutos em contato com o papel filtro.

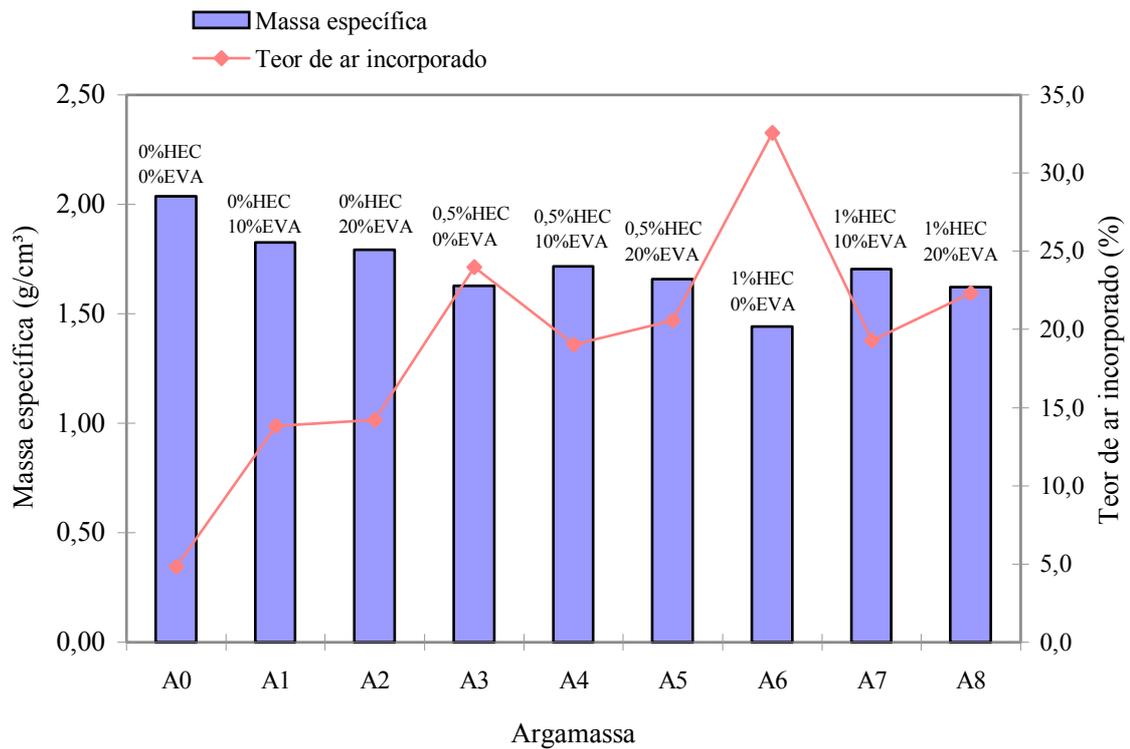


**Figura 4.2 – Migração de água das argamassas sem aditivo celulósico para o papel filtro, em função do tempo**

De forma geral, os ensaios de retenção realizados não permitiram avaliar a retenção de água das argamassas com aditivo celulósico e maiores teores de aditivo vinílico, demonstrando não serem adequados para classificar argamassas colantes, mas apenas para caracterizar a presença de retentores de água em suas composições.

#### 4.1.3 Massa específica e teor de ar incorporado

A Figura 4.3 apresenta o gráfico traçado a partir dos resultados de determinação da massa específica e teor de ar incorporado das argamassas, através do qual pode-se observar que, com a adição de maiores teores dos polímeros, há um aumento do teor de ar e, conseqüentemente, uma diminuição da massa específica das argamassas, sendo este mais expressivo na presença do polímero HEC, o qual é responsável pela elevada incorporação de ar nas argamassas adesivas. A argamassa com 1% de HEC apresentou uma incorporação de ar de 32,6%, aproximadamente sete vezes superior ao valor de incorporação da argamassa sem aditivos.



**Figura 4.3 – Resultados de densidade de massa específica e teor de ar incorporado no estado fresco**

A análise estatística dos dados, realizada por análise de variância (Tabelas 4.2 e 4.3), demonstrou que, além de haver um forte efeito do HEC, há influência significativa da interação dos polímeros HEC e EVA sobre a massa específica e teor de ar incorporado das argamassas, com 95% de confiança.

**Tabela 4.2 – Análise de variância dos resultados de massa específica no estado fresco**

Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	0,422489	2	0,211244	1629,60	<b>0,0000</b>
B: Teor de EVA	0,0164667	2	0,00823333	63,51	<b>0,0000</b>
<b>Interações</b>					
AB	0,206778	4	0,0516944	398,79	<b>0,0000</b>
<b>Resíduo</b>	0,00233333	18	0,00012963		
<b>Total (corrigido)</b>	0,648067	26			

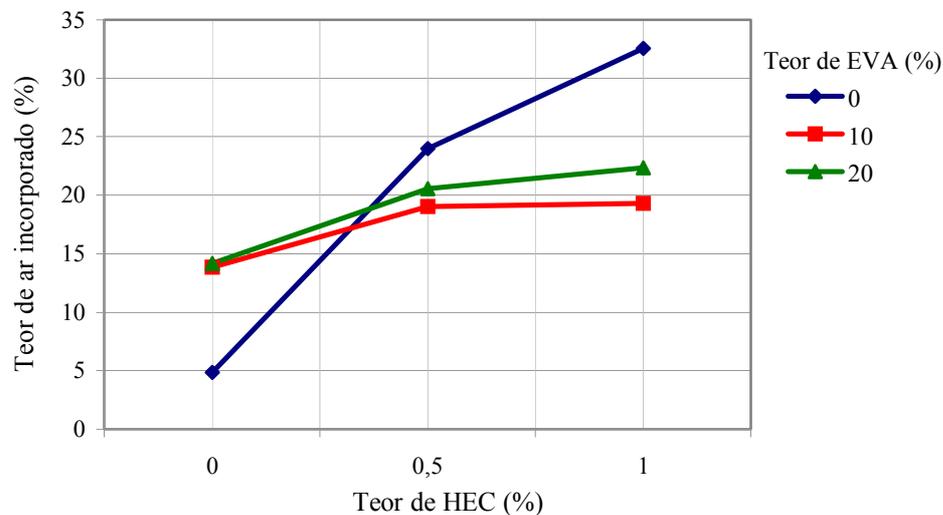
Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados

**Tabela 4.3 – Análise de variância dos resultados de teor de ar incorporado**

Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	918,325	2	459,163	1569,29	<b>0,0000</b>
B: Teor de EVA	42,743	2	21,3715	73,04	<b>0,0000</b>
<b>Interações</b>					
AB	454,908	4	113,727	388,69	<b>0,0000</b>
<b>Resíduo</b>	5,26667	18	0,292593		
<b>Total (corrigido)</b>	1421,24	26			

Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados

Na Figura 4.4 pode-se observar melhor o efeito da interação dos polímeros HEC e EVA na incorporação de ar das argamassas. Quando o teor de HEC é zero, o EVA é responsável por um acréscimo de ar incorporado, porém não há alteração significativa com o aumento do teor do polímero. Já nas argamassas com 0,5% e 1% de HEC, há uma diminuição de incorporação de ar na presença de EVA, sendo este efeito mais intenso para teores de 10% com o aumento do teor de HEC, evidenciando a interação entre os aditivos.



**Figura 4.4 – Efeito da interação dos polímeros HEC e EVA na incorporação de ar das argamassas**

#### 4.1.4 Principais conclusões

As principais conclusões que podem ser obtidas a partir dos ensaios realizados no estado fresco são:

- a) O polímero HEC provoca uma redução significativa no índice de consistência das argamassas, tornando-as mais coesas e pegajosas com o aumento do teor do polímero.
- b) Os polímeros HEC e EVA apresentam excelente capacidade de retenção de água se comparada às argamassas sem aditivo. Com o aumento do teor de EVA, evidencia-se um aumento significativo na capacidade de retenção de água, chegando a atingir 100% no ensaio do Funil de Büchner pelo método gravimétrico. Já as argamassas que contém HEC em sua composição apresentaram uma retenção de água de 100% em todos os métodos empregados.
- c) Os resultados de retenção de água obtidos demonstram que os ensaios empregados não são adequados para classificar as argamassas estudadas, de forma quantitativa, permitindo apenas verificar a presença de aditivos retentores de água em suas composições.
- d) A adição dos polímeros HEC e EVA provoca uma elevada incorporação de ar nas argamassas e, conseqüentemente, uma diminuição da massa específica. Esta incorporação de ar é maior com o aumento do teor dos polímeros e mais expressiva na presença de HEC.
- e) Há um efeito de interação entre os polímeros HEC e EVA na incorporação de ar das argamassas. Nas argamassas que contém HEC, há uma diminuição de incorporação de ar na presença de EVA.

## **4.2 Ensaio no estado endurecido**

### **4.2.1 Resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral**

#### **a) Resistência à compressão axial**

A análise estatística dos dados referentes às resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral, realizada por análise de variâncias (ANOVA), indica que os fatores principais (teor de HEC, teor de EVA e condição de exposição) exercem efeito significativo sobre as mesmas, considerando-se uma confiabilidade de 95%. Os dados desta análise estão apresentados nas Tabelas 4.4 e 4.5, e os resultados individuais das resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral dos corpos-de-prova se encontram no Apêndice A (Tabelas A.3 e A.4, respectivamente).

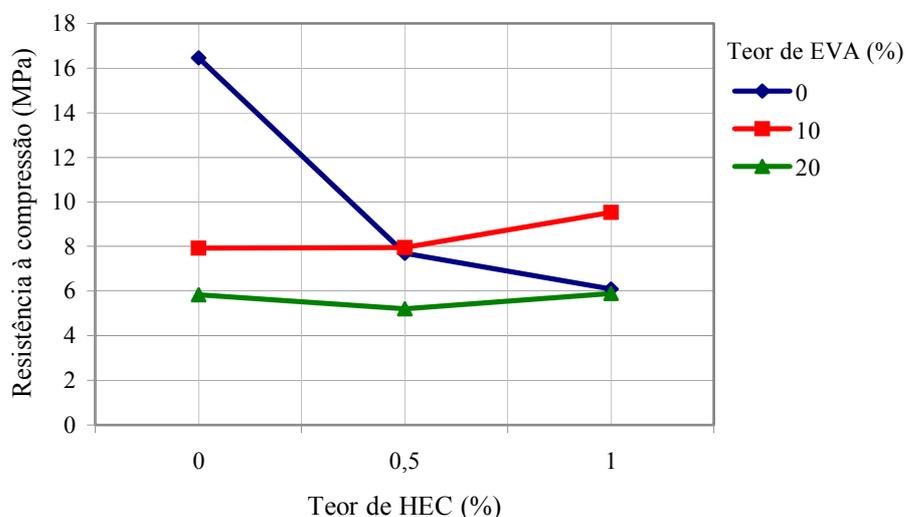
Como mostra a Tabela 4.4, a interação entre o teor de HEC e de EVA também exerce forte efeito sobre os resultados de resistência à compressão axial, enquanto o efeito da interação entre a condição de exposição e o teor de EVA é bem menor. A interação entre a condição de exposição (fator C) e o teor de HEC (fator A) é significativa apenas para um intervalo de confiança de 10%.

**Tabela 4.4 – Análise de variância dos resultados de resistência à compressão axial**

Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	217,773	2	108,887	280,34	<b>0,0000</b>
B: Teor de EVA	331,239	2	165,619	426,40	<b>0,0000</b>
C: Condição de Exposição	47,1495	2	23,5747	60,70	<b>0,0000</b>
<b>Interações</b>					
AB	535,188	4	133,797	344,47	<b>0,0000</b>
AC	3,17771	4	0,794427	2,05	0,0949
BC	4,87275	4	1,21819	3,14	<b>0,0184</b>
<b>Resíduo</b>	34,1803	88	0,388413		
<b>Total (corrigido)</b>	1180,71	106			

Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados

Nas argamassas que contêm apenas um dos aditivos, percebe-se uma diminuição da resistência à compressão com o aumento do teor de polímero, como pode ser melhor visualizado na Figura 4.5. Na presença de 10% ou 20% de EVA nas argamassas, o aumento de HEC não produz efeito notável sobre a resistência à compressão axial.

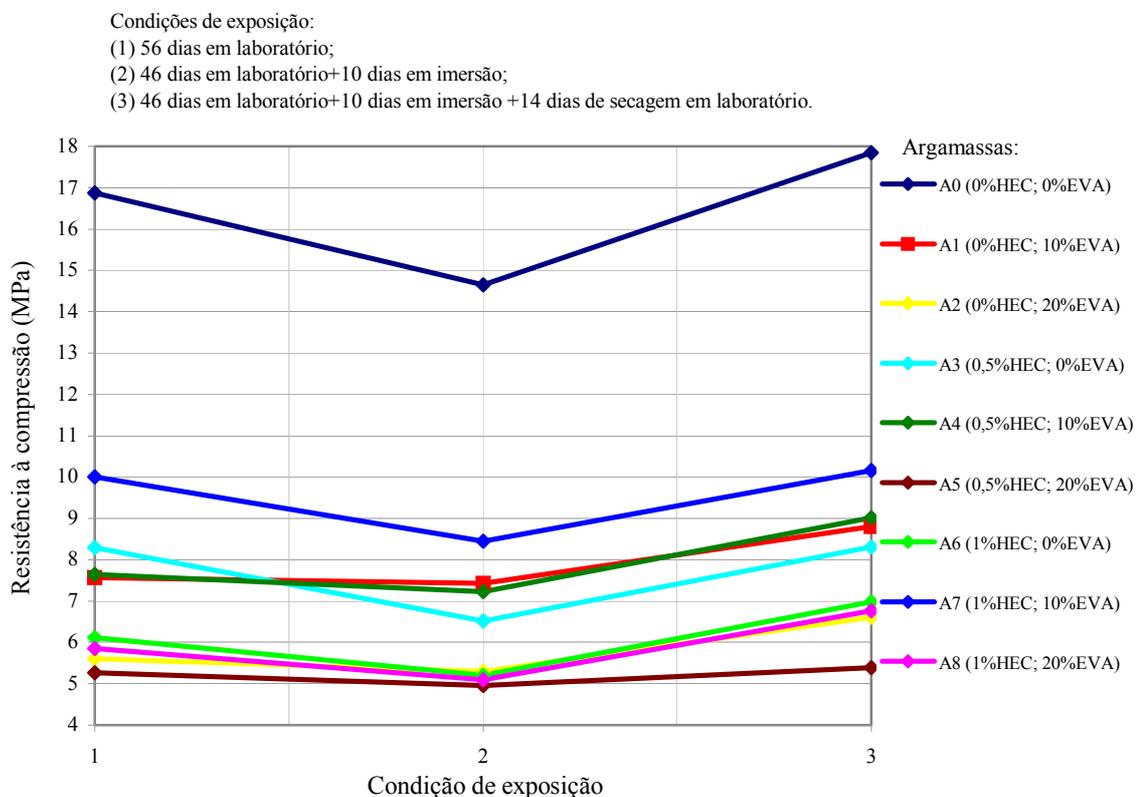


**Figura 4.5 – Efeito dos teores de EVA e HEC na resistência à compressão axial**

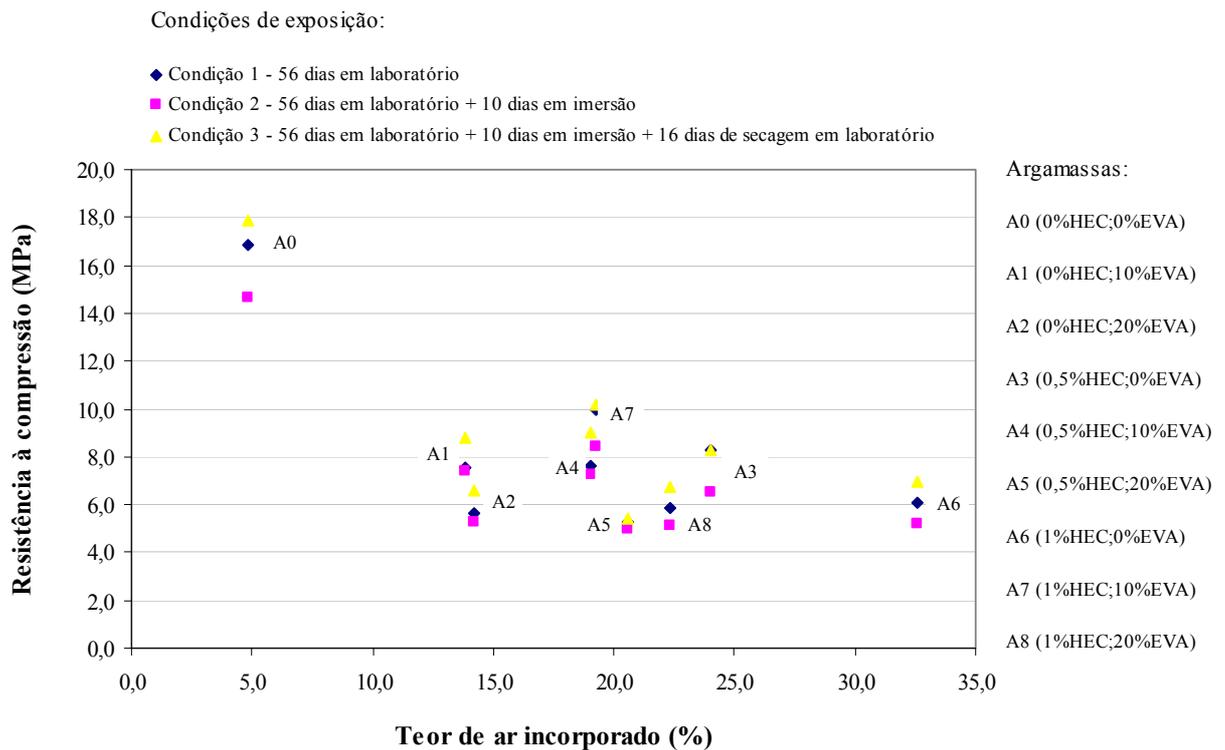
Na Figura 4.6 está apresentado o gráfico traçado a partir dos resultados do ensaio de resistência à compressão axial das argamassas para os diferentes tipos de exposição empregados e, na Figura 4.7, o comportamento da resistência à compressão das argamassas nas diferentes condições de exposição e em função do teor de ar incorporado no estado fresco.

Analisando-se os gráficos, observa-se que nenhuma das argamassas com aditivos, independentemente da condição de exposição, atingiu o valor da resistência à compressão da argamassa sem aditivo (A0), confirmando os resultados encontrados na literatura, considerando-se relações água/cimento constantes (BANFILL e outros, 1993; PÓVOAS, 1999; SILVA, D.A., 1999; SCHULZE, 1999).

A partir da Figura 4.7 observa-se que, com o aumento do teor de ar incorporado, há uma diminuição da resistência à compressão, como seria de se esperar. Esta diminuição deve-se, também, à redução da proporção de cimento na mistura com a adição dos polímeros, especialmente no caso do copolímero EVA quando adicionado em teores de 20% (Argamassas A2, A5 e A8).



**Figura 4.6 – Resistência à compressão axial das argamassas em função das diferentes condições de exposição**



**Figura 4.7– Resistência à compressão axial das argamassas nas diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco**

A tendência do comportamento das argamassas frente a esforços de compressão, em relação às diferentes condições de exposição, é praticamente a mesma, conforme pode ser observado na Figura 4.6. De acordo com a comparação múltipla de médias (Tabela B.1, Apêndice B), há uma redução significativa da resistência à compressão, após a imersão, em grande parte das argamassas, se comparadas às resistências quando em laboratório, e uma recuperação significativa da resistência em todas as argamassas após a secagem, independentemente do tipo e teor de polímero empregados.

Quando submetidas à imersão, a diminuição da resistência à compressão é mais expressiva nas argamassas que contêm o polímero HEC em sua composição (redução de até 21,5%), e menos expressiva nas argamassas que contêm apenas o aditivo EVA (redução de até 6%).

No caso da argamassa sem aditivo (A0), houve uma redução de aproximadamente 13% da resistência à compressão na condição de exposição 2 (laboratório + imersão), provavelmente causada pelo desaparecimento do efeito da tensão superficial da água nos capilares. Cabe ressaltar, ainda, que a imersão das argamassas foi realizada aos 46 dias, período no qual a

hidratação do cimento já estava bastante avançada, não havendo, desta forma, contribuição importante da condição imersa na mesma.

Em estudo realizado por Wagner (1966), também, foi constatada uma diminuição da resistência à compressão de diversas argamassas modificadas com polímeros frente ao efeito de secagem após imersão e uma subsequente imersão. As argamassas de referência apresentaram perda de resistência após imersão, no entanto o efeito foi bem mais expressivo nas argamassas que continham PVAc, segundo o autor, devido ao envolvimento de reações químicas.

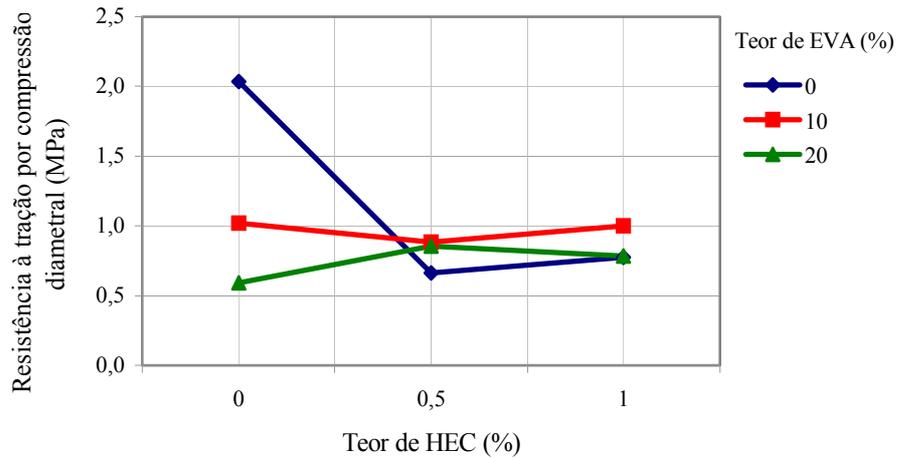
### **b) Resistência à tração por compressão diametral**

Em relação à resistência à tração por compressão diametral, a análise de variâncias (Tabela 4.5) indicou que entre as interações, apenas a interação AB (Teor de HEC x Teor de EVA) exerce efeito significativo sobre a mesma, conforme mostra a Figura 4.8, ou seja, a imersão dos corpos-de-prova durante 10 dias, e a posterior secagem por 16 dias não foram fatores importantes a afetarem a resistência à tração das argamassas modificadas com polímeros, considerando-se uma significância de 5%.

**Tabela 4.5 – Análise de variância dos resultados de resistência à tração por compressão diametral**

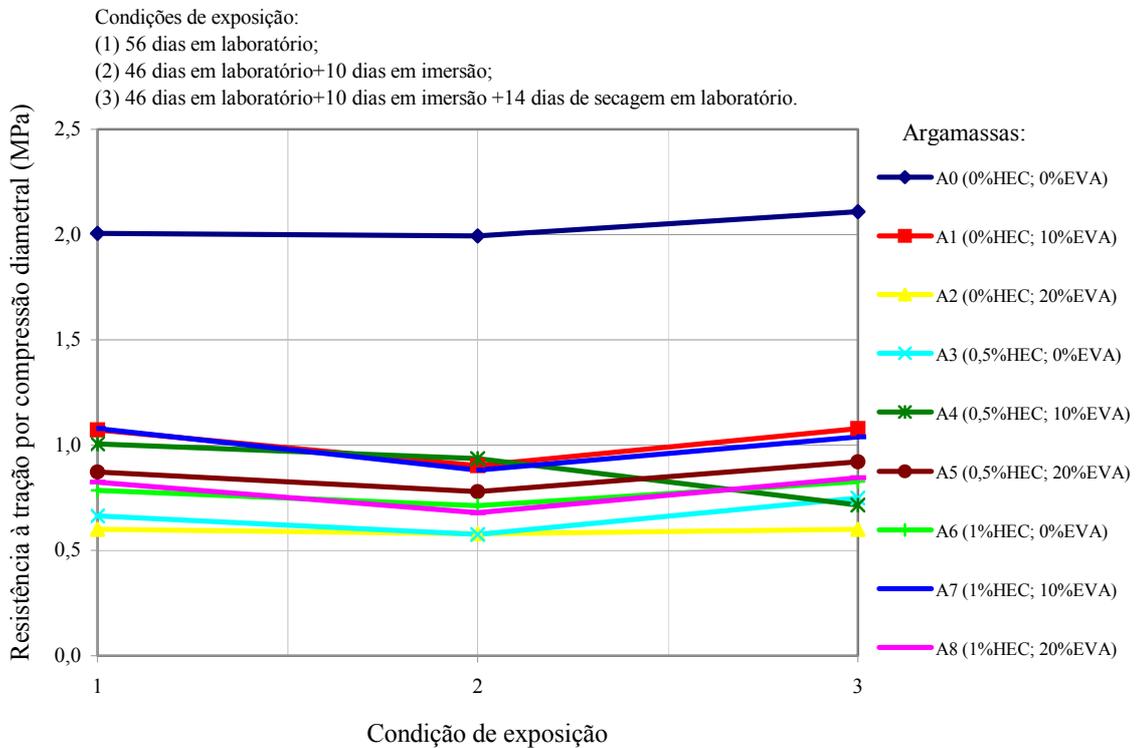
Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	5,58501	2	2,7925	107,70	<b>0,0000</b>
B: Teor de EVA	4,75887	2	2,37943	91,77	<b>0,0000</b>
C: Condição de Exposição	0,391999	2	0,196	7,56	<b>0,0008</b>
<b>Interações</b>					
AB	16,7223	4	4,18057	161,23	<b>0,0000</b>
AC	0,104409	4	0,0261023	1,01	0,4064
BC	0,208241	4	0,0520602	2,01	0,0968
<b>Resíduo</b>	3,52633	136	0,0259289		
<b>Total (corrigido)</b>	32,371	154			

Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados



**Figura 4.8 – Efeito dos teores de EVA e HEC na resistência à tração por compressão diametral**

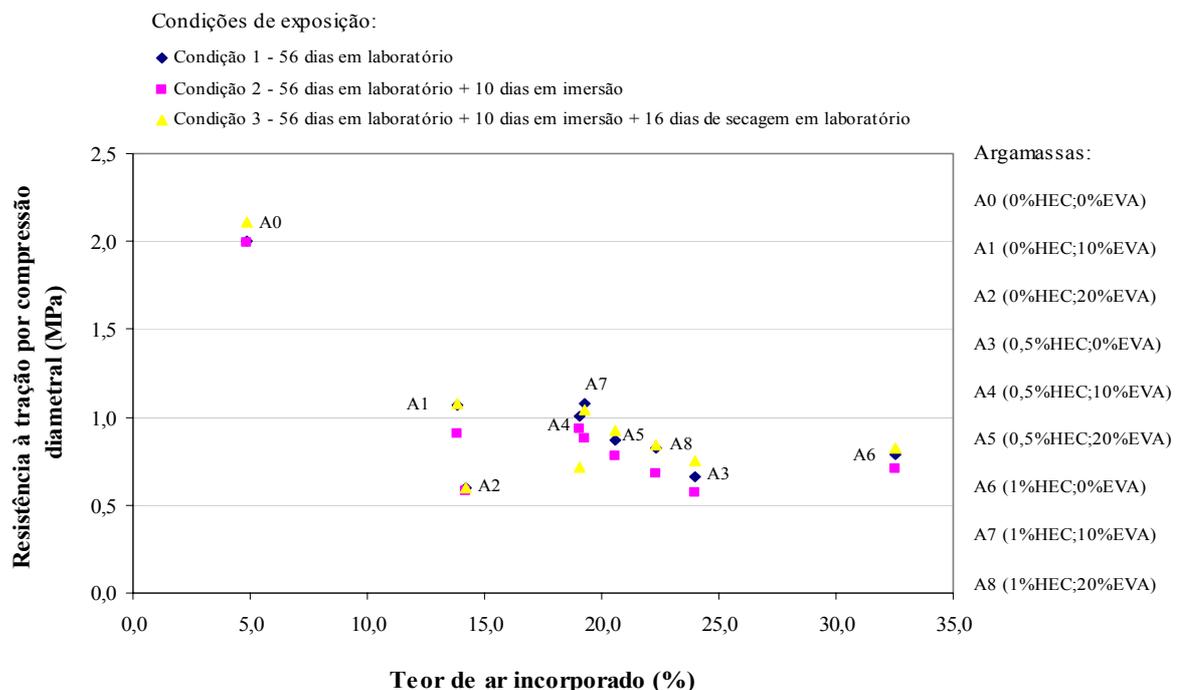
Como pode ser observado na Figura 4.9, a argamassa de referência (A0) apresentou uma elevada resistência à tração por compressão diametral, se comparada às demais argamassas. Na presença dos polímeros HEC e EVA, ocorre uma redução de até 70% da resistência na condição de exposição 1, ou seja, em laboratório, sendo o efeito do polímero HEC mais expressivo nessa redução.



**Figura 4.9 – Efeito da condição de exposição na resistência à tração por compressão diametral**

Em relação ao comportamento das argamassas modificadas com os polímeros HEC e EVA frente às diferentes condições de exposição, observa-se uma tendência de redução das resistências à tração por compressão diametral após a imersão em água, e um aumento após a secagem, se comparadas às resistências quando em laboratório (Figura 4.9). No entanto, a comparação múltipla de médias (Tabela B.2, Apêndice B), mostra que, de forma geral, não há uma diferença significativa de resistência dessas argamassas em função das diferentes condições de exposição, ou seja, a resistência à tração apresentada após imersão e secagem não difere significativamente da obtida em laboratório. O mesmo comportamento foi observado para a argamassa de referência (A0), a qual apresentou apenas um pequeno acréscimo de resistência após a secagem, que deve estar relacionado com a diferença de idade dos corpos-de-prova. Apenas a argamassa contendo os máximos teores dos dois polímeros (1% HEC + 20% EVA) apresentou redução e recuperação estatisticamente significativas da resistência à tração quando imersa em água e sujeita à posterior secagem, respectivamente.

A Figura 4.10 mostra o gráfico da resistência à tração por compressão diametral das argamassas, nas diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco. Da mesma forma que na compressão, há tendência de redução da resistência à tração com aumento do teor de ar incorporado, conforme o esperado.



**Figura 4.10– Resistência à tração por compressão diametral das argamassas nas diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco**

#### 4.2.2 Resistência à tração na flexão e deformação à flexão

Os dados da análise estatística, realizada por análise de variâncias, estão apresentados nas Tabelas 4.6 e 4.7, e os dados individuais de resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade nas Tabelas A.5 e A. do Apêndice A. No Apêndice C, encontram-se os gráficos tensão x deformação dos corpos-de-prova.

A análise estatística indicou que todos fatores principais (teor de HEC, teor de EVA e condição de exposição) são fortemente significativos na resistência à tração na flexão e no módulo de elasticidade das argamassas.

Como pode ser visto na Tabela 4.6, as interações entre os fatores também exercem influência significativa na resistência à tração na flexão, enquanto para o módulo de elasticidade, apenas a interação entre o teor de HEC e o teor de EVA é significativa (Tabela 4.7).

**Tabela 4.6 – Análise de variância dos resultados de resistência à tração na flexão**

Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	28,1815	2	14,0908	244,32	<b>0,0000</b>
B: Teor de EVA	6,87302	2	3,43651	59,59	<b>0,0000</b>
C: Condição de Exposição	7,18773	2	3,59386	62,31	<b>0,0000</b>
<b>Interações</b>					
AB	28,395	4	7,09875	123,09	<b>0,0000</b>
AC	0,747846	4	0,186962	3,24	<b>0,0146</b>
BC	1,02262	4	0,255654	4,43	<b>0,0023</b>
<b>Resíduo</b>	6,74779	117	0,0576734		
<b>Total (corrigido)</b>	80,6444	135			

Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados

**Tabela 4.7 – Análise de variância dos resultados de módulo de elasticidade**

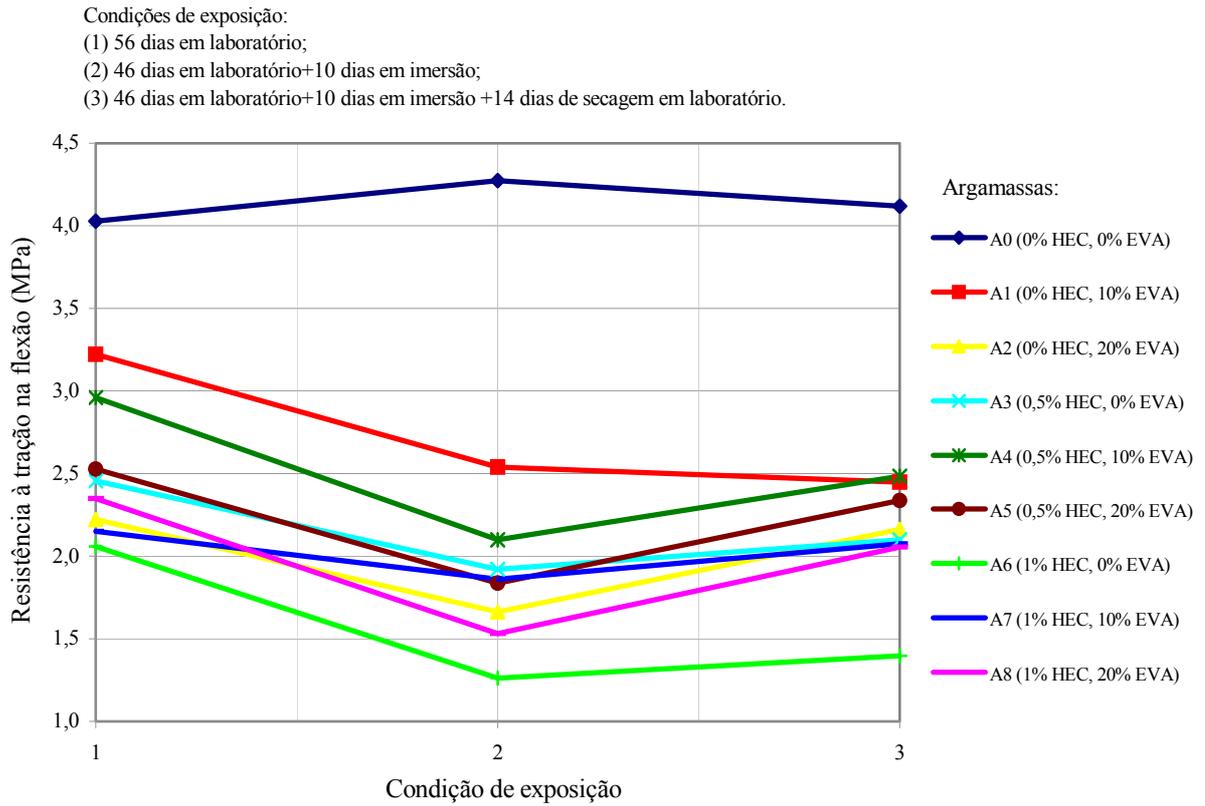
Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	2,12362E+07	2	1,06181E+07	25,04	<b>0,0000</b>
B: Teor de EVA	1,00897E+07	2	5,04483E+06	11,90	<b>0,0000</b>
C: Condição de Exposição	2,88767E+06	2	1,44384E+06	3,41	<b>0,0365</b>
<b>Interações</b>					
AB	2,66442E+07	4	6,66105E+06	15,71	<b>0,0000</b>
AC	1,69129E+06	4	422822,0	1,00	0,4120
BC	1,31755E+06	4	329387,0	0,78	0,5424
<b>Resíduo</b>	4,96057E+07	117			
<b>Total (corrigido)</b>	1,17757E+08	135	423980,0		

Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados

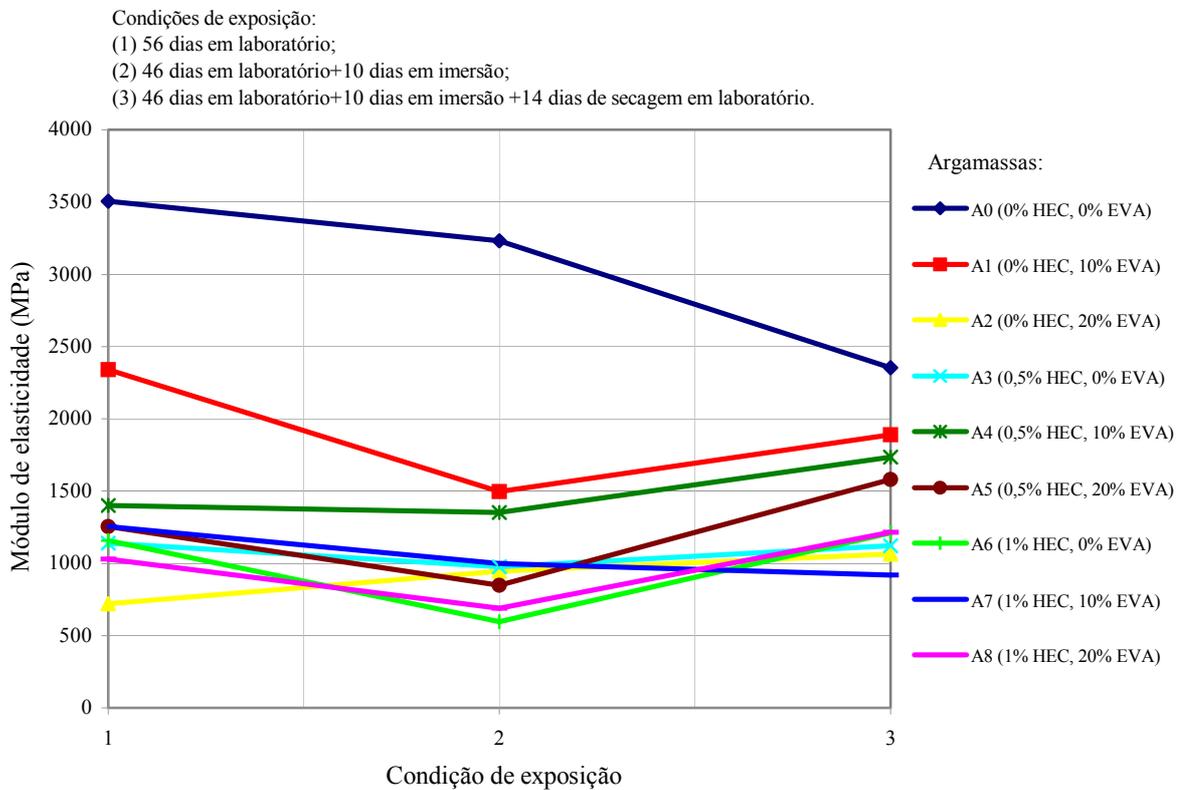
As Figuras 4.11 e 4.12 apresentam os gráficos traçados a partir dos resultados do ensaio de resistência à tração e do módulo de elasticidade na flexão, respectivamente.

Como pode ser observado na Figura 4.11, assim como no ensaio de resistência à compressão e à tração por compressão diametral, a argamassa que apresentou maior resistência à tração na flexão foi à argamassa de referência (A0), além de ter sido a única argamassa que não apresentou uma tendência de redução de resistência após a saturação, apresentando valores semelhantes para todas as condições de exposição. No entanto, a mesma apresentou maior módulo de elasticidade (Figura 4.12), se comparada às demais argamassas, como era esperado, ou seja, é menos deformável.

Nas argamassas contendo apenas o copolímero vinílico, constata-se uma diminuição de aproximadamente 30% na resistência à tração na flexão com o aumento do teor de polímero de 10% para 20% (Condição de exposição 1, em laboratório).



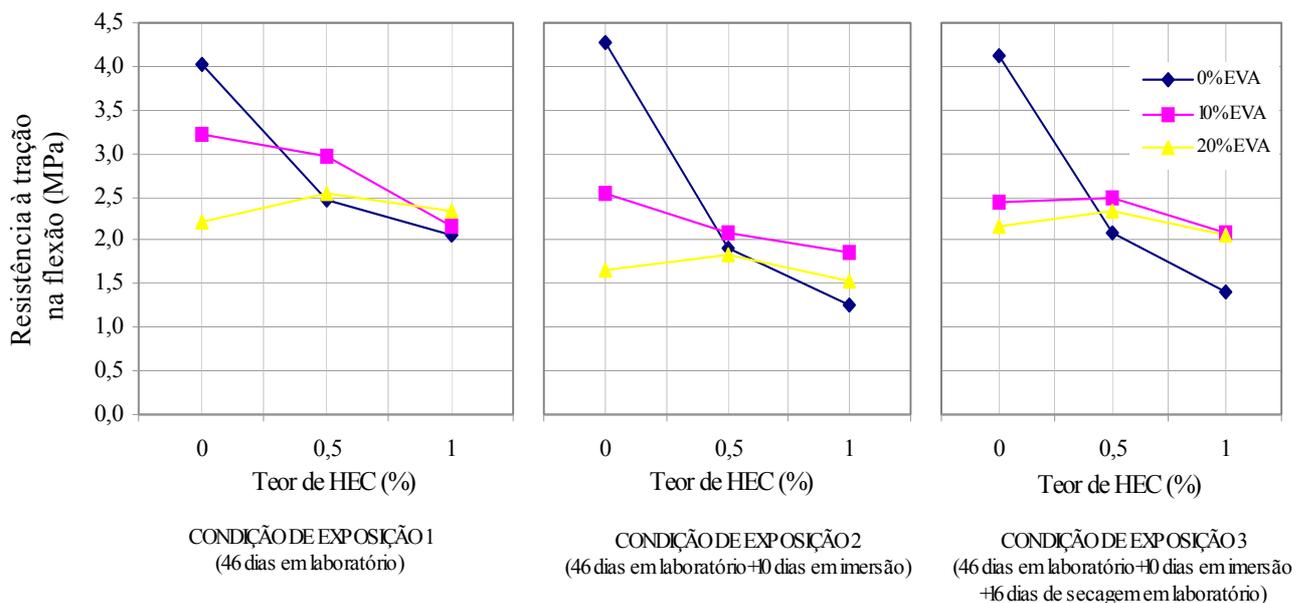
**Figura 4.11 – Resistência à tração na flexão das argamassas em função das diferentes condições de exposição**



**Figura 4.12 – Módulo de elasticidade das argamassas em função das diferentes condições de exposição**

Conforme mostra a Figura 4.13, para todas condições de exposição, quando o teor de EVA é zero, um aumento do teor de HEC produz forte redução na resistência à tração na flexão. Para teores de 10% de EVA, há redução na resistência, porém de forma mais moderada, enquanto para teores de 20% de EVA, um acréscimo do teor de HEC não produz efeito notável sobre as resistências.

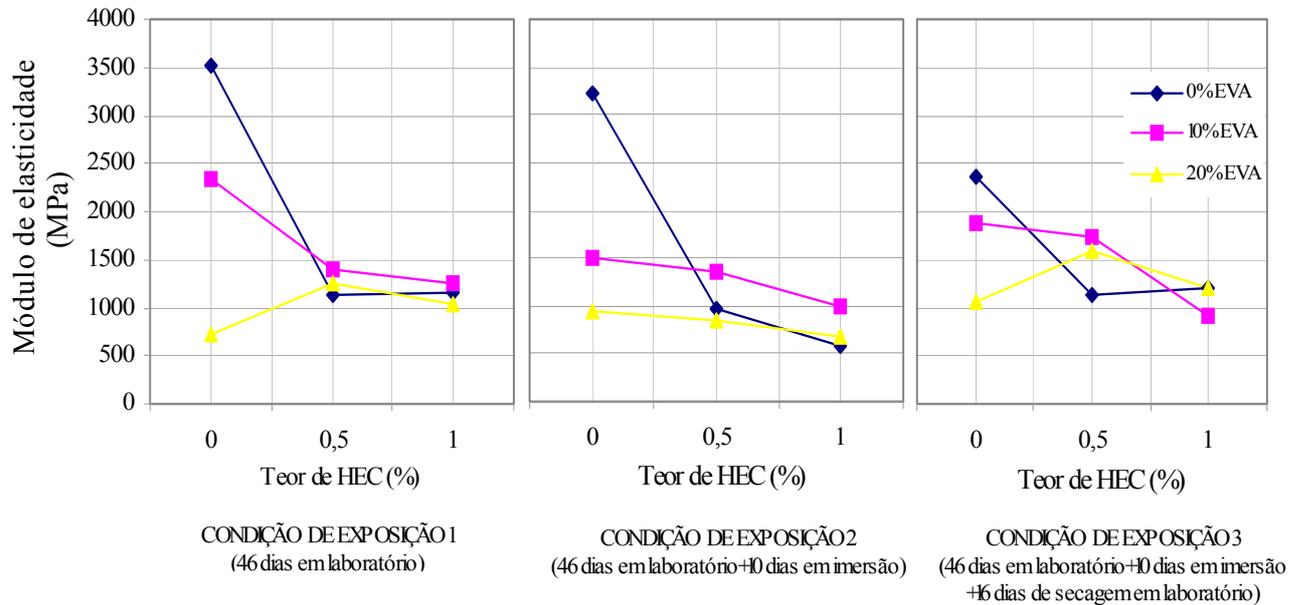
A partir da comparação múltipla de médias realizada (Tabela B.3, Apêndice B), verificou-se que as resistências à tração na flexão das argamassas modificadas com HEC e EVA apresentaram uma diminuição significativa após 10 dias de imersão em água, não sendo verificada reversão integral em apenas três das argamassas testadas após 16 dias de secagem (argamassas com apenas o polímero HEC e a argamassa com apenas 10% de EVA). Por outro lado, o comportamento da argamassa pura praticamente inalterado durante as diferentes condições de exposição, havendo um acréscimo de apenas 6% na resistência após imersão em água (Condição de exposição 2).



**Figura 4.13 – Efeito dos teores de EVA e HEC na resistência à tração na flexão das argamassas em função das diferentes condições de exposição**

Na Figura 4.14 é apresentado o efeito dos teores de EVA e HEC no módulo de elasticidade das argamassas para cada condição de exposição. A partir da mesma, constata-se que, nas argamassas sem o EVA, ocorre uma forte redução no módulo de elasticidade com a introdução do éter de celulose, independentemente da condição de exposição. Na presença de teores de 10% de EVA, também é verificado este efeito, no entanto com menor significância.

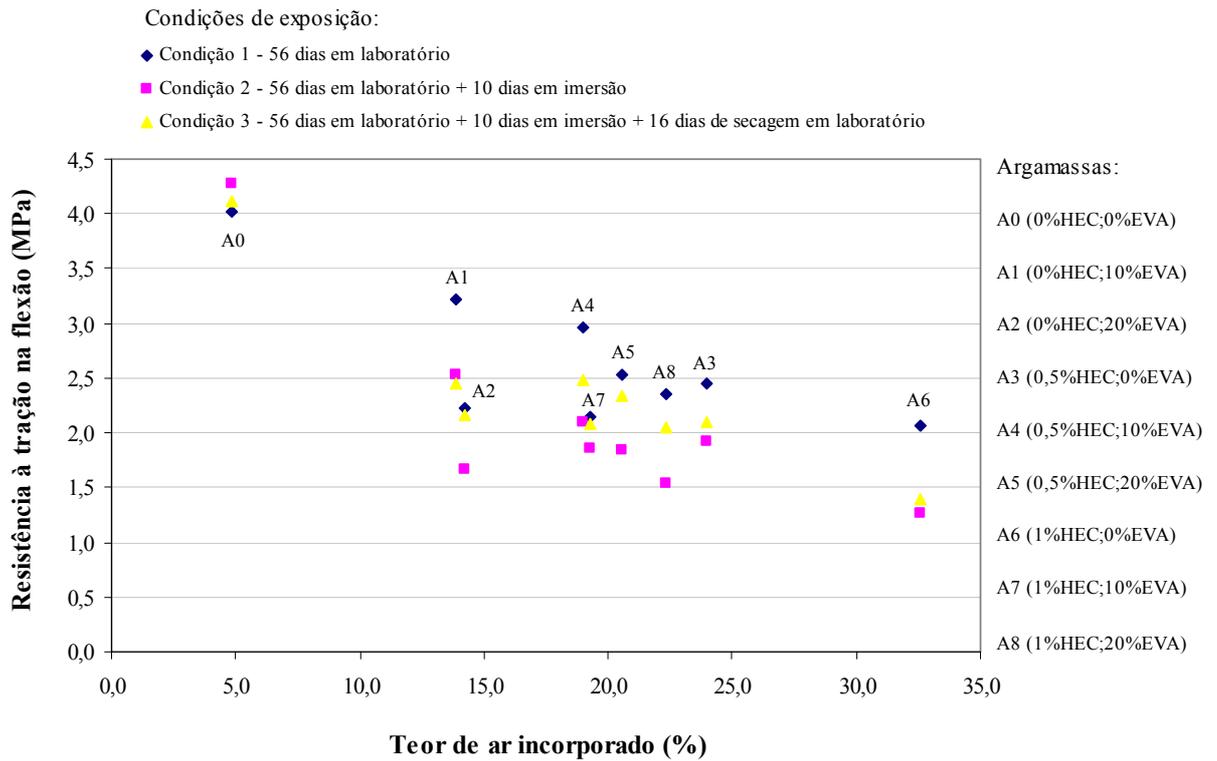
Em relação às diferentes condições de exposição, como dito anteriormente, não houve diferença significativa entre o módulo de elasticidade das argamassas frente à imersão e secagem, independentemente da presença de polímeros.



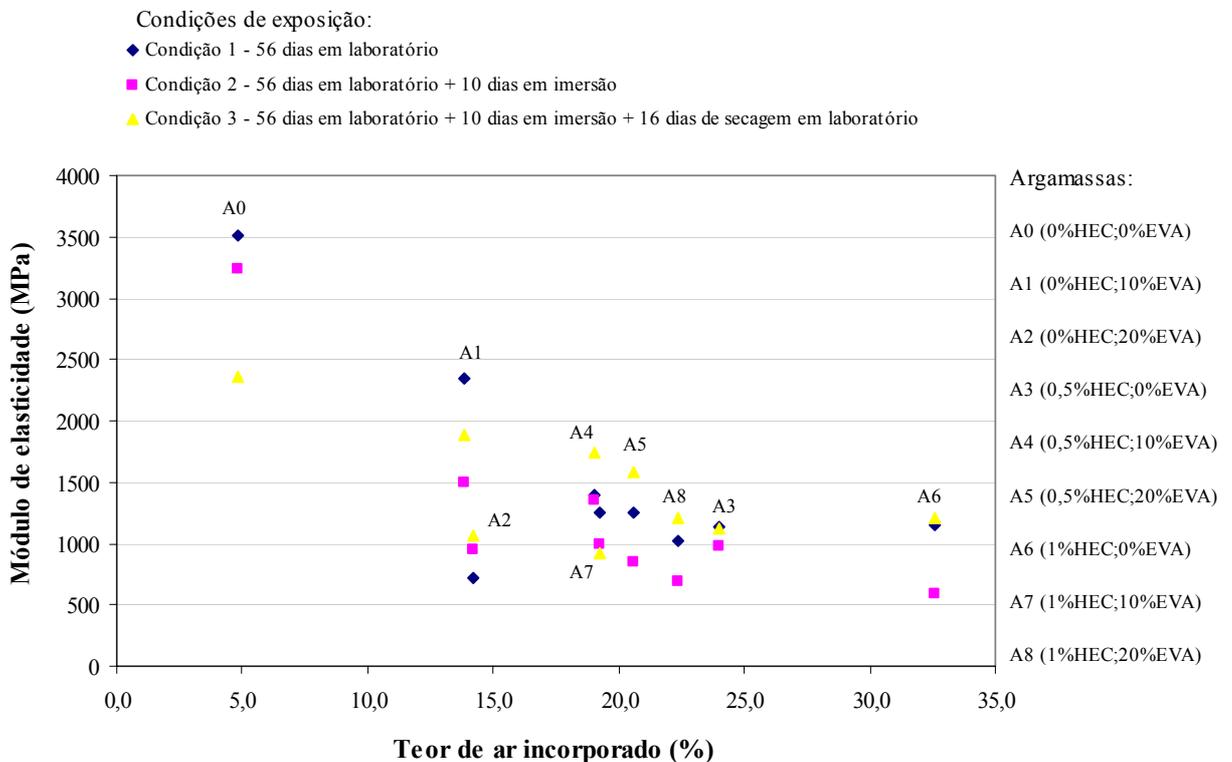
**Figura 4.14 – Efeito dos teores de EVA e HEC no módulo de elasticidade das argamassas em função das diferentes condições de exposição**

As Figuras 4.15 e 4.16 apresentam o comportamento das argamassas frente à resistência à tração na flexão e ao módulo de elasticidade das argamassas nas diferentes condições de exposição em função da incorporação de ar no estado fresco.

A partir dos gráficos, observa-se que há uma tendência de diminuição da resistência à tração na flexão e do módulo de elasticidade com o aumento do teor de ar incorporado nas argamassas. Verifica-se que a redução de resistência à tração na flexão após imersão é mais significativa com o aumento do teor de HEC e EVA, e que as argamassas que contêm ambos os polímeros em sua composição (A4, A5 A7 e A8) apresentam recuperação integral da resistência após a secagem, ao contrário das argamassas que contêm apenas o polímero HEC.



**Figura 4.15– Resistência à tração na flexão das argamassas submetidas às diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco**



**Figura 4.16– Módulo de elasticidade das argamassas submetidas às diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco**

De forma geral, os resultados de módulo de elasticidade apresentaram elevada dispersão, principalmente devido à medida das deformações dos corpos-de-prova, tornando a análise desta propriedade praticamente inviável, principalmente em relação ao efeito das condições de exposição.

Os corpos-de-prova são pouco espessos, apesar de ter sido adotada uma espessura maior do que a recomendada em outros métodos, e apresentam-se bastante irregulares devido à dificuldade de moldagem e acabamento dos mesmos. Além disso, os extensômetros utilizados podem ter influenciado de maneira negativa nas medições de deformação, uma vez que os mesmos funcionam a partir de uma mola interna, a qual pode ter gerado forças no sentido contrário da mesma. O ideal seria a utilização de extensômetros elétricos – *strain-gauges*, no entanto o custo dos mesmos é bastante elevado.

Em estudos realizados por outros autores (BUCHER e NAKAKURA, 1999; PÓVOAS, 1999) para avaliação da flexibilidade de argamassas colantes, também foram verificadas elevadas dispersões nos resultados, evidenciando que os métodos empregados não são os mais indicados para avaliação destas argamassas.

#### 4.2.3 Aderência

A Tabela 4.8 mostra os resultados da análise de variância dos dados referentes à aderência entre as argamassas estudadas e uma placa cerâmica de baixa absorção de água – porcelanato, sendo que os valores individuais de aderência encontram-se nas Tabelas A.7 e A.8, no Apêndice A.

Assim como nos demais ensaios mecânicos apresentados, a análise estatística mostra que os fatores principais exercem efeito significativo sobre a aderência, bem como as interações entre os teores de EVA e HEC e entre o teor de EVA e a condição de exposição, considerando-se 5% de significância. A interação entre o teor de HEC e a condição de exposição não é significativa para uma confiabilidade 95%, entretanto, mostra-se significativa para um intervalo de confiança de 15%.

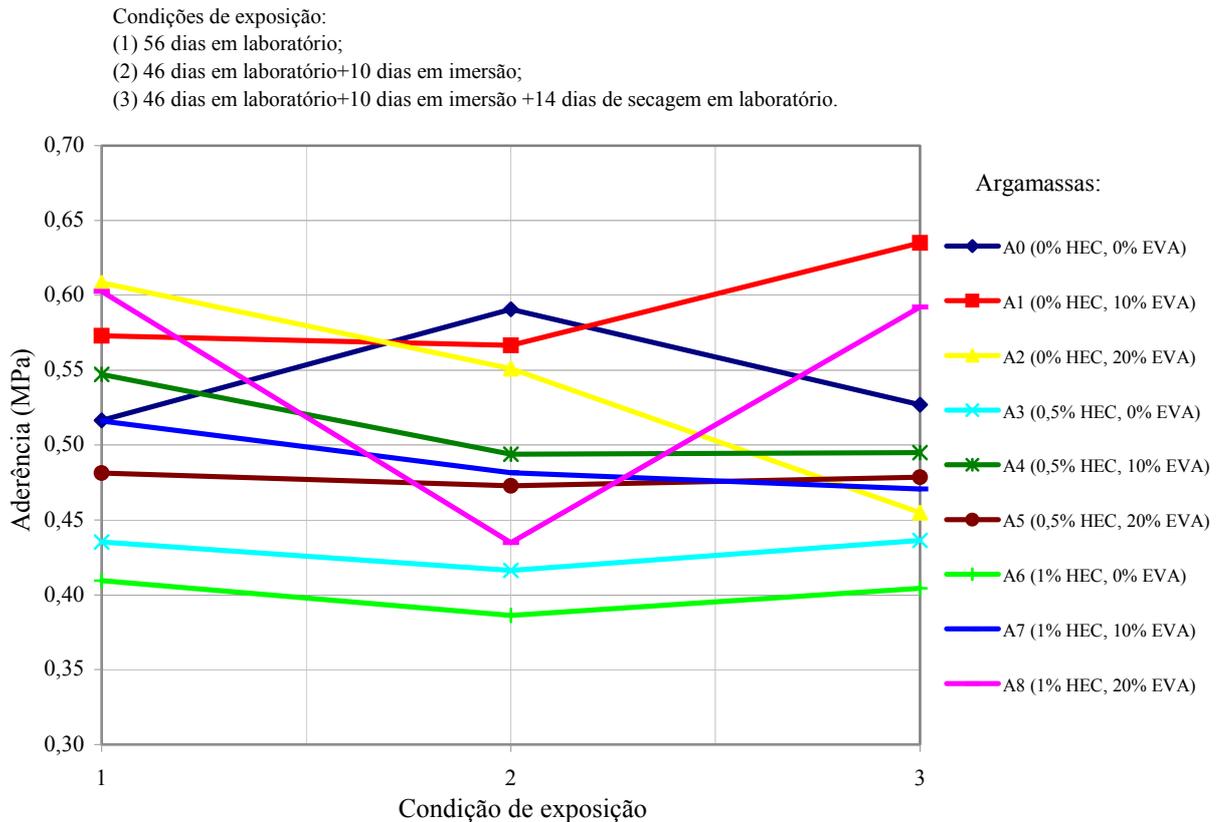
Tabela 4.8 – Análise de variância dos resultados de aderência

Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	0,375739	2	0,187869	27,01	<b>0,0000</b>
B: Teor de EVA	0,254594	2	0,127297	18,30	<b>0,0000</b>
C: Condição de Exposição	0,0862101	2	0,0431051	6,20	<b>0,0024</b>
<b>Interações</b>					
AB	0,1773	4	0,044325	6,37	<b>0,0001</b>
AC	0,0514549	4	0,0128637	1,85	0,1203
BC	0,122424	4	0,0306061	4,40	<b>0,0019</b>
<b>Resíduo</b>	1,58596	228	0,00695598		
<b>Total (corrigido)</b>	2,64779	246			

Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados

Na Figura 4.17 está apresentado o gráfico traçado a partir dos resultados de aderência das argamassas em função das diferentes condições de exposição. A partir do gráfico, observa-se que as argamassas que apresentaram menores resistências, independentemente das condições de exposição, foram as modificadas apenas com o polímero hidroxietil celulose, enquanto as argamassas que possuem EVA em suas composições, apresentaram as melhores resistências, concordando com os resultados encontrados em outros estudos (PÓVOAS, 1999; JENNI, 2003).

A argamassa de referência não apresentou o melhor desempenho de aderência, se comparada às demais argamassas, conforme observado nos demais ensaios mecânicos realizados, exceto na condição de saturação (Condição de exposição 2), tendo sido a única argamassa a apresentar acréscimo de resistência nesta condição. Os resultados de aderência de argamassas sem aditivos, reportados na literatura, geralmente são baixos, com valores próximos a zero, enquanto os resultados encontrados no presente estudo são superiores a 0,5MPa. No entanto, deve-se considerar os diferentes tipos de cerâmica e metodologia empregados, além do fato da argamassa ter sido aplicada em camada contínua diretamente sobre o tardo da placa cerâmica, proporcionando uma maior extensão de aderência e apresentando menor área superficial, se comparada às argamassas aplicadas com desempenadeira denteada, o que pode ter promovido uma redução da perda de água da argamassa por evaporação.



**Figura 4.17 –Aderência entre as argamassas e porcelanato em função das diferentes condições de exposição**

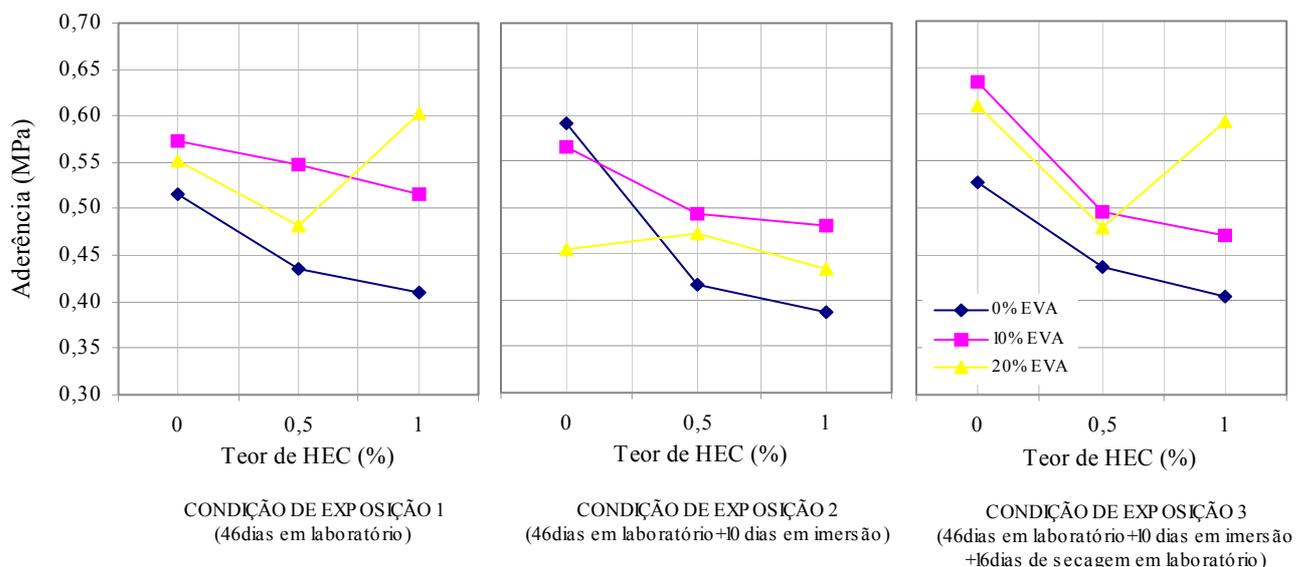
Na Figura 4.18 é apresentado o efeito dos teores de EVA e HEC na aderência entre a placa cerâmica e as argamassas, para cada tipo de exposição. Nas argamassas que não contêm EVA em sua composição, observa-se que um aumento do teor de HEC produz uma redução de aderência para todas as condições de exposição, porém não foi verificada redução significativa das resistências destas argamassas quando saturadas.

A partir da comparação múltipla de médias (Tabela B.5, Apêndice B), verificou-se que as argamassas modificadas com o copolímero EVA apresentaram os maiores decréscimos de resistência após imersão, sendo esta redução significativa nas argamassas A2 (0% HEC + 20% EVA) e A8 (1% HEC + 20% EVA). Esta redução evidencia a possibilidade de terem ocorrido modificações em fases presentes nas argamassas e na superfície de contato com as placas cerâmicas, uma vez que a maioria dos rompimentos ocorreu na interface argamassa colante/porcelanato. Jenni (2003) não avaliou o comportamento de argamassas contendo apenas EVA, sem a presença de aditivo celulósico em suas composições, pelo fato das mesmas não apresentarem trabalhabilidade adequada para aplicação de placas cerâmicas. No

entanto, o autor verificou uma queda de aderência em argamassas compostas com éteres de celulose e EVA quando imersas em água.

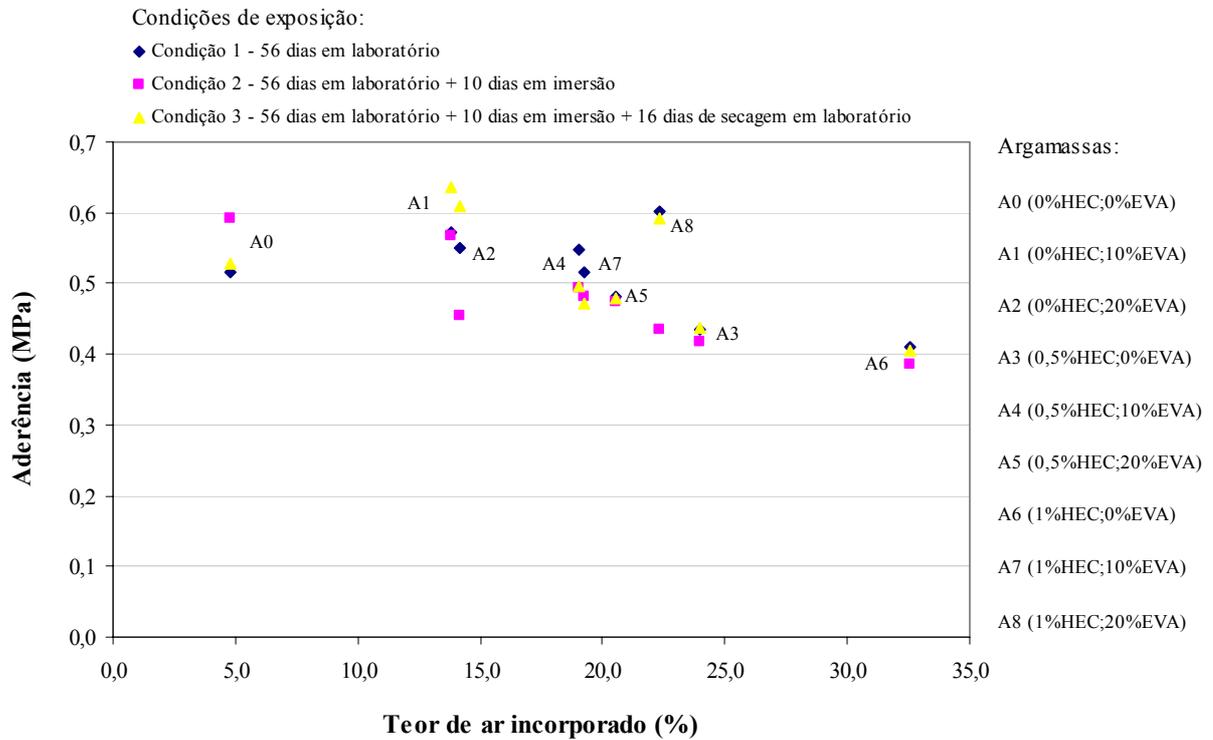
Na presença de 10% de EVA, a adição de HEC ocasiona uma diminuição de aderência, porém de forma mais moderada. Observa-se que após 16 dias de secagem, subsequentes à imersão, as argamassas A4 e A5 (0,5% HEC + 10% EVA; 1% HEC + 10%EVA) não mostraram evidências de recuperação total destas resistências.

As argamassas com teores de 20% de EVA, apresentam comportamentos diferenciados em função da exposição. Nas Condições 1 e 3, ocorre, inicialmente, uma redução na aderência das argamassas com a adição de HEC, e um posterior aumento com a adição de maiores teores do polímero, enquanto na Condição 2 (com imersão), a introdução do polímero HEC não apresenta um efeito notório. A argamassa A8 (1% HEC + 20% EVA) apresentou considerável queda de aderência após o período de imersão (aproximadamente 18%), se comparada às demais argamassas. No entanto, houve uma tendência de recuperação após a secagem, assim como na argamassa A2 (0% HEC + 20% EVA), lembrando que estas argamassas (A2 e A8) foram as únicas que apresentaram queda estatisticamente significativa da resistência de aderência após a imersão.



**Figura 4.18 – Efeito dos teores de EVA e HEC na aderência entre as argamassas e porcelanato em função das diferentes condições de exposição**

A Figura 4.19 apresenta o gráfico com os resultados de aderência das argamassas nas diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado durante o preparo das mesmas. A partir do gráfico, observa-se que não há uma tendência de comportamento clara, ou seja, não há uma correlação entre a aderência das argamassas e o teor de ar incorporado.



**Figura 4.19– Aderência das argamassas nas diferentes condições de exposição, em função do teor de ar incorporado no estado fresco**

Com o intuito de aprofundar o estudo sobre o comportamento de saturação e posterior secagem do polímero EVA em argamassas modificadas com éter de celulose, as argamassas com 0,5% de HEC (A3, A4 e A5) foram submetidas, complementarmente, a outras condições de exposição conforme descrito no item 3.4.

A análise de variância, apresentada na Tabela 4.9, mostra que o teor de EVA e as condições de exposição, bem como a interação entre estes fatores, exercem influência significativa no comportamento de aderência das argamassas modificadas com 0,5% de HEC, considerando-se uma confiabilidade de 95%.

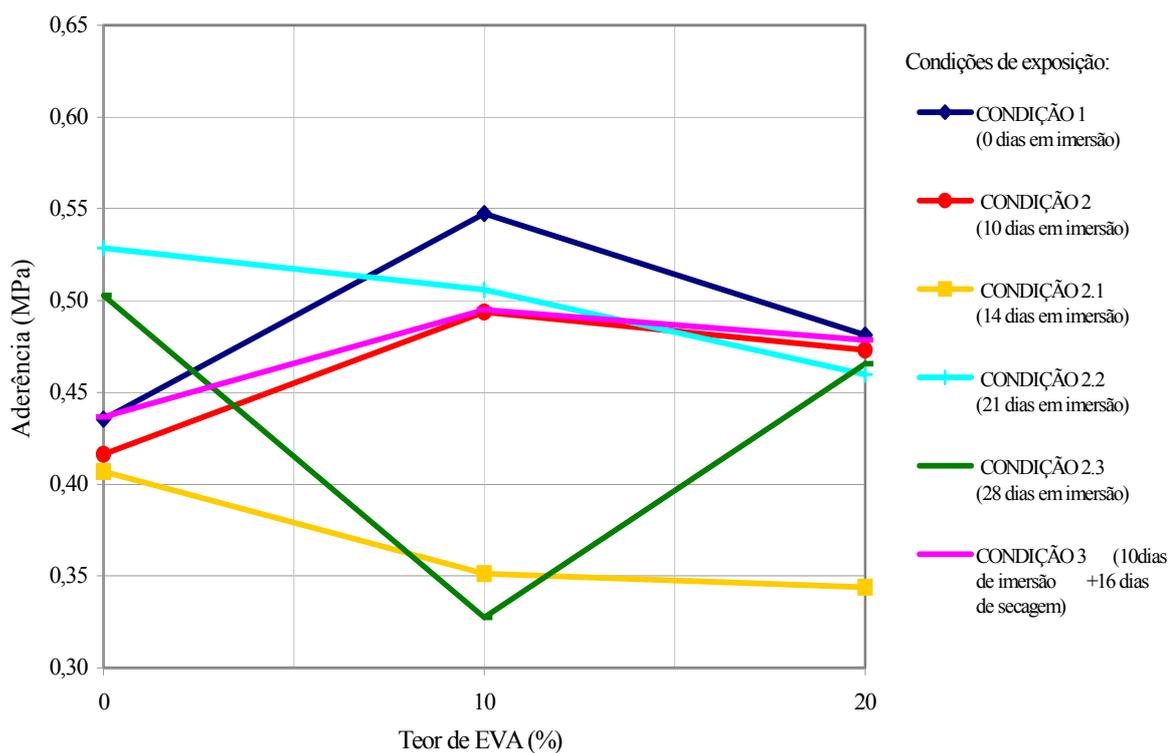
**Tabela 4.9 – Análise de variância dos resultados de aderência de argamassas com 0,5% de HEC em função de diferentes condições de exposição**

Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de EVA	0,140238	2	0,070119	9,11	<b>0,0002</b>
B: Condição de Exposição	0,432801	8	0,0541001	7,03	<b>0,0000</b>
<b>Interações</b>					
AB	0,354442	16	0,0221526	2,88	<b>0,0003</b>
<b>Resíduo</b>	1,59324	207	0,00769681		
<b>Total (corrigido)</b>	2,56834	233			

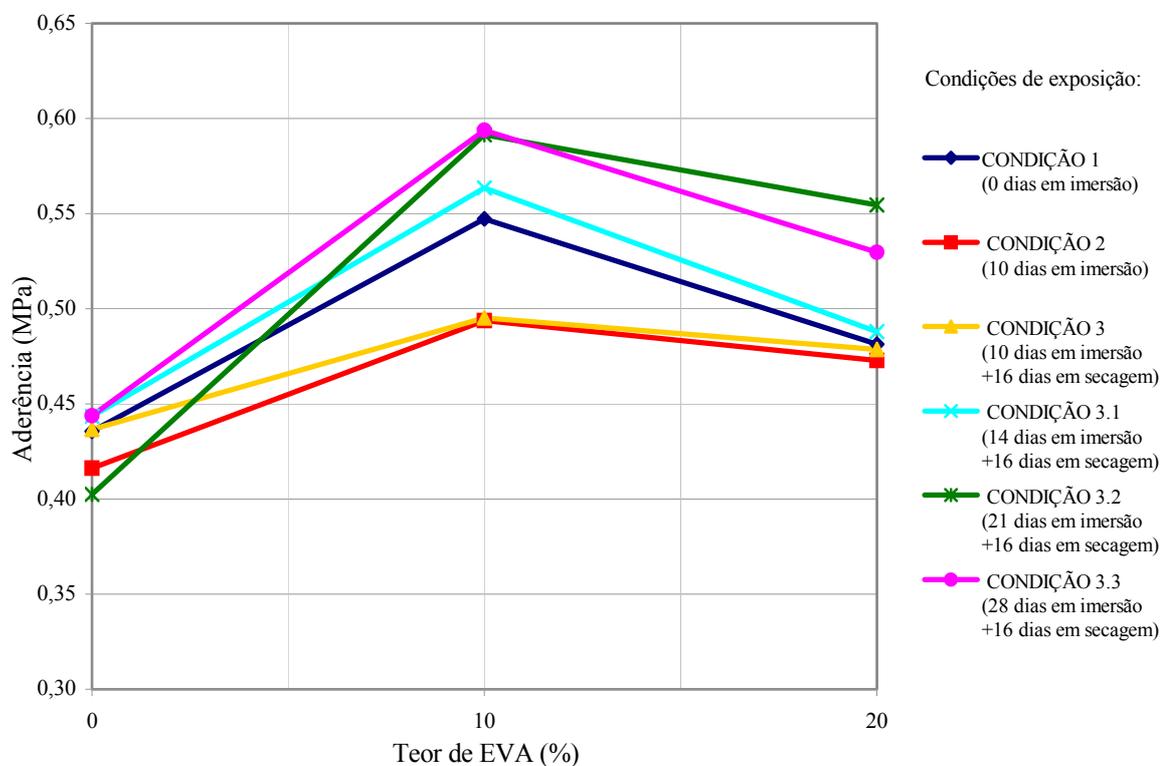
Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados

As Figuras 4.20 e 4.21 apresentam os gráficos traçados a partir dos resultados dos ensaios de aderência das argamassas com 0,5% de HEC, em função do teor do copolímero EVA e das diferentes condições de exposição empregadas. O primeiro gráfico apresenta os resultados dos ensaios realizados em condições de saturação, após períodos de 10, 14, 21 e 28 dias de imersão, e o segundo, mostra os resultados dos ensaios realizados após secagem durante 16 dias, subsequente aos mesmos períodos de imersão.

Analisando-se o gráfico da Figura 4.20, observa-se que os resultados obtidos apresentam incoerência, provavelmente relacionada à alta dispersão do método de ensaio, tornando a análise inviável. Os resultados apresentados na Figura 4.21 também apresentaram elevada dispersão; no entanto, os mesmos apresentam algumas tendências. Percebe-se que com o aumento do período de imersão e subsequente período de secagem de 16 dias, a argamassa sem aditivo vinílico não apresenta modificações notáveis sobre a aderência. Já para as argamassas com 10% e 20% de EVA há uma tendência de acréscimo de aderência para os maiores períodos de imersão.



**Figura 4.20 – Resultados de aderência de argamassas com 0,5% de HEC, em função do teor de EVA e dos diferentes períodos de imersão**



**Figura 4.21 – Resultados de aderência de argamassas com 0,5% de HEC após secagem, em função do teor de EVA e dos diferentes períodos de imersão**

Os valores de aderência obtidos, principalmente para as argamassas modificadas com os polímeros EVA e HEC, foram relativamente baixos se comparados aos valores referenciados na literatura, apesar do método empregado ser diferente dos demais e não se poder fazer uma comparação direta entre os mesmos. Além disso, os resultados de aderência das diferentes argamassas estudadas não apresentaram diferenças consideráveis entre si, dificultando uma análise mais aprofundada do comportamento mecânico das argamassas sob diferentes condições de exposição.

De forma geral, os resultados de aderência obtidos apresentaram elevada dispersão, a qual provavelmente está relacionada ao método de ensaio adotado. OHAMA (1984) atribui a alta dispersão nos resultados aos métodos de ensaio empregados, bem como as condições de exposição e a porosidade dos substratos.

Em estudo realizado por Silva, C.O. (2003) verificou-se que a maioria dos métodos de determinação de aderência investigados apresenta grande variação de resultados, e que quanto mais complexo for o método, e maior a participação do técnico na realização do ensaio, maior é a probabilidade de apresentar dispersões nos resultados.

#### 4.2.4 Determinação de massa específica

Os valores individuais de massa específica dos corpos-de-prova encontram-se na Tabela A.9 do Apêndice A.

A análise estatística dos dados está apresentada na Tabela 4.10 a seguir e, assim como a análise da massa específica no estado fresco, indicou que todos efeitos são significativos, sendo o efeito mais forte do teor de HEC, seguido pela interação entre os teores dos polímeros – HEC e EVA.

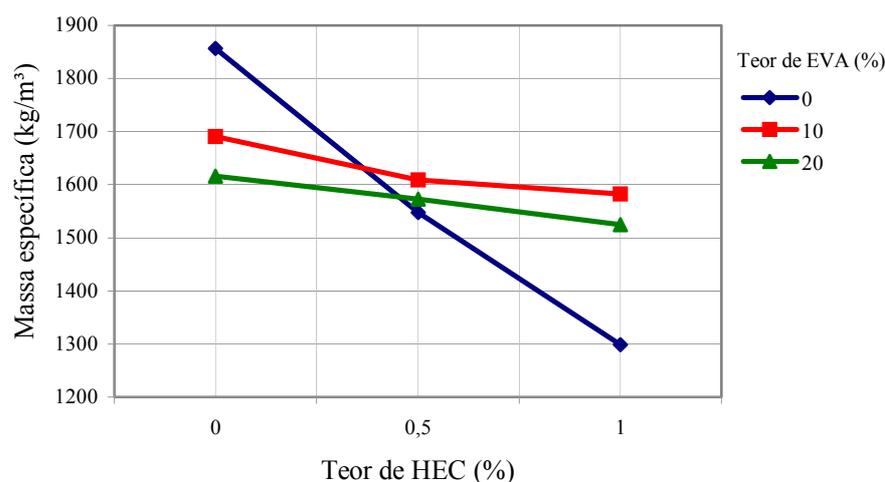
**Tabela 4.10 – Análise de variância dos resultados de massa específica no estado endurecido**

Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	386361,0	2	193180,0	2109,55	<b>0,0000</b>
B: Teor de EVA	26978,7	2	13489,3	147,31	<b>0,0000</b>
<b>Interações</b>					
AB	280982,0	4	70245,5	767,09	<b>0,0000</b>
<b>Resíduo</b>	2472,5	27	91,5741		
<b>Total (corrigido)</b>	696794,0	35			

Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados

Como pode ser observado na Figura 4.22, quando o teor de EVA é zero, um aumento de HEC produz forte redução na massa específica, devido à elevada incorporação de ar promovida pelo polímero na mistura, ainda no estado fresco. Já para os teores de 10% e 20% de EVA, esse efeito é menos significativo.

Os resultados de massa específica obtidos correlacionam-se com os resultados de massa específica e teor de ar incorporado determinados no estado fresco (Figuras 4.3 e 4.4), no entanto, apresentando valores inferiores àqueles pelo fato de ter perdido a água evaporável do sistema.



**Figura 4.22 – Efeito dos polímeros HEC e EVA na massa específica das argamassas, no estado endurecido**

#### 4.2.5 Absorção de água por imersão e secagem pós-imersão

A determinação da absorção de água das argamassas foi realizada em corpos-de-prova cilíndricos, com relação área/volume igual a 1, e em corpos-de-prova prismáticos, com relação área/volume de aproximadamente 2,6. A imersão dos corpos-de-prova foi realizada aos 46 dias de idade, os quais permaneceram em água por 10 dias, e posteriormente submetidos à secagem por um período de 16 dias.

As Tabelas 4.11 e 4.12 apresentam as análises de variância dos resultados de absorção máxima de água por imersão dos corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos, respectivamente. Como a maior parte dos corpos-de-prova atingiu os maiores resultados aos 10 dias, convencionou-se, para efeito de cálculo, que a absorção máxima de água por imersão ocorre neste período.

Os valores individuais de absorção diária de água dos corpos-de-prova, cilíndricos e prismáticos, e de secagem pós-imersão encontram-se nas Tabelas A.10 e A.11 do Apêndice A.

**Tabela 4.11 – Análise de variância dos resultados de absorção máxima de água por imersão em corpos-de-prova cilíndricos**

Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	5,38763	2	2,69382	10,70	<b>0,0002</b>
B: Teor de EVA	11,4486	2	5,72429	22,74	<b>0,0000</b>
<b>Interações</b>					
AB	5,43729	4	1,35932	5,40	<b>0,0012</b>
<b>Resíduo</b>	11,33	45	0,251779		
<b>Total (corrigido)</b>	33,6035	53			

Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados

**Tabela 4.12 – Análise de variância dos resultados de absorção máxima de água por imersão em corpos-de-prova prismáticos**

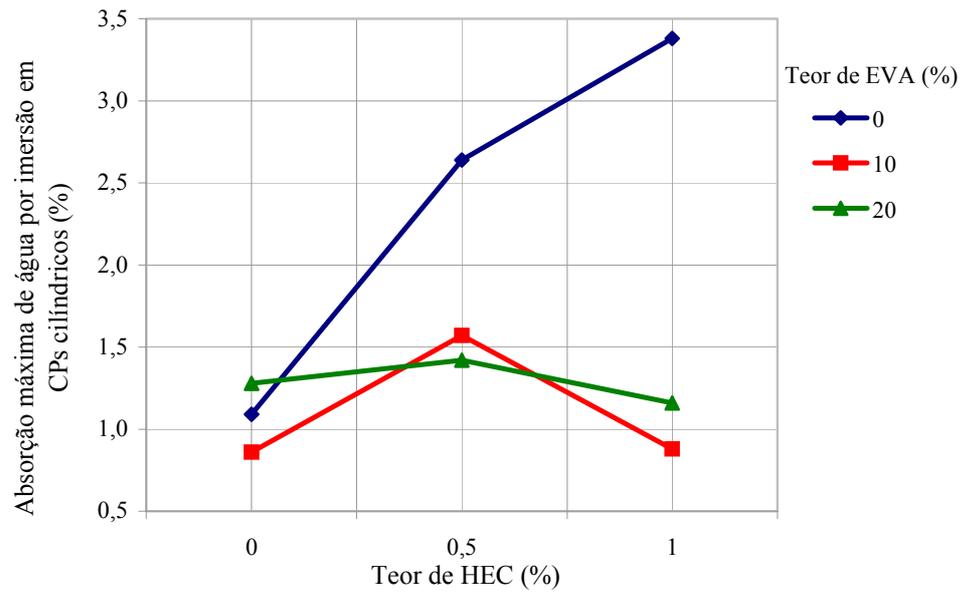
Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	111,85	2	55,9252	483,54	<b>0,0000</b>
B: Teor de EVA	111,728	2	55,8642	483,01	<b>0,0000</b>
<b>Interações</b>					
AB	198,862	4	49,7154	429,85	<b>0,0000</b>
<b>Resíduo</b>	4,62635	40	0,115659		
<b>Total (corrigido)</b>	368,199	48			

Todos os testes F foram baseados no erro residual da média dos quadrados

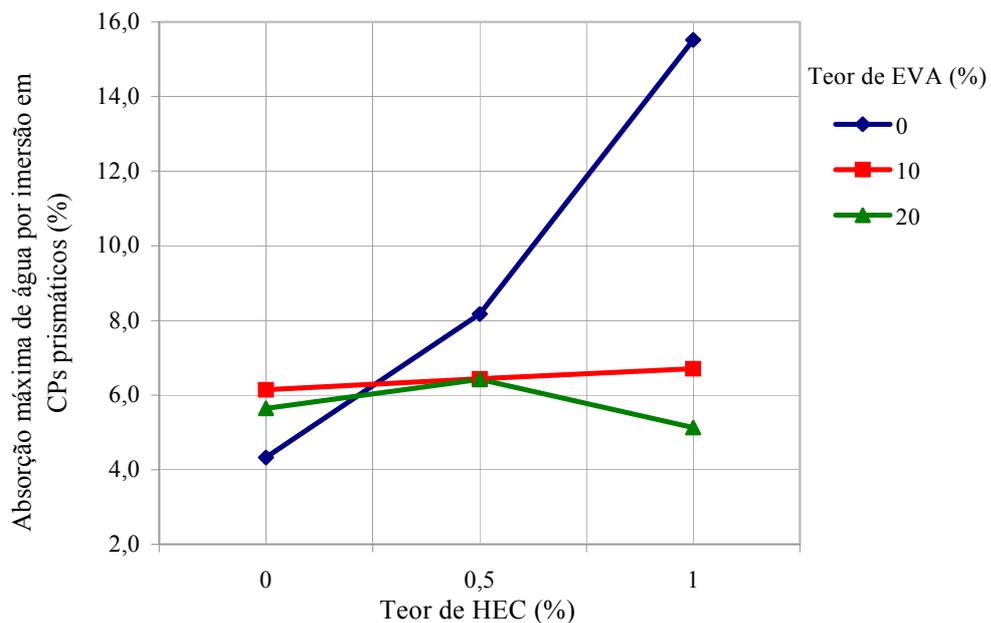
Como mostram as análises de variância, os fatores teor de HEC e teor de EVA exercem efeitos fortemente significativos sobre a absorção máxima de água por imersão em ambos os tipos de corpos-de-prova, da mesma forma que a interação entre os mesmos (fator AB). A partir das Figuras 4.23 e 4.24 pode-se observar melhor o efeito dos polímeros HEC e EVA sobre a absorção máxima em corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos, respectivamente.

O comportamento das argamassas sem EVA, em ambos os tipos de corpos-de-prova, é diferente dos demais, havendo um forte aumento da absorção máxima com o aumento do teor de HEC. Nos corpos-de-prova cilíndricos, este efeito é maior com a adição de 0,5% de HEC, enquanto para os corpos-de-prova prismáticos, o efeito é mais significativo para um teor de 1% do polímero. Os demais efeitos são menos notórios.

Na presença do polímero HEC, a absorção de água das argamassas é maior, uma vez que o aditivo promove uma elevada incorporação de ar e, conseqüentemente, um maior número de vazios. Observou-se, também, que os valores de absorção são menores nos corpos-de-prova cilíndricos, o que pode estar relacionado à diferente distribuição do tamanho de poros em função das condições de moldagem, e da porosidade de superfície mais fechada em função do contato com as paredes do molde durante os sete dias iniciais de cura. Os corpos-de-prova prismáticos, por sua vez, apresentam uma maior relação área exposta/volume desde a moldagem, o que pode induzir uma maior fissuração.



**Figura 4.23 – Efeito da interação dos polímeros HEC e EVA na absorção máxima por imersão em corpos-de-prova cilíndricos**

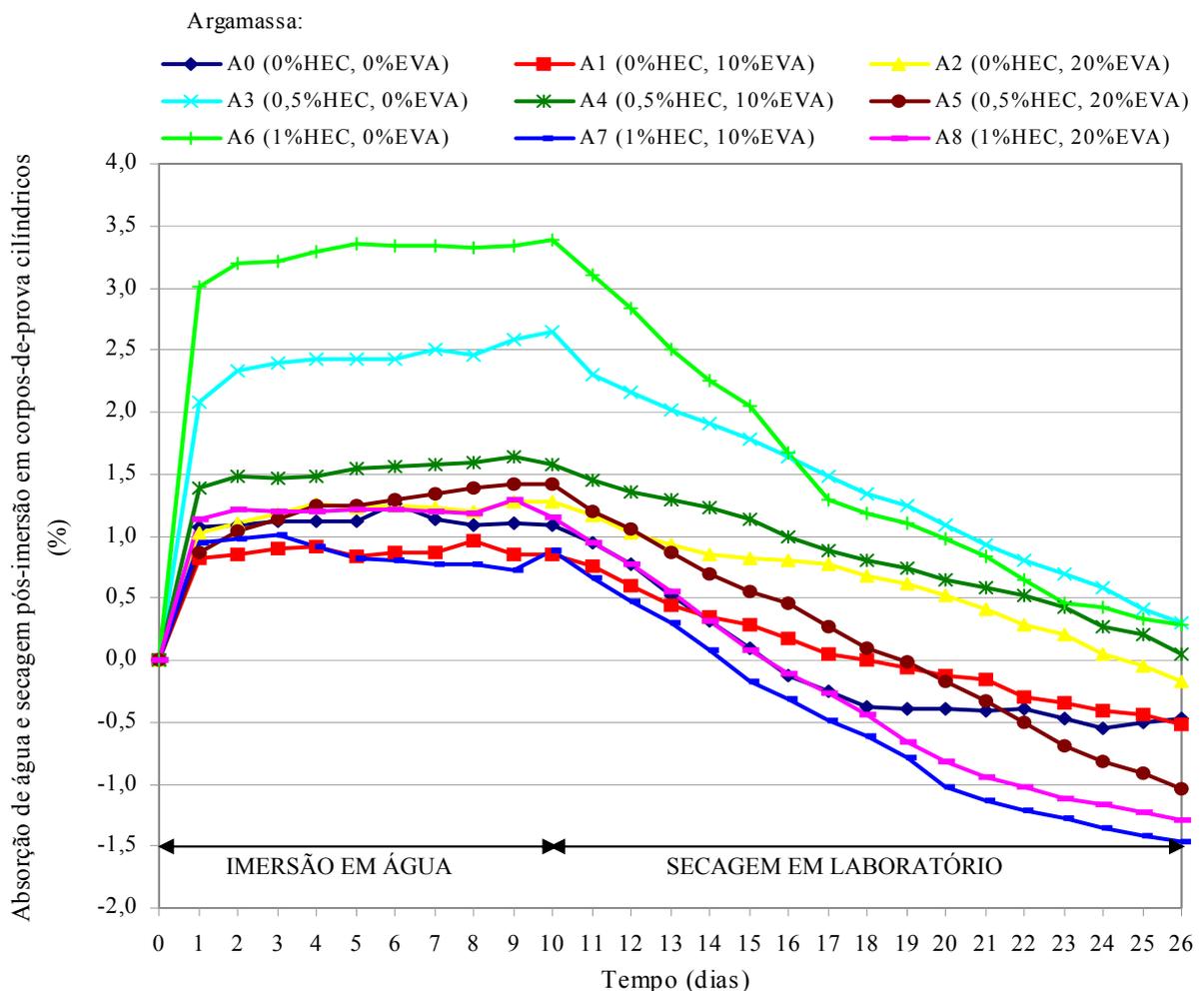


**Figura 4.24 – Efeito da interação dos polímeros HEC e EVA na absorção máxima por imersão em corpos-de-prova prismáticos**

As Figuras 4.25 e 4.26 apresentam os gráficos traçados a partir dos dados de absorção média de água por imersão e secagem pós-imersão em corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos, respectivamente, em função do tempo. Os primeiros 10 dias são referentes ao período de imersão, e os últimos 16 dias referem-se ao período de secagem em laboratório, sob condições de temperatura e umidade controladas ( $T \cong 23^{\circ}\text{C}$  e  $U. R. \cong 75\%$ ).

A partir da Figura 4.25, observa-se que as argamassas em formato cilíndrico que apresentaram os maiores valores de absorção foram as modificadas apenas com éter de celulose, havendo um acréscimo de 28% na absorção máxima da argamassa, com o aumento do teor de polímero de 0,5% para 1%. As demais argamassas apresentaram comportamento semelhante entre si, não havendo uma tendência de comportamento.

O gráfico mostra também que, após 16 dias de secagem, a argamassa que contém 1% de HEC, apresentou uma diminuição percentual de aproximadamente 92%, se comparada à absorção máxima, enquanto as argamassas que apresentaram os menores valores de absorção máxima (A1 e A7), apresentaram uma diminuição de aproximadamente 159% e 266%, respectivamente. Esses resultados mostram que não há uma tendência de comportamento entre os períodos de molhamento e secagem e indicam que ocorre interação entre os polímeros.

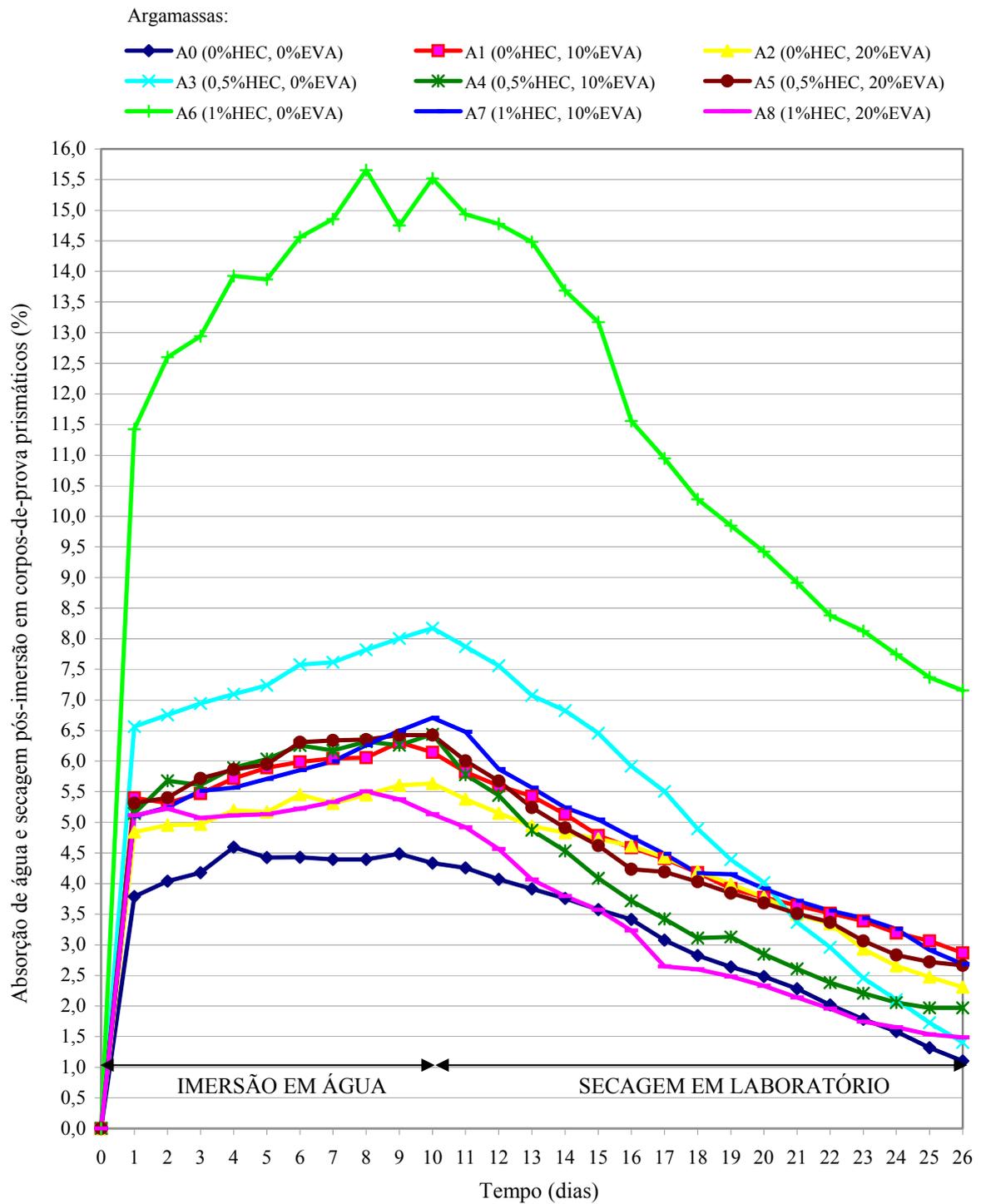


**Figura 4.25 – Resultados de absorção de água por imersão e secagem pós-imersão em corpos-de-prova cilíndricos em função do tempo**

Da mesma forma que em corpos-de-prova cilíndricos, as argamassas em corpos-de-prova prismáticos que apresentaram os maiores valores de absorção foram as que contêm o aditivo HEC em sua composição (Figura 4.26). Obteve-se um acréscimo de 48% na absorção máxima da argamassa, com o aumento do teor de polímero de 0,5% para 1%.

De forma geral, os resultados obtidos apresentam uma relação com a quantidade de ar incorporado nas misturas durante o estado fresco para as argamassas sem aditivo vinílico. A argamassa sem aditivos (A0) apresentou a menor absorção, sendo que a mesma havia apresentado os menores resultados de incorporação de ar (Figuras 4.3 e 4.4).

Os diferentes resultados apresentados para os diferentes tipos de corpos-de-prova mostram que há influência da forma geométrica e área superficial dos corpos-de-prova, em relação ao volume dos mesmos, sobre o comportamento de absorção e secagem, conforme o esperado. No entanto, apesar dessa diferença, verificou-se que existem boas correlações entre os resultados de ambos os corpos-de-prova (prismáticos e cilíndricos) para um mesmo tipo de argamassa. Os gráficos que apresentam os resultados destas correlações estão apresentados no Apêndice D.



**Figura 4.26 – Resultados de absorção de água por imersão e secagem pós-imersão em corpos-de-prova prismáticos em função do tempo**

#### 4.2.6 Variação dimensional

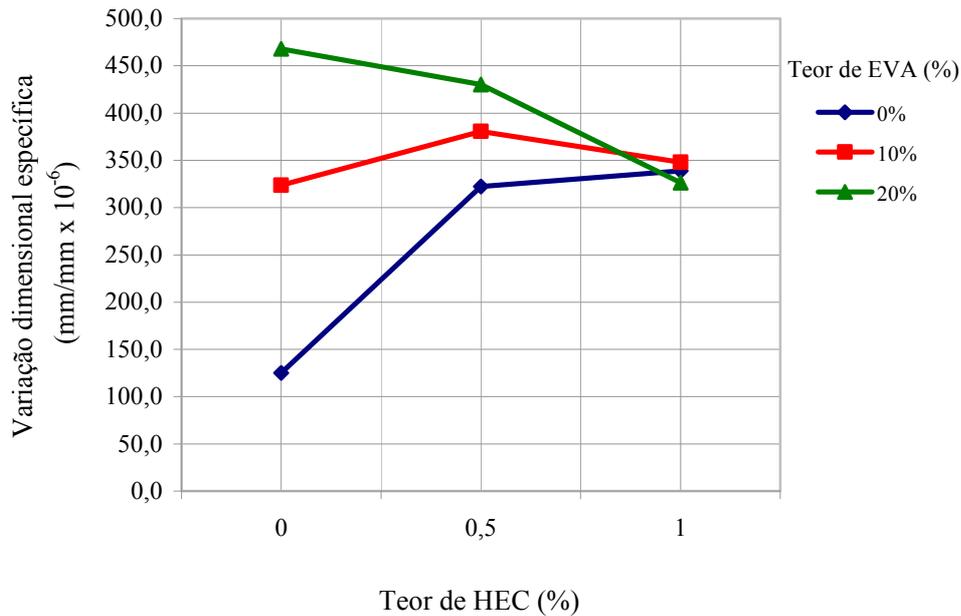
A determinação da variação dimensional diária dos corpos-de-prova das argamassas foi realizada a partir dos 46 dias de idade, na qual os mesmos foram submetidos à imersão em água, por um período de 10 dias e, posteriormente, à secagem, em ambiente com temperatura e umidade relativa do ar constantes, durante 16 dias. A relação entre a área superficial e o volume do corpo-de-prova empregado é 2,4.

As maiores expansões das argamassas ocorreram entre o oitavo e décimo dia de medição, considerando-se, para efeito de cálculo, que a variação dimensional máxima foi obtida aos 10 dias de imersão em água. A análise estatística, realizada por análise de variância está apresentada na Tabela 4.13 e os valores individuais das medições dos corpos-de-prova durante os períodos em imersão e secagem pós-imersão encontram-se nas Tabelas A.12 e A.13 do Apêndice A.

**Tabela 4.13 – Análise de variância da variação dimensional máxima dos corpos-de-prova após imersão**

Fonte	Soma dos Quadrados	GDL	Média dos quadrados	Teste F	Valor-p
<b>Efeitos principais</b>					
A: Teor de HEC	409,7072	2	204,8536	9,18	≤ 0,0500
B: Teor de EVA	828,6152	2	414,3076	18,56	≤ 0,0500
<b>Interações</b>					
AB	784,9475	4	196,2369	8,79	≤ 0,0500
<b>Resíduo</b>	357,1781	16	22,3236		
<b>Total (corrigido)</b>	2380,4479	24			

A análise de variância mostra que tanto os fatores teor de HEC e teor de EVA, como a interação entre os mesmos (fator AB), exercem efeitos significativos sobre a variação dimensional máxima das argamassas, sendo o efeito mais forte o do teor de EVA. A partir da Figura 4.27, pode-se observar que quando HEC é zero há um forte aumento da variação dimensional máxima com aumento do teor de EVA. Para um teor de 0,5% de HEC, este efeito é menor, enquanto para 1% do polímero há uma convergência dos resultados, independentemente do teor de EVA.



**Figura 4.27 – Efeito da interação dos polímeros HEC x EVA na variação dimensional específica das argamassas após 10 dias em imersão**

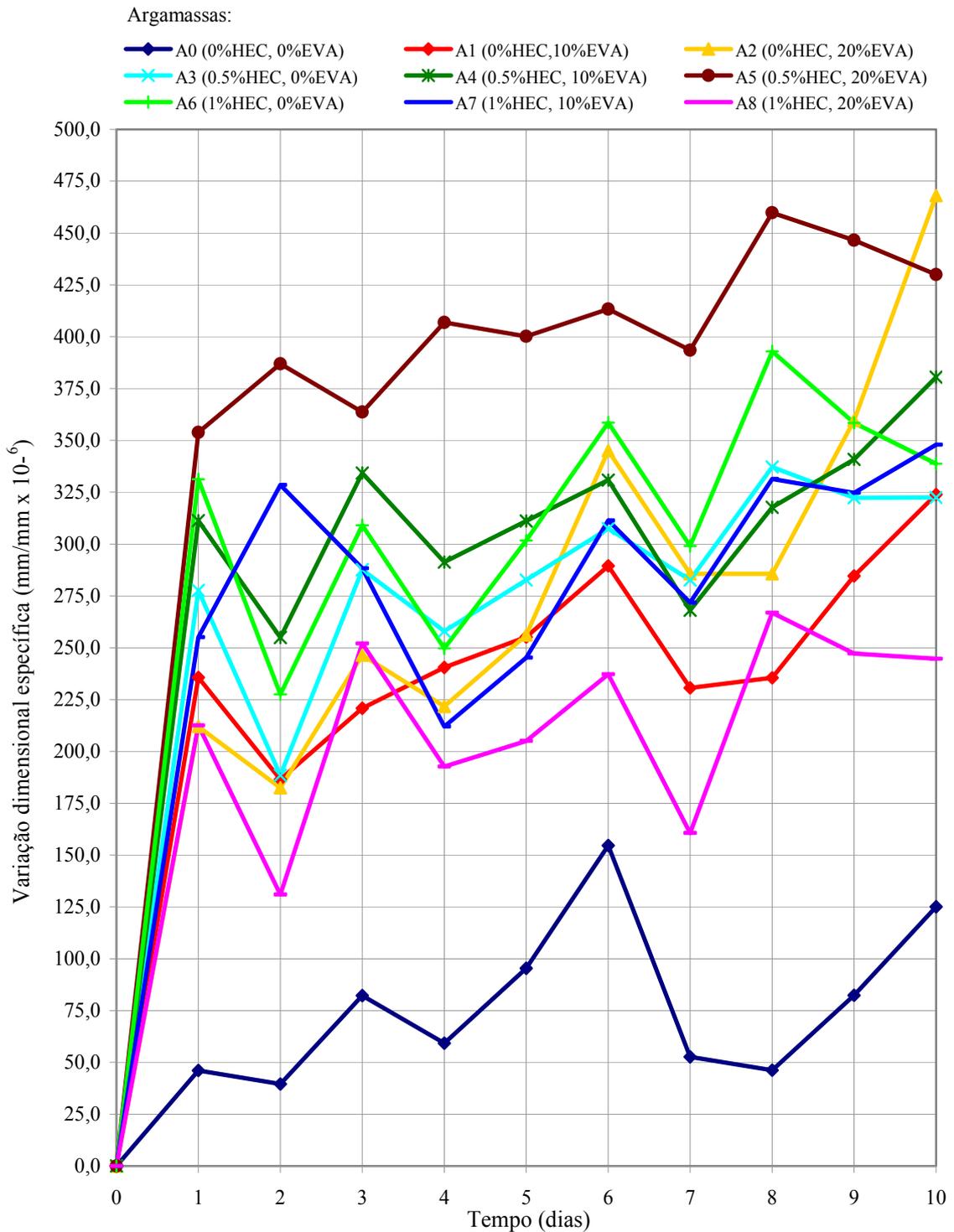
Os gráficos traçados a partir dos dados de variação dimensional média das argamassas, em função do tempo de imersão e secagem pós-imersão, estão apresentados nas Figuras 4.28 e 4.29, respectivamente.

Observa-se na Figura 4.28, que as argamassas modificadas (A1 a A8) apresentaram elevada expansão linear após um período de imersão, se comparadas à argamassa de referência (A0), tendo sido as variações mais expressivas constatadas após o primeiro dia de imersão em água. Não foi verificada uma tendência que diferencie o comportamento das argamassas modificadas com HEC e EVA durante o período imerso, ao contrário do constatado para a argamassa sem aditivo.

A Figura 4.29 mostra que, após o primeiro dia de secagem, há uma contração linear elevada para todas argamassas. Entretanto, não foi verificada, durante o período de secagem adotado, uma tendência de reversão integral das variações dimensionais das argamassas modificadas com os polímeros.

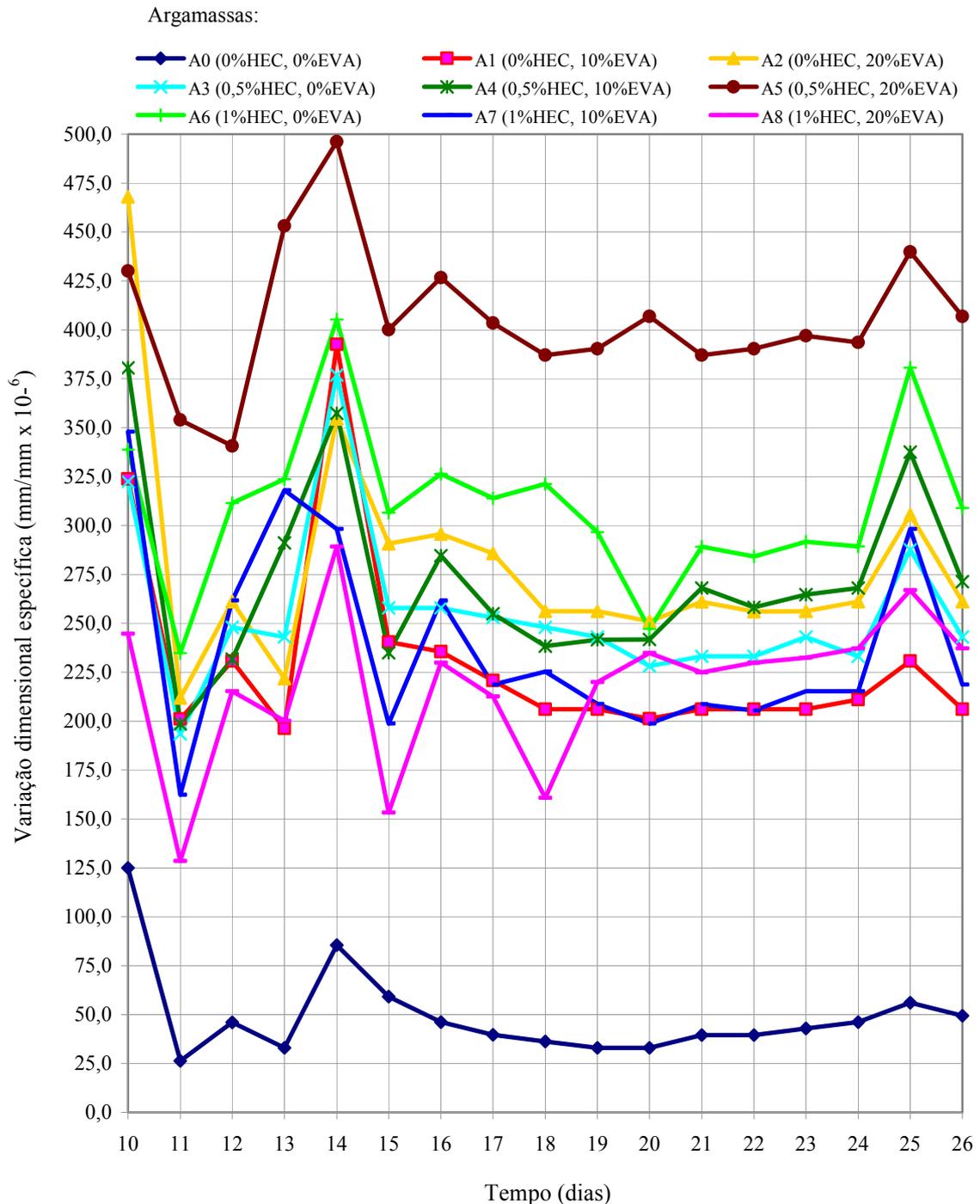
Os resultados de algumas argamassas apresentaram maiores coeficientes de variação em função de algumas amostras terem sido inutilizadas durante sua execução, ressaltando-se,

dessa forma, a necessidade de uma amostragem superior a quatro corpos-de-prova para a obtenção de resultados mais satisfatórios. Além disso, cabe ressaltar que o equipamento para determinação da variação dimensional empregado demonstrou ser bastante sensível, principalmente em função da grande participação do técnico na realização do ensaio, podendo acarretar em variações nas medições realizadas seqüencialmente.



**Figura 4.28 – Resultados da variação dimensional específica das argamassas em função do tempo de imersão**

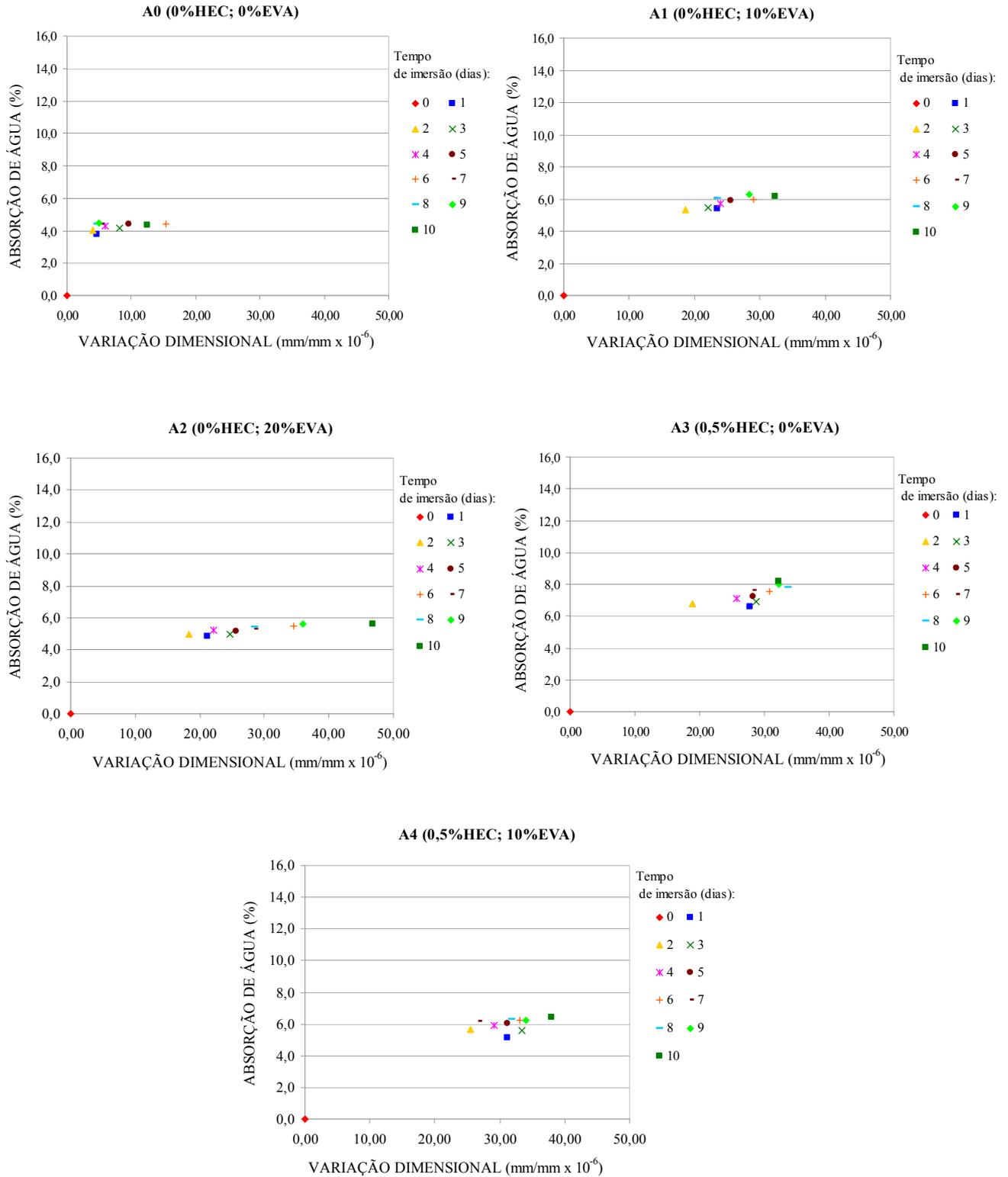
A partir da Figura 4.29, observa-se que nos dias 14 e 25 ocorreram alguns picos nas determinações de todas as argamassas. Apesar dos corpos-de-prova terem sido armazenados em caixas térmicas, com temperatura e umidade relativa controladas, acredita-se que estes picos estejam relacionados às condições ambientais da sala climatizada, uma vez que o climatizador não estava funcionando em ambos os dias. Dessa forma, a temperatura e umidade relativa do ar estavam acima dos valores desejados, influenciando de forma negativa nos resultados.



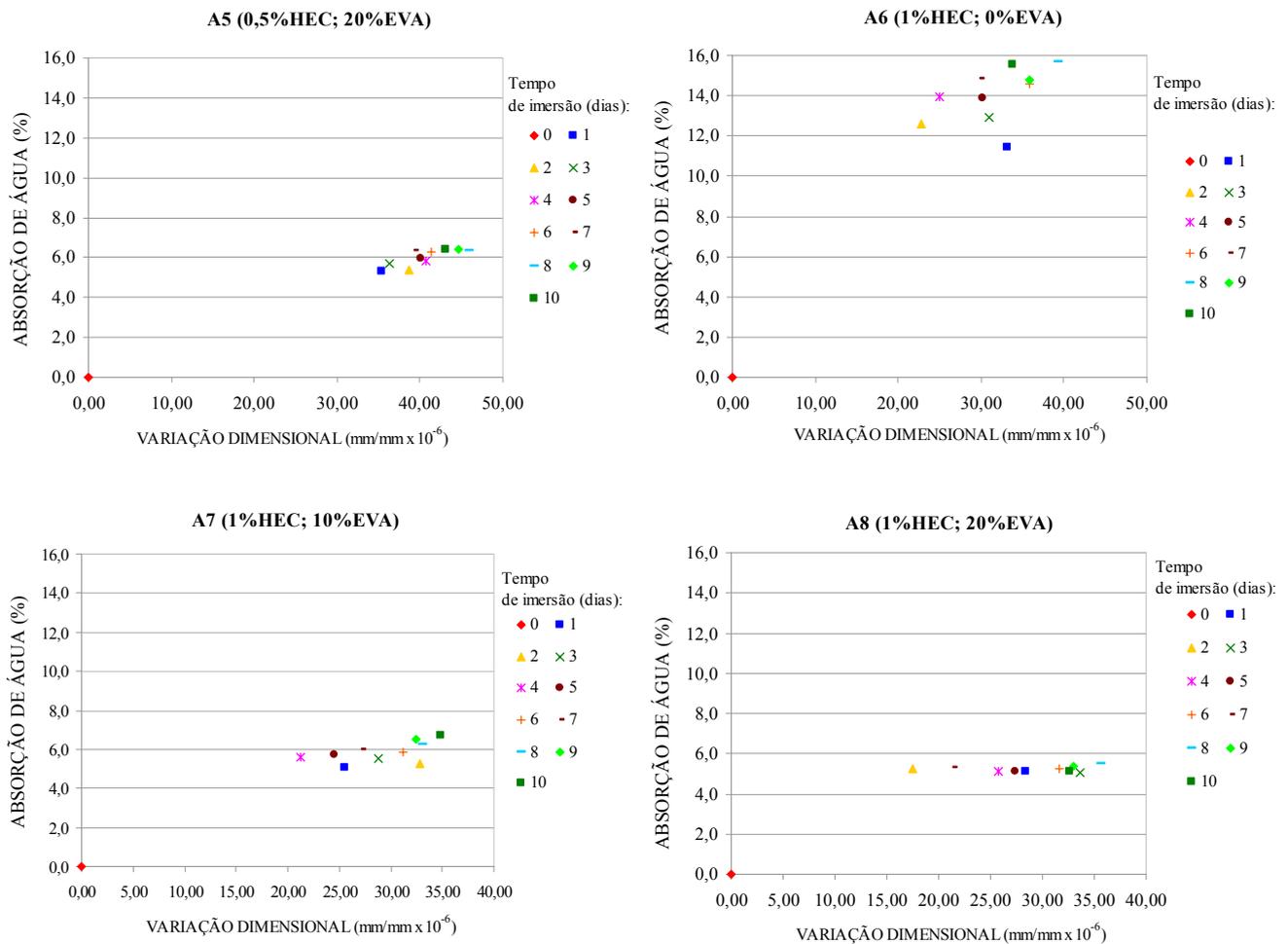
**Figura 4.29 – Resultados da variação dimensional específica das argamassas em função do tempo de secagem pós-imersão**

Nas Figuras 4.30 e 4.31 estão apresentados os gráficos de absorção de água *versus* variação dimensional específica das argamassas, em função do tempo de imersão em água (10 dias), e nas Figuras 4.32 e 4.33 são apresentados os gráficos de perda de massa por secagem *versus* variação dimensional específica, em função do tempo de secagem (16 dias). Cabe ressaltar que os resultados de absorção de água empregados nestes gráficos são referentes aos corpos-de-prova prismáticos (relação área/volume igual a 2,6).

A partir da Figura 4.30, observa-se que a argamassa de referência (A0) apresentou expansão muito baixa no primeiro dia de imersão se comparada às argamassas modificadas com polímeros (no mínimo quatro vezes menor). Já as diferenças na absorção de água não foram tão intensas, apesar de estatisticamente significativas (Tabela 4.12). Após alguns dias, a absorção de água manteve-se constante, havendo um aumento de variação dimensional ao longo do período em imersão. As argamassas modificadas apenas com o polímero EVA (A1 e A2) apresentaram menores valores de expansão no primeiro dia de imersão se comparadas às argamassas que contêm também o polímero HEC. Entretanto, verificou-se que, na presença de EVA, ocorre um aumento do valor de expansão total ao final do período de imersão, sendo que a maior expansão ao longo do tempo foi de aproximadamente  $475 \times 10^{-6}$  mm/mm, sofrida pela argamassa que contém 20% de EVA em sua composição (A2).



**Figura 4.30 – Gráficos de absorção de água por imersão *versus* variação dimensional específica das argamassas A0 a A4, em função do período de imersão (10 dias)**

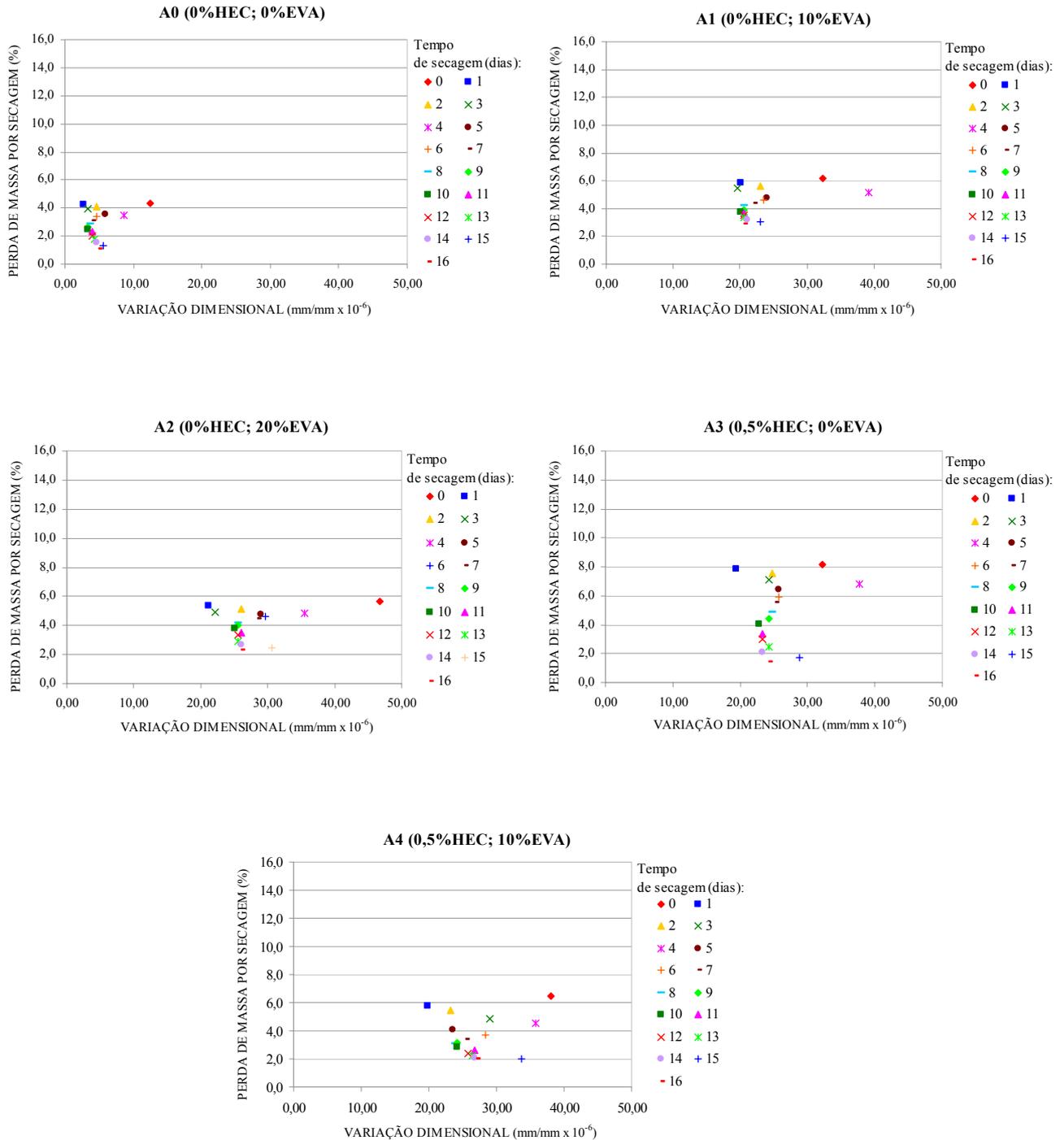


**Figura 4.31 – Gráficos de absorção de água por imersão *versus* variação dimensional específica das argamassas A5 a A8, em função do período de imersão (10 dias)**

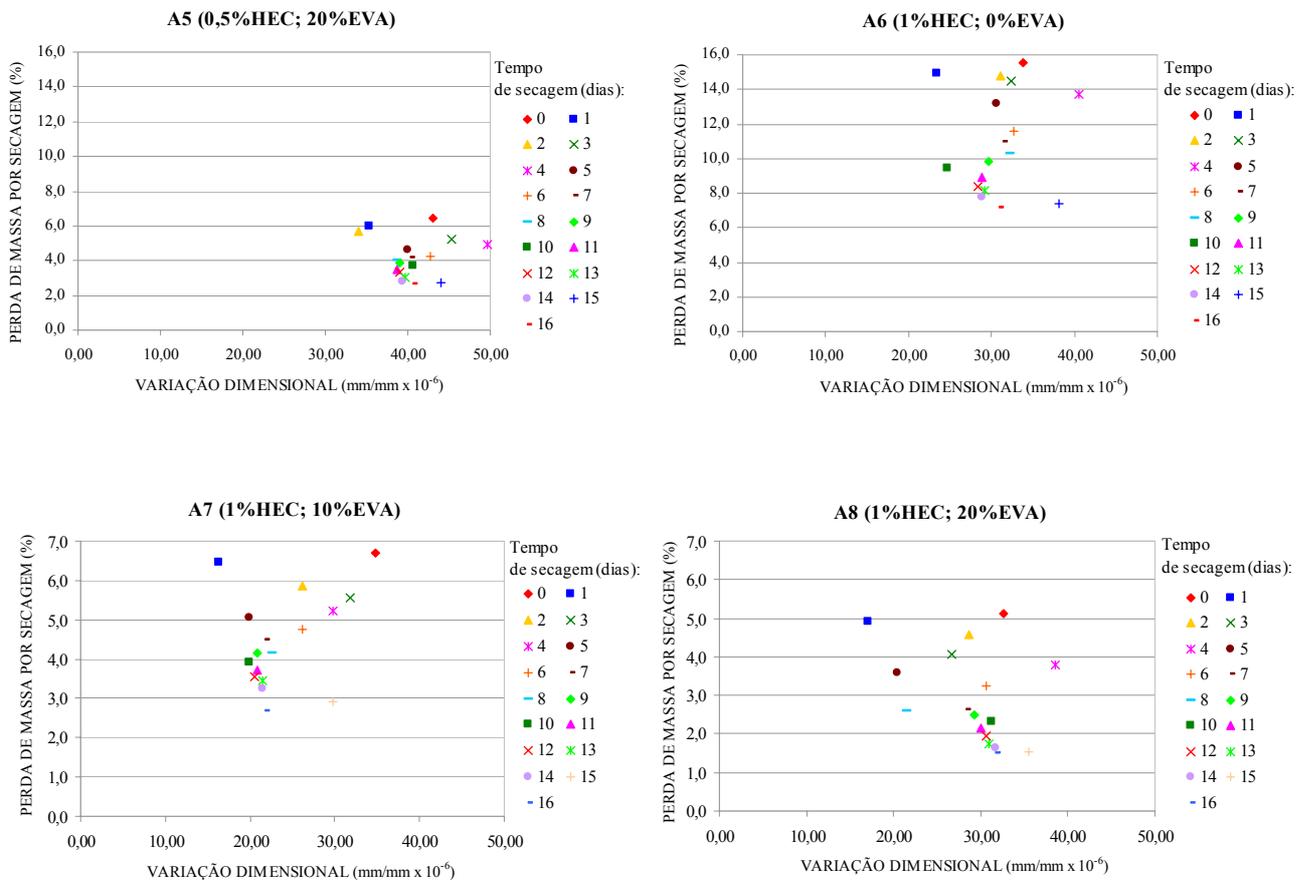
Como pode ser visto nas Figuras 4.32 e 4.33, que mostram os gráficos de variação dimensional das argamassas em função da perda de massa por secagem, as maiores contrações ocorreram após o primeiro dia de secagem. No caso da argamassa de referência (A0), essa contração foi de aproximadamente 79% no primeiro dia, enquanto que nas argamassas modificadas com polímeros foi de 17,7 % a 54,75%. O equilíbrio dimensional das argamassas foi verificado somente após 8 dias de secagem, apesar de continuar sendo detectada perda de massa por evaporação de água após esse período.

A única argamassa que, após a secagem, apresentou recuperação das dimensões iniciais (antes da imersão), foi a argamassa sem polímeros (referência), demonstrando ser este um fenômeno reversível que está relacionado ao movimento e transporte da água, o qual pode ocasionar a migração de elementos finos na matriz cimentícia e a adsorção de água nos poros de menores

diâmetros (LOOSVELDT e outros, 2002). Nenhuma das argamassas com polímeros apresentou recuperação das dimensões iniciais, havendo expansão permanente. Isso pode ser um indício de uma alteração permanente da fase polimérica das argamassas com a imersão.



**Figura 4.32 – Gráficos de perda de massa por secagem versus variação dimensional específica das argamassas A0 a A4, em função do período de secagem (16 dias)**

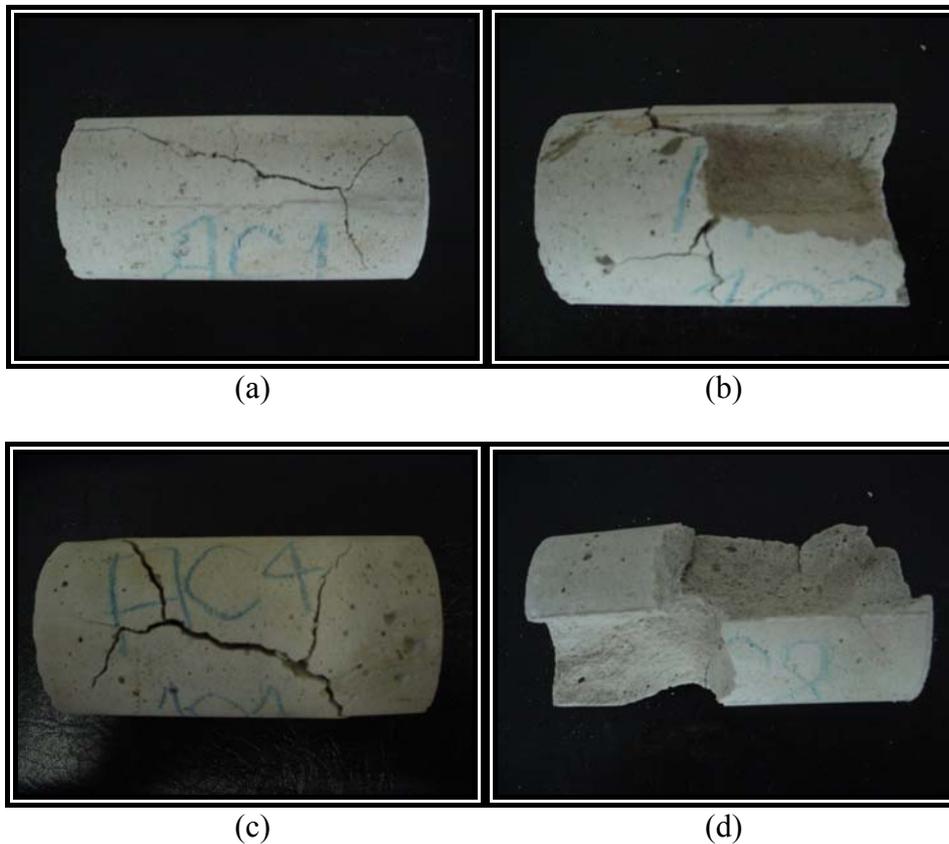


**Figura 4.33 – Gráficos de perda de massa por secagem versus variação dimensional específica das argamassas A5 a A8, em função do período de secagem (16 dias)**

Deve-se mencionar um fato curioso observado nas argamassas com EVA. Corpos-de-prova selecionados para o ensaio de massa específica no estado endurecido, após serem submetidos à secagem em estufa a 100°C até atingirem constância de massa, resfriados e imersos em água por alguns dias, apresentaram severo grau de fissuração, visivelmente causado por expansão, como mostra a Figura 4.34.

Observou-se que todas as argamassas com EVA apresentaram elevada expansão após este processo, sendo este efeito mais expressivo com o aumento do teor do polímero EVA (Figura 4.34b) e na presença do polímero HEC (Figura 4.34d). As demais argamassas (sem EVA), apresentaram aspecto normal quando submetidas ao mesmo tratamento. Esse comportamento evidencia que a elevada expansão não é devida apenas à pressão ocasionada pela entrada da água nos poros capilares, mas que também pode ter ocorrido alguma modificação na microestrutura daquelas argamassas ou, ainda, uma possível alteração da fase polimérica.

Ensaio para caracterização microestrutural dessas amostras não foram realizados neste trabalho. Sugere-se, portanto, que sejam realizadas pesquisas para investigar as possíveis causas desse fenômeno.



**Figura 4.34 – Aspecto dos corpos-de-prova de argamassas com EVA, após secagem em estufa e posterior imersão - (a) Argamassa A1 (0%HEC; 10%EVA); (b) Argamassa A2 (0%HEC; 20%EVA); (c) Argamassa A4 (0,5%HEC; 10%EVA); (d) Argamassa A8 (1%HEC; 20%EVA)**

#### 4.2.7 Discussões

Os polímeros HEC e EVA são adicionados às argamassas para assentamento de placas cerâmicas com a finalidade de modificar a consistência, plasticidade, coesão e retenção de água, entre outras propriedades, as quais são fundamentais na obtenção de uma boa trabalhabilidade. Estas propriedades influenciam diretamente no comportamento e desempenho das argamassas no estado endurecido, conforme demonstrado na presente pesquisa.

A partir dos resultados obtidos, observou-se que a resistência à compressão das argamassas diminuiu na presença dos polímeros EVA e HEC, considerando-se a relação água/cimento constante, sendo que, para as argamassas que contêm apenas um dos polímeros, este efeito foi mais notório com o aumento do teor de aditivo. Esta redução está relacionada à elevada incorporação de ar na presença dos polímeros, além de haver uma diminuição da proporção de cimento na mistura com o aumento dos teores, principalmente no caso do EVA, que é adicionado em maiores quantidades. De acordo com Schulze e Killermann (2001), os pós-redispersíveis apresentam baixa resistência à compressão se comparados ao cimento hidratado e aos agregados.

Ao contrário dos resultados encontrados por Riley e Razl (1974), Ohama (1984), Afridi e outros (1989), Bright e outros citados por Su (1995), o aumento da resistência à compressão de argamassas modificadas com polímeros deve-se à redução da quantidade de água na mistura, a qual é possível devido à maior plasticidade gerada na presença dos polímeros.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão mostraram que, embora as interações com as condições de exposição não sejam fortemente significativas, há uma tendência de redução das resistências das argamassas após a imersão em água, e uma recuperação das mesmas após a secagem, principalmente na presença do copolímero EVA. Esta redução está relacionada ao preenchimento dos vazios capilares com água, reduzindo as forças de sucção capilar que causam coesão aparente nas argamassas. No caso das argamassas com polímeros, a redução de resistência pode ser devida, também, a uma modificação de eventuais produtos de interação cimento-polímeros frente ao aumento de umidade. Essas modificações podem consistir em alterações de resistência e dimensionais resultantes da interação entre o polímero e o cimento no interior das argamassas.

O HEC e EVA ocasionaram, também, uma redução na resistência à tração por compressão diametral das argamassas. De acordo com a literatura, as argamassas com aditivo vinílico deveriam apresentar melhora na resistência, uma vez que o polímero apresenta alta resistência à tração e diminui a ocorrência de microfissuras (OHAMA, 1984). Entretanto, conforme já comentado, isso acontece quando a relação água/cimento é reduzida para manutenção da consistência. Na presente pesquisa, a relação água/cimento foi mantida constante, independentemente do teor de polímeros, o que resultou em menores resistências mecânicas das argamassas modificadas com polímeros em relação às argamassas sem polímero.

Da mesma forma, as argamassas aditivadas apresentaram menores resistências à tração na flexão e menor módulo de elasticidade, principalmente aquelas que incorporaram maior quantidade de ar durante o preparo (Figuras 4.3 e 4.4). Esse comportamento permite sugerir que há influência da incorporação de ar, das alterações do volume de poros capilares e da porosidade total na presença dos polímeros, verificadas em estudos de porosimetria por intrusão de mercúrio e permeabilidade ao gás  $N_2$ , realizados por Silva, D.A. e outros (2001).

Observando as resistências à tração na flexão das argamassas modificadas com HEC e EVA, frente às diferentes condições de exposição, constata-se uma diminuição significativa das resistências durante a imersão, sem haver, na maioria das argamassas, recuperação integral após secagem. Jenni (2003) constatou que os éteres de celulose não formam microestruturas resistentes à água, não contribuindo nas resistências mecânicas quando submetido a esta condição. No entanto, o autor verificou uma recuperação da resistência à flexão, em argamassas modificadas com éter de celulose e EVA, com a secagem dos corpos-de-prova após imersão, a qual estaria associada ao efeito reversível do inchamento e amolecimento do filme formado pelo látex polimérico.

Em relação à aderência entre as argamassas e o porcelanato, os melhores resultados foram obtidos com emprego do copolímero EVA, confirmando resultados obtidos por Póvoas (1999). Por sua vez, as argamassas modificadas apenas com HEC apresentaram os menores valores de resistência, havendo uma redução da mesma com o aumento do teor do polímero, indicando, mais uma vez, a influência da incorporação de ar na mistura. Os resultados obtidos por Jenni (2003) confirmam essa observação. A partir da análise microestrutural de diferentes argamassas modificadas com polímeros, realizada em microscópio eletrônico de varredura, o autor constatou que fissuras de superfície geradas por esforços de tração, tais como

dessecação superficial, não interceptam os filmes de látex polimérico, ao contrário do constatado, por diversas vezes, no filme de HEC. Isso demonstra a elevada capacidade de aderência da estrutura dos látices em relação ao filme formado pelos éteres de celulose.

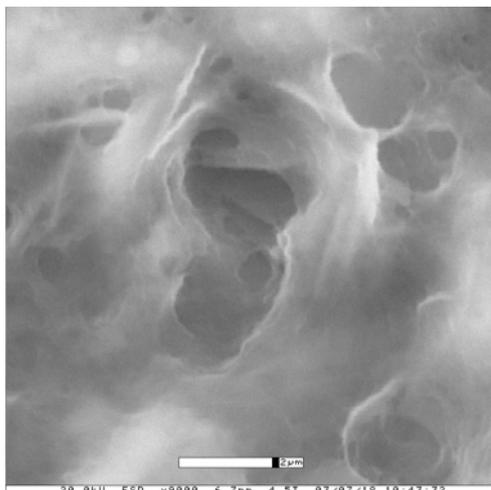
Nos ensaios de aderência, constatou-se que a maioria dos rompimentos, independentemente do tipo de exposição, ocorreu na interface argamassa/porcelanato, evidenciando a falta de aderência mecânica entre as argamassas e revestimentos com baixa absorção de água. Além disso, acredita-se que uma quantidade de água em excesso tenha se concentrado entre a argamassa e a placa cerâmica, tornando a interface ainda mais fraca. Isto pode ter ocorrido pelo fato das argamassas não terem sido aplicadas em substrato e terem sido cobertas com placas de vidro, transcorridos cinco minutos após sua aplicação, impedindo uma possível perda de água durante as primeiras horas, por evaporação, e proporcionando um direcionamento da mesma para a região interfacial, onde não houve sucção dos compostos da argamassa para dentro dos capilares da cerâmica, uma vez que o porcelanato apresenta baixa absorção de água. Este comportamento pode ter prejudicado a qualidade do filme polimérico formado na região de interface, devido à maior quantidade de água nos vazios capilares próximos à mesma.

Os tardozes das placas cerâmicas apresentaram-se completamente isentos de argamassa após o ensaio de arrancamento na argamassa sem aditivos, e com uma fina película de argamassa na maioria das demais formulações, especialmente nas argamassas que continham ambos os polímeros. No entanto, essa fina película não foi observada nas placas cerâmicas ensaiadas após saturação. Assumindo-se que essa película tenha uma alta concentração da fase polimérica, por se situar na região de interface, essa observação pode ser mais um indicativo do seu enfraquecimento durante a imersão. Entretanto, seriam necessárias análises da microestrutura e composição dessa película para confirmação dessa hipótese.

Os resultados da análise de variância não comprovaram interação entre o teor de HEC e as condições de exposição, indicando que a saturação não afeta a resistência de aderência dessas argamassas. Entretanto, em estudos realizados por Jenni (2003), o autor constatou uma queda significativa de aderência nas argamassas modificadas com éter de celulose, além de verificar que o filme formado na presença do polímero dissolve quando imerso. A discrepância entre os resultados pode ser devida às diferenças entre as composições das argamassas estudadas por Jenni e aquelas analisadas na presente pesquisa, além dos diferentes materiais constituintes.

Uma análise mais abrangente, considerando diferentes composições de argamassas, seria necessária para identificação dos fatores que levaram a essa diferença nos resultados das duas pesquisas.

A análise estatística dos resultados mostrou que alguma fase presente nas argamassas com EVA pode ser sensível à ação da umidade e sofrer modificações, tanto nas propriedades como na resistência, justificando a redução de aderência destas argamassas quando saturadas, conforme já comentado. A hipótese de desagregação do filme polimérico de EVA formado no interior dos materiais à base de cimento foi afastada a partir das observações feitas recentemente por Silva, D.A. (2004)<sup>12</sup> e Jenni (2003), em microscópio eletrônico de varredura ambiental, conforme mostrado na Figura 4.35.



**Figura 4.35 – Aspecto de filme polimérico em pasta de cimento modificada com 20% de EVA sob condições úmidas (SILVA, D.A.). A amostra foi analisada no interior de uma câmara sob U.R.= 60%, aos 25 dias de idade (7 dias em cura úmida + 7 dias em cura ambiente - U.R.= 65% e T= 23°C + 14 dias em água deionizada, amostra triturada)**

Constatou-se que o aumento do período de imersão não apresenta influência sobre a aderência na argamassa sem EVA. Já para as argamassas com 10% e 20% de EVA há uma tendência de acréscimo de aderência para os maiores períodos de imersão. Apesar das argamassas terem sido submetidas à imersão com idades relativamente avançadas (46 dias) no intuito de evitar a influência da hidratação do cimento, pode ter ocorrido uma hidratação tardia proporcionada durante a imersão, uma vez que o aditivo EVA causa uma redução na cinética da hidratação. Além disso, este acréscimo pode estar relacionado a um transporte de partículas isoladas de

<sup>12</sup> Dados não publicados.

polímero, com o fluxo de água, para outros locais, havendo coalescência e formação de filme após secagem (SILVA, D.A.<sup>13</sup>).

Conforme o esperado, verificou-se correlação entre os resultados do ensaio de determinação de massa específica no estado endurecido com a quantidade de ar incorporado no estado fresco. As argamassas com HEC foram as que apresentaram as menores massas específicas no estado endurecido e os maiores valores de absorção de água após um período de 10 dias de imersão. Já as argamassas modificadas com aditivo vinílico, as quais também incorporaram grandes quantidades de ar, apresentaram valores de absorção bem inferiores, próximos ao obtido pela argamassa de referência, evidenciando que a diferença entre a absorção não é devida apenas ao volume total de poros. Esse comportamento deve-se ao fato da fase polimérica do HEC absorver água quando em contato com a água, uma vez que a mesma é hidrofílica e higroscópica, passando do estado sólido para gel, além de haver uma maior porosidade da argamassa na adição do polímero, pelo efeito de incorporação de ar.

Em estudos realizados por Silva, D.A. (2001), a autora verificou aumento de volume total de poros e do volume de poros capilares em pastas de cimento contendo apenas HEC; no entanto, constatou elevada redução da permeabilidade na presença de 0,5% do polímero. Apesar dos materiais cimentícios modificados com HEC apresentarem elevada absorção de água, Ohama (1984) afirma que sua permeabilidade decresce devido ao aumento de volume do polímero quando absorve água, selando os vazios capilares. Isso explica-se pelo fato do polímero absorver grandes quantidades de água, transformando-se em gel, o que dificulta a mobilidade do mesmo e, conseqüentemente, diminuindo a percolação de água no sistema.

O HEC e o EVA exercem forte influência sobre o comportamento de variação dimensional das argamassas após um período de dez dias de imersão. Observou-se que as argamassas modificadas com os polímeros apresentam uma elevada expansão linear após o primeiro dia em água, entre 17,5 a mais de 32,5%, enquanto as argamassas sem polímero apresentam uma expansão linear bastante inferior. Este efeito de expansão, mais uma vez, indica a possibilidade de um inchamento da fase polimérica ou da formação de produtos de interação polímero-cimento quando a argamassa é submetida a elevadas umidades. Quando expostas a um período de secagem, observa-se uma contração linear em todas argamassas. No entanto,

---

<sup>13</sup> Comunicação pessoal.

não foi constatada reversão integral nos corpos-de-prova das argamassas modificadas, as quais apresentaram uma contração entre 1,5 a 38% após a secagem, enquanto a argamassa de referência apresentou uma redução de aproximadamente 70%. Na literatura consultada, não foram encontrados estudos de variação dimensional avaliando as variáveis empregadas nesta pesquisa. Por isso, recomenda-se que os resultados obtidos neste estudo sejam considerados em projetos de revestimentos cerâmicos, tendo em vista a expansão expressiva apresentada por estas argamassas, principalmente se comparadas à expansão de umidade máxima (0,06%) recomendada para as placas cerâmicas na norma NBR 13818 (ABNT, 1997).

Cabe lembrar mais uma vez, que não foi intuito deste trabalho avaliar argamassas que apresentassem requisitos mínimos de desempenho para aplicação prática, tendo sido as mesmas formuladas com a finalidade de contribuir no entendimento das propriedades e comportamento mecânico de argamassas colantes no estado endurecido, frente a condições de saturação, bem como seu posterior comportamento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

### 5.1 Conclusões

O objetivo desta pesquisa foi contribuir para o entendimento do comportamento de argamassas aditivadas com polímeros HEC e EVA frente à saturação em água, tendo em vista as pesquisas existentes na literatura consultada que reportam a sensibilidade das resistências mecânicas de argamassas modificadas com polímeros submetidas a variações de umidade.

A metodologia estabelecida permitiu, também, a avaliação dos efeitos isolados e conjuntos do HEC e EVA sobre as propriedades e características das argamassas nos estados fresco e endurecido. A análise das argamassas no estado fresco demonstrou que os polímeros exercem efeitos significativos sobre as mesmas, em função do tipo e teores empregados. O HEC causou redução do índice de consistência em até 39% e, para um teor de 1% do polímero, um aumento expressivo do teor de ar incorporado (565%), além de apresentar excelente retenção de água (100%). O efeito do EVA é menos expressivo, entretanto, modificações nos resultados na presença do HEC sugerem que ocorre interação entre os mesmos. Constatou-se, também, que os métodos de ensaio empregados para caracterização das argamassas no estado fresco não são os mais adequados para argamassas colantes.

Para uma mesma relação água/cimento, as argamassas modificadas com HEC e EVA apresentaram diminuição na resistência à compressão com o aumento dos teores dos polímeros. Essa redução deve-se à elevada incorporação de ar na presença dos polímeros e à diminuição da proporção de cimento na mistura, com paralelo aumento do teor de polímeros, especialmente do copolímero EVA, o qual ocasionou uma redução na resistência de aproximadamente 70% quando adicionado em teores de até 20% em relação à massa de cimento. Além disso, pode ser que uma eventual fase resultante de uma interação polímero-cimento formada no sistema tenha resistência mecânica inferior às fases cimentícias. Da mesma forma, a presença dos polímeros HEC e EVA causou redução na resistência à tração por compressão diametral em até 70%, sendo o efeito do HEC mais expressivo.

Com a imersão dos corpos-de-prova em água por 10 dias, houve uma redução estatisticamente significativa na resistência à compressão na maioria das argamassas (reduções de até 21,5%), inclusive na argamassa de referência. Observou-se uma subsequente recuperação das

resistências com a secagem. Além do efeito do preenchimento dos vazios capilares com água, esta redução pode ser devida a uma modificação das propriedades da fase polimérica e de eventuais produtos da interação entre o cimento e os polímeros com o aumento de umidade.

Os polímeros não causaram uma redução estatisticamente significativa na resistência à tração por compressão diametral dos corpos-de-prova imersos em água.

As argamassas modificadas apresentaram menores resistências à tração e módulo de elasticidade na flexão, sendo esta redução mais expressiva naquelas com maiores teores de polímeros. A análise estatística mostrou que o efeito da interação entre os polímeros e as condições de exposição é significativo na resistência à tração na flexão, tendo sido constatada uma redução das resistências dessas argamassas após imersão em até 39%, enquanto a argamassa pura apresentou um leve acréscimo (aproximadamente 6%). Além disso, não foi verificada recuperação integral das resistências de algumas argamassas modificadas após um período de secagem, podendo ter havido alterações nas propriedades de fases poliméricas (filme) e fases resultantes da interação polímero-cimento formadas nas argamassas. Na análise do módulo de elasticidade constatou-se influência apenas entre os teores dos polímeros HEC e EVA; no entanto, houve elevada dispersão no ensaio, havendo necessidade de outros estudos para comprovar o efeito da saturação e posterior secagem no módulo de elasticidade das argamassas.

O EVA causou um aumento de aproximadamente 10% na resistência de aderência das argamassas com o porcelanato na condição de laboratório, enquanto as argamassas modificadas apenas com o HEC apresentaram as menores resistências, havendo uma redução das mesmas em até 21% com o aumento do teor do polímero.

Os resultados indicaram que alguma fase presente nas argamassas com EVA pode ser sensível à ação da umidade e sofrer modificações, justificando a redução de até 18% na resistência de aderência de argamassa modificada com 20% do polímero. Já em relação às argamassas modificadas com HEC, não foram constatadas alterações significativas em função da imersão, ou seja, a saturação não afetou a resistência de aderência dessas argamassas. Verificou-se também que, com o aumento do período de imersão e subsequente período de secagem, a argamassa sem EVA não apresenta variação de aderência. Já para as argamassas com 10% e 20% de EVA, há uma tendência de acréscimo de aderência para os maiores períodos de

imersão, o que pode estar relacionado à evolução da hidratação do cimento durante estes períodos e uma subsequente secagem. No entanto, há necessidade de estudos adicionais, que complementem e confirmem esses resultados, uma vez que a metodologia empregada apresentou elevadas dispersões.

Foram constatados elevados valores de absorção de água por imersão nas argamassas que contêm apenas o polímero HEC (até cerca de 16% de absorção). No entanto, o efeito da saturação foi menos significativo nas resistências mecânicas dessas argamassas contendo apenas o polímero HEC, se comparados ao efeito nas argamassas contendo EVA.

As argamassas com HEC também apresentaram elevada expansão após dez dias de imersão, atingindo até  $500 \times 10^{-6}$  mm/mm, enquanto a argamassa pura apresentou valores inferiores a  $150 \times 10^{-6}$  mm/mm. No entanto, houve um acréscimo expressivo também nas argamassas modificadas com EVA. A partir das medições realizadas, observou-se que as maiores variações ocorreram após os primeiros dias de imersão e secagem pós-imersão. Quando expostas a um período de secagem, não foi constatada reversão integral das medidas das argamassas modificadas. Este efeito de expansão e posterior contração, mais uma vez, indica a possibilidade de um inchamento da fase polimérica e alteração de prováveis produtos da interação entre o cimento e os polímeros, quando a argamassa é submetida a elevadas umidades.

O estudo permitiu avaliar novos métodos para determinação do módulo de elasticidade e aderência; mas os mesmos apresentaram inconsistências, havendo necessidade de estudos complementares. Além disso, constatou-se que a análise microestrutural das argamassas, paralelamente aos ensaios mecânicos, é de fundamental importância para que haja um entendimento mais aprofundado do efeito da umidade na durabilidade das mesmas.

Os resultados mostram que, de forma geral, há queda do desempenho e comportamento mecânico das argamassas modificadas com os polímeros EVA e HEC frente à saturação, sendo esta queda mais expressiva em argamassas contendo o copolímero EVA. Constatou-se, também, uma tendência de recuperação dessas resistências. Esse fato evidencia que as possíveis modificações ocorridas nas fases poliméricas, após saturação, são reversíveis com subsequente secagem.

## 5.2 Sugestões para estudos futuros

Este trabalho procurou contribuir para o conhecimento tecnológico de argamassas modificadas com polímeros, utilizadas no assentamento de placas cerâmicas. Com o intuito de dar continuidade ao estudo e aprofundar o tema, sugere-se a realização dos seguintes estudos:

- avaliação do comportamento mecânico das argamassas, paralelamente a ensaios de microestrutura em microscópio eletrônico de varredura ambiental, com o intuito de verificar uma possível modificação de fases hidratadas dessas argamassas frente a alterações de umidade;
- avaliação de variações dimensionais e de microdureza de pastas endurecidas de polímeros e compostos puros do cimento, tais como  $C_3S$  e  $C_3A$ , no intuito de detectar as fases resultantes da interação cimento-polímero sensíveis à umidade;
- verificação do desempenho da argamassa frente a ciclos de molhagem e secagem;
- verificação do desempenho da argamassa frente a ciclos de umidade e temperatura, aproximando-se das condições que ocorrem na prática;
- proposição de metodologia para avaliação da deformabilidade e módulo de elasticidade na flexão para argamassas colantes, bem como de aderência, haja vista a grande dispersão dos resultados obtidos conforme as metodologias existentes e aqueles métodos empregados neste trabalho;
- avaliação da variação dimensional de argamassas colantes, durante o estado fresco e endurecido, com determinação da influência da espessura da camada e do tipo de placa cerâmica empregada, bem como da influência de ciclos de molhamento e secagem;
- avaliação da seção transversal da camada polimérica das argamassas, através de microscópio eletrônico de varredura, verificando-se a distribuição da fase polimérica até a face de ruptura, em função da absorção de água da placa cerâmica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AFRIDI, M.U.K.; OHAMA, Y.; IQBAL, M.Z.; DEMURA, K. Behaviour of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in polymer modified mortars. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, vol.11, no.4, 1989, p.235-244.
2. ALGER, M.S.M. **Polymer Science Dictionary**. New York: Elsevier Applied Science, 1989.
3. ALMEIDA, A.H.; NEVES, C.; GOMES, A.; ALELUIA, K. Análise do comportamento da argamassa colante em função da técnica de aplicação. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1, Goiânia (GO), 1995. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995, p. 187-192.
4. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO (ANFACER). **Documento Informativo da Produção de Revestimentos**, 2002. Disponível em <<http://www.anfacer.org.br>>. Acesso em 05 jan. 2004.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8mm – Determinação da massa específica por meio de picnômetro**. Rio de Janeiro, 1984.
6. \_\_\_\_\_. **NBR 6474: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 1984.
7. \_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregado para concreto**. Rio de Janeiro, 1983.
8. \_\_\_\_\_. **NBR 7215: Determinação da resistência à compressão – Cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1996.
9. \_\_\_\_\_. **NBR 7217: Agregados: Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.
10. \_\_\_\_\_. **NBR 7219: Agregados: Determinação do teor de materiais pulverulentos**. Rio de Janeiro, 1987.

11. \_\_\_\_\_. **NBR 7220: Agregados: Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo.** Rio de Janeiro, 1987.
12. \_\_\_\_\_. **NBR 7222: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 1994.
13. \_\_\_\_\_. **NBR 7251: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro, 1982.
14. \_\_\_\_\_. **NBR 9290: Cal hidratada para argamassas - Determinação de retenção de água.** Rio de Janeiro, 1996.
15. \_\_\_\_\_. **NBR 13276: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão.** Rio de Janeiro, 1995.
16. \_\_\_\_\_. **NBR 13278: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 1995.
17. \_\_\_\_\_. **NBR 13280: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro, 1995.
18. \_\_\_\_\_. **NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios.** Rio de Janeiro, 1997.
19. \_\_\_\_\_. **NBR 14081: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Especificação.** Rio de Janeiro, 1998.
20. \_\_\_\_\_. **NBR 14082: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Execução do substrato-padrão e a aplicação de argamassa para ensaios.** Rio de Janeiro, 1998.
21. \_\_\_\_\_. **NBR 14083: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação do tempo em aberto.** Rio de Janeiro, 1998.

22. \_\_\_\_\_. **NBR 14084: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação da resistência de aderência.** Rio de Janeiro, 1998.
23. \_\_\_\_\_. **NBR 14085: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação do deslizamento.** Rio de Janeiro, 1998.
24. \_\_\_\_\_. **NBR 14086: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação da densidade de massa aparente.** Rio de Janeiro, 1998.
25. \_\_\_\_\_. **Projeto de Norma 18:406.05-001: A.R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – requisitos e métodos de ensaios.** Rio de Janeiro, 2001.
26. BANFILL, P.F.G.; BELLAGRAA, L.; BENAGGOUN, L. Properties of polymer-modified mortars made with blended cements. **Advances in Cement Research**, vol.5, no.19, 1993, p.103-109.
27. BASTOS, P.K.X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento.** São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2001, 190p. (Tese de Doutorado).
28. BEELDENS, A.; MONTENY, J.; VINCKE, E.; DE BELIE, N.; VAN GEMERT, D.; TAERWE, L.; VERSTRAETE, W. Resistance to biogenic sulphuric acid corrosion of polymer-modified mortars. **Cement and Concrete Composites**, vol. 23, 2001, p.47-56.
29. BETIOLI, A.M. **Degradação de fibras de PET em materiais à base de cimento Portland.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003, 138p. (Dissertação de Mestrado).
30. BRANDRUP, J; IMMERGUT, E.H. **Polymer handbook.** 3ed. New York: J. Wiley, 1989.

31. BUCHER, H.R.E.; NAKAKURA, E.H. Argamassas colantes flexíveis. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3, Vitória (ES), 1999. **Anais...** Vitória: UFES/ANTAC, 1999. p. 417 – 424.
32. CALLISTER, W.D. **Materials science and engineering: an introduction**. 4ed. New York: J. Wiley, 1997, 852p.
33. CAMPOS FILHO, M.P. Polímeros: comportamento mecânico depende da estrutura molecular. **Revista do Instituto de Engenharia**, no.291, 1967, p.12-16.
34. CHANDRA, S.; OHAMA, Y. **Polymers in concrete**. Boca Raton: CRC Press, 1994, 204p.
35. COSTA E SILVA, A.J. **Descolamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2001, 25p. (Boletim Técnico da EPUSP, BT/PCC/241)
36. DU CHESNE, A.; BOJKOVA, A.; GAPINSKI, J.; SEIP, D.; FISCHER, P. Film formation and redispersion of waterborne latex coatings. **Journal of Colloid and Interface Science**, vol.224, 2000, p.91-98.
37. EDEN, N.B.; BAILEY, J.E. Effect of polymer modification on the mechanical properties of calcium silicate and calcium aluminate cements. In: International Congress on the Chemistry of Cement, 8, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: FINEP, 1986, vol.IV, p.163-169.
38. FIORITO, A.J.S.I. **Manual de Argamassas e Revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo: PINI, 1994, 221p.
39. FRITZE, P. Deformabilidad y resistencia al agua de los adhesivos C1 y C2 según las normas EN 12004 y EN 12002. In: World Congress on Ceramic Tile Quality, 7, Castellon (Spain), 2002. **Proceedings...** Castellon: Cam. Of. Com. Ind. Nav./Col. Of. Ing. Sup. Ind., 2002, p.GII 3-16.
40. GALLEGOS, H. Adhesión entre el mortero y las unidades de albanilería. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1, Goiânia (GO), 1995. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995, p. 117-133.

41. GLEIZE, P. **Introdução à ciência e engenharia dos materiais**. Notas de Aula, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – UFSC, 2001.
42. GOLDBERG, R.P. **Revestimientos exteriores con adherencia directa de azulejos cerámicos, piedra y ladrillos caravista – Manual de diseño técnico**. USA: Laticrete Internacional Inc., 1988, 199p.
43. GRAHAM, D.E. Polymers in oil recovery and production. In: FINCH, C.A. **Chemistry and Technology of Water-soluble Polymers**. New York: Plenum Press, 1983, p.321-339.
44. HEROLD, H. Fixing of stoneware "porcelanic" tiles by means of ceramic tile adhesives modified with redispersible polymer powder. In: World Congress on Ceramic Tile Quality, 6, Castellon (Spain), 2000. **Proceedings...** Castellon: Cam. Of. Com.Ind.Nav./Col.Of.Ing.Sup.Ind., 2000, vol.3, GII 77-88.
45. JENNI, A. **Microstructural evolution and physical properties of polymer-modified mortars**. Bern: University of Bern, 2003, 101p.
46. JENNI, A.; ZURBRIGGEN, R. Morphology and composite structures of polymer phases in cement mortars. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5, São Paulo(SP), 2003. **Anais...** São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, 2003, p. 111-118.
47. KHAYAT, K.H. Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials – an overview. **Cement and Concrete Composites**, vol.20, 1998, p.171-188.
48. LAVELLE, J.A. Acrylic latex-modified Portland cement. **ACI Materials Journal**, Jan-Feb. 1988, p.41-48.
49. LOOSVELDT, H.; LAFHAJ, Z.; SKOCZYLAS, F. Experimental study of gas and liquid permeability of a mortar. **Cement and Concrete Research**, vol.32, 2002, p.1357-1363.
50. MAILVAGANAM, N.P. Miscellaneous admixtures. In: RAMACHANDRAN, V.S. (Ed.). **Concrete Admixtures Handbook**. New Jersey: Noyes Publications, 1984. Cap.9, p.480-557.

51. MANO, E.B. **Introdução a Polímeros**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1985, 111p.
52. MARANHÃO, F.L.; COSTA E SILVA, A.J.; MEDEIROS, J.S.; BARROS, M.S.B. Influência do tipo de argamassa colante e do revestimento na microestrutura e na resistência de aderência. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5, São Paulo(SP), 2003. **Anais...** São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, 2003, p. 495-504.
53. OHAMA, Y. Polymer-modified mortars and concretes. In: RAMACHANDRAN, V. S. (Ed.) **Concrete Admixtures Handbook**. New Jersey: Noyes Publications, 1984. Cap.7, p.337-429.
54. PÓVOAS, Y.V. **Tempo em aberto da argamassa colante: Método da Mediana e Influência dos aditivos HEC e Resina PVAc**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1999, 156p. (Dissertação de Mestrado)
55. PÓVOAS, Y.V.; JOHN, V.M.; CINCOTTO, M.A. A influência do HEC e do PVAc na perda de água por sucção das argamassas colantes. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3, 1999. **Anais...** Vitória: UFES-PPGEC/ANTAC, vol.1, 1999, p.405-416.
56. \_\_\_\_\_. Influência da perda de água por evaporação na resistência de aderência entre argamassa colante e placa cerâmica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol.2, no.2, 2002, p.7-18.
57. RILEY, V.R.; RAZL, I. Polymer additives for cement composites. **Composites**, Jan.1974, p.27-33.
58. RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D.C. Luzzato Editores, 2 ed., 1986, 240p.
59. RODRIGUES, F.A.; JOEKES, I. Macro-defect free cements: a new approach. **Cement and Concrete Research**, vol.28, no.6, 1998, p.877-885.
60. SAGAVE A.M. Desenvolvimento de método de ensaio de aderência ao cisalhamento de peças cerâmicas de revestimento. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001, 114p. (Dissertação de Mestrado).

61. SAKAI, E.; SUGITA, J. Composite mechanism of polymer modified cement. **Cement and Concrete Research**, vol.25, no.1, 1995, p.127-135.
62. SARKAR, N.; WALKER, L.C. Hydration-dehydration properties of methylcellulose and hydroxypropylmethylcellulose. **Carbohydrate Polymers**, vol.27, 1995, p.177-185.
63. SAVASTANO Jr., H. **Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, 1992, 249p. (Tese de Doutorado)
64. SCHULZE, J. Influence of water-cement ratio and cement content on the properties of polymer-modified mortars. **Cement and Concrete Research**, vol.29, 1999, p.909-915.
65. SCHULZE, J; KILLERMANN, O. Long-term performance of redispersible powders in mortars. **Cement and Concrete Research**, vol.31, 2001, p.357-362.
66. SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, 1989, 187p. (Dissertação de Mestrado).
67. SILVA, C. O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, 2003, 196p. (Dissertação de Mestrado)
68. SILVA, D.A. **Estudo da influência do teor de polímeros nas propriedades das argamassas colantes**. Florianópolis, 1999, 41p. (Relatório Final, FUNPESQUISA/97).
69. \_\_\_\_\_. **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento Portland**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001, 246p. (Tese de Doutorado)

70. 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, 4, 2001, Brasília (DF). **Anais...** Brasília: UnB-PECC/ANTAC, 2001, p.15-41.
71. SILVA, D.A.; ROMAN, H.R.; ALARCON, O.E. Influence of HEMC and EVA polymers on some properties of dry-set mortars. In: World Congress on Ceramic Tile Quality, 6, Castellon (Spain), 2000. **Proceedings...** Castellon: Cam. Of. Com. Ind. Nav./Col. Of. Ing. Sup. Ind., 2000, vol.3, p.GII 21-30.
72. SMITH, W.F **Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, 3 ed. Alfragide: Editora MCGraw Hill, 1998, 885p.
73. SU, Z. **Microstructure of Polymer Cement Concrete**. Delft: Delft University Press, 1995, 174p.
74. THURLER, C.L.; FERREIRA, V.A. A evolução da resistência de aderência de algumas argamassas colantes nacionais. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1, Goiânia (GO), 1995. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995, p. 177-186.
75. VAN VLACK, L.H. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. 4ed., Trad. Edson Monteiro. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994, 567p.
76. WAGNER, H.B. Compressive strength of polymer-modified hydraulic cements. **I & EC Product Research and Development**, vol.5, no.2, Jun.1966, p.149-152.
77. \_\_\_\_\_. Polymer modification of Portland cement systems. **Chemical Technology**, Feb.1973, p.105-108.
78. \_\_\_\_\_. VAE redispersible-powder hydraulic-cement admixtures. **Concrete International**, April 1992, p.30-34.
79. ZENG, S.; SHORT, N.R.; PAGE, C.L. Early-age hydration kinetics of polymer-modified cement. **Advances in Cement Research**, vol.8, no.29, 1996, p.1-9.

## ***APÊNDICE A***

### **RESULTADOS DOS ENSAIOS LABORATORIAIS**

**Tabela A.1 – Resultados individuais de índice de consistência, massa específica e teor de ar incorporado no estado fresco**

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Consistência (mm)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Ar Incorporado (%)
A0	0%	0%	311,0	2,04	4,7
				2,03	5,1
				2,04	4,7
A1	0%	10%	290,0	1,83	13,7
				1,84	13,2
				1,81	14,6
A2	0%	20%	284,0	1,79	14,4
				1,79	14,4
				1,80	13,9
A3	0,5%	0%	227,5	1,63	23,8
				1,61	24,8
				1,64	23,4
A4	0,5%	10%	238,0	1,72	18,9
				1,72	18,9
				1,71	19,3
A5	0,5%	20%	230,5	1,67	20,1
				1,65	21,1
				1,66	20,6
A6	1%	0%	185,5	1,45	32,2
				1,45	32,2
				1,43	33,2
A7	1%	10%	193,0	1,70	19,4
				1,69	19,9
				1,72	18,5
A8	1%	20%	189,0	1,63	22,0
				1,61	23,0
				1,63	22,0



**Tabela A.3– Resultados de resistência à compressão axial**

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Resistência à compressão axial (MPa)		
			Condição 1	Condição 2	Condição 3
A0	0%	0%	17,19	15,10	16,78
			14,51*	14,95	18,31
			16,63	13,83	18,51
			16,81	14,74	17,80
	Média (MPa)	16,88	14,66	17,85	
	Desvio-padrão (MPa)		0,286	0,569	0,773
	Coeficiente de Variação (%)		1,69	3,89	4,33
A1	0%	10%	6,88	7,31	8,99
			7,16	7,18	8,68
			7,97	7,49	8,25
			8,23	7,72	9,27
	Média (MPa)	7,56	7,43	8,80	
	Desvio-padrão (MPa)		0,643	0,234	0,437
	Coeficiente de Variação (%)		8,50	3,15	4,97
A2	0%	20%	5,78	4,79	6,04
			5,22	5,30	6,44
			6,09	5,45	6,98
			5,35	5,63	6,98
	Média (MPa)	5,61	5,29	6,61	
	Desvio-padrão (MPa)		0,400	0,361	0,457
	Coeficiente de Variação (%)		7,12	6,82	6,92
A3	0,5%	0%	8,45	6,14	8,71
			8,15	6,77	8,48
			8,25	6,49	7,95
			5,91*	6,62	8,07
	Média (MPa)	8,28	6,51	8,30	
	Desvio-padrão (MPa)		0,153	0,269	0,354
	Coeficiente de Variação (%)		1,84	4,13	4,26
A4	0,5%	10%	7,72	6,98	8,84
			7,95	7,08	8,58
			8,71	7,38	9,75
			6,21	7,44	8,89
	Média (MPa)	7,65	7,22	9,02	
	Desvio-padrão (MPa)		1,048	0,224	0,508
	Coeficiente de Variação (%)		13,70	3,11	5,64
A5	0,5%	20%	5,30	4,51	5,78
			5,27	4,94	4,89
			5,12	5,12	4,84
			5,40	5,25	6,04
	Média (MPa)	5,27	4,96	5,39	
	Desvio-padrão (MPa)		0,116	0,323	0,613
	Coeficiente de Variação (%)		2,20	6,51	11,38
A6	1%	0%	6,14	5,19	6,67
			5,37	5,27	7,38
			6,52	5,14	6,90
			6,44	4,3*	6,93
	Média (MPa)	6,12	5,20	6,97	
	Desvio-padrão (MPa)		0,524	0,066	0,297
	Coeficiente de Variação (%)		8,57	1,26	4,26
A7	1%	10%	9,09	8,35	10,01
			9,80	8,10	8,15*
			10,47	8,51	10,34
			10,62	8,81	10,13
	Média (MPa)	10,00	8,44	10,16	
	Desvio-padrão (MPa)		0,701	0,297	0,167
	Coeficiente de Variação (%)		7,01	3,52	1,64
A8	1%	20%	5,78	5,40	7,00
			6,6*	5,55	6,85
			5,91	4,81	6,42
			5,86	4,61	-
	Média (MPa)	5,85	5,09	6,76	
	Desvio-padrão (MPa)		0,066	0,453	0,301
	Coeficiente de Variação (%)		1,12	8,90	4,46

\*Valores espúrios

**Tabela A.4 – Resultados de resistência à tração por compressão diametral**

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)		
			Condição 1	Condição 2	Condição 3
A0	0%	0%	1,67	1,54	2,15
			1,84	2,11	2,29
			2,60	2,13	2,04
			1,68	2,32	1,87
			2,39	2,11	2,21
			1,92	1,83	2,82*
	Média (MPa)	2,02	2,01	2,11	
	Desvio-padrão (MPa)	0,388	0,277	0,163	
	Coefficiente de Variação (%)	19,25	13,81	7,73	
A1	0%	10%	1,09	0,97	1,07
			1,28	0,68	0,90
			0,95	1,01	0,91
			0,93	0,87	1,32
			1,11	0,86	1,20
			-	1,02	-
	Média (MPa)	1,07	0,90	1,08	
	Desvio-padrão (MPa)	0,141	0,128	0,183	
	Coefficiente de Variação (%)	13,20	14,23	16,91	
A2	0%	20%	0,40	0,64	0,62
			0,74	0,51	0,57
			0,57	0,70	0,53
			0,66	0,56	0,66
			0,75	0,45	-
			0,45	0,60	-
	Média (MPa)	0,60	0,58	0,60	
	Desvio-padrão (MPa)	0,148	0,090	0,057	
	Coefficiente de Variação (%)	24,81	15,61	9,56	
A3	0,5%	0%	0,58	0,60	0,64
			0,58	0,56	0,89
			0,62	0,43	0,70
			0,67	0,46	0,74
			0,78	0,74	0,90
			0,75	0,61	0,61
	Média (MPa)	0,66	0,57	0,75	
	Desvio-padrão (MPa)	0,086	0,112	0,124	
	Coefficiente de Variação (%)	12,96	19,83	16,55	
A4	0,5%	10%	0,92	0,90	0,63
			1,18	0,79	0,76
			0,89	0,91	0,70
			0,93	0,96	0,83
			1,10	1,05	0,64
			-	0,99	-
	Média (MPa)	1,00	0,93	0,71	
	Desvio-padrão (MPa)	0,128	0,089	0,084	
	Coefficiente de Variação (%)	12,77	9,55	11,81	
A5	0,5%	20%	0,83	0,79	0,81
			0,95	0,86	0,90
			0,82	0,84	0,77
			0,68	0,70	1,08
			0,92	0,65	1,10
			1,02	0,81	0,87
	Média (MPa)	0,87	0,78	0,92	
	Desvio-padrão (MPa)	0,120	0,083	0,138	
	Coefficiente de Variação (%)	13,75	10,66	14,99	

\*Valores espúrios

cont.

**Tabela A.4 – Resultados de resistência à tração por compressão diametral (cont.)**

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)		
			Condição 1	Condição 2	Condição 3
A6	1%	0%	0,62	0,82	0,86
			0,78	0,65	0,86
			0,80	0,66	0,79
			0,89	0,52	0,77
			0,86	0,73	0,84
			0,74	0,87	-
	Média (MPa)	0,78	0,71	0,82	
Desvio-padrão (MPa)	0,096	0,127	0,042		
Coeficiente de Variação (%)	12,28	17,89	5,05		
A7	1%	10%	1,00	1,01	0,82
			1,18	1,07	1,01
			1,22	0,74	1,14
			0,93	1,00	1,09
			1,21	0,73	1,20
			0,95	0,75	0,98
	Média (MPa)	1,08	0,88	1,04	
Desvio-padrão (MPa)	0,136	0,159	0,135		
Coeficiente de Variação (%)	12,56	17,99	12,97		
A8	1%	20%	0,90	0,70	0,86
			0,71	0,75	0,69
			0,93	0,69	0,77
			0,60	0,72	0,98
			0,98	0,58	0,87
			0,83	0,62	0,90
	Média (MPa)	0,83	0,68	0,85	
Desvio-padrão (MPa)	0,145	0,064	0,102		
Coeficiente de Variação (%)	17,53	9,47	12,04		

\*Valores espúrios

**Tabela A.5 – Resultados de resistência à tração na flexão**

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Resistência à tração na flexão (MPa)		
			Condição 1	Condição 2	Condição 3
A0	0%	0%	4,66	4,06	4,32
			4,35	4,71	4,14
			4,15	3,96	3,91
			3,74	3,84	-
			4,06	4,45	-
			3,20	4,63	-
	Média (MPa)	4,03	4,27	4,12	
Desvio-padrão (MPa)	0,508	0,366	0,204		
Coefficiente de Variação (%)	12,61	8,56	4,94		
A1	0%	10%	2,88	2,57	2,54
			3,40	2,41	2,49
			3,11	2,54	2,49
			3,41	2,46	2,43
			3,22	2,63	2,30*
			3,30	2,62	3,02
	Média (MPa)	3,22	2,54	2,59	
Desvio-padrão (MPa)	0,202	0,090	0,243		
Coefficiente de Variação (%)	6,29	3,55	9,36		
A2	0%	20%	1,92	1,70	2,08
			2,07	1,59	2,22
			2,38	1,61	2,20
			2,30	1,77	2,16
			2,44	1,66	-
			-	-	-
	Média (MPa)	2,22	1,66	2,16	
Desvio-padrão (MPa)	0,216	0,073	0,064		
Coefficiente de Variação (%)	9,72	4,37	2,98		
A3	0,5%	0%	2,04	1,93	2,13
			2,34	1,81	1,99
			2,77	1,85	1,95
			2,63	2,06	2,15
			2,51	1,95	2,27
			-	-	-
	Média (MPa)	2,46	1,92	2,10	
Desvio-padrão (MPa)	0,282	0,100	0,129		
Coefficiente de Variação (%)	11,48	5,19	6,16		
A4	0,5%	10%	2,73	2,16	2,40
			3,05	1,95	2,52
			2,98	1,90	2,32
			3,08	-	2,60
			-	-	2,48
			-	-	2,61
	Média (MPa)	2,96	2,00	2,49	
Desvio-padrão (MPa)	0,159	0,138	0,113		
Coefficiente de Variação (%)	5,39	6,89	4,53		
A5	0,5%	20%	2,48	1,75	2,16
			2,36	2,03	2,31
			2,61	1,82	2,11
			2,63	1,70	2,40
			2,59	1,90	2,57
			2,50	-	2,47
	Média (MPa)	2,53	1,84	2,34	
Desvio-padrão (MPa)	0,103	0,133	0,178		
Coefficiente de Variação (%)	4,07	7,22	7,60		

\*Valores espúrios

*cont.*

**Tabela A.5 – Resultados de resistência à tração na flexão (cont.)**

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Resistência à tração na flexão (MPa)		
			Condição 1	Condição 2	Condição 3
A6	1%	0%	2,08	1,60	1,33
			2,05	0,85	1,23
			2,06	1,18	1,46
			2,41*	1,35	1,57
			-	1,34	-
			-	-	-
	Média (MPa)	2,06	1,26	1,40	
Desvio-padrão (MPa)	0,016	0,278	0,145		
Coefficiente de Variação (%)	0,79	21,96	10,39		
A7	1%	10%	2,20	1,86	2,10
			2,21	1,82	2,02
			2,07	1,89	1,84
			2,13	1,57	2,19
			2,19	-	2,23
			2,10	-	-
	Média (MPa)	2,15	1,79	2,07	
Desvio-padrão (MPa)	0,061	0,148	0,153		
Coefficiente de Variação (%)	2,84	8,30	7,37		
A8	1%	20%	2,51*	1,48	2,25
			2,32	1,39	1,96
			2,29	1,52	1,93
			2,30	1,58	1,80
			2,34	1,70	1,95
			-	-	2,44
	Média (MPa)	2,31	1,53	2,05	
Desvio-padrão (MPa)	0,022	0,115	0,239		
Coefficiente de Variação (%)	0,95	7,52	11,61		

Tabela A.6 – Resultados de módulo de elasticidade

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Módulo de Elasticidade (MPa)		
			Condição 1	Condição 2	Condição 3
A0	0%	0%	6090,50	2699,65	2877,12
			2893,03	1548,59	610,19
			4437,24	4663,76	3570,32
			2439,15	4316,37	-
			3086,16	2905,49	-
			2090,38	3258,30	-
	Média (MPa)	3506,08	3232,03	2352,54	
Desvio-padrão (MPa)	1499,400	1135,813	1548,218		
Coefficiente de Variação (%)	42,77	35,14	65,81		
A1	0%	10%	2242,61	1077,79	1872,65
			3080,60	1659,00	1085,20
			1951,80	1374,56	2129,12
			1224,70	1712,63	1414,21
			1675,10	1686,80	1875,15
			3855,75	1459,86	2963,48
	Média (MPa)	2338,43	1495,11	1889,97	
Desvio-padrão (MPa)	968,725	245,296	645,622		
Coefficiente de Variação (%)	41,43	16,41	34,16		
A2	0%	20%	465,52	961,90	1064,65
			468,28	657,97	953,22
			931,52	630,91	1325,98
			557,05	1299,22	907,48
			1173,54	1182,78	-
			-	-	-
	Média (MPa)	719,18	946,56	1062,83	
Desvio-padrão (MPa)	318,242	301,382	187,438		
Coefficiente de Variação (%)	44,25	31,84	17,64		
A3	0,5%	0%	530,12	741,56	1042,08
			1503,10	681,43	1413,93
			1090,41	1281,63	657,69
			1126,71	907,43	1296,10
			1455,62	1265,51	1207,84
			-	-	-
	Média (MPa)	1141,19	975,51	1123,53	
Desvio-padrão (MPa)	389,243	284,456	293,625		
Coefficiente de Variação (%)	34,11	29,16	26,13		
A4	0,5%	10%	607,40	921,80	2027,30
			2215,88	1820,86	1728,68
			1092,80	1308,87	1632,02
			1685,38	-	2427,57
			-	-	810,15
			-	-	1797,67
	Média (MPa)	1400,37	1350,51	1737,23	
Desvio-padrão (MPa)	699,926	450,974	535,721		
Coefficiente de Variação (%)	49,98	33,39	30,84		
A5	0,5%	20%	1745,92	502,29	758,74
			890,73	1618,96	2418,69
			1477,11	572,98	1064,69
			1061,32	619,12	1647,13
			1067,50	922,54	983,35
			1281,61	-	2610,12
	Média (MPa)	1254,03	847,18	1580,45	
Desvio-padrão (MPa)	315,087	460,291	782,950		
Coefficiente de Variação (%)	25,13	54,33	49,54		

\*Valores espúrios

cont.

**Tabela A.6 – Resultados de módulo de elasticidade (cont.)**

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Módulo de Elasticidade (MPa)		
			Condição 1	Condição 2	Condição 3
A6	1%	0%	775,36	644,56	457,36
			1320,00	548,04	1368,94
			873,15	472,83	2191,60
			1658,66	490,91	821,54
			-	812,80	-
			-	-	-
	Média (MPa)	1156,79	593,83	1209,86	
Desvio-padrão (MPa)	410,062	139,510	754,137		
Coefficiente de Variação (%)	35,45	23,49	62,33		
A7	1%	10%	891,63	1215,42	1731,6*
			867,41	860,74	917,25
			1714,11	1491,80	888,07
			1602,30	416,08	814,75
			1480,10	-	1058,23
			967,91	-	-
	Média (MPa)	1253,91	996,01	919,58	
Desvio-padrão (MPa)	386,457	464,961	101,999		
Coefficiente de Variação (%)	30,82	46,68	11,09		
A8	1%	20%	1070,53	529,49	602,84
			2050,14*	655,76	941,78
			1131,39	717,96	1153,44
			793,40	653,40	797,97
			1110,66	891,51	1860,05
			-	-	1917,84
	Média (MPa)	1026,50	689,62	1212,32	
Desvio-padrão (MPa)	157,437	131,968	554,459		
Coefficiente de Variação (%)	15,34	19,14	45,74		

\*Valores espúrios

Tabela A.7 – Resultados de resistência de aderência

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Aderência (MPa)		
			Condição 1	Condição 2	Condição 3
A0	0%	0%	0,54	0,72	0,51
			0,56	0,51	0,54
			0,62	0,68	0,47
			0,43	0,73	0,67
			0,60	0,58	0,52
			0,52	0,52	0,57
			0,43	0,49	0,63
			0,39	0,44	0,46
			0,56	0,64	0,37
			-	-	-
Média (MPa)			0,52	0,59	0,53
Desvio-padrão (MPa)			0,082	0,108	0,090
Coeficiente de Variação (%)			15,85	18,23	17,16
A1	0%	10%	0,50	0,46	0,61
			0,59	0,52	0,53
			0,58	0,61	0,54
			0,56	0,58	0,64
			0,61	0,64	0,76
			0,52	0,47	0,78
			0,63	0,57	0,61
			0,59	0,65	0,71
			-	0,61	0,55
			-	-	-
Média (MPa)			0,57	0,57	0,64
Desvio-padrão (MPa)			0,043	0,072	0,095
Coeficiente de Variação (%)			7,47	12,66	15,01
A2	0%	20%	0,45	0,43	0,55
			0,68	0,43	0,67
			0,61	0,53	0,75
			0,55	0,42	0,56
			0,52	0,52	0,70
			0,50	0,45	0,66
			0,56	0,40	0,51
			0,56	0,49	0,48
			0,53	0,42	-
			-	-	-
Média (MPa)			0,55	0,45	0,61
Desvio-padrão (MPa)			0,066	0,049	0,100
Coeficiente de Variação (%)			11,90	10,72	16,44
A3	0,5%	0%	0,33	0,40	0,36
			0,24	0,42	0,41
			0,44	0,33	0,41
			0,54	0,33	0,41
			0,44	0,39	0,48
			0,58	0,49	0,58*
			0,45	0,53	0,46
			0,49	0,49	0,38
			0,46	0,47	0,44
			0,38	0,32	0,42
Média (MPa)			0,44	0,42	0,42
Desvio-padrão (MPa)			0,097	0,077	0,037
Coeficiente de Variação (%)			22,31	18,42	8,71
A4	0,5%	10%	0,41	0,39	0,37
			0,53	0,37	0,33
			0,52	0,50	0,38
			0,63	0,52	0,66
			0,58	0,56	0,67
			0,61	0,52	0,43
			0,62	0,52	0,61
			0,55	0,59	0,51
			0,47	0,46	0,51
			0,55	-	0,48
Média (MPa)			0,55	0,49	0,50
Desvio-padrão (MPa)			0,068	0,073	0,120
Coeficiente de Variação (%)			12,46	14,76	24,33

\*Valores espúrios

cont.

**Tabela A.7 – Resultados de resistência de aderência (cont.)**

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Aderência (MPa)		
			Condição 1	Condição 2	Condição 3
A5	0,5%	20%	0,38	0,36	0,52
			0,49	0,60	0,37
			0,48	0,40	0,63
			0,56	0,54	0,55
			0,45	0,49	0,48
			0,48	0,50	0,48
			0,61	0,42	0,40
			0,38	-	0,41
			0,50	-	-
			-	-	-
			-	-	-
Média (MPa)			0,48	0,47	0,48
Desvio-padrão (MPa)			0,075	0,085	0,085
Coeficiente de Variação (%)			15,55	17,90	17,84
A6	1%	0%	0,44	0,36	0,43
			0,31	0,37	0,27
			0,43	0,39	0,33
			0,36	0,31	0,46
			0,50	0,40	0,42
			0,50	0,41	0,39
			0,46	0,46	0,45
			0,45	0,43	0,49
			0,36	0,37	-
			0,29	-	-
			0,29	-	-
Média (MPa)			0,41	0,39	0,40
Desvio-padrão (MPa)			0,076	0,043	0,074
Coeficiente de Variação (%)			18,66	11,26	18,26
A7	1%	10%	0,30	0,49	0,52
			0,29	0,45	0,47
			0,46	0,57	0,46
			0,66	0,58	0,37
			0,64	0,40	0,52
			0,62	0,42	0,52
			0,62	0,40	0,59
			0,57	0,44	0,44
			0,41	0,59	0,42
			0,59	-	0,40
			0,59	-	0,40
Média (MPa)			0,52	0,48	0,47
Desvio-padrão (MPa)			0,142	0,080	0,069
Coeficiente de Variação (%)			27,50	16,61	14,60
A8	1%	20%	0,47	0,40	0,56
			0,53	0,41	0,60
			0,52	0,42	0,52
			0,61	0,44	0,59
			0,65	0,44	0,55
			0,70	0,49	0,68
			0,72	0,34	0,74
			0,68	0,49	0,59
			0,61	0,48	0,52
			0,54	-	0,56
			0,54	-	0,56
Média (MPa)			0,60	0,43	0,59
Desvio-padrão (MPa)			0,086	0,050	0,071
Coeficiente de Variação (%)			14,19	11,56	11,99

\*Valores espúrios

**Tabela A.8 – Resultados de resistência de aderência de argamassas com 0,5% de HEC, em função de diferentes condições de exposição**

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Aderência (MPa)								
			Condição 1	Condição 2	Condição 2.1	Condição 2.2	Condição 2.3	Condição 3	Condição 3.1	Condição 3.2	Condição 3.3
A3	0,5%	0%	0,33	0,40	0,42	0,52	0,50	0,36	0,30	0,14	0,37
			0,24	0,42	0,52	0,55	0,47	0,41	0,46	0,25	0,50
			0,44	0,33	0,45	0,53	0,52	0,41	0,44	0,33	0,25
			0,54	0,33	0,46	0,52	0,55	0,41	0,41	0,52	0,51
			0,44	0,39	0,23	0,55	0,57	0,48	0,30	0,35	0,56
			0,58	0,49	0,31	0,48	0,40	0,58	0,46	0,39	0,46
			0,45	0,53	0,41	0,56	0,51	0,46	0,57	0,57	0,51
			0,49	0,49	0,45	-	-	0,38	0,53	0,67	0,39
			0,46	0,47	-	-	-	0,44	0,43	0,39	-
			0,38	0,32	-	-	-	0,42	0,53	-	-
	Média (MPa)		0,44	0,42	0,41	0,53	0,50	0,44	0,44	0,40	0,44
	Desvio-padrão (MPa)		0,097	0,077	0,093	0,026	0,054	0,064	0,090	0,163	0,102
Coeficiente de Variação (%)		22,31	18,42	22,87	4,83	10,77	14,56	20,22	40,48	22,94	
A4	0,5%	10%	0,41	0,39	0,30	0,55	0,43	0,37	0,71	0,60	0,67
			0,53	0,37	0,32	0,54	0,38	0,33	0,52	0,57	0,62
			0,52	0,50	0,48	0,32	0,47	0,38	0,20*	0,57	0,53
			0,63	0,52	0,44	0,40	0,25*	0,66	0,56	0,68	0,51
			0,58	0,56	0,26	0,53	0,37	0,67	0,61	0,58	0,65
			0,61	0,52	0,30	0,56	0,49	0,43	0,68	0,64	0,61
			0,62	0,52	0,25	0,59	0,44	0,61	0,55	0,45*	0,53
			0,55	0,59	0,37	0,56	0,46	0,51	0,58	0,61	0,62
			0,47	0,46	0,45	-	-	0,51	0,63	0,62	-
			0,55	-	-	-	-	0,48	0,59	-	-
	Média (MPa)		0,55	0,49	0,35	0,51	0,44	0,50	0,60	0,61	0,59
	Desvio-padrão (MPa)		0,068	0,073	0,086	0,095	0,045	0,120	0,060	0,037	0,060
Coeficiente de Variação (%)		12,46	14,76	24,61	18,74	10,30	24,33	9,86	6,02	10,15	
A5	0,5%	20%	0,38	0,36	0,38	0,42	0,43	0,52	0,46	0,37*	0,59
			0,49	0,60	0,34	0,44	0,36	0,37	0,49	0,63	0,50
			0,48	0,40	0,35	0,43	0,48	0,63	0,45	0,59	0,62
			0,56	0,54	0,16*	0,43	0,55	0,55	0,52	0,47	0,54
			0,45	0,49	0,38	0,54	0,45	0,48	0,50	0,59	0,53
			0,48	0,50	0,35	0,52	0,49	0,48	0,47	0,50	0,48
			0,61	0,42	0,35	0,44	-	0,40	0,49	0,64	0,65
			0,38	-	0,44*	-	-	0,41	0,51	0,57	0,34
			0,50	-	-	-	-	-	-	0,58	0,47
			-	-	-	-	-	-	-	0,60	0,58
	Média (MPa)		0,48	0,47	0,36	0,46	0,46	0,48	0,49	0,58	0,53
	Desvio-padrão (MPa)		0,075	0,085	0,019	0,046	0,064	0,085	0,024	0,055	0,090
Coeficiente de Variação (%)		15,55	17,90	5,31	10,05	13,94	17,84	4,94	9,54	17,01	

\*Valores espúrios

**Tabela A.9 – Resultados individuais de massa específica no estado endurecido**

Argamassa	Teor de HEC	Teor de EVA	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
A0	0%	0%	1853
			1854
			1850
			1871
A1	0%	10%	1692
			1680
			1687
			1706
A2	0%	20%	1628
			1607
			1617
			1615
A3	0,5%	0%	1553
			1553
			1548
			1537
A4	0,5%	10%	1610
			1608
			1608
			1609
A5	0,5%	20%	1571
			1578
			1562
			1581
A6	1%	0%	1308
			1308
			1280
			1301
A7	1%	10%	1569
			1598
			1581
			1584
A8	1%	20%	1532
			1533
			1517
			1515

**Tabela A.10 – Resultados individuais de absorção de água por imersão**

Argamassa	Tipo de corpo-de-prova	ABSORÇÃO DE AGUA DIARIA (%)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A0 (0%HEC, 0%EVA)	CILÍNDRICOS	0,00	0,90	0,93	0,96	0,96	0,98	1,08	1,01	0,93	0,96	0,96	
		0,00	1,39	1,39	1,39	1,39	1,39	1,52	1,42	1,37	1,39	1,39	
		0,00	0,91	0,94	1,04	1,04	1,04	1,18	1,02	0,99	1,02	0,97	
		0,00	1,16	1,19	1,19	1,21	1,21	1,34	1,21	1,21	1,16	1,16	
		0,00	1,13	1,13	1,16	1,16	1,16	1,28	1,16	1,11	1,13	1,11	
		0,00	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,12	0,94	0,94	0,97	0,97	
	PRISMÁTICOS	0,00	4,03	4,27	4,43	4,98	4,91	4,91	4,75	4,75	4,91	4,59	
		0,00	3,78	4,17	4,32	4,40	4,55	4,63	4,55	4,55	4,55	4,63	
		0,00	3,96	4,12	4,20	4,43	4,43	4,43	4,51	4,51	4,58	4,43	
		0,00	3,72	3,95	4,18	4,88	4,18	4,18	4,18	4,18	4,41	4,26	
		0,00	3,45	3,68	3,76	4,29	4,06	3,99	3,99	3,99	3,99	3,76	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A1 (0%HEC, 10%EVA)	CILÍNDRICOS	0,00	0,80	0,89	0,89	0,94	0,83	0,86	0,86	0,97	0,89	0,83
			0,00	0,82	0,84	0,95	0,95	0,90	0,87	0,84	0,90	0,90	0,82
0,00			0,81	0,81	0,86	0,84	0,70	0,81	0,78	0,92	0,78	0,84	
0,00			0,79	0,84	0,84	0,87	0,76	0,84	0,81	0,87	0,73	0,81	
0,00			0,86	0,89	0,91	0,91	0,89	0,89	0,91	1,05	0,89	0,89	
0,00			0,86	0,86	0,95	0,95	0,89	0,95	0,95	1,03	0,92	0,95	
PRISMÁTICOS		0,00	5,26	5,34	5,26	5,76	5,93	5,93	5,93	6,01	6,18	6,01	
		0,00	5,49	5,32	5,66	5,74	6,00	6,08	6,33	6,25	6,59	6,25	
		0,00	5,37	5,20	5,29	5,62	5,79	5,87	5,96	5,87	6,12	6,04	
		0,00	5,68	5,60	5,77	5,94	6,19	6,19	6,19	6,19	6,62	6,45	
		0,00	5,42	5,33	5,50	5,75	5,75	6,00	6,00	6,00	6,17	6,08	
		0,00	5,18	5,10	5,35	5,51	5,68	5,85	5,85	6,02	6,18	6,02	

*cont.*

**Tabela A.10 – Resultados individuais de absorção de água por imersão (cont.)**

Argamassa	Tipo de corpo-de-prova	ABSORÇÃO DE AGUA DIARIA (%)										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A2 (0%HEC, 20%EVA)	CILÍNDRICOS	0,00	0,92	0,97	1,03	1,17	1,11	1,08	1,05	1,11	1,14	1,14
		0,00	1,05	1,14	1,19	1,31	1,25	1,31	1,34	1,37	1,37	1,34
		0,00	0,93	1,02	1,08	1,19	1,13	1,16	1,16	1,25	1,25	1,25
		0,00	1,21	1,30	1,36	1,41	1,41	1,44	1,36	1,24	1,39	1,41
		0,00	0,85	0,90	1,04	1,04	1,07	1,04	1,10	1,01	1,10	1,13
		0,00	1,21	1,30	1,36	1,41	1,41	1,44	1,36	1,24	1,39	1,41
	PRISMÁTICOS	0,00	4,86	5,03	5,03	5,20	5,03	5,46	5,29	5,46	5,46	5,64
		0,00	4,73	4,90	4,90	5,07	5,07	5,41	5,24	5,24	5,49	5,49
		0,00	5,18	5,18	5,18	5,44	5,35	5,61	5,61	5,86	5,95	5,95
		0,00	4,86	5,03	5,03	5,29	5,29	5,63	5,46	5,54	5,71	5,71
		0,00	4,48	4,48	4,57	4,82	4,91	5,16	4,91	5,08	5,25	5,25
	0,00	4,94	5,10	5,10	5,36	5,36	5,44	5,36	5,52	5,77	5,77	
A3 (0,5%HEC, 0%EVA)	CILÍNDRICOS	0,00	1,92	2,44	2,44	2,54	2,48	2,51	2,58	2,44	2,64	2,71
		0,00	2,12	2,38	2,35	2,45	2,48	2,38	2,52	2,45	2,72	2,55
		0,00	2,54	2,67	2,71	2,80	2,80	2,71	2,83	2,80	2,83	2,93
		0,00	2,55	2,52	2,65	2,49	2,65	2,59	2,59	2,62	2,62	2,91
		0,00	1,16	1,42	1,54	1,73	1,73	1,76	1,89	1,92	2,02	2,05
		0,00	2,22	2,51	2,68	2,51	2,42	2,58	2,58	2,51	2,71	2,68
	PRISMÁTICOS	0,00	6,46	6,65	6,93	7,11	7,11	7,85	7,85	7,94	8,22	8,13
		0,00	7,49	7,68	7,88	8,17	8,17	8,74	8,55	8,84	9,03	9,22
		0,00	6,72	6,72	7,00	7,28	7,46	7,93	7,84	8,12	8,49	8,77
		0,00	5,78	6,15	6,24	6,33	6,42	6,42	6,70	6,88	6,88	7,16
		0,00	6,38	6,57	6,66	6,57	7,03	6,94	7,12	7,31	7,40	7,59
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

*cont.*

**Tabela A.10 – Resultados individuais de absorção de água por imersão (cont.)**

Argamassa	Tipo de corpo-de-prova	ABSORÇÃO DE AGUA DIÁRIA (%)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A4 (0,5%HEC, 10%EVA)	CILÍNDRICOS	0,00	1,79	1,79	1,85	1,82	1,85	1,85	1,91	1,77	1,91	1,85	
		0,00	1,74	1,79	1,74	1,74	1,76	1,79	1,82	1,94	1,91	1,82	
		0,00	1,65	1,70	1,59	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,73	1,68
		0,00	1,60	1,68	1,60	1,57	1,65	1,65	1,65	1,68	1,68	1,68	1,60
		0,00	0,67	0,90	0,95	0,95	1,09	1,18	1,18	1,18	1,18	1,23	1,23
		0,00	0,85	1,00	1,05	1,08	1,17	1,22	1,22	1,31	1,39	1,25	
	PRISMÁTICOS	0,00	5,07	5,66	5,66	6,00	6,17	6,42	6,33	6,50	6,42	6,50	
		0,00	4,99	5,65	5,49	5,82	5,99	6,15	5,99	6,15	6,07	6,32	
		0,00	5,08	5,58	5,50	5,84	6,01	6,35	6,26	6,35	6,26	6,43	
		0,00	5,21	5,89	5,72	6,06	6,06	6,56	6,31	6,48	6,31	6,56	
		0,00	5,23	5,57	5,57	5,83	5,91	6,08	6,08	6,26	6,26	6,51	
		0,00	5,29	5,72	5,72	5,81	6,06	5,98	6,06	6,15	6,23	6,32	
A5 (0,5%HEC, 20%EVA)	CILÍNDRICOS	0,00	0,79	1,08	1,22	1,25	1,27	1,36	1,44	1,53	1,56	1,56	
		0,00	0,97	1,11	1,20	1,20	1,20	1,26	1,31	1,34	1,34	1,37	
		0,00	0,87	1,01	1,04	1,10	1,10	1,16	1,18	1,24	1,33	1,24	
		0,00	0,92	1,06	1,12	1,12	1,12	1,20	1,26	1,32	1,35	1,32	
		0,00	0,85	0,99	1,07	1,27	1,27	1,27	1,30	1,30	1,30	1,30	
		0,00	0,82	0,99	1,16	1,50	1,50	1,50	1,56	1,62	1,64	1,70	
	PRISMÁTICOS	0,00	5,43	5,43	5,78	5,95	6,04	6,39	6,30	6,30	6,04	6,30	
		0,00	5,25	5,43	5,78	5,95	6,04	6,39	6,57	6,57	6,65	6,83	
		0,00	5,23	5,49	5,75	5,75	5,92	6,36	6,36	6,36	6,62	6,27	
		0,00	5,29	5,29	5,64	5,64	5,64	6,15	6,15	6,15	6,15	6,32	
		0,00	5,33	5,50	5,85	6,19	6,28	6,62	6,71	6,71	6,88	6,62	
		0,00	5,35	5,26	5,52	5,69	5,77	5,94	5,94	6,03	6,20	6,20	

*cont.*

**Tabela A.10 – Resultados individuais de absorção de água por imersão (cont.)**

Argamassa	Tipo de corpo-de-prova	ABSORÇÃO DE AGUA DIARIA (%)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A6 (1%HEC, 0%EVA)	CILÍNDRICOS	0,00	2,81	3,06	3,17	3,20	3,24	3,24	3,17	3,17	3,27	3,34	
		0,00	3,00	3,35	3,35	3,56	3,74	3,67	3,67	3,60	3,70	3,77	
		0,00	3,00	3,18	3,14	3,21	3,32	3,32	3,32	3,35	3,28	3,35	
		0,00	3,21	3,31	3,31	3,35	3,35	3,35	3,35	3,35	3,31	3,31	
		0,00	3,02	3,09	3,13	3,13	3,13	3,09	3,16	3,16	3,13	3,13	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	PRISMÁTICOS	0,00	10,98	11,83	11,62	13,20	12,99	13,83	14,36	15,21	14,15	15,10	
		0,00	11,47	12,95	13,47	14,00	14,32	15,16	15,05	15,89	14,95	15,68	
		0,00	11,40	12,66	13,28	14,44	14,33	14,96	15,17	15,90	15,17	15,69	
		0,00	11,85	12,96	13,40	14,06	13,84	14,29	14,84	15,61	14,73	15,61	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	A7 (1%HEC, 10%EVA)	CILÍNDRICOS	0,00	0,86	0,88	0,97	0,86	0,77	0,77	0,71	0,71	0,68	0,86
			0,00	1,03	1,08	1,08	1,00	0,88	0,83	0,77	0,77	0,77	0,86
0,00			0,99	1,02	0,99	0,90	0,81	0,81	0,73	0,73	0,67	0,87	
0,00			0,83	0,89	0,92	0,83	0,75	0,78	0,75	0,78	0,69	0,86	
0,00			1,00	0,97	1,00	0,88	0,83	0,77	0,80	0,77	0,71	0,88	
0,00			0,98	0,98	1,10	1,04	0,90	0,87	0,84	0,84	0,78	0,92	
PRISMÁTICOS		0,00	5,07	5,33	5,59	5,59	5,76	5,94	6,03	6,11	6,46	6,64	
		0,00	4,95	5,32	5,41	5,59	5,77	5,86	6,04	6,40	6,49	6,67	
		0,00	5,15	5,32	5,50	5,59	5,77	5,86	6,12	6,30	6,48	6,83	
		0,00	5,14	5,23	5,50	5,59	5,68	5,86	5,95	6,31	6,67	6,76	
		0,00	5,20	5,02	5,56	5,47	5,56	5,74	5,83	6,19	6,37	6,64	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

*cont.*

**Tabela A.10 – Resultados individuais de absorção de água por imersão (cont.)**

Argamassa	Tipo de corpo-de-prova	ABSORÇÃO DE ÁGUA DIÁRIA (%)										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A8 (1%HEC, 20%EVA)	CILÍNDRICOS	0,00	0,92	0,98	0,98	1,00	1,03	1,06	1,06	1,06	1,18	0,95
		0,00	0,95	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,95	1,03	1,00
		0,00	1,34	1,40	1,37	1,31	1,25	1,25	1,22	1,16	1,25	1,16
		0,00	0,76	0,85	0,91	0,97	1,08	1,11	1,11	1,17	1,31	1,17
		0,00	1,42	1,51	1,37	1,39	1,39	1,37	1,34	1,28	1,39	1,25
		0,00	1,46	1,58	1,55	1,55	1,55	1,49	1,49	1,46	1,55	1,40
	PRISMÁTICOS	0,00	5,16	5,53	5,07	5,25	5,34	5,34	5,34	5,25	5,62	5,16
		0,00	4,98	5,16	4,98	4,98	4,98	5,16	5,25	5,34	5,34	4,98
		0,00	5,00	5,18	5,00	5,09	5,09	5,09	5,27	5,45	5,36	5,09
		0,00	4,92	5,01	4,92	4,92	4,92	4,92	5,10	5,45	5,10	4,92
		0,00	5,41	5,14	5,23	5,23	5,23	5,23	5,41	5,41	5,76	5,41
		0,00	5,23	5,33	5,23	5,23	5,23	5,23	5,42	5,61	5,79	5,42

**Tabela A.11 – Resultados individuais de perda de massa por secagem pós imersão em água**

Argamassa	Tipo de corpo-de-prova	PERDA DE MASSA DIÁRIA (%)																
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
A0 (0%HEC, 0%EVA)	CILÍNDRICOS	0,83	0,59	0,31	0,10	-0,10	-0,28	-0,36	-0,46	-0,52	-0,52	-0,54	-0,54	-0,65	-0,72	-0,67	-0,65	
		1,26	1,09	0,86	0,63	0,35	0,10	-0,05	-0,23	-0,25	-0,25	-0,25	-0,20	-0,30	-0,35	-0,30	-0,28	
		0,81	0,71	0,42	0,13	-0,05	-0,26	-0,39	-0,52	-0,52	-0,52	-0,52	-0,52	-0,57	-0,63	-0,60	-0,55	
		0,99	0,81	0,58	0,38	0,20	-0,08	-0,18	-0,28	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,33	-0,40	-0,48	-0,48	-0,43
		0,96	0,83	0,68	0,53	0,23	-0,03	-0,18	-0,28	-0,33	-0,30	-0,30	-0,30	-0,25	-0,35	-0,45	-0,40	-0,38
		0,81	0,64	0,23	0,10	-0,05	-0,23	-0,36	-0,51	-0,46	-0,48	-0,51	-0,51	-0,51	-0,58	-0,64	-0,58	-0,53
	PRISMÁTICOS	4,59	4,43	4,27	4,11	3,80	3,40	3,01	2,61	2,53	2,37	2,06	1,82	1,50	1,19	0,95	0,79	
		4,32	4,09	3,86	3,55	3,32	3,16	2,78	2,55	2,24	2,08	2,01	1,85	1,77	1,70	1,39	1,16	
		4,35	4,12	3,96	3,89	3,73	3,65	3,34	3,11	2,95	2,72	2,56	2,33	2,10	1,86	1,63	1,32	
		4,26	4,10	3,95	3,79	3,72	3,64	3,33	3,17	2,94	2,86	2,71	2,32	2,09	1,78	1,55	1,39	
		3,76	3,60	3,53	3,45	3,30	3,22	2,91	2,68	2,53	2,38	2,07	1,76	1,46	1,38	1,07	0,84	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A1 (0%HEC, 10%EVA)	CILÍNDRICOS	0,75	0,61	0,47	0,39	0,33	0,28	0,08	0,06	0,00	-0,06	-0,08	-0,22	-0,28	-0,39	-0,36	-0,47	
		0,74	0,57	0,44	0,33	0,30	0,19	0,05	0,03	-0,08	-0,19	-0,27	-0,41	-0,49	-0,54	-0,57	-0,65	
		0,78	0,64	0,39	0,28	0,22	0,11	0,03	-0,03	-0,06	-0,11	-0,17	-0,28	-0,28	-0,36	-0,42	-0,50	
		0,65	0,52	0,30	0,22	0,14	0,00	-0,11	-0,19	-0,24	-0,27	-0,30	-0,46	-0,52	-0,57	-0,57	-0,62	
		0,78	0,64	0,53	0,39	0,33	0,25	0,14	0,11	0,06	0,00	0,00	-0,14	-0,19	-0,28	-0,30	-0,42	
		0,86	0,64	0,50	0,45	0,36	0,22	0,11	0,03	-0,06	-0,11	-0,17	-0,28	-0,33	-0,33	-0,39	-0,45	
	PRISMÁTICOS	5,76	5,59	5,34	5,18	4,59	4,26	4,01	3,67	3,51	3,17	3,09	3,09	3,09	2,84	2,75	2,67	
		5,91	5,66	5,57	5,32	4,98	4,73	4,73	4,39	4,14	4,05	3,97	3,89	3,72	3,63	3,46	3,38	
		5,79	5,54	5,37	5,12	4,95	4,78	4,70	4,53	4,36	4,19	4,11	4,03	3,94	3,78	3,78	3,61	
		6,11	5,85	5,68	5,17	5,00	4,83	4,75	4,56	4,24	4,07	3,90	3,82	3,73	3,65	3,48	2,88	
		5,75	5,50	5,42	5,08	4,92	4,83	4,67	4,50	4,33	4,25	4,17	4,08	4,00	3,83	3,75	3,58	
		5,60	5,43	5,18	4,93	4,26	4,09	3,59	3,43	2,92	2,92	2,59	2,17	1,84	1,42	1,17	1,09	

*cont.*

**Tabela A.11 – Resultados individuais de perda de massa por secagem pós imersão em água (cont.)**

Argamassa	Tipo de corpo-de-prova	PERDA DE MASSA DIÁRIA (%)															
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
A2 (0%HEC, 20%EVA)	CILÍNDRICOS	1,11	0,94	0,81	0,78	0,72	0,67	0,64	0,53	0,50	0,42	0,33	0,28	0,14	0,06	-0,03	-0,11
		1,22	1,11	0,97	0,94	0,94	0,91	0,91	0,82	0,74	0,68	0,60	0,40	0,40	0,23	0,14	0,00
		1,16	1,02	0,93	0,91	0,88	0,88	0,85	0,74	0,59	0,48	0,40	0,25	0,23	0,03	-0,11	-0,20
		1,33	1,18	1,07	0,87	0,87	0,87	0,90	0,84	0,72	0,64	0,52	0,43	0,35	0,23	0,12	0,00
		1,04	0,90	0,82	0,76	0,70	0,65	0,59	0,51	0,51	0,39	0,28	0,14	-0,03	-0,14	-0,25	-0,39
		1,12	1,03	0,95	0,83	0,80	0,80	0,77	0,66	0,60	0,49	0,37	0,23	0,11	-0,09	-0,20	-0,32
	PRISMÁTICOS	5,29	4,94	4,86	4,68	4,51	4,34	4,08	3,64	3,64	3,64	3,21	3,04	2,69	2,25	1,99	1,82
		5,24	4,98	4,65	4,65	4,56	4,56	4,31	4,05	3,63	3,21	3,21	3,13	2,53	2,36	2,28	2,20
		5,69	5,69	5,35	5,18	5,10	4,93	4,67	4,50	4,50	3,99	3,91	3,82	3,57	3,14	3,06	2,72
		5,46	5,29	5,20	5,12	5,03	4,86	4,77	4,60	4,35	4,18	3,84	3,75	2,98	2,73	2,56	2,47
		5,08	4,74	4,48	4,31	4,23	4,15	4,06	3,81	3,38	3,38	2,79	2,71	2,62	2,45	2,20	2,20
5,52	5,27	5,10	5,02	4,94	4,85	4,69	4,60	4,44	4,27	4,02	3,60	3,18	3,01	2,76	2,43		
A3 (0,5%HEC, 0%EVA)	CILÍNDRICOS	2,38	2,18	2,05	1,92	1,78	1,65	1,45	0,96	1,22	1,02	0,83	0,69	0,53	0,43	0,23	0,10
		2,29	2,19	1,99	1,79	1,59	1,49	1,36	1,59	1,06	0,93	0,76	0,63	0,50	0,40	0,20	0,07
		2,51	2,32	2,19	2,09	2,03	1,87	1,77	1,67	1,58	1,42	1,26	1,16	1,03	0,90	0,68	0,58
		2,32	2,26	2,13	2,03	1,93	1,80	1,54	1,34	1,24	1,08	0,95	0,88	0,75	0,65	0,49	0,39
		1,83	1,70	1,61	1,51	1,42	1,26	1,07	0,94	0,88	0,79	0,66	0,54	0,50	0,41	0,31	0,25
		2,45	2,25	2,15	2,06	1,93	1,73	1,66	1,57	1,47	1,27	1,11	0,95	0,85	0,75	0,52	0,39
	PRISMÁTICOS	8,03	7,76	7,39	7,11	6,74	6,37	6,09	5,17	4,62	3,97	3,32	2,68	2,03	1,66	1,29	1,20
		8,84	8,55	7,97	7,68	7,40	6,92	6,63	6,24	5,76	5,57	5,19	4,80	4,13	3,75	3,27	2,69
		8,21	7,84	7,37	7,18	6,72	6,16	5,60	4,85	4,29	3,73	3,17	2,43	1,96	1,59	1,12	0,84
		6,88	6,51	6,06	5,78	5,50	4,77	4,31	4,04	3,30	3,03	2,48	1,93	1,47	1,38	1,28	1,10
		7,40	7,12	6,57	6,38	5,92	5,37	4,90	4,16	3,98	3,79	2,68	2,96	2,68	2,13	1,67	1,20
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*cont.*

**Tabela A.11 – Resultados individuais de perda de massa por secagem pós imersão em água (cont.)**

Argamassa	Tipo de corpo-de-prova	PERDA DE MASSA DIÁRIA (%)															
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
A4 (0,5%HEC, 10%EVA)	CILÍNDRICOS	1,74	1,68	1,62	1,59	1,51	1,37	1,22	1,11	1,08	1,03	1,00	0,91	0,77	0,51	0,48	0,34
		1,68	1,59	1,51	1,45	1,31	1,22	1,14	1,08	1,02	0,91	0,83	0,77	0,63	0,48	0,40	0,23
		1,53	1,44	1,39	1,33	1,27	1,21	1,13	1,04	0,98	0,81	0,72	0,69	0,58	0,35	0,26	-0,03
		1,45	1,39	1,36	1,33	1,25	1,07	0,93	0,81	0,73	0,58	0,49	0,44	0,29	0,12	0,06	-0,12
		1,12	0,98	0,87	0,76	0,64	0,53	0,48	0,39	0,28	0,28	0,20	0,14	0,11	0,06	-0,03	-0,08
		1,17	1,08	1,00	0,94	0,85	0,54	0,43	0,40	0,34	0,28	0,23	0,20	0,14	0,09	0,03	-0,06
	PRISMÁTICOS	5,83	5,49	4,73	4,31	3,72	3,21	2,62	2,11	2,03	1,86	1,60	1,18	0,84	0,42	0,59	0,76
		5,74	5,49	5,24	5,07	4,82	4,57	4,24	3,82	3,49	2,99	2,66	2,41	2,33	2,24	2,24	2,24
		6,01	5,58	4,82	4,40	3,98	3,72	3,55	3,38	3,55	3,21	3,05	2,88	2,79	2,71	2,71	2,71
		5,89	5,47	5,21	4,79	4,12	3,78	3,62	3,45	3,70	3,45	3,20	3,03	2,94	2,86	2,44	2,27
		5,57	5,40	4,71	4,54	4,20	3,77	3,60	3,43	3,43	3,26	3,08	2,91	2,74	2,66	2,40	2,14
		5,64	5,21	4,53	4,10	3,67	3,25	2,90	2,48	2,56	2,31	2,05	1,88	1,62	1,45	1,45	1,71
A5 (0,5%HEC, 20%EVA)	CILÍNDRICOS	1,27	1,10	0,96	0,79	0,65	0,57	0,45	0,28	0,11	-0,06	-0,25	-0,40	-0,59	-0,74	-0,82	-0,99
		1,14	1,06	0,83	0,71	0,60	0,51	0,40	0,23	0,14	0,03	-0,17	-0,31	-0,57	-0,69	-0,77	-0,86
		0,87	0,87	0,64	0,49	0,40	0,32	0,23	0,03	-0,06	-0,20	-0,46	-0,64	-0,81	-0,98	-1,07	-1,21
		1,12	0,97	0,72	0,54	0,46	0,43	0,29	0,11	0,06	-0,14	-0,34	-0,49	-0,63	-0,77	-0,80	-0,92
		1,21	1,02	0,85	0,73	0,54	0,40	0,00	-0,17	-0,25	-0,37	-0,42	-0,65	-0,85	-0,90	-1,10	-1,19
		1,53	1,33	1,16	0,91	0,68	0,54	0,26	0,09	-0,09	-0,26	-0,31	-0,54	-0,74	-0,79	-0,94	-1,05
	PRISMÁTICOS	5,95	5,69	5,43	5,17	4,90	4,64	4,73	4,55	4,47	4,38	4,20	4,03	3,68	3,50	3,42	3,42
		6,30	5,95	4,64	4,12	3,85	3,33	3,33	2,98	2,54	2,28	2,19	2,10	1,66	1,49	1,31	1,31
		5,84	5,49	5,23	5,05	4,79	4,53	4,53	4,44	4,27	4,18	4,09	4,01	3,75	3,57	3,48	3,40
		5,98	5,64	5,38	4,95	4,70	4,53	4,53	4,44	4,27	4,10	3,93	3,76	3,50	3,25	3,07	2,99
		6,19	5,85	5,59	5,25	4,82	3,70	3,35	3,18	3,01	2,84	2,41	2,15	1,89	1,46	1,29	1,20
		5,77	5,43	5,18	4,92	4,67	4,67	4,67	4,58	4,50	4,33	4,24	4,16	3,90	3,74	3,74	3,65

*cont.*

**Tabela A.11 – Resultados individuais de perda de massa por secagem pós imersão em água (cont.)**

Argamassa	Tipo de corpo-de-prova	PERDA DE MASSA DIÁRIA (%)																
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
A6 (1%HEC, 0%EVA)	CILÍNDRICOS	3,06	2,78	2,39	2,08	1,76	1,37	0,95	0,84	0,77	0,60	0,39	0,21	0,04	0,04	0,00	0,00	
		3,46	3,18	2,79	2,55	2,34	1,99	1,54	1,40	1,29	1,15	1,01	0,80	0,70	0,56	0,42	0,31	
		3,07	2,86	2,48	2,20	2,03	1,57	1,22	1,12	1,05	0,91	0,70	0,49	0,31	0,24	0,10	0,07	
		3,04	2,76	2,52	2,31	2,14	1,79	1,48	1,41	1,35	1,21	1,04	0,86	0,76	0,76	0,72	0,62	
		2,85	2,61	2,36	2,12	1,95	1,60	1,25	1,15	1,04	1,04	1,01	0,90	0,49	0,52	0,45	0,38	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PRISMÁTICOS	14,26	13,94	13,52	12,88	12,57	12,25	11,19	10,24	9,29	8,34	7,29	6,12	5,60	5,39	4,96	4,65	
		15,47	15,26	14,84	14,32	15,68	12,74	12,32	11,89	11,68	11,47	11,16	10,84	10,74	10,53	10,00	9,89	
		15,27	15,17	15,06	13,60	11,82	9,94	9,10	8,79	8,68	8,58	8,47	8,26	7,85	7,74	7,64	7,43	
		14,73	14,73	14,51	13,95	12,62	11,30	11,18	10,19	9,75	9,30	8,75	8,31	8,31	7,31	6,87	6,64	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7 (1%HEC, 10%EVA)	CILÍNDRICOS	0,66	0,43	0,29	0,00	-0,11	-0,29	-0,40	-0,49	-0,63	-0,91	-1,00	-1,08	-1,17	-1,26	-1,34	-1,40	
		0,63	0,48	0,40	0,17	-0,26	-0,37	-0,46	-0,51	-0,60	-0,91	-1,00	-1,08	-1,14	-1,28	-1,25	-1,25	
		0,70	0,58	0,26	0,09	-0,12	-0,29	-0,44	-0,55	-0,70	-0,96	-1,10	-1,19	-1,25	-1,33	-1,42	-1,54	
		0,63	0,40	0,26	0,12	-0,12	-0,35	-0,46	-0,60	-0,78	-1,01	-1,12	-1,21	-1,27	-1,32	-1,38	-1,41	
		0,60	0,37	0,23	0,06	-0,31	-0,31	-0,68	-0,86	-1,05	-1,25	-1,37	-1,45	-1,51	-1,57	-1,65	-1,74	
		0,78	0,58	0,32	0,03	-0,09	-0,29	-0,52	-0,72	-0,92	-1,13	-1,18	-1,27	-1,33	-1,39	-1,42	-1,44	
	PRISMÁTICOS	6,46	5,68	5,59	5,41	5,24	5,07	4,89	4,63	4,72	4,54	4,37	4,19	4,02	3,84	3,67	3,41	
		6,49	5,95	5,77	5,50	5,32	5,14	4,95	4,86	4,68	4,50	4,32	4,23	4,05	3,87	3,42	3,15	
		6,48	5,94	5,68	5,59	5,50	5,32	5,06	4,88	4,97	4,79	4,70	4,61	4,53	4,44	4,17	3,99	
		6,49	5,86	5,41	4,86	4,41	3,69	3,15	2,61	2,70	2,34	1,98	1,71	1,71	1,62	1,44	1,26	
		6,46	5,92	5,38	4,84	4,75	4,57	4,39	3,86	3,68	3,41	3,23	3,05	2,87	2,51	1,88	1,61	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*cont.*

**Tabela A.11 – Resultados individuais de perda de massa por secagem pós imersão em água (cont.)**

Argamassa	Tipo de corpo-de-prova	PERDA DE MASSA DIÁRIA (%)															
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
A8 (1%HEC, 20%EVA)	CILÍNDRICOS	0,86	0,74	0,50	0,24	0,00	-0,24	-0,41	-0,59	-0,74	-0,92	-1,06	-1,18	-1,30	-1,30	-1,27	-1,36
		0,74	0,62	0,38	0,18	-0,12	-0,30	-0,44	-0,62	-0,86	-0,97	-1,12	-1,21	-1,27	-1,39	-1,48	-1,54
		0,90	0,76	0,58	0,38	0,23	0,09	-0,03	-0,20	-0,52	-0,67	-0,76	-0,84	-0,90	-0,96	-1,05	-1,05
		0,97	0,73	0,45	0,13	-0,10	-0,34	-0,54	-0,71	-1,00	-1,26	-1,41	-1,52	-1,64	-1,69	-1,69	-1,81
		1,02	0,84	0,61	0,41	0,23	0,09	-0,06	-0,23	-0,38	-0,52	-0,61	-0,67	-0,76	-0,81	-0,90	-0,96
		1,19	0,97	0,79	0,55	0,27	0,06	-0,15	-0,27	-0,46	-0,61	-0,67	-0,73	-0,82	-0,88	-0,97	-1,00
	PRISMÁTICOS	4,80	4,53	3,80	3,35	3,08	2,54	1,81	1,72	1,72	1,54	1,36	1,27	1,00	1,00	0,91	0,91
		4,80	4,54	4,18	3,91	3,74	3,38	2,85	2,85	2,67	2,40	2,14	2,05	1,87	1,78	1,78	1,60
		4,90	4,45	4,18	4,00	3,71	3,54	3,09	3,09	3,09	2,91	2,63	2,36	2,09	2,00	1,82	1,82
		4,83	4,57	4,13	3,95	3,78	3,43	2,99	2,90	2,72	2,72	2,37	2,20	1,93	1,85	1,76	1,76
		5,14	4,52	3,81	3,46	3,10	2,75	1,86	1,86	1,51	1,42	1,42	1,24	1,15	1,15	0,98	0,98
		5,05	4,77	4,30	4,11	4,02	3,74	3,27	3,18	3,18	2,99	2,90	2,62	2,43	2,15	1,96	1,87

Tabela A.12 – Resultados individuais de variação dimensional durante imersão em água

Argamassa	VARIACÃO DIMENSIONAL DIÁRIA - IMERSÃO (%)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A0 (0%HEC, 0%EVA)	0,00	-2,97	-2,97	0,00	-1,98	1,98	7,91	-1,98	-0,99	0,99	2,97
	0,00	0,98	1,97	4,91	0,98	6,88	12,78	0,00	1,97	4,91	7,86
	0,00	5,97	3,98	8,96	6,97	8,96	15,93	5,97	9,95	10,95	12,94
	0,00	6,88	5,89	10,81	9,82	12,77	17,68	9,82	1,96	-1,08	16,70
A1 (0%HEC, 10%EVA)	0,00	23,51	20,57	23,51	25,47	28,41	33,31	27,43	26,45	31,35	37,22
	0,00	23,61	16,72	20,65	22,62	22,62	24,59	18,69	20,65	25,57	27,54
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2 (0%HEC, 20%EVA)	0,00	14,88	15,87	18,85	20,84	20,84	21,83	18,85	19,84	21,83	25,80
	0,00	19,59	17,64	25,47	22,53	27,43	34,29	31,35	31,35	38,21	48,01
	0,00	22,80	18,84	23,80	21,81	23,80	34,70	25,78	25,78	33,71	45,61
A3 (0,5%HEC, 0%EVA)	0,00	28,83	21,87	30,81	29,82	29,82	31,81	29,82	30,81	32,80	36,78
	0,00	26,71	15,83	26,71	21,76	26,71	29,68	26,71	36,60	31,66	27,70
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A4 (0,5%HEC, 10%EVA)	0,00	29,98	25,98	28,98	23,98	24,98	22,98	19,98	21,98	22,98	26,98
	0,00	23,66	20,70	27,60	22,67	26,61	29,57	22,67	28,58	30,56	34,50
	0,00	32,73	26,78	36,69	30,74	33,72	35,70	28,76	33,72	35,70	39,67
	0,00	36,99	28,99	35,99	33,99	32,99	33,99	28,99	32,99	35,99	39,99
A5 (0,5%HEC, 20%EVA)	0,00	31,73	35,70	33,71	40,65	39,66	40,65	35,70	42,64	42,64	44,62
	0,00	28,93	33,92	28,93	35,92	33,92	33,92	30,93	40,90	38,91	38,91
	0,00	25,95	26,94	24,95	22,95	25,95	28,94	23,95	27,94	24,95	25,95
	0,00	45,48	46,47	46,47	45,48	46,47	49,44	51,42	54,38	52,40	45,48
A6 (1%HEC, 0%EVA)	0,00	34,33	22,56	28,45	25,50	27,47	32,37	32,37	40,22	35,31	29,43
	0,00	32,60	21,73	34,57	23,71	29,63	35,56	29,63	39,51	36,55	32,60
	0,00	30,72	21,80	29,73	23,78	30,72	36,67	28,74	40,63	35,68	36,67
	0,00	34,82	24,87	30,84	26,86	32,83	38,80	28,85	36,81	35,82	36,81
A7 (1%HEC, 10%EVA)	0,00	19,96	54,89	25,95	16,97	22,95	27,94	23,95	29,94	29,94	33,93
	0,00	28,75	23,79	31,73	26,77	28,75	34,70	29,74	37,67	41,64	43,62
	0,00	27,81	19,87	28,80	19,87	21,85	30,79	27,81	31,78	25,83	26,82
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A8 (1%HEC, 20%EVA)	0,00	22,55	23,53	37,25	31,37	35,29	38,23	35,29	40,19	38,23	39,21
	0,00	29,45	18,65	34,36	27,49	29,45	33,38	23,56	35,34	33,38	32,40
	0,00	28,81	11,92	32,78	25,83	26,82	28,81	22,85	36,75	31,79	33,77
	0,00	26,75	21,80	33,69	23,78	25,76	32,69	17,83	34,68	33,69	31,70

**Tabela A.13 – Resultados individuais de variação dimensional durante secagem**

Argamassa	VARIÇÃO DIMENSIONAL DIÁRIA - SECAGEM (%)																
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
A0 (0%HEC, 0%EVA)	2,97	-3,96	-2,97	-2,97	2,97	0,99	-3,96	-3,96	-4,95	-4,95	-4,95	-2,97	-4,95	-4,95	-2,97	-1,98	-2,97
	7,86	-1,97	0,98	-0,98	1,97	3,93	0,98	0,98	0,00	0,00	0,00	1,97	1,97	1,97	2,95	2,95	2,95
	12,94	3,98	4,98	3,98	8,96	5,97	5,97	5,97	5,97	3,98	3,98	3,98	3,98	5,97	5,97	6,97	5,97
	16,70	5,89	7,86	6,88	14,73	7,86	6,88	4,91	4,91	5,89	5,89	5,89	5,89	4,91	4,91	6,88	5,89
A1 (0%HEC, 10%EVA)	37,22	23,51	25,47	22,53	42,12	27,43	25,47	23,51	22,53	22,53	21,55	21,55	21,55	22,53	22,53	22,53	21,55
	27,54	16,72	20,65	16,72	36,39	20,65	21,64	20,65	18,69	18,69	18,69	19,67	19,67	18,69	19,67	23,61	19,67
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2 (0%HEC, 20%EVA)	25,80	17,86	21,83	17,86	30,76	16,87	16,87	17,86	17,86	18,85	19,84	23,81	21,83	23,81	21,83	24,80	21,83
	48,01	22,53	27,43	22,53	40,17	30,37	30,37	30,37	28,41	28,41	28,41	30,37	29,39	28,41	28,41	29,39	28,41
	45,61	19,83	24,79	21,81	30,74	27,76	28,75	26,77	22,80	22,80	21,81	21,81	21,81	22,80	23,80	31,73	23,80
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3 (0,5%HEC, 0%EVA)	36,78	20,87	25,84	26,84	40,75	27,83	27,83	26,84	25,84	24,85	22,86	23,86	23,86	24,85	23,86	28,83	24,85
	27,70	17,81	23,74	21,76	34,62	23,74	23,74	23,74	23,74	23,74	22,75	22,75	22,75	23,74	22,75	28,69	23,74
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A4 (0,5%HEC, 10%EVA)	26,98	7,99	14,99	15,99	24,98	13,99	14,99	13,99	12,99	12,99	11,99	11,99	11,99	12,99	13,99	23,98	13,99
	34,50	18,73	18,73	29,57	35,48	23,66	25,63	22,67	20,70	20,70	20,70	24,64	22,67	24,64	23,66	31,54	24,64
	39,67	18,84	24,79	29,75	33,72	21,82	27,77	23,80	23,80	23,80	22,81	26,78	25,79	26,78	26,78	33,72	27,77
	39,99	21,99	25,99	27,99	37,99	24,99	31,99	29,99	26,99	27,99	28,99	28,99	28,99	27,99	29,99	35,99	28,99

*cont.*

**Tabela A.13 – Resultados individuais de variação dimensional durante secagem (cont.)**

Argamassa	VARIACÃO DIMENSIONAL DIÁRIA - SECAGEM (%)																
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
A5 (0,5%HEC, 20%EVA)	44,62	35,70	35,70	49,58	55,53	41,65	39,66	39,66	38,67	38,67	40,65	38,67	38,67	39,66	38,67	42,64	40,65
	38,91	29,93	25,94	38,91	40,90	31,93	37,91	35,92	33,92	34,92	35,92	34,92	34,92	35,92	34,92	38,91	35,92
	25,95	13,97	12,97	25,95	24,95	19,96	28,94	22,95	20,96	20,96	19,96	22,95	20,96	20,96	19,96	22,95	21,95
	45,48	40,54	40,54	47,46	52,40	46,47	50,43	45,48	43,51	43,51	45,48	42,52	43,51	43,51	44,49	50,43	45,48
A6 (1%HEC, 0%EVA)	29,43	21,58	28,45	33,35	42,18	30,41	29,43	30,41	31,39	29,43	25,50	29,43	29,43	29,43	28,45	37,28	30,41
	32,60	27,66	29,63	32,60	41,48	29,63	31,61	29,63	31,61	27,66	25,68	28,64	27,66	27,66	27,66	34,57	29,63
	36,67	27,75	31,71	34,69	41,62	29,73	33,70	31,71	33,70	31,71	27,75	27,75	27,75	29,73	29,73	39,64	31,71
	36,81	16,91	34,82	28,85	36,81	32,83	35,82	33,83	31,84	29,85	19,90	29,85	28,85	29,85	29,85	40,79	31,84
A7 (1%HEC, 10%EVA)	33,93	11,98	19,96	25,95	22,95	13,97	21,96	15,97	16,97	15,97	13,97	13,97	13,97	15,97	14,97	24,95	15,97
	43,62	19,83	29,74	40,65	33,71	26,77	29,74	25,78	27,76	25,78	24,79	23,79	24,79	25,78	25,78	33,71	24,79
	26,82	16,89	28,80	28,80	32,78	18,87	26,82	23,84	22,85	20,86	20,86	24,83	22,85	22,85	23,84	30,79	24,83
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A8 (1%HEC, 20%EVA)	39,21	25,49	27,45	37,25	47,05	29,41	41,17	30,39	29,41	34,31	42,15	42,15	40,19	40,19	39,21	43,13	40,19
	32,40	16,69	18,65	29,45	37,31	18,65	31,42	29,45	18,65	30,43	31,42	30,43	30,43	31,42	32,40	38,29	32,40
	33,77	17,88	35,76	23,84	39,73	22,85	32,78	30,79	22,85	31,79	33,77	32,78	32,78	33,77	33,77	35,76	32,78
	31,70	16,84	31,70	26,75	38,64	19,82	27,74	24,77	22,79	25,76	28,73	26,75	28,73	27,74	28,73	32,69	29,72

## ***APÊNDICE B***

### **RESULTADOS DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA DE MÉDIAS**

**Tabela B.1 – Influência das condições de exposição na resistência à compressão – Resultados da comparação múltipla de médias (Teste de Duncan)**

Argamassa	Resistência à compressão axial		
	Condição de exposição 1 e 3	Condição de exposição 1 e 2	Condição de exposição 2 e 3
A0 (0%HEC; 0%EVA)	NÃO DIFERE	DIFERE	DIFERE
A1 (0%HEC; 10%EVA)	DIFERE	NÃO DIFERE	DIFERE
A2 (0%HEC; 20%EVA)	DIFERE	NÃO DIFERE	DIFERE
A3 (0,5%HEC; 0%EVA)	NÃO DIFERE	DIFERE	DIFERE
A4 (0,5%HEC; 10%EVA)	DIFERE	NÃO DIFERE	DIFERE
A5 (0,5%HEC, 20%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A6 (1%HEC, 0%EVA)	DIFERE	DIFERE	DIFERE
A7 (1%HEC, 10%EVA)	NÃO DIFERE	DIFERE	DIFERE
A8 (1%HEC, 20%EVA)	DIFERE	DIFERE	DIFERE

As diferenças são significativas para um nível de significância igual ou superior a 95%

**Tabela B.2 – Influência das condições de exposição na resistência à tração por compressão diametral – Resultados da comparação múltipla de médias (Teste de Duncan)**

Argamassa	Resistência à tração por compressão diametral		
	Condição de exposição 1 e 3	Condição de exposição 1 e 2	Condição de exposição 2 e 3
A0 (0%HEC; 0%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A1 (0%HEC; 10%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A2 (0%HEC; 20%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A3 (0,5%HEC; 0%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	DIFERE
A4 (0,5%HEC; 10%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	DIFERE
A5 (0,5%HEC, 20%EVA)	DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A6 (1%HEC, 0%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A7 (1%HEC, 10%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A8 (1%HEC, 20%EVA)	NÃO DIFERE	DIFERE	DIFERE

As diferenças são significativas para um nível de significância igual ou superior a 95%

**Tabela B.3 – Influência das condições de exposição na resistência à tração na flexão – Resultados da comparação múltipla de médias (Teste de Duncan)**

Argamassa	Resistência à tração na flexão		
	Condição de exposição 1 e 3	Condição de exposição 1 e 2	Condição de exposição 2 e 3
A0 (0%HEC; 0%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A1 (0%HEC; 10%EVA)	DIFERE	DIFERE	NÃO DIFERE
A2 (0%HEC; 20%EVA)	NÃO DIFERE	DIFERE	DIFERE
A3 (0,5%HEC; 0%EVA)	DIFERE	DIFERE	NÃO DIFERE
A4 (0,5%HEC; 10%EVA)	DIFERE	DIFERE	DIFERE
A5 (0,5%HEC, 20%EVA)	DIFERE	DIFERE	DIFERE
A6 (1%HEC, 0%EVA)	DIFERE	DIFERE	NÃO DIFERE
A7 (1%HEC, 10%EVA)	NÃO DIFERE	DIFERE	DIFERE
A8 (1%HEC, 20%EVA)	DIFERE	DIFERE	DIFERE

As diferenças são significativas para um nível de significância igual ou superior a 95%

**Tabela B.4 – Influência das condições de exposição no módulo de elasticidade – Resultados da comparação múltipla de médias (Teste de Duncan)**

Argamassa	Módulo de elasticidade		
	Condição de exposição 1 e 3	Condição de exposição 1 e 2	Condição de exposição 2 e 3
A0 (0%HEC; 0%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A1 (0%HEC; 10%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A2 (0%HEC; 20%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A3 (0,5%HEC; 0%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A4 (0,5%HEC; 10%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A5 (0,5%HEC, 20%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A6 (1%HEC, 0%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A7 (1%HEC, 10%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A8 (1%HEC, 20%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE

As diferenças são significativas para um nível de significância igual ou superior a 95%

**Tabela B.5 – Influência das condições de exposição na resistência de aderência – Resultados da comparação múltipla de médias (Teste de Duncan)**

Argamassa	Resistência de aderência		
	Condição de exposição 1 e 3	Condição de exposição 1 e 2	Condição de exposição 2 e 3
A0 (0%HEC; 0%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A1 (0%HEC; 10%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A2 (0%HEC; 20%EVA)	NÃO DIFERE	DIFERE	DIFERE
A3 (0,5%HEC; 0%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A4 (0,5%HEC; 10%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A5 (0,5%HEC, 20%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A6 (1%HEC, 0%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A7 (1%HEC, 10%EVA)	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE	NÃO DIFERE
A8 (1%HEC, 20%EVA)	NÃO DIFERE	DIFERE	DIFERE

As diferenças são significativas para um nível de significância igual ou superior a 95%

***APÊNDICE C***

GRÁFICOS TENSÃO x DEFORMAÇÃO

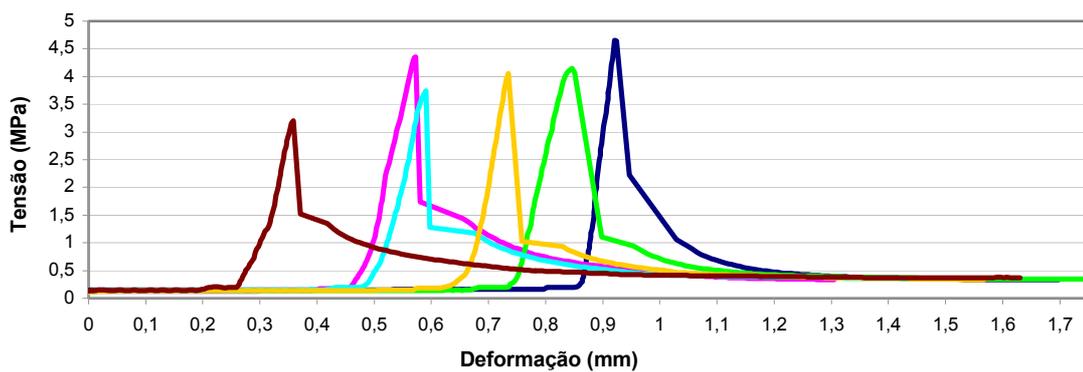


Figura C.1 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A0, submetidos à condição de exposição 1

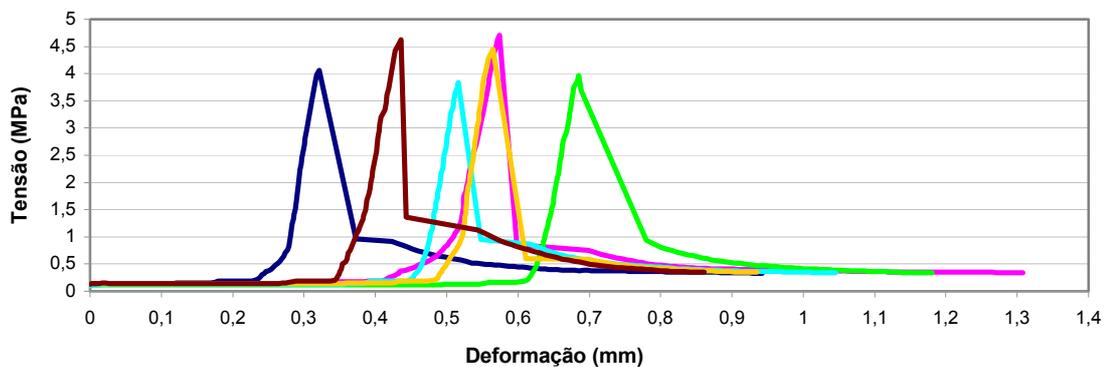


Figura C.2 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A0, submetidos à condição de exposição 2

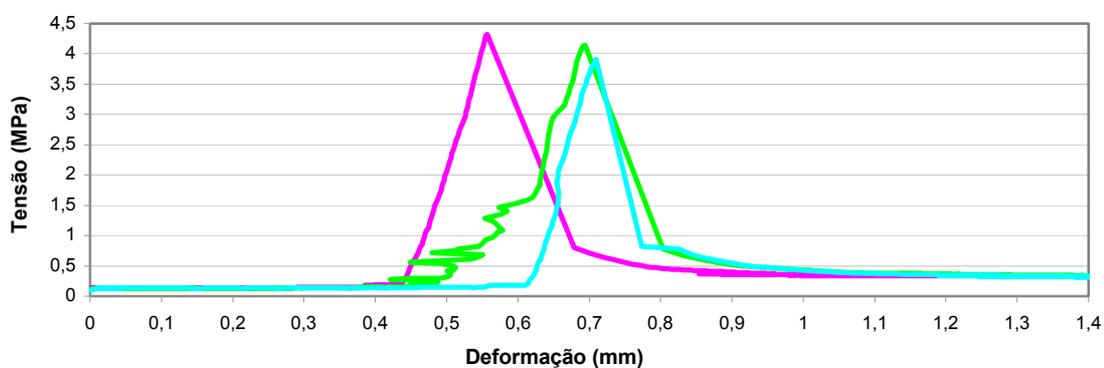


Figura C.3 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A0, submetidos à condição de exposição 3

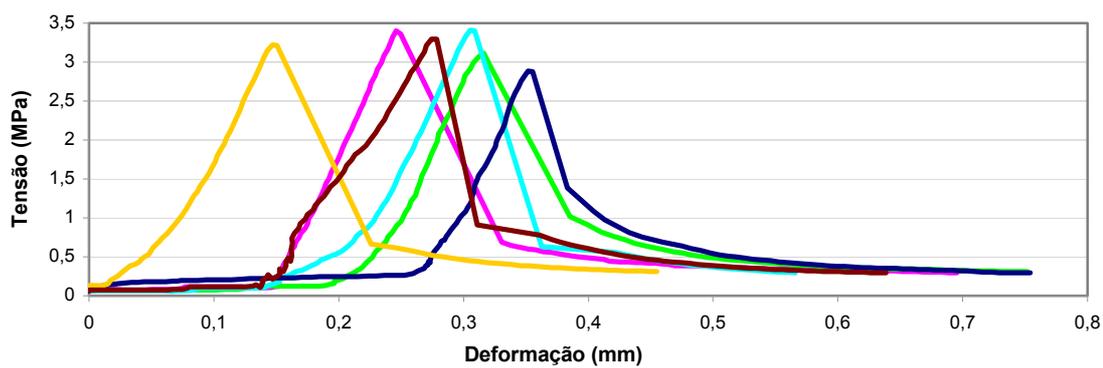


Figura C.4 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A1, submetidos à condição de exposição 1

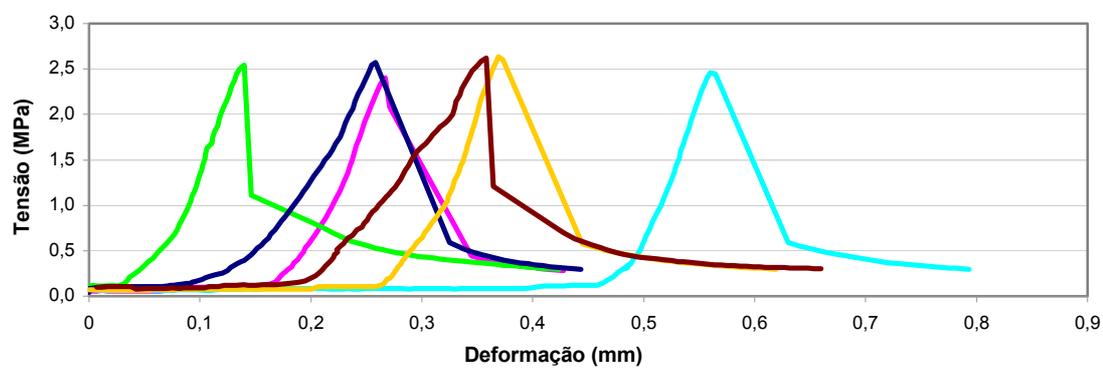


Figura C.5 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A1, submetidos à condição de exposição 2

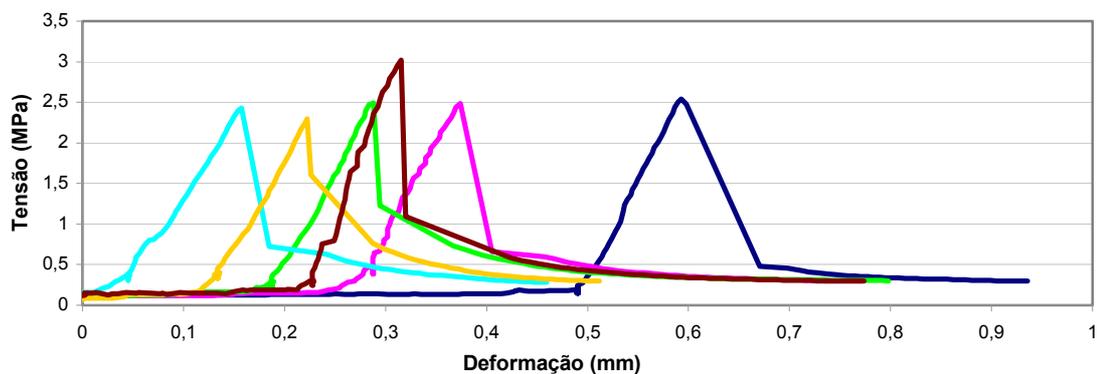


Figura C.6 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A1, submetidos à condição de exposição 3

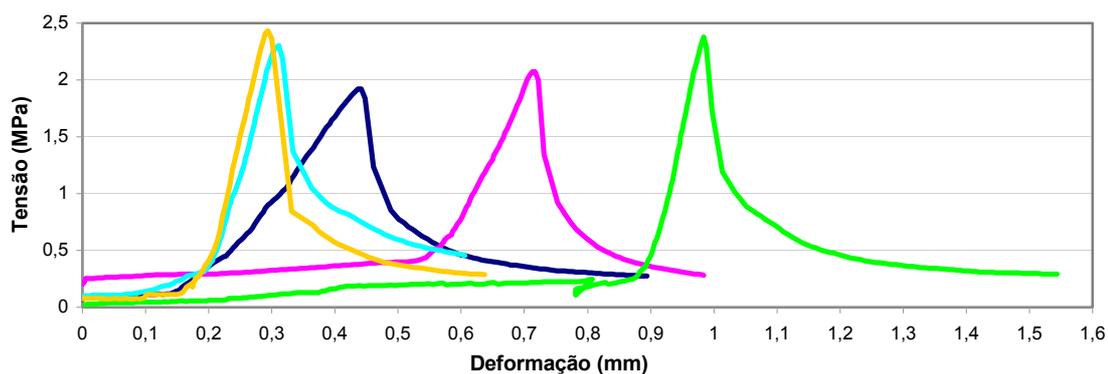


Figura C.7 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A2, submetidos à condição de exposição 1

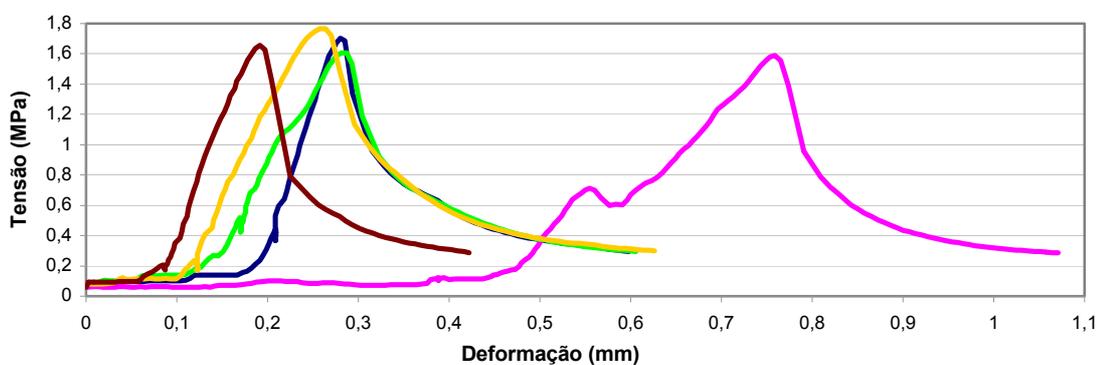


Figura C.8 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A2, submetidos à condição de exposição 2

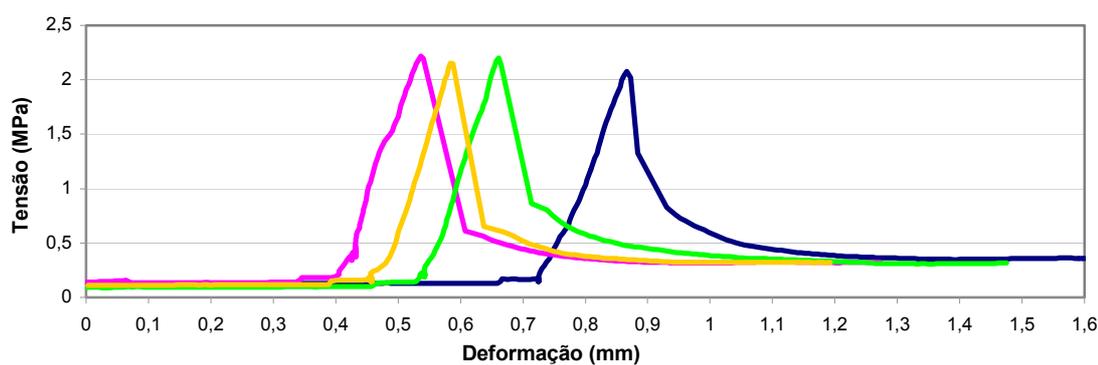


Figura C.9 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A2, submetidos à condição de exposição 3

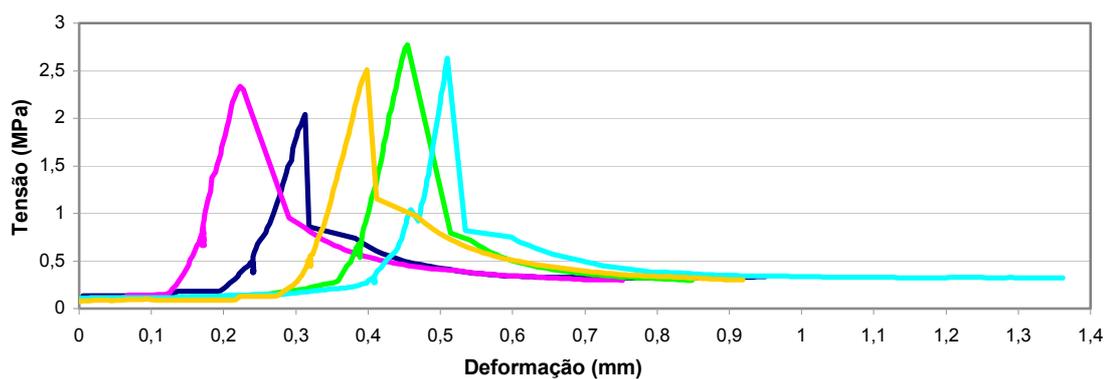


Figura C.10 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A3, submetidos à condição de exposição 1

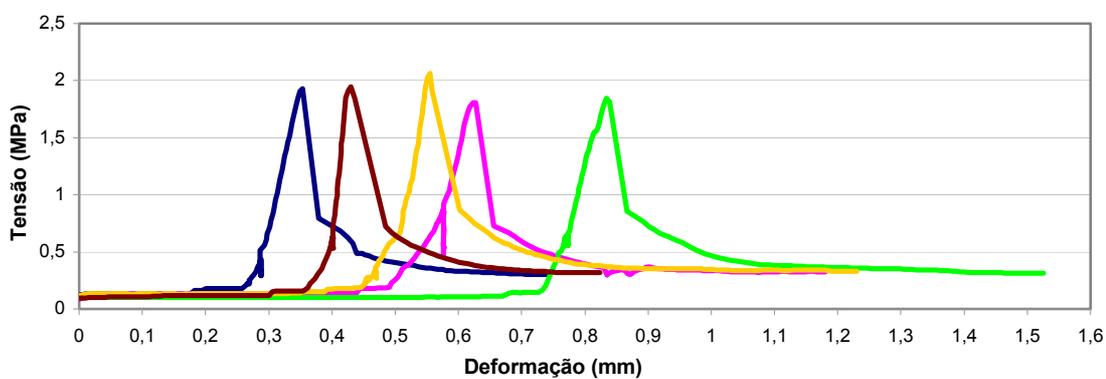


Figura C.11 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A3, submetidos à condição de exposição 2

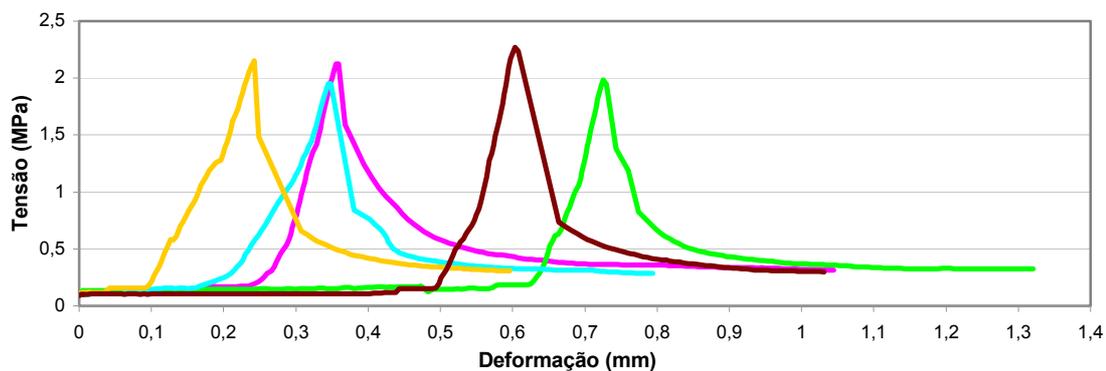


Figura C.12 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A3, submetidos à condição de exposição 3

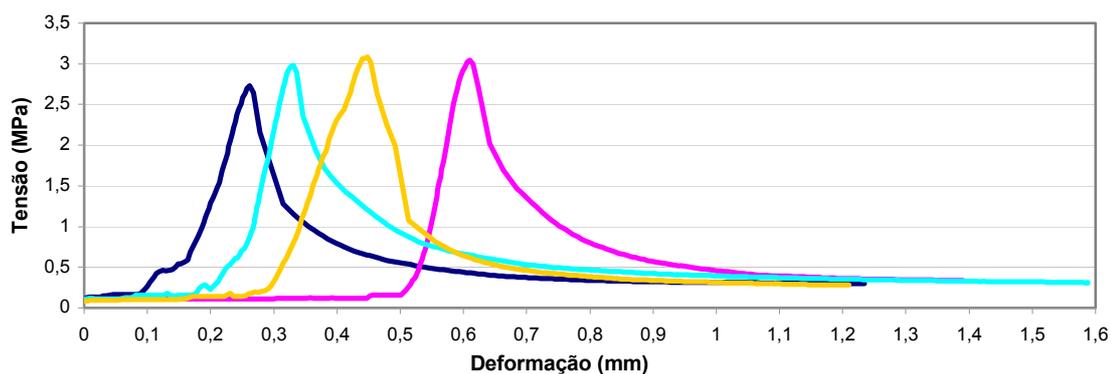


Figura C.13 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A4, submetidos à condição de exposição 1

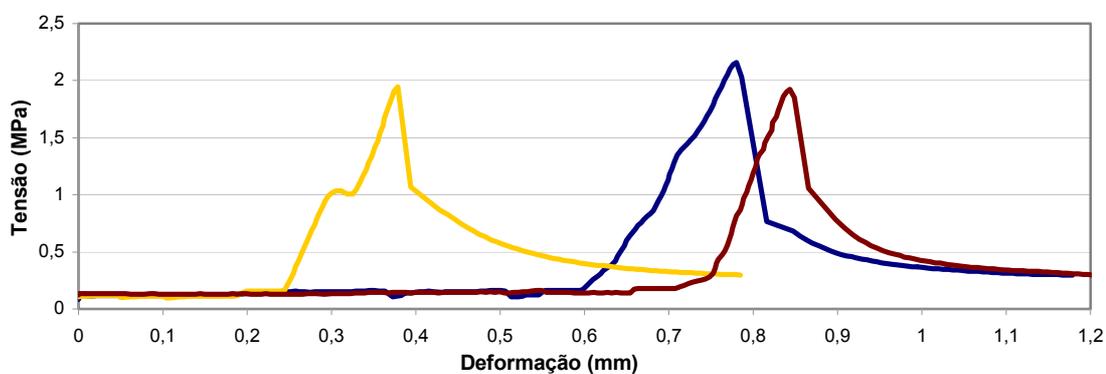


Figura C.14 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A4, submetidos à condição de exposição 2

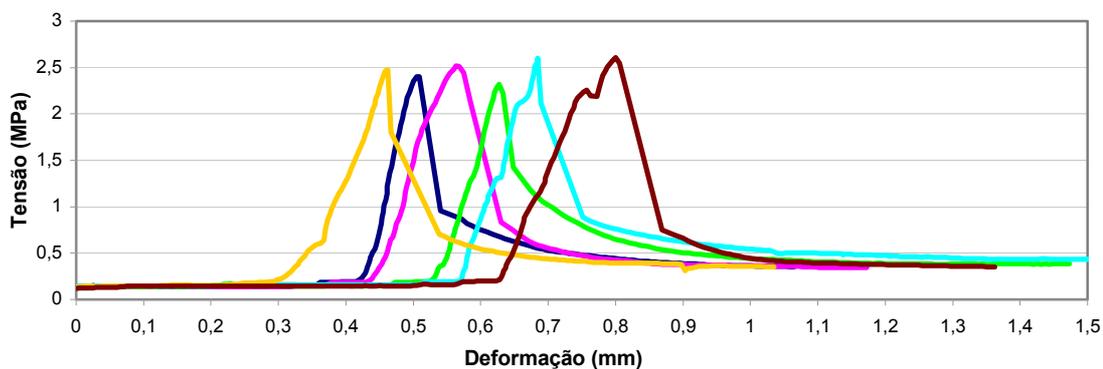


Figura C.15 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A4, submetidos à condição de exposição 3

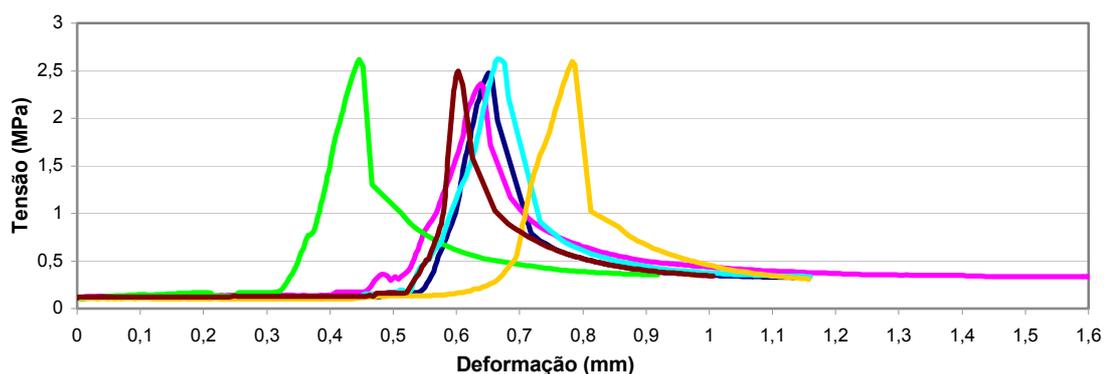


Figura C.16 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A5, submetidos à condição de exposição 1

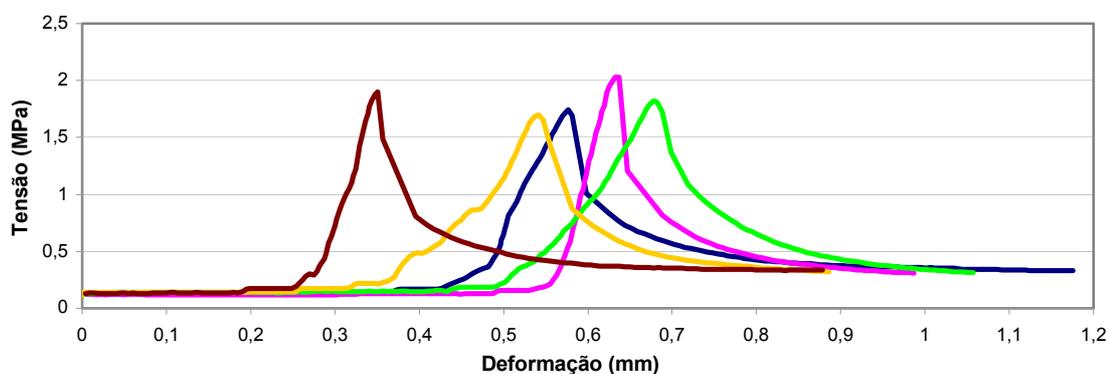


Figura C.17 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A5, submetidos à condição de exposição 2

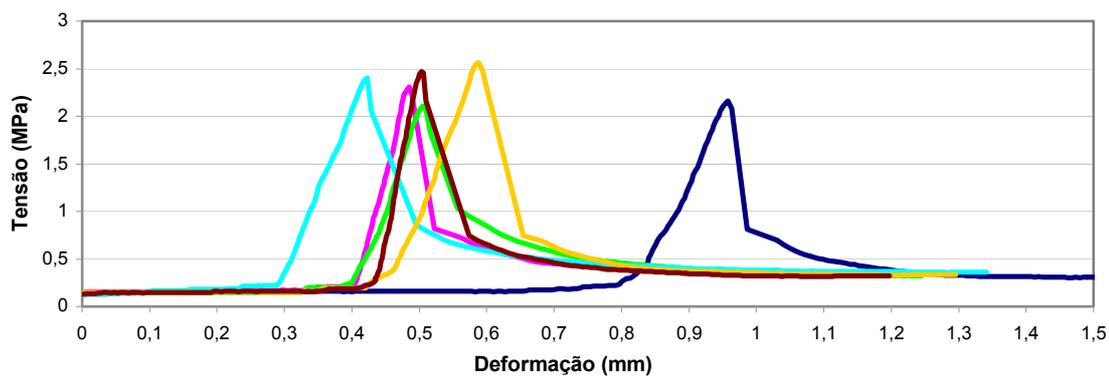


Figura C.18 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A5, submetidos à condição de exposição 3

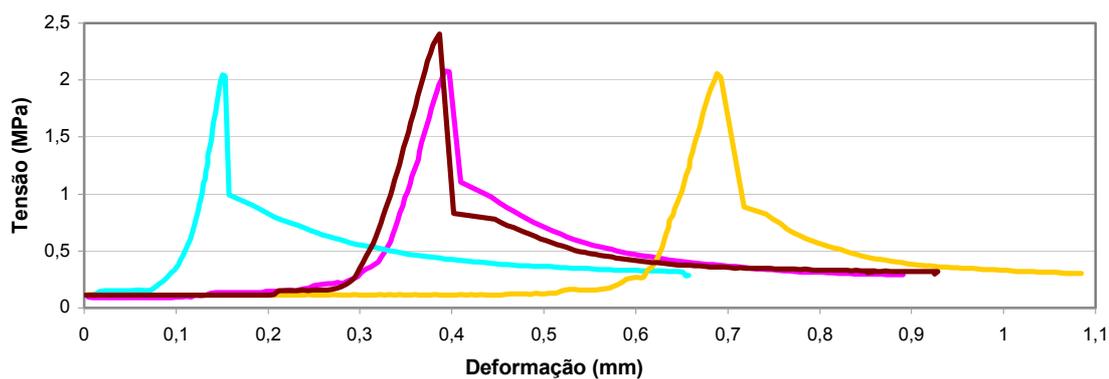


Figura C.19 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A6, submetidos à condição de exposição 1

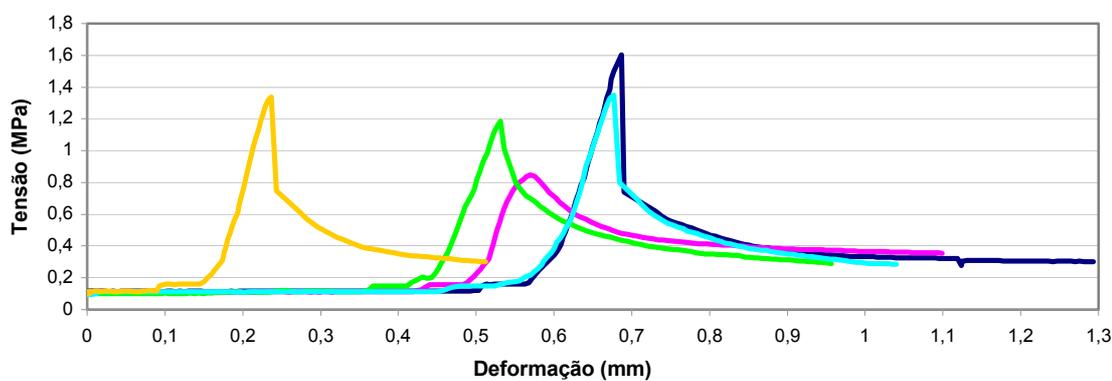


Figura C.20 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A6, submetidos à condição de exposição 2

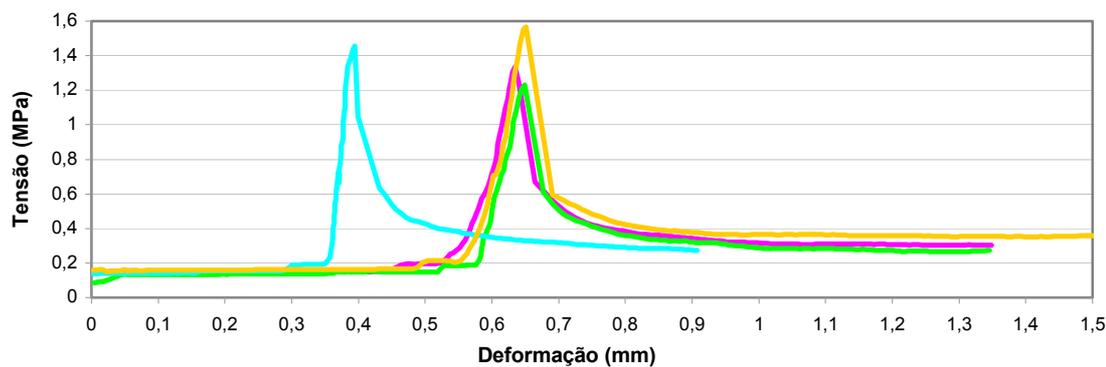


Figura C.21 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A6, submetidos à condição de exposição 3

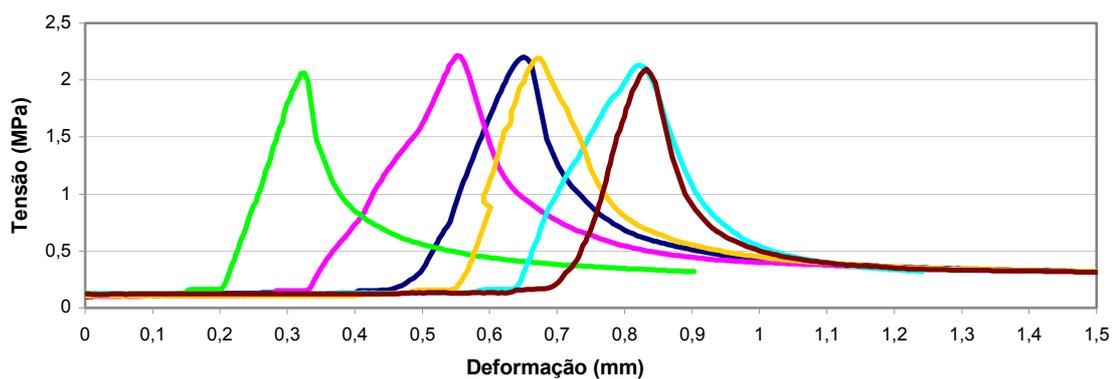


Figura C.22 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A7, submetidos à condição de exposição 1

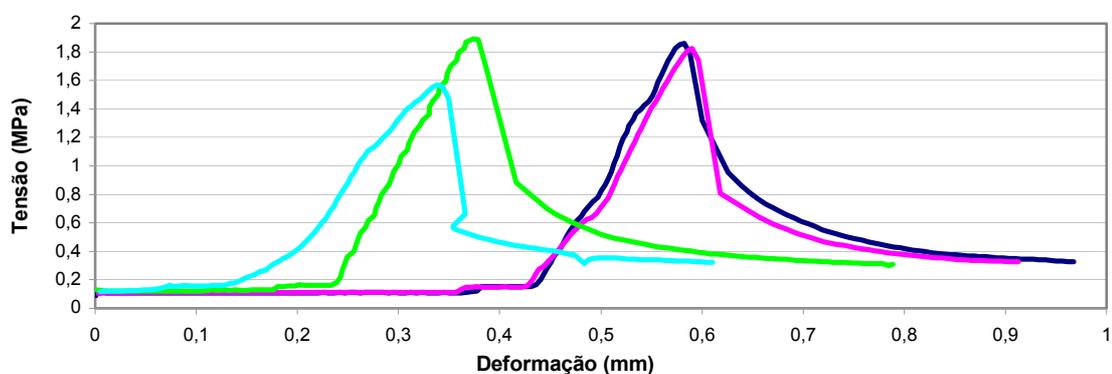


Figura C.23 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A7, submetidos à condição de exposição 2

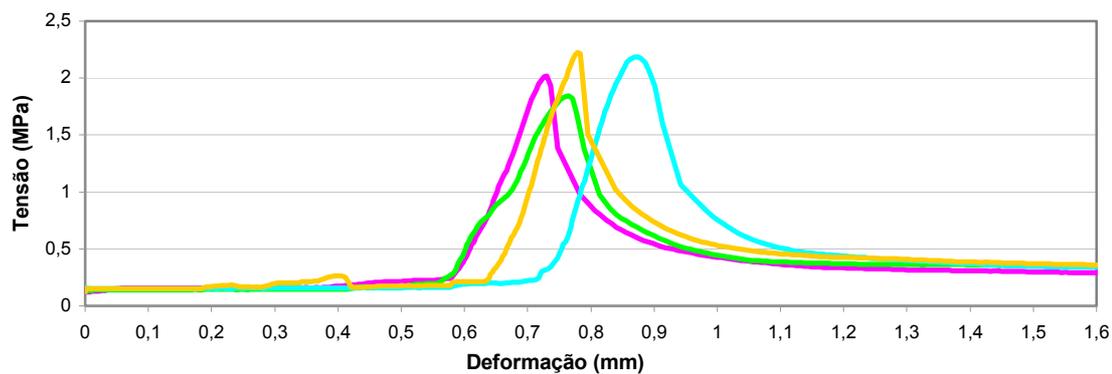


Figura C.24 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A7, submetidos à condição de exposição 3

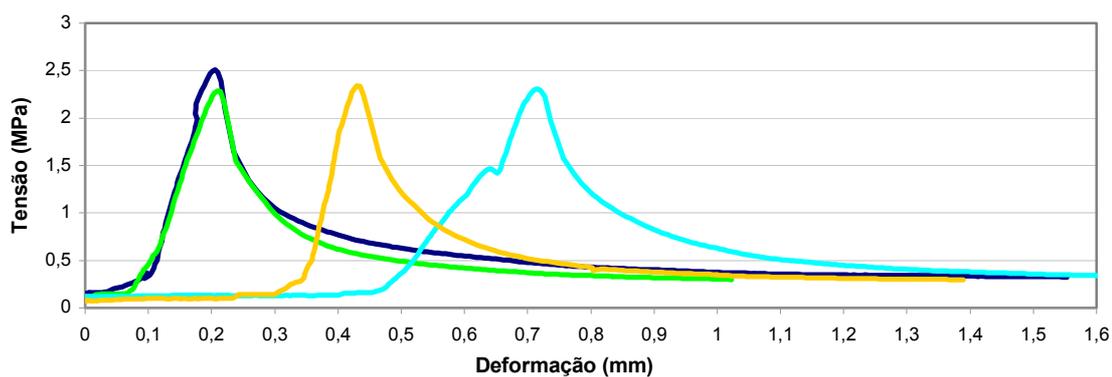


Figura C.25 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A8, submetidos à condição de exposição 1

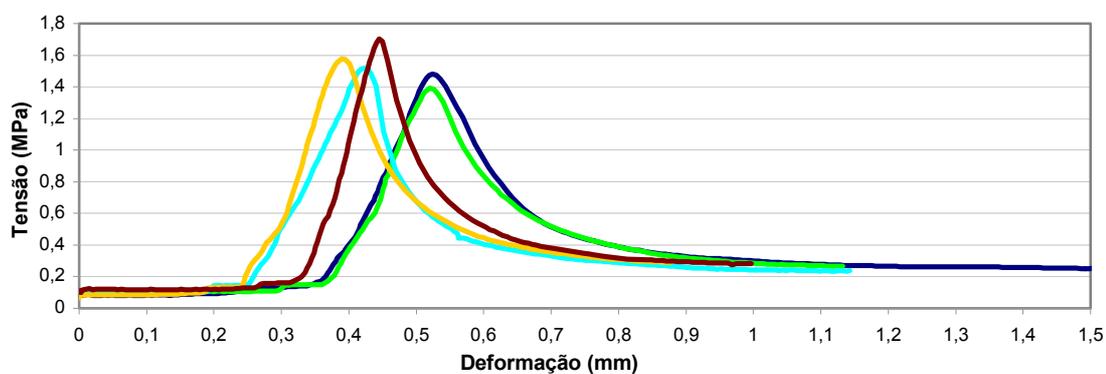


Figura C.26 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A8, submetidos à condição de exposição 2

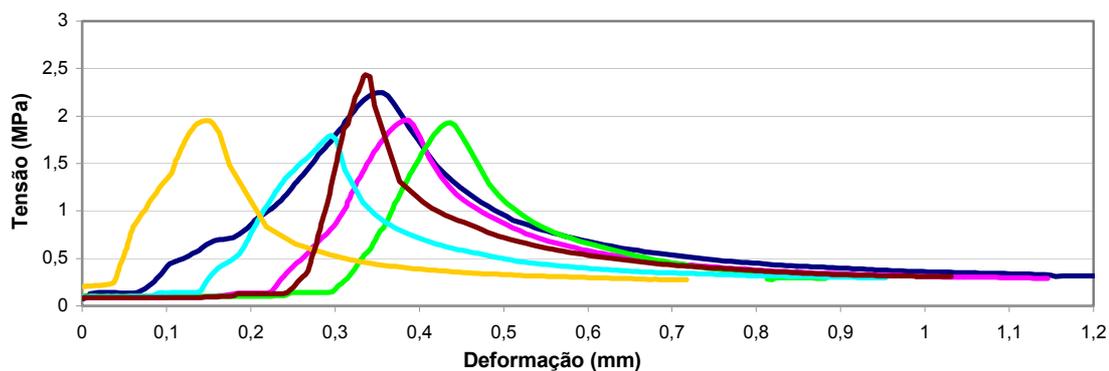
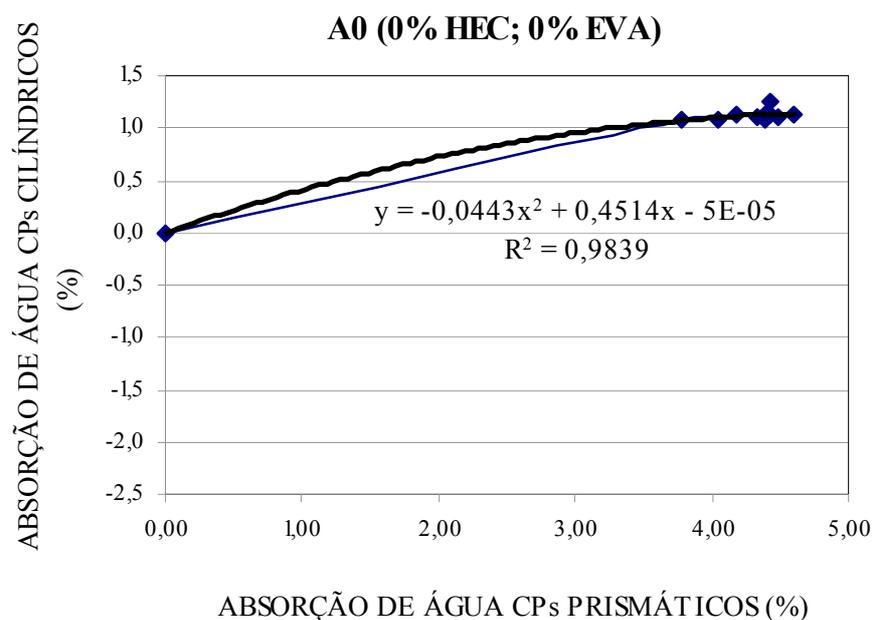


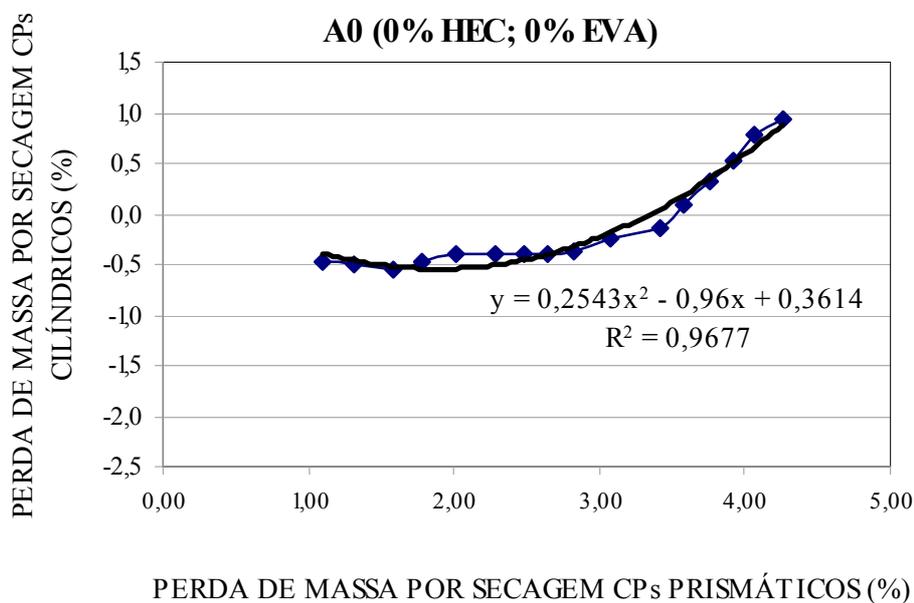
Figura C.27 – Gráfico tensão x deformação dos corpos-de-prova da argamassa A8, submetidos à condição de exposição 3

## ***APÊNDICE D***

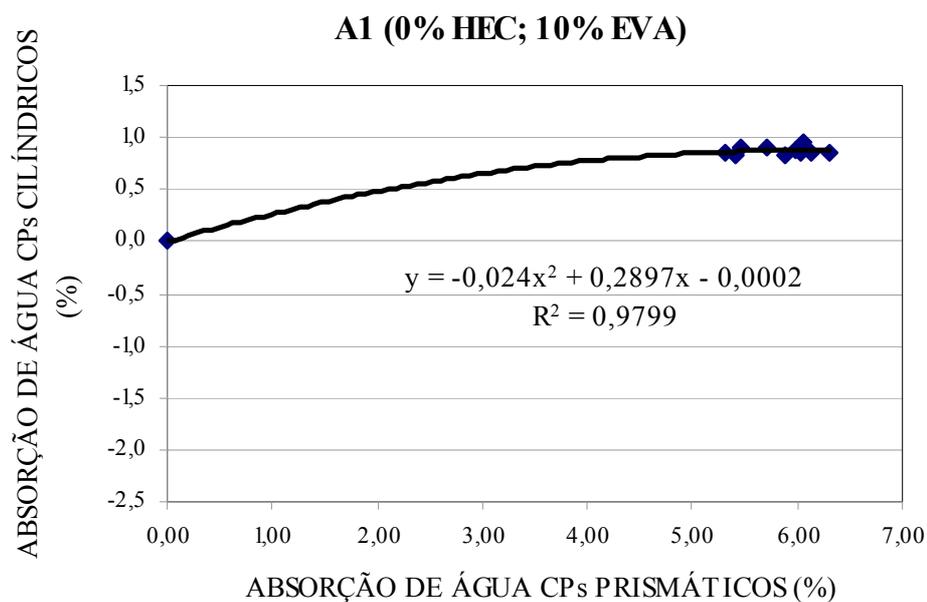
**CORRELAÇÕES DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E PERDA DE MASSA POR SECAGEM  
ENTRE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS E PRISMÁTICOS**



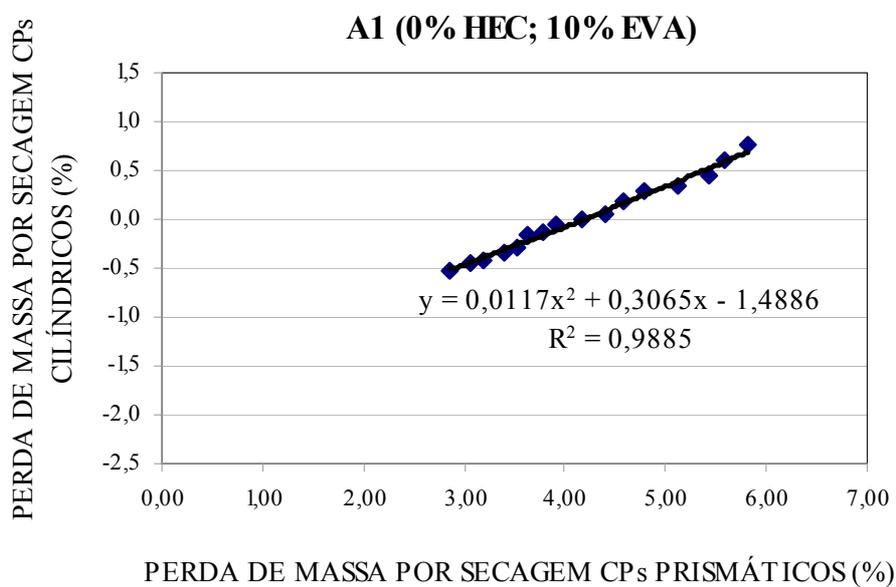
**Figura D.1 – Correlação da absorção de água entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A0**



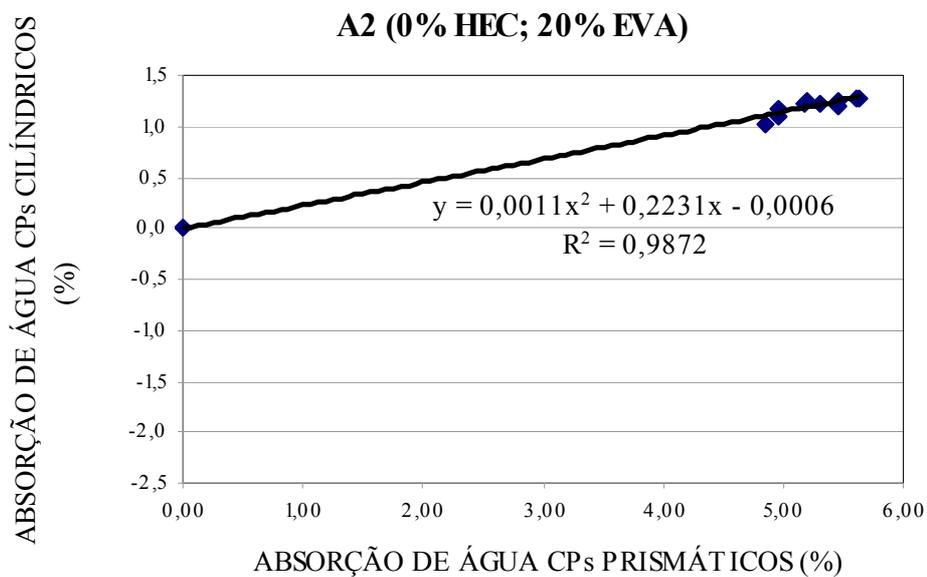
**Figura D.2 – Correlação da perda de massa por de secagem entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A0**



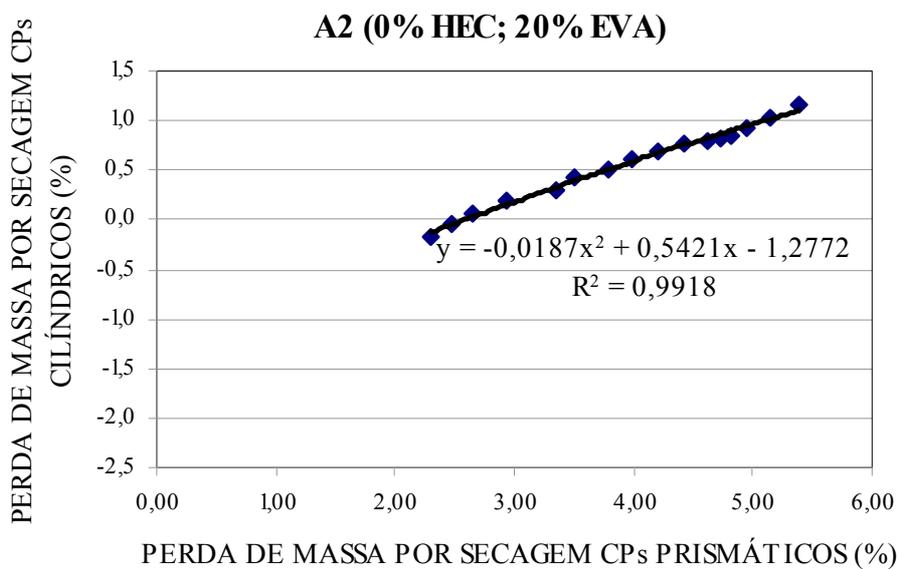
**Figura D.3 – Correlação da absorção de água entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A1**



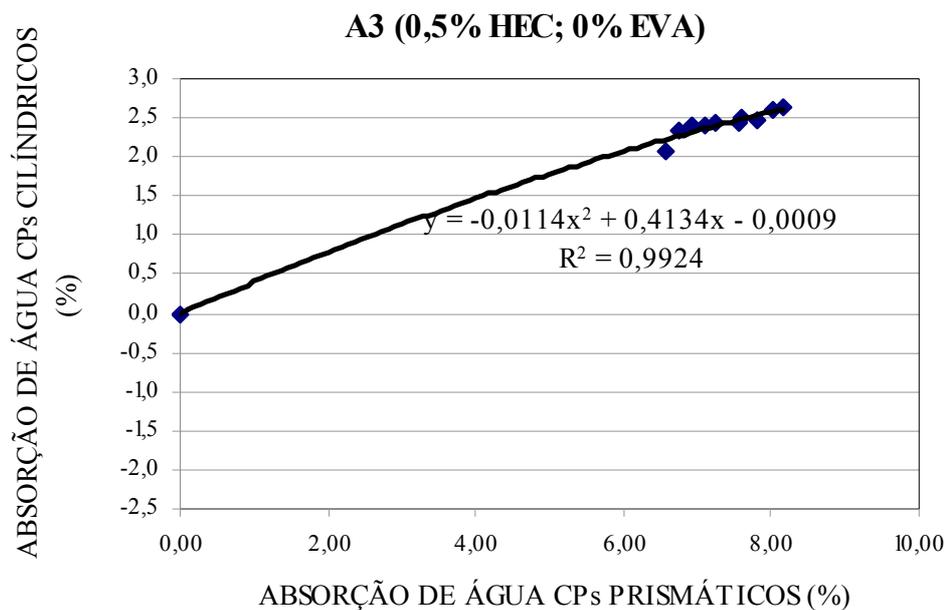
**Figura D.4 – Correlação da perda de massa por de secagem entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A1**



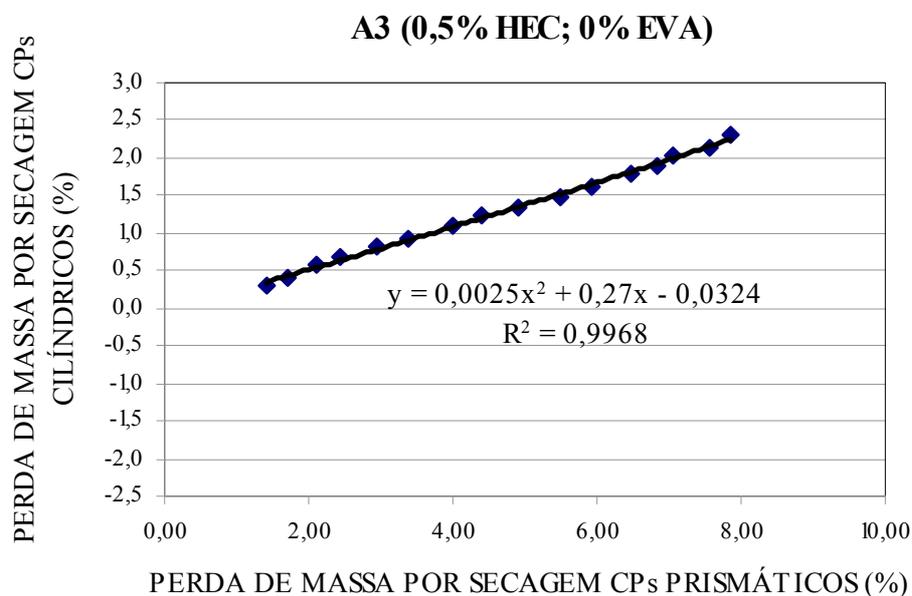
**Figura D.5 – Correlação da absorção de água entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A2**



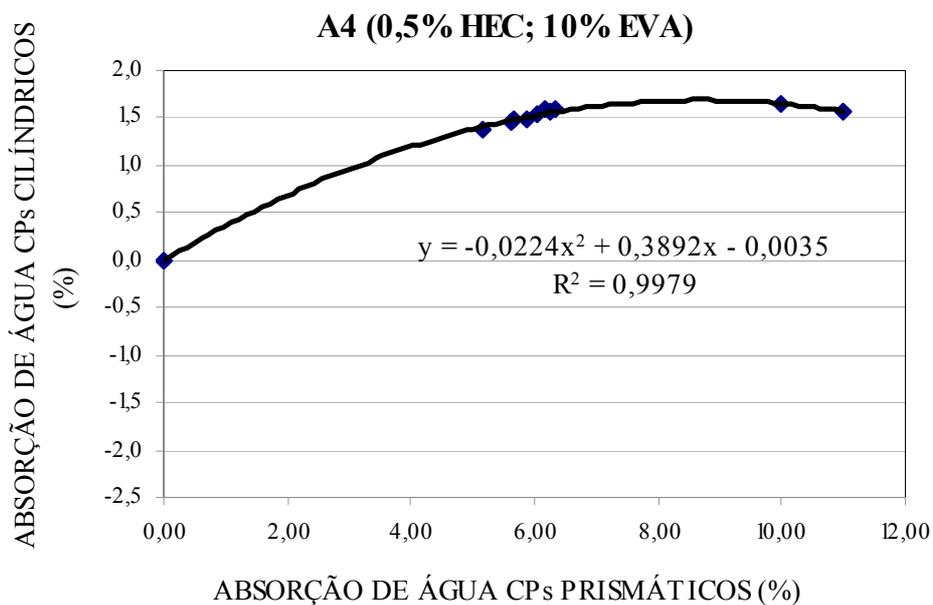
**Figura D.6 – Correlação da perda de massa por de secagem entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A2**



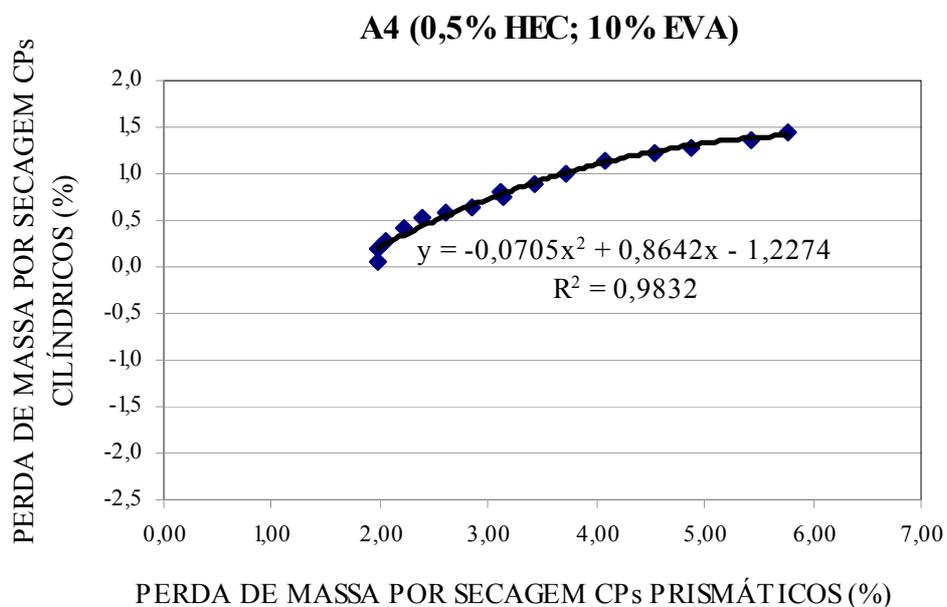
**Figura D.7 – Correlação da absorção de água entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A3**



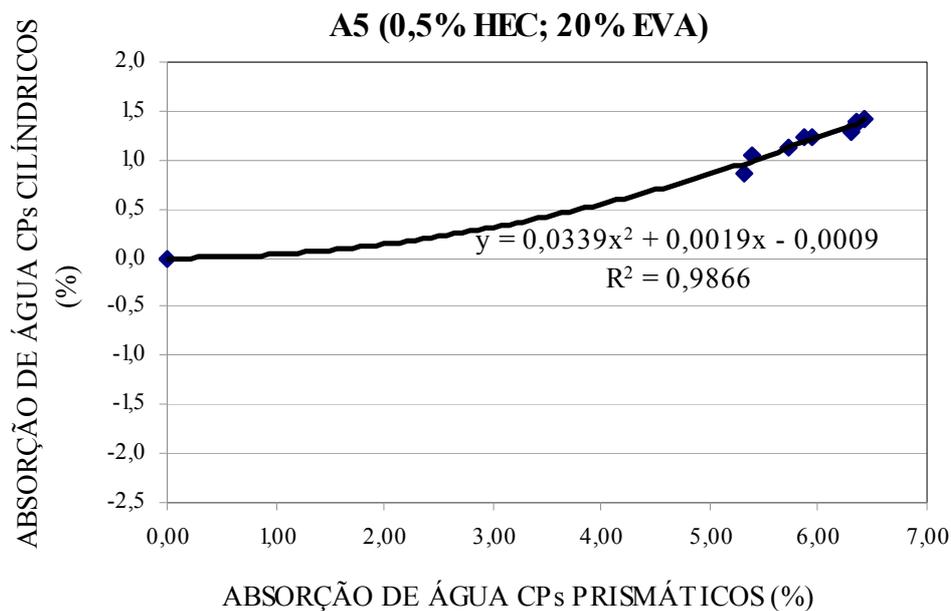
**Figura D.8 – Correlação da perda de massa por de secagem entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A3**



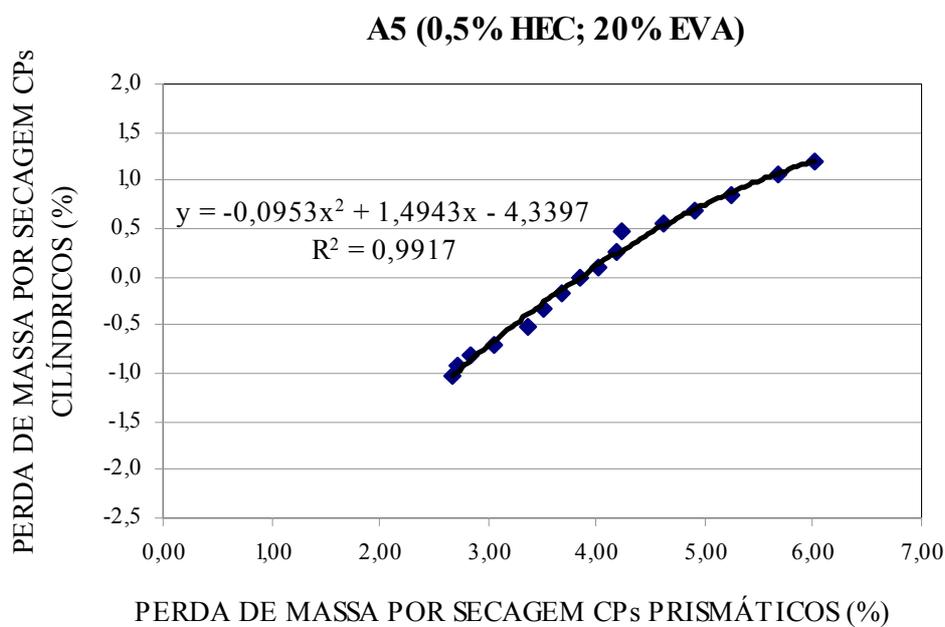
**Figura D.9 – Correlação da absorção de água entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A4**



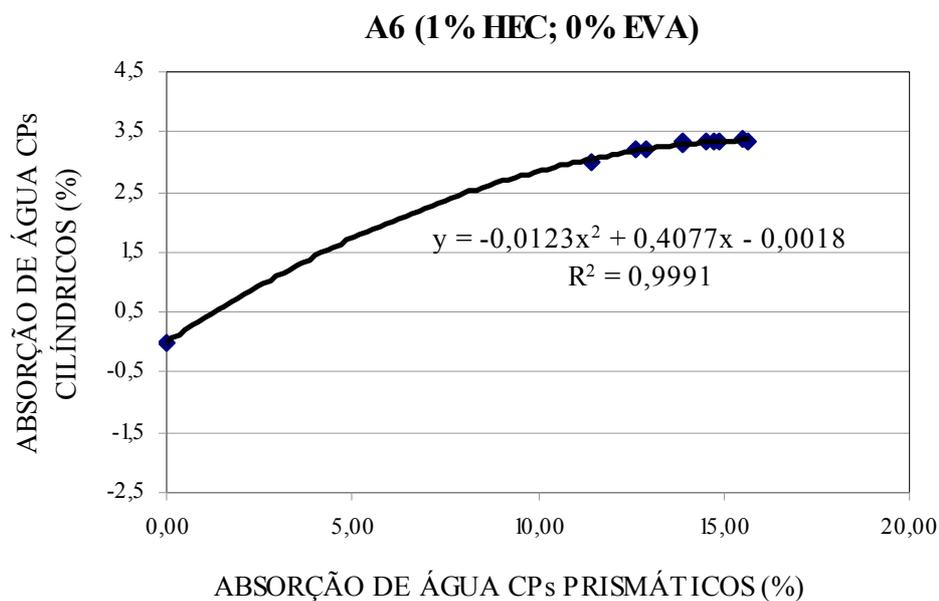
**Figura D.10 – Correlação da perda de massa por de secagem entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A4**



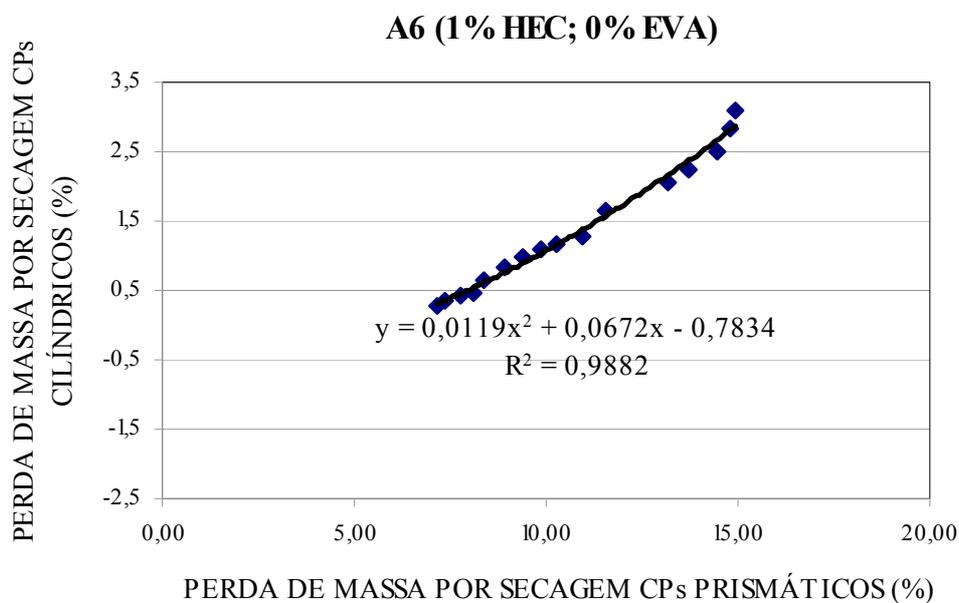
**Figura D.11 – Correlação da absorção de água entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A5**



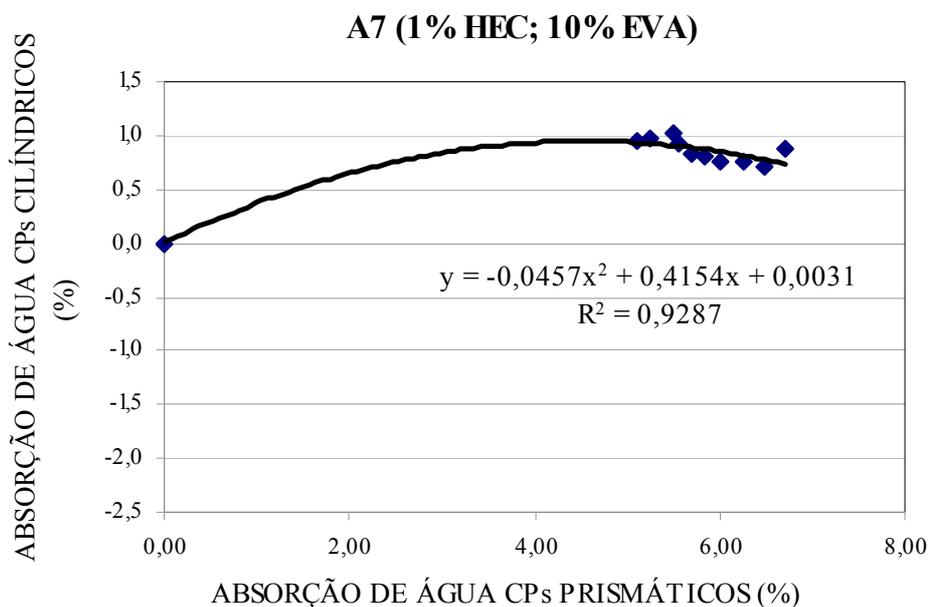
**Figura D.12 – Correlação da perda de massa por de secagem entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A5**



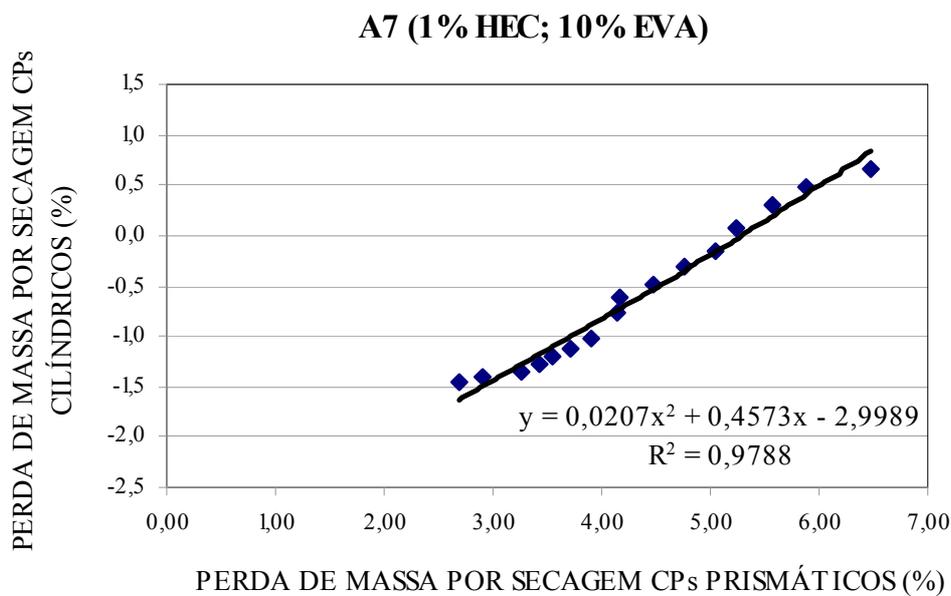
**Figura D.13 – Correlação da absorção de água entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A6**



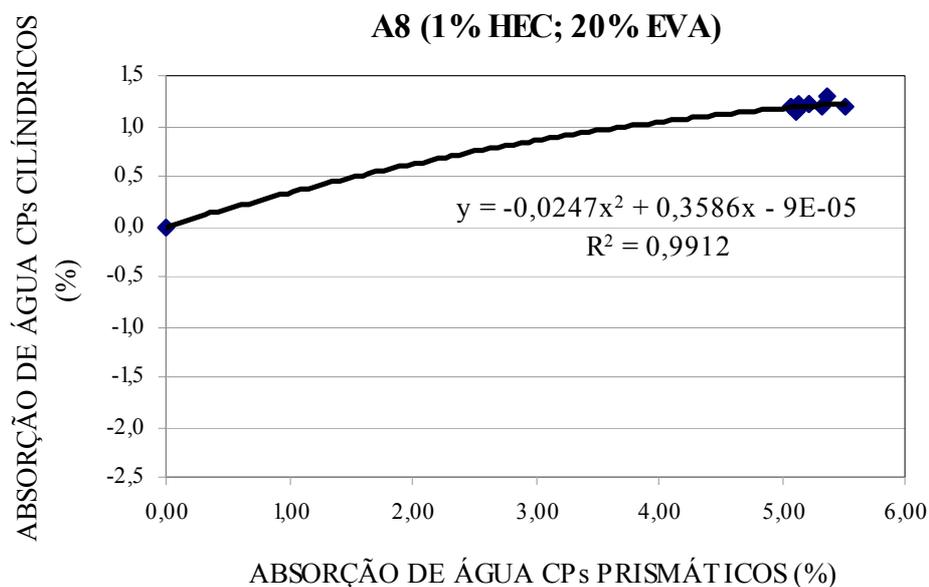
**Figura D.14 – Correlação da perda de massa por de secagem entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A6**



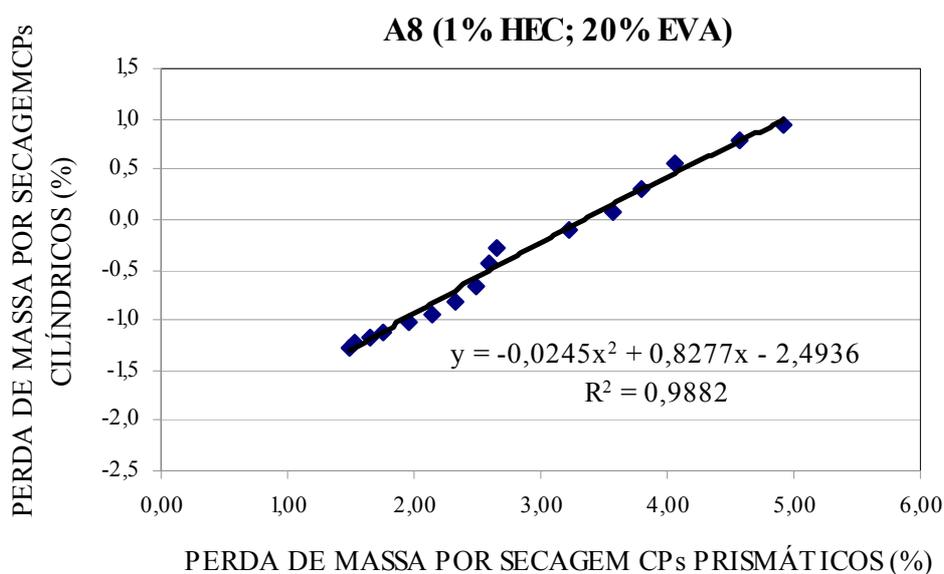
**Figura D.15 – Correlação da absorção de água entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A7**



**Figura D.16 – Correlação da perda de massa por de secagem entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A7**



**Figura D.17 – Correlação da absorção de água entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A8**



**Figura D.18 – Correlação da perda de massa por de secagem entre corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos – Argamassa A8**