

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

RELATÓRIO PARCIAL

INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mércia M. S. B. de Barros
Pesquisadora: Fernanda Belizário Silva

São Paulo, outubro de 2007.

Sumário

PARTE 1. Resumo do plano.....	5
Motivação	5
Objetivo.....	5
Plano de trabalho.....	5
Cronograma	7
PARTE 2. Resumo das atividades do primeiro período – 01/06/2006 a 10/11/2006	9
PARTE 3. Resumo das atividades do segundo período – 11/11/2006 a 10/05/2007 ..	14
PARTE 4. Atividades desenvolvidas no terceiro período – 11/05/2007 a 10/10/2007 ..	22
Revisão bibliográfica.....	22
4.1.1 Incorporação de ar em argamassas	22
4.1.2 Argamassas modificadas com polímeros	31
Definição do programa experimental.....	50
4.1.3 Traço da argamassa a ser utilizada.....	51
4.1.4 Procedimento de cura dos corpos de prova	51
4.1.5 Idade das avaliações dos corpos-de-prova no estado endurecido.....	51
4.1.6 Teores e tipos de polímeros a serem investigados	51
4.1.7 Incorporador de ar a ser utilizado	52
4.1.8 Demais parâmetros e programação de realização dos ensaios.....	52
Contribuições a trabalhos de outros pesquisadores.....	56
Publicação científica	57
4.1.9 49º Congresso Brasileiro do Concreto.....	57
4.1.10 15º Simpósio internacional de iniciação científica da Universidade de São Paulo (SIICUSP).....	57
PARTE 5. Considerações finais	58
Quanto aos objetivos a serem atingidos.....	58
Quanto às dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento da terceira etapa do trabalho.....	58
Novo cronograma para o trabalho	59
PARTE 6. Referências bibliográficas.....	60
PARTE 7. Outras bibliografias consultadas.....	63
PARTE 8. Anexos.....	65
Anexo A – Relatório sobre suscetibilidade das argamassas ao processamento, de Romano et al. (2007).....	65
Anexo B – Apresentação dos resultados dos ensaios realizados pela pesquisadora e Renata Monte	84

Anexo C – Artigo publicado nos anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto....	92
Anexo D – Resumo elaborado para participação no 15º SIICUSP (Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP)	109

PARTE 1. Resumo do plano

1.1. *Motivação*

A capacidade de deformação de uma determinada argamassa é um dado essencial para avaliar sua aplicabilidade, pois expressa a capacidade do material de se deformar sem que ocorra ruptura na forma de fissuras visíveis, que possam prejudicar seu desempenho. Esta propriedade é expressa pelo módulo de deformação, que é a relação entre a tensão atuante em um corpo e a deformação produzida por essa tensão. Há diferentes métodos de ensaio para a determinação dessa propriedade, os quais fornecem resultados distintos, o que dificulta tanto a caracterização de argamassas como comparações entre estudos científicos diversos.

Buscando contribuir para que possa existir um consenso no meio técnico e científico quanto à determinação desta propriedade é que se propôs a realização da presente pesquisa, cujo escopo envolve a comparação de diferentes métodos de avaliação do módulo de deformação.

1.2. *Objetivo*

O objetivo desta pesquisa é avaliar os principais métodos de ensaio para a determinação do módulo de deformação de argamassas. Os ensaios terão seus resultados comparados e relacionados entre si, e serão analisadas a confiabilidade de cada ensaio e a repetibilidade de seus resultados, bem como a facilidade ou dificuldade de realização inerente a cada método, de modo que se identifique aquele que melhor se adequa à avaliação desta propriedade.

1.3. *Plano de trabalho*

O projeto será iniciado com uma pesquisa bibliográfica do assunto, que será realizada tanto em bibliotecas como por meio de pesquisas em bases de dados disponíveis na internet e em CD-ROM. A partir deste levantamento, serão definidos, mais precisamente, os métodos de ensaio que deverão ser avaliados e o número de corpos-de-prova necessário para cada método. Estão

previstas, inicialmente, duas dosagens de argamassas, de modo a se avaliar a capacidade de diferenciação dos vários ensaios.

Um dos pontos já definidos é que as argamassas serão feitas em laboratório. Para isto, serão utilizadas as instalações dos laboratórios do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica (PCC), que dispõe de toda infra-estrutura necessária, tanto para a produção de argamassas como para realização de todos os ensaios previstos.

A fim de se obter a caracterização necessária dos materiais envolvidos na pesquisa, serão realizados os ensaios listados na Tabela 1-1.

Tabela 1-1 - Ensaio de caracterização dos materiais no estado anidro.

Material	Ensaio	Norma ou procedimento
Cimento	Densidade de massa específica	Picnômetro de gás Hélio
	Densidade de massa unitária	NBR 7251 (ABNT, 1982)
Cal	Densidade de massa específica	Picnômetro de gás Hélio
	Densidade de massa unitária	NBR 7251 (ABNT, 1982)
	Resíduo insolúvel	NBR NM 15 (ABNT, 2004)
Areia	Granulometria	NBR 7217 (ABNT, 1987)
	Densidade de massa específica	Picnômetro de gás Hélio
	Densidade de massa unitária	NBR 7251 (ABNT, 1982)

Será também realizada a caracterização da argamassa no estado fresco, de acordo com os seguintes ensaios:

- Ensaio de consistência pelo “*dropping ball*”, segundo a BS 4551 (BSI, 1980);
- Densidade de massa aparente, segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005).

Para a caracterização no estado endurecido, será realizado o ensaio de densidade de massa aparente, segundo a NBR 13280 (ABNT, 1980).

Além disso, a resistência mecânica e o módulo de deformação serão avaliados segundo a metodologia proposta na Tabela 1-2. Os corpos-de-prova serão ensaiados somente em uma idade (28 dias), pois não é objetivo do trabalho avaliar a evolução do módulo, e sim avaliar os métodos de medição.

Tabela 1-2 - Proposta de ensaios com os respectivos formatos de corpo de prova para a realização do programa experimental.

Traço	Corpo-de-prova Dimensões (cm)	Ensaio de caracterização no estado endurecido	Referências normativas	nº de CPs por arg.
Forte e fraco	Placa (20x7,5x1,5)	Resistência à tração na flexão	Procedimento adotado por Bastos (2001)	20
		Módulo de deformação à tração na flexão		
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS 1881 parte 203 (BSI, 1986)	
	Cubo (10x10x10)	Resistência à compressão	BS 4551 (BSI, 1980)	40
		Módulo de deformação à compressão estático com duas formas de obtenção da medida		
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS 1881 parte 203 (BSI, 1986)	
	Prisma (4x4x16)	Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	20
		Resistência à compressão		
		Módulo de deformação à compressão estático com uma forma de obtenção da medida	adaptação da NBR 7190 (ABNT, 1997)	
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS 1881 parte 203 (BSI, 1986)	
	Barra (2,5x2,5x28,5)	Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS 1881 parte 203 (BSI, 1986)	20
		Módulo de deformação pela frequência de ressonância	BS, 1990; AFNOR, 1975	

1.4. Cronograma

O cronograma de execução do trabalho, previsto no projeto inicial de pesquisa, encontra-se especificado na Figura 1-1:

Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Levantamento e análise da bibliografia	■	■	■	■								
Obtenção e caracterização dos materiais				■								
Moldagem dos corpos-de-prova					■	■						
Realização dos ensaios						■	■	■				
Análise dos resultados									■	■	■	
Elaboração dos relatórios parcial e final						■						■

Figura 1-1 - Cronograma de trabalho proposto no plano de pesquisa.

É importante ressaltar que tanto o programa de ensaios como o cronograma de atividades, propostos no plano original, sofreram algumas alterações ao longo do desenvolvimento da pesquisa, as quais foram

explicitadas no primeiro relatório parcial, particularmente nos seus itens 2.2 (definição da composição e dosagem das argamassas) e 2.3 (métodos de ensaio). Uma síntese do primeiro relatório parcial é apresentada no item que segue.

PARTE 2. Resumo das atividades do primeiro período – 01/06/2006 a 10/11/2006

Durante o primeiro período de desenvolvimento do trabalho, destaca-se a realização de uma extensa revisão bibliográfica, pela qual a pesquisadora buscou um maior entendimento sobre o material (argamassa) e a propriedade (módulo de deformação) a serem estudados. Conceituou-se a argamassa como material de construção, estudando-se seus empregos e propriedades mais importantes, focando no módulo de deformação. Acerca desta propriedade, após sua conceituação, foram discutidos os fatores que nela influenciam e descreveu-se cada um dos tipos de módulo de deformação usualmente avaliados e seus respectivos métodos de determinação.

Também nesta etapa da pesquisa, por meio de doações, foram obtidos os materiais necessários, quais sejam:

- Cimento Votoran CII-E-32, doado pela Votorantim;
- Cal hidratada Supercal CH-I, doada pela Cobrascal;
- Areia quartzosa de rio (rosada), doada pela Engemix.

Os traços a serem utilizados na pesquisa foram definidos em termos do volume de areia úmida, por ser este o procedimento adotado em obra. Foram estabelecidos, portanto, os seguintes traços:

- Traço “T1”: 1:0,5:4,5, considerado forte;
- Traço “T2”: 1:2:9, considerado fraco.

A distinção entre as dosagens é necessária para se verificar o poder de diferenciação dos vários métodos de ensaio de módulo de deformação.

Os traços em volume úmido foram convertidos para traços em massa seca, pois esta última metodologia de dosagem é mais precisa e, portanto, mais adequada para se trabalhar em laboratório. Para tanto, realizou-se primeiramente o ensaio de determinação da densidade de massa unitária dos materiais constituintes da argamassa, cujos resultados se apresentam na Tabela 2-1. A conversão dos traços é apresentada na Tabela 2-2.

Tabela 2-1 - Resultados dos ensaios de determinação da densidade de massa unitária, conforme a NBR 7251 (ABNT, 1982).

material	densidade de massa unitária (kg/dm³)
areia seca	1,51
cal	0,52
cimento	1,26

Tabela 2-2 - Conversão dos traços em volume úmido para traços em massa seca.

Traço		cimento	cal	areia
T1	Em volume úmido	1,0	0,5	4,5
	Em massa seca	1,0	0,2	3,8
T2	Em volume úmido	1,0	2,0	9,0
	Em massa seca	1,0	0,8	7,6

Em função da limitação da capacidade do misturador horizontal, foram necessárias duas moldagens para cada traço, sendo uma delas específica para a produção dos corpos-de-prova cúbicos. Antes do início da moldagem de cada traço, definiu-se o teor de água por meio do ensaio de “*dropping ball*”, estabelecido pela BS 4551 (BSI, 1980), tendo em vista um índice de penetração de 10 ± 1 mm. As composições resultantes estão apresentadas na Tabela 2-3.

Tabela 2-3 - Composição dos traços utilizados.

Traço	cimento (kg)	cal (kg)	areia (kg)	água (L)
T1	9,2	1,93	35	8,5
T2	4,6	3,78	35	9,1

Foi redefinido também o plano de ensaios para a caracterização da argamassa no estado endurecido. Reduziu-se o número de corpos-de-prova em formato de placa, pela limitação da quantidade de fôrmas. Já a capacidade do misturador limitou a quantidade de corpos-de-prova cúbicos. Incluiu-se o cilindro como formato de corpo-de-prova, pois seus métodos estão bem estabelecidos e há várias referências bibliográficas que possibilitam comparação de valores. O novo planejamento encontra-se na Tabela 2-4.

Tabela 2-4 - Planejamento e procedimentos para caracterização das argamassas no estado endurecido.

Traço	Corpo-de-prova Dimensões (cm)	Ensaio de caracterização no estado endurecido	Referências normativas	nº de CPs por traço
1:0,5:4,5 (forte) e 1:2:9 (fraco)	Placa (20x7,5x1,5)	Resistência à tração na flexão	Procedimento adotado por Bastos (2001)	8
		Módulo de deformação à tração na flexão		
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS EN 12504 (BSI, 1986)	
	Cubo (10x10x10)	Resistência à compressão	BS 4551 (BSI, 1980)	20
		Módulo de deformação à compressão estático com duas formas de obtenção da medida	adaptação da NBR 7190 (ABNT, 1997)	
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS EN 12504 (BSI, 1986)	
	Prisma (4x4x16)	Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	20
		Resistência à compressão		
		Módulo de deformação à compressão estático com uma forma de obtenção da medida	adaptação da NBR 7190 (ABNT, 1997)	
	Barra (2,5x2,5x28,5)	Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS EN 12504 (BSI, 1986)	20
		Módulo de deformação pela frequência de ressonância	BS 1881:209 (BSI, 1990); NF B 10-511 (AFNOR, 1975)	
	Cilindro (5x10)	Resistência à compressão	NBR 7215 (ABNT, 1996)	20
		Módulo de deformação à compressão estático com uma forma de obtenção da medida	adaptação da NBR 7190 (ABNT, 1997)	
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS EN 12504 (BSI, 1986)	

Como não havia sido realizada parte dos ensaios de caracterização no estado anidro (por não serem necessários para a realização das moldagens) e todas as caracterizações no estado endurecido (pois não havia transcorrido 28 dias da data das moldagens), estabeleceu-se um cronograma para realização destes ensaios, apresentado na Tabela 2-5.

Tabela 2-5 - Programação dos ensaios a serem realizados na segunda etapa do projeto.

Data	Ensaio a serem realizados	Formato dos corpos-de-prova/traço	Data de moldagem
17/nov	Caracterização no estado endurecido (treinamento)	Cubos/T1	20/out
23/nov	Caracterização no estado endurecido	Cubos/T1	26/out
24/nov	Caracterização no estado endurecido (treinamento)	Prismas, barras, cilindros e placas/T1	27/out
30/nov 01/dez	Restante da caracterização no estado anidro	-	-
04/dez	Caracterização no estado endurecido	Prismas, barras, cilindros e placas/T1	06/nov
07/dez	Caracterização no estado endurecido	Cubos/T2	09/nov
08/dez	Caracterização no estado endurecido	Prismas, barras, cilindros e placas/T2	10/nov

Realizou-se também parte do ensaio de determinação do coeficiente de inchamento, tendo sido seguidas algumas disposições da NBR 6467 (ABNT, 2006), para que se tivesse uma idéia do estado de umidade em que se encontrava a areia utilizada na pesquisa quando encaminhada à obra. A curva de inchamento resultante está ilustrada pela Figura 2-1.

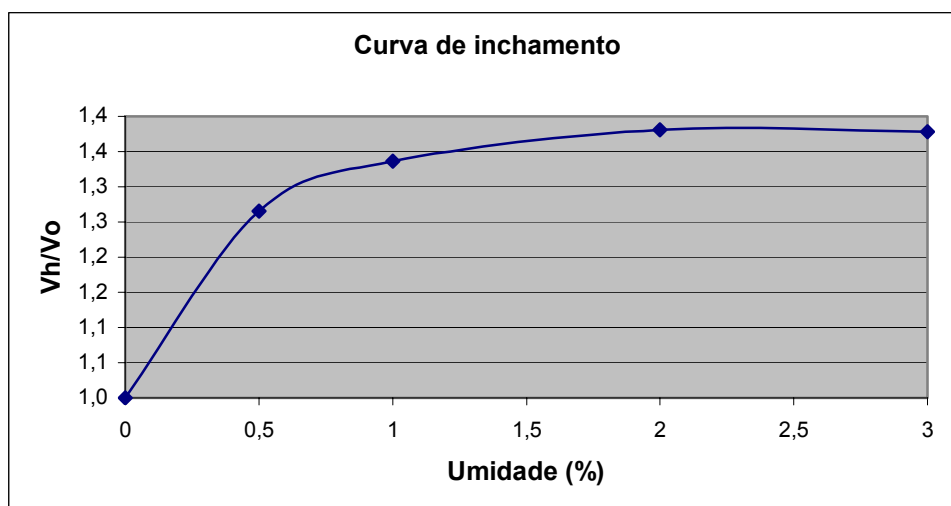


Figura 2-1 - Curva de inchamento da areia, determinada conforme NBR 6467 (ABNT, 2006).

Na Tabela 2-6, são apresentados os resultados do ensaio de “*dropping ball*”, descrito pela BS 4551 (BSI, 1980), e do ensaio de densidade de massa

aparente, segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005). A caracterização no estado fresco foi realizada no momento da moldagem dos corpos-de-prova.

Tabela 2-6 - Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas T1 e T2 no estado fresco.

Traço	Índice de penetração (mm)	Densidade de massa aparente (kg/dm³)
T1	10,8	2,1
T2	9,0	2,0

Em função de diversas dificuldades ao longo desse primeiro período, o cronograma de trabalho inicialmente proposto foi revisto para o que se apresenta na Figura 2-2.

Atividade	nov 06	dez 06	jan 07	fev 07	mar 07	abr 07	mai 07
Complementação da revisão bibliográfica							
Caracterização dos materiais							
Moldagem dos corpos-de-prova							
Realização dos ensaios							
Análise dos resultados							
Elaboração do relatório final							

Figura 2-2 - Cronograma de atividades proposto no primeiro relatório parcial de pesquisa.

PARTE 3. Resumo das atividades do segundo período – 11/11/2006 a 10/05/2007

Durante o segundo período da pesquisa, foi concluído o programa experimental, iniciando-se pela realização do restante da caracterização dos materiais no estado anidro. Os resultados estão apresentados na Tabela 3-1 e na Figura 3-1. As mudanças que dizem respeito às referências normativas encontram-se explicadas no relatório referente a esta etapa.

Tabela 3-1 - Resultados da determinação da densidade de massa específica, pelo picnômetro de gás Hélio, e do conteúdo de resíduo insolúvel e sílica na cal, determinado conforme a NBR 6473 (ABNT, 2003).

Material	Densidade de massa específica (kg/dm ³)	Conteúdo de resíduo insolúvel e sílica (%)
areia	2,62	-
cal	2,23	1,33
cimento	2,99	-

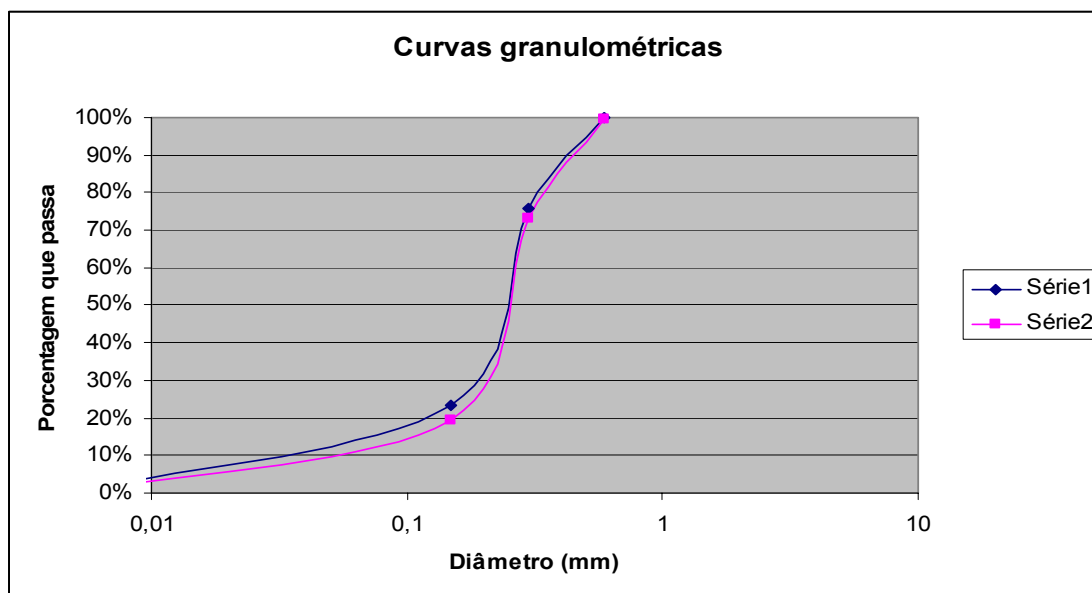


Figura 3-1 - Curvas granulométricas das duas amostras da areia empregada no programa experimental. Ensaio de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Outra etapa importante realizada neste período foi a reavaliação da escolha das normas a serem seguidas para a caracterização no estado endurecido. Desenvolveram-se também os “scripts” para os ensaios de determinação da resistência mecânica e do módulo de deformação. O estudo mais aprofundado quanto às normas a serem utilizadas e o desenvolvimento dos “scripts” de ensaio exigiram tempo superior ao que se estimara no plano proposto, o que levou a um atraso na realização do programa experimental.

Sendo assim, os corpos-de-prova foram ensaiados aos 63 dias de idade, e não aos 28, como se previu inicialmente. O resultado destas alterações está apresentado na Tabela 3-2, que sintetiza o programa experimental efetivamente adotado para a pesquisa. As discussões acerca das alterações feitas no programa e as respectivas justificativas encontram-se no segundo relatório encaminhado à FAPESP.

Tabela 3-2 - Ensaios de caracterização mecânica das argamassas no estado endurecido.

Traço	Corpo-de-prova Dimensões (cm)	Ensaios de caracterização no estado endurecido	Referências normativas	n° de CPs por ensaio (T1/T2)	n° de CPs por arg. (T1/T2)
1:0,5:4,5 (forte) e 1:2:9 (fraco)	Placa (20x7,5x 1,5)	Resistência à tração na flexão	Procedimento adotado por Bastos (2001)	3/3	8/8
		Módulo de deformação à tração na flexão		5/5	
		Módulo de deformação pelo ultrassom (2 direções – ao longo do comprimento e da espessura)	Procedimento descrito no ANEXO B do relatório	8/8	
	Cubo (10x10x10)	Resistência à compressão	Adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	3/5	23/21
		Módulo de deformação à compressão estático com duas formas de obtenção da medida (extensômetros e relógios comparadores)	Adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003)	10/10	
		Módulo de deformação pelo ultrassom	Procedimento descrito no ANEXO B do relatório	23/18	
	Prisma (4x4x16)	Resistência à tração na flexão	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	8/8	21/21
		Resistência à compressão		4/5	
		Módulo de deformação à compressão estático com uma forma de obtenção da medida (extensômetro)	Adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003)	12/11	
	Barra (2,5x2,5x 28,5)	Módulo de deformação pelo ultrassom	Procedimento descrito no ANEXO B do relatório	21/21	20/3
		Módulo de deformação pela frequência de ressonância	NF B 10-511 (AFNOR, 1975)	20/3	
	Cilindro (5x10)	Resistência à compressão	Adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	4/4	20/20
		Módulo de deformação à compressão estático com uma forma de obtenção da medida (extensômetro)	Adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003)	10/10	
		Módulo de deformação pelo ultrassom	Procedimento descrito no ANEXO B do relatório	20/20	

Com as metodologias de ensaio devidamente definidas, realizou-se a caracterização no estado endurecido, conforme o cronograma apresentado na Tabela 3-3. Os resultados desta caracterização apresentam-se da Tabela 3-4 à Tabela 3-9.

Tabela 3-3 - Cronograma de execução dos ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido.

Data	Ensaio	Formato do corpo-de-prova	Data de moldagem	Idade no ensaio (dias)
8/1/2007	Medição e pesagem	Todos	-	-
9/1/2007	Módulo de deformação pelo ultrassom	Todos	-	~63
10/1/2007	Teste dos scripts	CPs de sacrifício	-	-
11/1/2007	Resistência à compressão	Cubo (T2) Cilindro (T1)	9/11/2006	63
	Módulo de deformação à compressão		6/11/2006	66
12/1/2007	Resistência à compressão	Cilindro (T2)	10/11/2006	63
	Módulo de deformação à compressão			
	Resistência à tração na flexão	Prisma (T1)	6/11/2006	67
	Resistência à compressão			
	Módulo de deformação à compressão			
15/1/2007	Resistência à tração na flexão	Prisma (T2)	10/11/2006	66
	Resistência à compressão			
	Módulo de deformação à compressão			
16/1/2007	Resistência à tração na flexão	Placa (T1)	6/11/2006	71
	Módulo de deformação à tração na flexão	Placa (T2)	10/11/2006	67
6/2/2007	Módulo de deformação pela frequência de ressonância	Barra (T1)	6/11/2006	92
		Barra (T2)	10/11/2006	88
15/2/2007	Resistência à compressão	Cubo (T1)	8/12/2006	69
	Módulo de deformação pelo ultrassom			
	Módulo de deformação à compressão			

Tabela 3-4 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão.

Formato do corpo-de-prova	Referência normativa	σcompressão T1 (MPa)	σcompressão T2 (MPa)
Cilindro	adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	11,19	3,11
Cubo		16,14	2,39
Prisma	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	11,79	2,92

Tabela 3-5 - Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão.

Formato do corpo-de-prova	Referência normativa	tração na flexão T1 (MPa)	tração na flexão T2 (MPa)
Placa	Procedimento adotado por Bastos (2001)	2,11	0,78
Prisma	NBR13279 (ABNT, 2005)	2,73	0,92

Tabela 3-6 - Resultados dos ensaios de módulo de deformação à compressão (tangente inicial).

Formato do corpo-de-prova	Referência normativa	Ecompressão T1 (GPa)	Ecompressão T2 (GPa)
Cilindro	Adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003)	11,70	4,77
Cubo		14,57	4,13
Prisma		16,69	4,33

Tabela 3-7 - Resultados do ensaio de módulo de deformação à tração na flexão (módulo corda entre 5% e 30% da tensão de ruptura).

Formato do corpo-de-prova	Referência normativa	Etração na flexão 5/30% T1 (GPa)	Etração na flexão 5/30% T2 (GPa)
Placa	Procedimento adotado por Bastos (2001)	2,75	1,40

Tabela 3-8 - Resultados dos ensaios de módulo de deformação pelo ultrassom.

Formato do corpo-de-prova	Referência normativa	Eultrassom T1 (GPa)	Eultrassom T2 (GPa)
Barra	Procedimento descrito no ANEXO B do segundo relatório encaminhado à FAPESP	12,70	6,01
Cilindro		12,16	4,43
Cubo		16,55	3,71
Placa longitudinal		11,34	4,87
Prisma longitudinal		14,06	4,99

Tabela 3-9 - Resultados do ensaio de módulo de deformação pela frequência de ressonância.

Formato do corpo-de-prova	Referência normativa	Efreq. de ressonância T1 (GPa)	Efreq. de ressonância T2 (GPa)
Barra	NF B 10-511 (AFNOR, 1975)	11,47	6,51

Para a comparação dos resultados dos ensaios, além do uso de gráficos, recorreu-se à análise estatística baseada em testes de hipótese. Os resultados destas comparações são apresentados na Tabela 3-10 e Tabela 3-11.

Tabela 3-10 - Síntese das observações relativas ao tipo de ensaio adotado para avaliação do módulo de deformação.

Ensaio	CV médio do E	Resultado	Tempo de ensaio/ CP	Vantagens	Desvantagens
À compressão	16,75%	Curva $\sigma\epsilon$	Tmáx: 17min Tmín: 8min	Fornecer a curva $\sigma\epsilon$; É o ensaio mais utilizado no Brasil (embora haja discordância em relação às normas a serem adotadas).	Destrutivo; Necessário um posicionamento criterioso do instrumento de medida; Relógios comparadores não fornecem resultados consistentes; Equipamento de alto custo; Exige pessoal especializado; Tempo total de ensaio: longo; Não representa o esforço mais comum em argamassas.
À tração na flexão	21,33%	Curva $\sigma\epsilon$	T~15min (inclusive tempo para lixar o CP)	Fornecer a curva $\sigma\epsilon$; Representa o esforço mais comum em argamassas de revestimento.	Destrutivo; Necessário lixar previamente os corpos-de-prova; Necessário um posicionamento criterioso do instrumento de medida; Equipamento de alto custo; Exige pessoal especializado; Tempo total de ensaio: longo; Não é um ensaio difundido no Brasil.

Ultrassom	4,33%	Valor numérico correspondente ao módulo tangente inicial à compressão	T~2min	Não destrutivo; Fácil execução; Simples montagem; Equipamento de baixo custo; Não exige pessoal especializado; Rápida execução; Adotado internacionalmente.	Fornecer somente o valor do módulo tangente inicial; Ainda é pouco utilizado no Brasil.
Frequência de ressonância	5,31%	Valor numérico correspondente ao módulo tangente inicial à compressão	T~5min	Não destrutivo; Fácil execução; Simples montagem; Não exige pessoal especializado; Rápida execução; Adotado internacionalmente.	Fornecer somente o valor do módulo tangente inicial; Equipamento de alto custo; Não é um ensaio difundido no Brasil.

Tabela 3-11 - Síntese das observações relativas ao formato de corpo-de-prova adotado para avaliação do módulo de deformação.

Formato do corpo-de-prova	Dimensões (cm)	Volume de argamassa /CP (L)	CV médio	Aspectos relevantes
Barra	2,5x2,5x28,5	0,18	MU: 5,63% MFR:5,31%	Seu uso não é difundido no Brasil; Difícil moldagem; Muitas perdas na desmoldagem; Problemas de fissuração por elevada retração; Não permite ensaios de resistência mecânica; Frágil.
Cilindro	ø5x10	0,20	MCE: 8,32% MU: 3,22% RC: 3,83%	Requer capeamento para ensaios à compressão; Muito difundido no Brasil; Menores níveis de variabilidade.
Cubo	10x10x10	1,00	MCE: 19,8% MU: 3,43% RC: 6,96%	Alto consumo de argamassa; Requer prensa com alta capacidade de carga; Resultados discrepantes.
Placa	2,5x7,5x20	0,38	MU: 4,27% MTF: 21,3% RTF: 5,25%	Seu uso não é difundido no Brasil; É necessário lixar os corpos-de-prova, pois a face de moldagem fica em contato com a prensa; Representa condição bem próxima aos revestimentos reais de argamassa.
Prisma	4x4x16	0,26	MCE: 22,2% MU: 5,12% MTF: 4,21% RTF: 8,53%	Uso muito difundido no Brasil; É o formato recomendado por grande parte das normas internacionais; Pode ser ensaiado à tração na flexão; Apresenta variabilidade moderada.

A partir das análises e observações feitas, foi possível concluir que os ensaios dinâmicos são preferíveis aos ensaios estáticos para determinação do módulo de deformação, a não ser pelo fato de não fornecerem a curva tensão-deformação. Entre os dois ensaios dinâmicos avaliados, o método do ultrassom se mostrou mais adequado, pois sua realização é mais simples e o custo do equipamento é menor, se comparado ao da frequência ressonante. Para os casos em que a determinação da curva tensão-deformação é necessária, recomenda-se o ensaio estático à compressão com extensômetros elétricos, pois apresenta a grande vantagem de ser de uso difundido no Brasil, além da consistência de seus dados em comparação aos outros métodos estáticos investigados no trabalho. No entanto, este ensaio não representa o esforço que normalmente atua sobre as argamassas de revestimento: a tração. Portanto, o ensaio de módulo à tração na flexão não deve ser desconsiderado, apesar de ter fornecido resultados de maior variabilidade, quando comparado aos outros métodos estudados. No que diz respeito ao formato do corpo-de-prova, concluiu-se que o cilindro e o prisma são os mais indicados: o primeiro resultou nos menores níveis de variabilidade, e o segundo é de amplo uso internacional e tem potencial de ser submetido ao ensaio de módulo à tração na flexão, além de poder ser ensaiado em relação à resistência a este esforço.

Ainda nesta etapa da pesquisa, submeteu-se um artigo para participação no 49º Congresso Brasileiro do Concreto, sendo que, para este evento, focou-se na apresentação dos resultados obtidos para o corpo-de-prova cilíndrico, com os vários ensaios. Isto se justifica pelo fato de ter sido o formato que forneceu os dados mais consistentes e com menor variabilidade.

Por fim, embora os objetivos iniciais estabelecidos para a pesquisa tenham sido plenamente atingidos, identificou-se a necessidade de investigação de outros aspectos, como o comportamento dos métodos de ensaio para argamassas modificadas com polímeros ou incorporadores de ar. Além disso, julgou-se necessário estudar o significado físico do módulo de deformação, quando considerados os diferentes ensaios. Para isso, propôs-se a continuidade da pesquisa, com a sugestão do programa experimental apresentado na Tabela 3-12, além do cronograma que se encontra na Figura 3-2.

Tabela 3-12 - Proposta de programa experimental para verificação da influência do teor de ar incorporado e da adição de polímero sobre os resultados dos ensaios de caracterização mecânica das argamassas.

Traço	Teor de ar inc./ polímero	Formato do CP	Ensaio de caracterização mecânica no estado endurecido	Referências normativas	n° de CPs por teor de ar inc. ou polímero
T1 1:0,5:4,5	5% ar 15% ar 30% ar 3 diferentes teores de polímero	prisma 4x4x16 cm	Resistência à tração na flexão	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	15
			Resistência à compressão	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	
			Módulo de deformação estático pelo extensômetro	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	
			Módulo de deformação pelo ultrassom	Procedimento descrito no ANEXO B (relatório)	
	cilindro ø5x10cm	Resistência à compressão	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	15	
		Módulo de deformação estático pelo extensômetro	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)		
Módulo de deformação pelo ultrassom		Procedimento descrito no ANEXO B (relatório)			

Atividade	mai 07	jun 07	jul 07	ago 07	set 07	out 07	nov 07	dez 07	jan 08
Revisão bibliográfica – ar incorporado e polímeros									
Moldagem dos corpos-de-prova									
Revisão bibliográfica – significado físico dos tipos de módulo de deformação									
Realização dos ensaios									
IBRACON - Congresso									
Análise dos resultados									
Elaboração do relatório final									

Figura 3-2 - Cronograma de atividades proposto no segundo relatório parcial de pesquisa.

PARTE 4. Atividades desenvolvidas no terceiro período – 11/05/2007 a 10/10/2007

4.1. Revisão bibliográfica

Durante os meses de maio e setembro, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre as propriedades das argamassas modificadas por aditivos poliméricos e incorporadores de ar. Além disso, foi feita uma entrevista com três profissionais da empresa Quimicryl, que produz aditivos poliméricos para materiais cimentícios, de modo a melhor entender o comportamento dos polímeros. Estas atividades serviram como base para a definição dos aditivos a serem utilizados e de seus respectivos teores, bem como para que se tenha conhecimento do comportamento esperado para as argamassas modificadas. Portanto, a revisão bibliográfica teve como objetivo subsidiar o programa experimental a ser realizado, para que sejam avaliados os métodos de determinação do módulo de deformação quanto à adequabilidade às argamassas modificadas.

4.1.1 Incorporação de ar em argamassas

4.1.1.1. ASPECTOS GERAIS

A busca de novas tecnologias para materiais de construção civil vem ao encontro das exigências por maiores níveis de produtividade e qualidade no setor. A argamassa de cimento Portland, tradicionalmente utilizada no Brasil, tem sido alvo de inovações tecnológicas, acompanhando uma tendência mundial de desenvolvimento deste material, visando às suas várias aplicações. O desenvolvimento de aditivos para argamassas é uma das vertentes deste desenvolvimento tecnológico, cada qual possibilitando melhorias em certas propriedades das argamassas. Entre os aditivos existentes atualmente, existem os aditivos incorporadores de ar (AIA).

Inicialmente, os AIAs foram aplicados ao concreto, com o objetivo de auxiliar na resistência aos ciclos de gelo e degelo (NEVILLE, 1982; CINCOTTO, 1983; MEHTA e MONTEIRO, 1994). Em argamassas, a principal

função destes aditivos é melhorar sua trabalhabilidade. Isto ocorre porque estes aditivos incorporam microbolhas esféricas e deformáveis à pasta de argamassa, que facilitam seu manuseio (CINCOTTO, 1983). A melhoria na trabalhabilidade tem como conseqüência um aumento no rendimento das argamassas em obra (MONTE et al., 2003). Embora os autores deste trabalho não entrem no mérito de que rendimento se trata, pode-se depreender que se refira à necessidade de menor quantidade de areia para produzir um mesmo volume de argamassa, em função do teor de ar incorporado. Este fato pode ser ainda interpretado da seguinte maneira: para uma mesma quantidade de materiais básicos, é possível revestir uma maior área com argamassa e, portanto, o rendimento seria maior. Há ainda outra questão envolvida: o possível aumento de produtividade do operário, que aplica mais rápido e facilmente argamassas de melhor trabalhabilidade e mais leves.

Embora a incorporação de ar resulte em melhor trabalhabilidade, os AIAs não devem ser encarados como substitutos da cal, pois esta substituição pode levar à redução da resistência de aderência (CAVANI et al., 1997). Basicamente, isto ocorre porque, embora a argamassa com ar incorporado realmente possa ter maior trabalhabilidade, os poros nela existentes reduzem a superfície de aderência. Este aspecto será detalhado no 4.1.1.4.a). Além disso, os teores de ar incorporado devem ser bem estudados, de forma a adequar a argamassa ao uso a que ela se prestará.

Atualmente, parte das argamassas industrializadas de múltiplo uso, de amplo emprego no mercado nacional, adota este tipo de aditivo. No entanto, ainda é necessário um desenvolvimento tecnológico considerável nesta área, pois estas argamassas industrializadas são muito suscetíveis ao processamento, como comprova o trabalho de Romano et al. (2007). A pesquisadora contribuiu no desenvolvimento deste estudo, cuja metodologia é apresentada no item 4.3. Para exemplificar, citam-se alguns resultados que indicam a instabilidade das argamassas industrializadas comumente utilizadas no mercado: para variações no teor de água de 2% (variação comum em obras), houve diferença no teor de ar incorporado da ordem de 10%, para uma determinada argamassa industrializada. Quando se adicionam a este efeito as variações na energia e no tempo de mistura, estes níveis de variabilidade aumentam: betoneiras incorporam maior quantidade de ar do que misturadores

horizontais, e uma diferença de 4 minutos no tempo de mistura leva a variações de 11% no teor de ar incorporado, para argamassas distintas. Os resultados detalhados encontram-se no Anexo A.

4.1.1.2. MECANISMO DE INCORPORAÇÃO DE AR EM ARGAMASSAS

A incorporação de ar, seja em concretos ou argamassas, é um processo complexo, que sofre influências de diversos fatores. Segundo Du e Folliard (2005), entre estes fatores, constam: o processo de mistura, a dosagem, as características dos agregados, propriedades físicas e químicas do cimento Portland, quantidade e qualidade da água de amassamento, dosagem e propriedades do aditivo incorporador de ar, presença de outros aditivos, entre outros.

Incorporadores de ar são, basicamente, compostos por vários tensoativos (ou surfactantes). Tensoativos são caracterizados por possuírem uma cadeia de hidrocarbonetos, que terminam em um grupo polar hidrofílico (Figura 4-1). O princípio da incorporação de ar por tensoativos é: quando um agente incorporador de ar é adicionado a um sistema água-cimento, ele se dissolve e o grupo hidrofílico dos surfactantes se orienta em direção à fase aquosa, enquanto a cadeia de hidrocarbonetos se orienta em direção ao ar dentro da bolha. As bolhas se formam durante a agitação da argamassa, pela redução da tensão superficial da água, devido ao efeito dos surfactantes (Figura 4-2). Como as bolhas possuem cargas iguais em sua superfície, elas se repelem, o que evita a formação de bolhas maiores por coalescência, como ilustra a Figura 4-3 (LEA, 2004; DU e FOLLIARD, 2005). Além disso, a parte polar dos surfactantes, orientada inicialmente à fase aquosa, adere à superfície eletricamente carregada das partículas de cimento (DU e FOLLIARD, 2005).

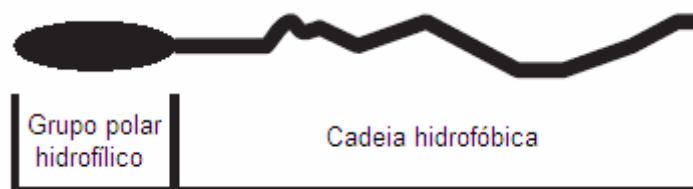


Figura 4-1 - Estrutura química básica dos surfactantes (adaptada de DU e FOLLIARD, 2005).

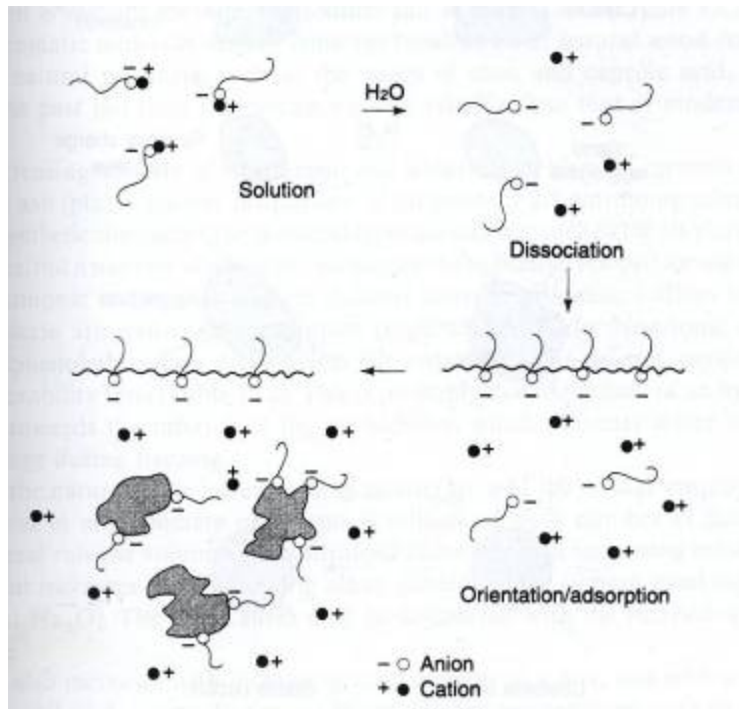


Figura 4-2 – Interação entre tensoativos e materiais cimentícios. No primeiro passo, os tensoativos são dissolvidos em água, para depois se dissociarem e se orientarem para a fase aquosa (grupo polar) e para o ar (cadeia apolar). A parte polar presente na água passa a ficar aderida nas partículas de cimento, que têm cargas elétricas superficiais (LEA, 2004).

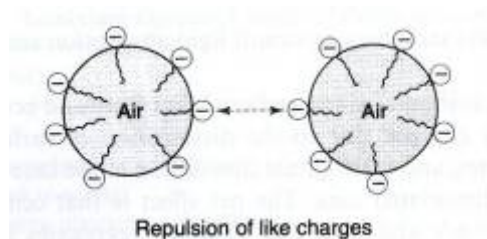


Figura 4-3 - Orientação dos surfactantes na superfície das bolhas de ar (LEA, 2004).

Pelo mecanismo descrito, as bolhas, já formadas, são atraídas pelas cargas opostas presentes nas partículas cimentícias, às quais ficam aderidas. Há também cargas nas superfícies dos agregados, pelas quais as bolhas de ar também são atraídas, formando um sistema “agregado-ar-cimento-ar-agregado”, conforme ilustra a Figura 4-4. É este efeito que resulta na melhor trabalhabilidade das argamassas com ar incorporado, além de permitir a estabilização da incorporação de ar, por reduzir a energia superficial livre, o que é termodinamicamente preferível (LEA, 2004; DU e FOLLIARD, 2005).

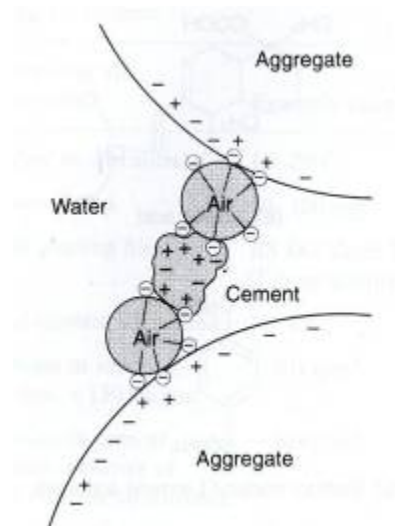


Figura 4-4 - Mecanismo de estabilização das bolhas de ar em concretos e argamassas (LEA, 2004).

No entanto, como ressaltam Du e Folliard (2005), nem todo produto incorporador de ar se concentra na interface ar-água. Os surfactantes podem, também, ficar aderidos ao dispositivo de mistura, serem adsorvidos ou absorvidos pelos sólidos da argamassa ou permanecerem na fase líquida, sem contato com o ar. Esta distribuição é dinâmica e se altera ao longo do tempo e conforme a mistura da argamassa.

Sendo assim, percebe-se que os AIAs são produtos responsáveis pela estabilização do ar na argamassa, e esta estabilização se dá pela formação de pequenas bolhas. Parte do ar, na verdade, já se encontra na argamassa antes mesmo da adição do aditivo incorporador, além do ar que é aprisionado durante o procedimento de mistura (DU e FOLLIARD, 2005). Segundo Neville (1982) e Lea (2004), o conteúdo de ar de uma determinada argamassa ou concreto, independentemente dos AIAs, é afetado da seguinte forma:

- Diminui com o aumento do teor e da finura do cimento;
- Aumenta com o aumento da quantidade de álcalis do cimento;
- Aumenta com o aumento do teor de areia na argamassa e diminui com o aumento da finura da areia;
- Diminui com o aumento da temperatura (embora este efeito seja, em parte, compensado pelo volume maior ocupado pelo ar a temperaturas mais altas);
- Aumenta com o aumento da eficiência da mistura

Além disso, o teor de ar incorporado cresce com o aumento da quantidade de AIA utilizado. Entretanto, existe uma dosagem limite, após a qual não se observa nenhum aumento no volume de ar incorporado (RILEM, 1995). Este limite depende do tipo de incorporador de ar adotado.

No que diz respeito à influência do tempo de mistura na incorporação de ar, há dois momentos distintos. Nos primeiros minutos, há a tendência de aumento da quantidade de ar incorporado pela mistura da argamassa, indicando a ação do AIA, como observado por Monte et al. (2003). Esta ação tem um tempo de estabilização, dado de suma importância, principalmente no que diz respeito à aplicação das argamassas em obra. Após a mistura ter se efetuado, o manuseio prolongado da argamassa ao longo do tempo leva à perda de ar incorporado (NEVILLE, 1982; RILEM, 1995).

Para se determinar o tempo de estabilização da incorporação de ar na argamassa, recomenda-se que sejam feitas moldagens experimentais. Monte et al. (2003) propõem um método para realização desta avaliação, baseado na medição sucessiva da densidade de massa aparente da argamassa com AIA (segundo a NBR 13278 (ABNT, 1995)) em intervalos de tempo determinados. Com isso, permite-se a análise da evolução da incorporação de ar em função do tempo.

Outros trabalhos recentes têm sido feitos no campo de análise da estabilidade da incorporação de ar, como o de Romano et al. (2007), com o qual a pesquisadora contribuiu. Por este trabalho, que se encontra no Anexo A, verificou-se uma grande variabilidade no tempo de estabilização da incorporação de ar, que nem sempre condiz com o tempo sugerido pelos fabricantes das argamassas industrializadas.

4.1.1.3. PRINCIPAIS TIPOS DE INCORPORADORES DE AR

Segundo Du e Folliard (2005), a maioria dos AIAs modernos tem grupo polar aniônico, o que resulta numa maior estabilidade das bolhas por eles geradas. Entre estes AIAs aniônicos, existem os sais solúveis (normalmente de sódio) de resinas de madeira, resinas de madeira, ácidos lignossulfônicos, hidrocarbonetos sulfonados, materiais protéicos, entre outros (NEVILLE, 1982; DU e FOLLIARD, 2005). Embora existam surfactantes não-iônicos eficientes na incorporação de ar, seu uso não é recomendado pelo baixo desempenho em

testes de resistência ao gelo e degelo (LEA, 2004). A maioria dos AIAs é apresentada na forma líquida, embora existam também produtos em pó, flocos ou semi-sólidos (RILEM, 1995).

4.1.1.4. INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE AR NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

4.1.1.4.a) Propriedades no estado fresco: densidade de massa aparente, trabalhabilidade, consistência e retenção de água

O primeiro efeito claro dos aditivos incorporadores de ar é a redução da densidade de massa aparente. Ao mesmo tempo, devido à própria função destes aditivos, nota-se uma melhoria da trabalhabilidade das argamassas que os empregam. É importante ressaltar que trabalhabilidade e consistência não são sinônimos e, principalmente no caso das argamassas com ar incorporado, esta diferença torna-se mais clara. Monte et al. (2003) ressaltam este fato, pois uma avaliação por parte de um operário indicou trabalhabilidade igual para argamassas de índices de consistência diferentes, quando avaliado pelo ensaio da mesa de consistência (NBR 13276, ABNT, 1995). Fato semelhante levou Cavani et al. (1997) a adotarem um índice de trabalhabilidade empírico, em substituição à medida pela mesa de consistência (NBR 13276, ABNT, 1995). Ambos os trabalhos avaliaram a trabalhabilidade com base na aplicação das argamassas em revestimentos. A questão da interpretação da trabalhabilidade em função do seu uso foi abordada anteriormente pela pesquisadora no primeiro relatório parcial encaminhado à FAPESP.

Além disso, a incorporação de ar promove a redução da água de exsudação (RILEM, 1995; CALHAU e TRISTÃO, 1999), aumentando a retenção de água. Isto se justifica porque as bolhas de ar incorporado apresentam-se isoladas e, sendo assim, não criam canais pelos quais a água normalmente exsudaria ou evaporaria. Um efeito adicional é a manutenção das partículas sólidas em suspensão pelas bolhas de ar, reduzindo a sedimentação e, como conseqüência, a expulsão de água do sistema (RILEM, 1995).

4.1.1.4.b) Propriedades no estado endurecido

• Resistência mecânica

No que diz respeito às propriedades do estado endurecido, há alterações significativas com a incorporação de ar. No caso da resistência

mecânica, há dois efeitos contrários: por um lado, a incorporação de ar tende a reduzir a resistência das argamassas, pois reduz sua área resistente, conforme ilustra a Figura 4-5. No entanto, como os incorporadores de ar melhoram a trabalhabilidade, isso permite produzir argamassas com menor relação a/c , o que poderia levar a um aumento na resistência (NEVILLE, 1982).

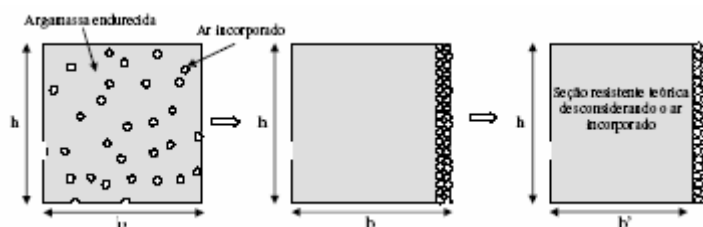


Figura 4-5 - Efeito do ar incorporado na redução da área resistente (MANSUR et al, 2007).

• Módulo de deformação

Em geral, o módulo de deformação das argamassas diminui com o aumento do teor de ar incorporado. Isto ocorre porque as microbolhas incorporadas à pasta são facilmente deformáveis, permitindo a acomodação de deformações da argamassa e reduzindo, por conseqüência, o risco de aparecimento de fissuras (MONTE et al., 2007).

• Absorção e permeabilidade

Segundo Neville (1982), o ar incorporado produz cavidades descontínuas na pasta de cimento, de modo que não se formam canais para passagem da água e não aumenta a permeabilidade do concreto. Pode-se depreender, portanto, que este último efeito, aliado à redução na relação a/c , tende a diminuir a permeabilidade. Sendo assim, a absorção por capilaridade, teoricamente, tende a diminuir com a incorporação de ar, assim como a permeabilidade a líquidos e gases (NEVILLE, 1982; RILEM, 1995).

No entanto, não há consenso entre os autores sobre estas afirmações. Calhau e Tristão (1999), por exemplo, verificaram experimentalmente a redução da permeabilidade em argamassas aditivadas com AIAs. Salienta-se, no entanto, que estes autores não mantiveram constante nem a relação a/c , nem o índice de consistência. Monte et al. (2003), por sua vez, obtiveram maiores índices de absorção para argamassas industrializadas com AIAs, produzidas de acordo com os procedimentos indicados pelos respectivos fabricantes. Neste caso também não foram mantidos constantes parâmetros

importantes para este tipo de estudo. A pesquisadora levantará outros trabalhos que possam fornecer conclusões mais consistentes, sem que haja variáveis que possam distorcer os resultados.

- **Resistência de aderência**

Em geral, a resistência de aderência das argamassas tende a diminuir quando se empregam os AIAs, pois as bolhas de ar introduzidas na argamassa pelo aditivo tendem a reduzir a superfície de aderência (Figura 4-6). Poder-se-ia fazer um contraponto, argumentando que a melhoria na trabalhabilidade proporcionada pelos AIAs pode facilitar a penetração da argamassa nas macrorrugosidades da base, de modo a aumentar a superfície de aderência. Isto aconteceria principalmente para bolhas pequenas – segundo Opperman e Rudert¹ (1983), apud Carasek (1996), bolhas de diâmetro menor do que 100 µm.

Carasek (1996) analisou o efeito da presença de ar incorporado nas argamassas de revestimento. No que diz respeito à extensão de aderência, a argamassa com ar incorporado, se comparada à argamassa de cimento e areia, apresentou melhorias devido à melhor trabalhabilidade, que permite que a argamassa penetre melhor nas saliências dos blocos (substrato). Entretanto, o maior conteúdo de cimento das argamassas tradicionais fez com que estas apresentassem maior resistência de aderência do que as argamassas modificadas com AIAs, ainda que com menor extensão de aderência. As argamassas que continham cal, por sua vez, apresentaram maior extensão de aderência do que as modificadas com AIAs; neste caso, as bolhas prejudicaram o desempenho das argamassas modificadas. Estes efeitos estão ilustrados pela Figura 4-6.

Portanto, percebe-se que a resistência de aderência não depende somente do conteúdo de ar incorporado em uma argamassa, e sim também das características das bolhas de ar presentes (CARASEK, 1996).

¹ Opperman, B.; Rudert, V. **Untersuchungen zur Verbesserung des Haftverbundes Mörtel/Stein**. Zement-Kalk-Gips, n. 1, 1983. p. 30-50.

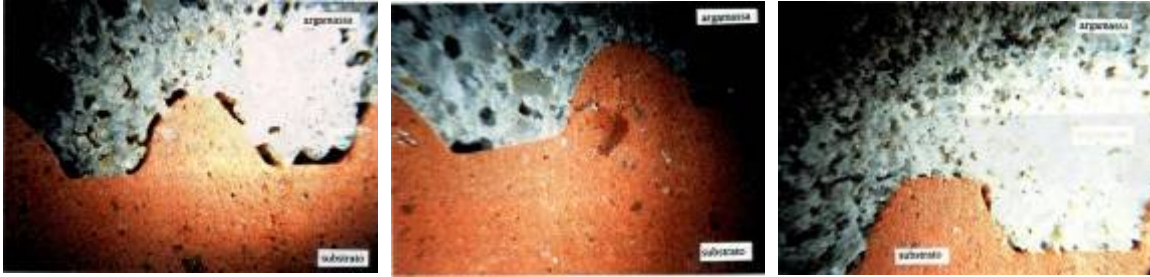


Figura 4-6 - Comparação entre extensão de aderência de: (a) argamassa de cimento e areia, (b) argamassa de cimento, areia e cal, (c) argamassa industrializada com ar incorporado (CARASEK, 1996).

• Retração

A retração no estado endurecido depende, entre outros fatores, do tamanho e do tipo de vazios que perde água contida na argamassa para o ambiente (BASTOS, 2001). Segundo a RILEM (1995), os AIAs podem não alterar, bem como podem aumentar a retração por secagem de argamassas aditivadas. Como não foram encontradas referências bibliográficas conclusivas sobre a influência da incorporação de ar na retração de argamassas, a pesquisa bibliográfica deverá ser continuada para este item.

• Durabilidade

Como a aditivação com incorporadores de ar tende a reduzir a permeabilidade e a absorção por capilaridade, aumentando a resistência a ataques químicos; e também aumenta a resistência a ciclos de gelo/degelo, é possível afirmar que os AIAs aumentam a durabilidade das argamassas (RILEM, 1995).

4.1.2 Argamassas modificadas com polímeros

4.1.2.1. ASPECTOS GERAIS

Os aditivos poliméricos são utilizados há muito tempo no exterior. A primeira patente sobre modificação de materiais cimentícios por polímeros foi atribuída a Cresson, em 1923 e, desde então, muito tem se pesquisado sobre este assunto (OHAMA, 1998). No Brasil, só recentemente os aditivos poliméricos começaram a ser usados, e ainda são de emprego mais restrito do que os aditivos incorporadores de ar, possivelmente em função dos custos que acrescentam ao valor das argamassas.

Segundo OHAMA (1998), um aditivo polimérico consiste em um produto que possui como componente principal um composto polimérico capaz de

modificar ou melhorar as propriedades de argamassas e concretos, como, por exemplo, resistência mecânica, deformabilidade, aderência, resistência à água e durabilidade.

Na literatura sobre o assunto, é comum utilizar siglas para as argamassas e concretos modificados com polímeros. Sendo assim, para facilitar a leitura, estas siglas serão incorporadas à revisão bibliográfica que aqui se apresenta, da seguinte maneira:

- AMP: argamassa modificada com polímero;
- CMP: concreto modificado com polímero (não se trata do concreto impregnado com polímero).

4.1.2.2. CONCEITOS BÁSICOS SOBRE POLÍMEROS

Os polímeros são macromoléculas de peso molecular variando de 10^3 a 10^6 g/mol, formadas pela união de repetidas unidades simples denominadas “meros”. Monômeros são os compostos químicos que reagem para formar polímeros. Quando há mais de um tipo de mero formando o polímero, este é denominado copolímero (MANO, 1985). Como exemplo, apresenta-se na Figura 4-7 e Figura 4-8 o polímero poli(acetato de vinila), PVAc, com seus respectivos monômero e mero.

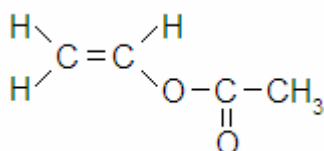


Figura 4-7 - Monômero acetato de vinila (adaptado de Mano, 1985).

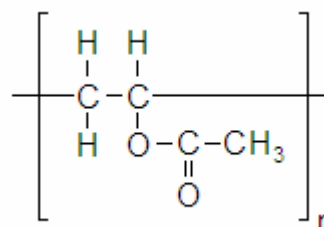


Figura 4-8 - Polímero PVAc, representado pela repetição de n meros iguais ao ilustrado pela figura (adaptado de Mano, 1985).

Existem várias classificações para os polímeros. Uma delas é de acordo com seu mecanismo de polimerização, que pode ser por adição ou por condensação. Na polimerização por adição, segundo Van Vlack (1973), meros sucessivos são adicionados à molécula, aumentando-a (Figura 4-9). A polimerização por condensação, por sua vez, envolve uma reação que produz

subprodutos não polimerizáveis, paralelamente ao crescimento da molécula de polímero (Figura 4-10) (VAN VLACK, 1973).

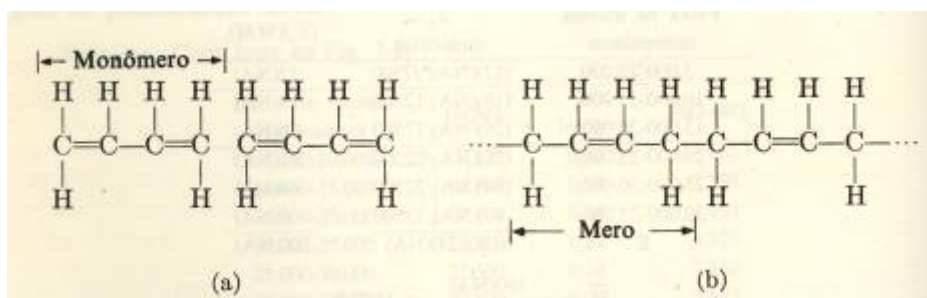


Figura 4-9 - Exemplo de reação de polimerização por adição do butadieno na borracha não vulcanizada (VAN VLACK, 1973).

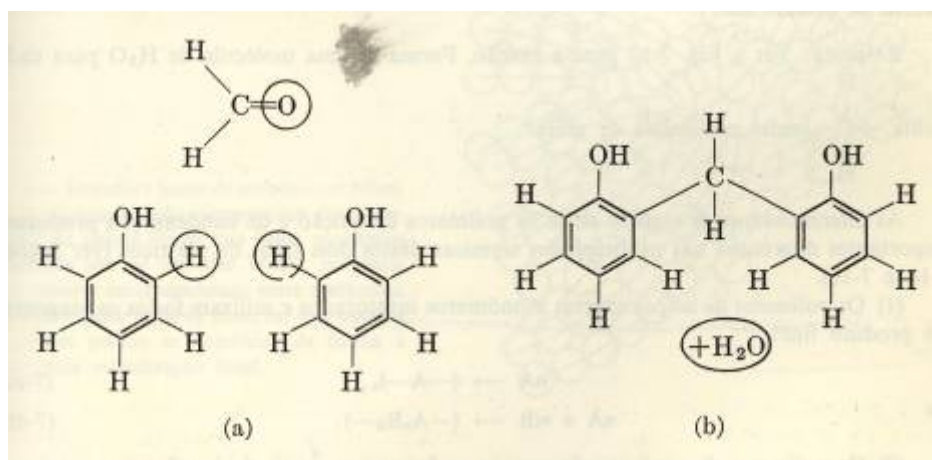


Figura 4-10 - Exemplo de reação de polimerização por condensação do fenol com o formaldeído. As substâncias circuladas foram o produto de condensação da reação que, neste caso, é a água (VAN VLACK, 1973).

Outra classificação possível é de acordo com as características de fusibilidade, que diferenciam os polímeros em termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são polímeros lineares ou ramificados, que permitem fusão por aquecimento e solidificação por resfriamento (MANO, 1985). Portanto, eles alteram suas propriedades de acordo com a temperatura. Um exemplo deste tipo de alteração é o aumento da plasticidade dos termoplásticos com o aumento de temperatura, pois as forças de Van der Waals são facilmente superadas nesta situação (VAN VLACK, 1973). Os polímeros termofixos ou termorrígidos são aqueles que, segundo Mano (1985), por aquecimento ou outra forma de tratamento, adquirem uma estrutura tridimensional, reticulada e com ligações cruzadas e covalentes. Assim, tornam-se, além de mais rígidos e resistentes, insolúveis e infusíveis (VAN VLACK, 1973; MANO, 1985). Percebe-se, portanto, que o comportamento térmico dos polímeros exerce influência

sobre a sua deformação plástica. Nota-se, ainda, que as características de fusibilidade são dadas pelo processo de fabricação dos polímeros; portanto, esta classificação em termoplásticos e termofixos é indicadora do tipo de processo tecnológico adotado na produção. A Figura 4-11 ilustra os tipos de cadeias macromoleculares (lineares, ramificadas, reticuladas) citadas anteriormente.

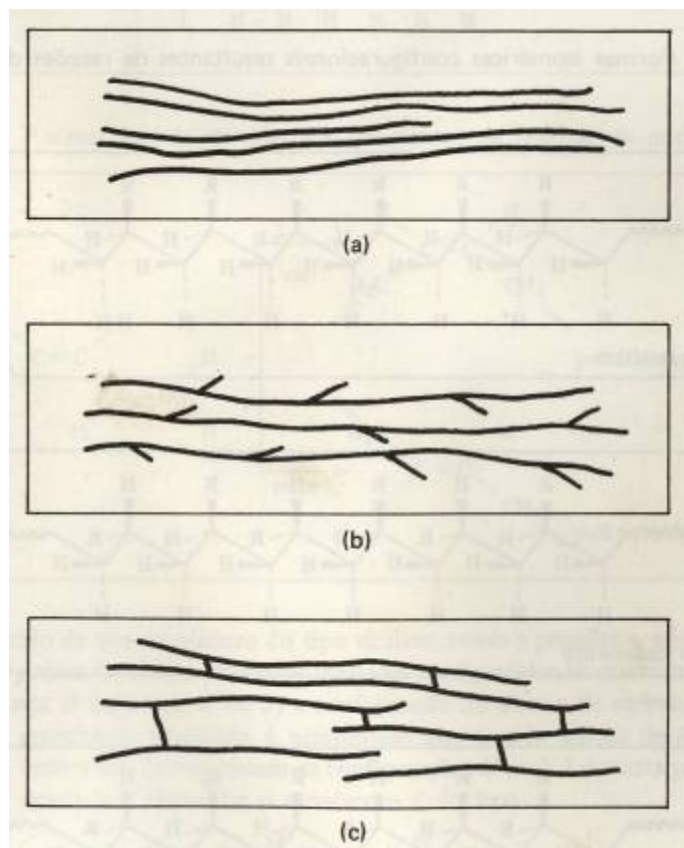


Figura 4-11 - Comparação entre as cadeias poliméricas: (a) linear, (b) ramificada, que pode estar presente em polímeros termoplásticos e (c) reticulada, com ligações cruzadas ou, ainda, tridimensional, presente nos polímeros termofixos (MANO, 1985).

Os polímeros podem ser agrupados também de acordo com o seu comportamento mecânico, em: borrachas ou elastômeros, plásticos e fibras (MANO, 1985). Os elastômeros são materiais que exibem, segundo Mano (1985), elasticidade em longa faixa, à temperatura ambiente. Van Vlack (1973) explica o motivo da alta elasticidade dos elastômeros: estes materiais contêm em geral uma estrutura com elevado grau de retorcimento da cadeia polimérica. Quando são submetidas a tensões (tração), estas cadeias endireitam-se primeiro e, na seqüência, ocorre o “endireitamento” das ligações químicas presentes no polímero, com eventual aumento do comprimento do mesmo. O mecanismo de deformação elástica nos polímeros envolve este

“endireitamento” de cadeias e ligações, o que torna estes materiais mais longos durante a aplicação de tensão e também ocasiona deformações elásticas maiores. Outro tipo de comportamento mecânico é apresentado pelos plásticos, que se caracterizam por se apresentarem sólidos à temperatura ambiente em seu estado final, mas em algum estágio do seu processamento já tiveram a forma fluida, tornando-se assim passíveis de moldagem (MANO, 1985). As fibras de polímero, por sua vez, caracterizam-se por apresentarem uma elevada razão entre o comprimento e suas dimensões laterais, sendo compostas por macromoléculas lineares, orientadas longitudinalmente (MANO, 1985).

Mano (1985) apresenta faixas de módulo elástico inicial que diferenciam os elastômeros, os plásticos e as fibras (Tabela 4-1). Embora estas faixas, em termos quantitativos, sejam muito amplas, elas servem como instrumento de comparação entre os materiais.

Tabela 4-1 - Comparação entre faixas de valores de módulo elástico inicial, para os elastômeros, plásticos e fibras (MANO, 1985).

Tipo de polímero	E (psi = 0,07kgf/cm²)	E (GPa)
Borrachas ou elastômeros	10^1 a 10^2	$7 \cdot 10^{-5}$ a $7 \cdot 10^{-4}$
Plásticos	10^3 a 10^4	0,007 a 0,07
Fibras poliméricas	10^5 a 10^6	0,7 a 7

4.1.2.3. TIPOS DE POLÍMEROS

Existem vários tipos de aditivos poliméricos para AMPs e CMPs e, para facilitar o seu estudo, Ohama (1998) sugere a classificação que se apresenta a seguir:

- Látex
 - Látex elastoméricos:
 - Borracha natural (NR);
 - Borracha sintética:
 - Estireno-butadieno (SBR);
 - Cloropreno (CR);
 - Metil metacrilato-butadieno (MBR);
 - Látex termoplásticos:
 - Éster poliacrílico (PAE);
 - Poli(etileno vinil acetato) (EVA);

- Poli(estireno acrílico éster) (SAE);
 - Polivinil propionato (PVP);
 - Polipropileno (PP);
 - Poli(acetato de vinila) (PVAc);
- Látex termofixos:
 - Resina epóxi (EP);
- Látex betuminosos:
 - Asfalto;
 - Asfalto impregnado com borracha;
 - Parafina;
- Pós de polímero redispersível:
 - Poli(etileno vinil acetato) (EVA);
 - Poli(acetato de polivinila – versatato de vinila) (VA VeoVa);
 - Poli(estireno-acrílico éster) (SAE);
 - Poliacrílico éster (PAE);
- Polímeros solúveis em água:
 - Derivados de celulose:
 - Metil celulose (MC);
 - Hidróxi etil celulose (HBC).
 - Polivinil álcool (PVOH, Poval);
 - Poliacrilamida;
 - Acrilatos: acrilato de cálcio, acrilato de magnésio;
- Polímeros líquidos (resinas):
 - Resina epóxi (EP);
 - Resina de poliéster insaturado (UP).

Outros autores, como Riley e Razl (1974), propõem classificações similares.

Na seqüência, será detalhado cada um desses quatro grupos de aditivos poliméricos, de modo a identificar suas principais características e possibilidades de aplicação nas AMPs.

4.1.2.3.a) Látex

Os látex, também conhecidos como emulsões, são os aditivos poliméricos mais comuns para concretos e argamassas (RILEY e RAZL, 1974).

Segundo Ohama (1987), argamassas e concretos modificados com látex têm sido amplamente usados como material de construção, devido às suas melhores propriedades, como resistência mecânica, adesão, resistência à ação da água, extensibilidade e durabilidade.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), látex são suspensões coloidais de polímeros em água. Segundo Luiz Prado, químico responsável pela formulação dos aditivos da empresa Quimicryl, os polímeros são adquiridos em forma de resina que, então, são emulsionadas, dando origem ao látex². O diâmetro das partículas suspensas de polímero geralmente varia entre 0,05 a 5µm. Estas partículas são produzidas normalmente pela polimerização que se dá em emulsão, e a suspensão destas partículas, por sua vez, é obtida com o uso de tensoativos (ou surfactantes), substância que causa a incorporação de grandes quantidades de ar em materiais cimentícios (MEHTA e MONTEIRO, 1994; OHAMA, 1998). Os polímeros são classificados de acordo com o surfactante empregado na sua fabricação, podendo ser catiônicos (carga positiva), aniônicos (carga negativa) ou não-iônicos (sem cargas) (OHAMA, 1998). Segundo Prado (2007), as emulsões aniônicas apresentam melhor desempenho, pois interagem mais fortemente com o cimento, que é catiônico - as cargas opostas se atraem, e o filme formado envolve melhor as partículas cimentícias. A estrutura e a ação dos tensoativos já foi apresentada, com enfoque na incorporação de ar, no item 4.1.1.

Devido à tendência de incorporação de ar, são necessários agentes antiespumantes (MEHTA e MONTEIRO, 1994), bem como emulsificantes, estabilizadores, entre outros. Portanto, percebe-se que os látex não são somente formados por polímeros, mas também por outras substâncias químicas, de modo que o total de sólidos (polímeros) deve variar entre 40% e 50% em massa (OHAMA, 1998).

O princípio de modificação das argamassas e concretos pela adição de látex se baseia em dois eventos: a hidratação do cimento e a formação de uma fase polimérica pela coalescência das partículas de polímero. Quando estas duas transformações ocorrem de maneira satisfatória, forma-se uma matriz

² Entrevista realizada na empresa fabricante de aditivos poliméricos Quimicryl, em 04 de outubro de 2007. A partir deste ponto, sempre que a autora fizer referência a algum conteúdo desta entrevista, será registrado como "Prado, 2007".

monolítica em que o produto de hidratação do cimento e a fase polimérica se interpenetram, fazendo com que os agregados fiquem fortemente unidos (OHAMA, 1987). Na mesma publicação, o autor descreve um modelo simplificado, em três passos, que explica a formação desta matriz monolítica (Figura 4-12):

- 1º passo: envolve a dispersão uniforme das partículas de polímero na pasta de cimento, enquanto a hidratação do cimento ocorre, liberando hidróxido de cálcio. As partículas de polímero se depositam sobre a superfície do cimento parcialmente hidratado, enquanto o hidróxido de cálcio reage para formar uma camada de silicato de cálcio sobre os agregados;
- 2º passo: a hidratação do cimento continua ocorrendo, levando à redução da quantidade de água disponível (o que também ocorre por evaporação), resultando no confinamento das partículas poliméricas nos poros capilares. Quando a água capilar é consumida, as partículas de polímero floculam e formam uma camada contínua e compacta que se deposita sobre as superfícies do produto de hidratação de cimento e do cimento parcialmente hidratado, além de aderirem à camada de silicato sobre a superfície dos agregados. Desta forma, as partículas de polímero preenchem os poros da pasta, que são muito maiores;
- 3º passo: com o esgotamento da água pela reação de hidratação, as partículas poliméricas agrupadas coalescem de modo a formar filmes ou membranas contínuos e consistentes. Segundo Afridi et al. (2003), os filmes totalmente desenvolvidos ligam os produtos de hidratação do cimento aos grãos de areia, unindo os constituintes da argamassa de maneira mais compacta, fazendo simultaneamente interconexões elásticas, devido ao preenchimento ou reforço das capilaridades e dos poros.

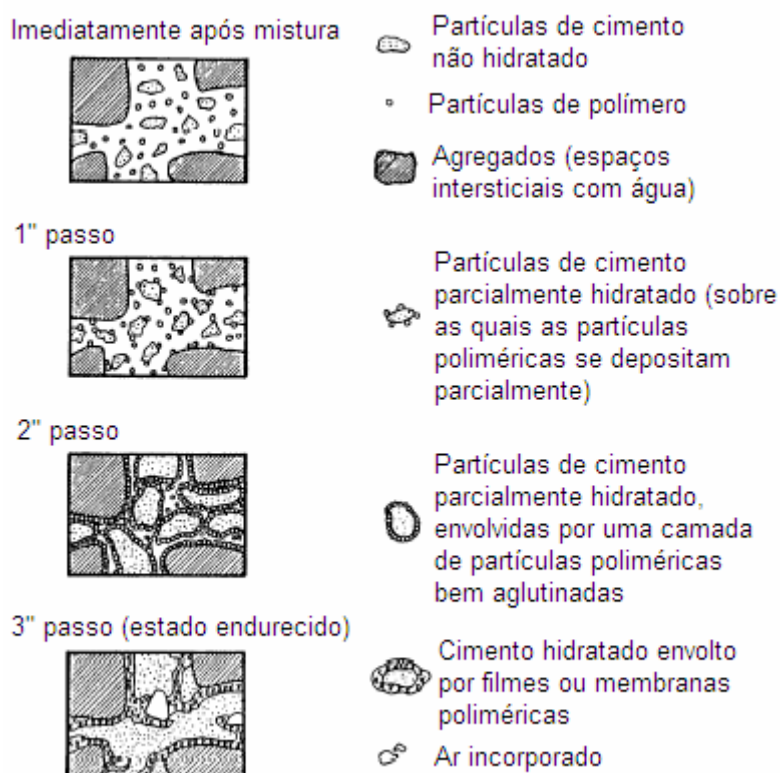


Figura 4-12 - Modelo simplificado da formação da matriz polímero-cimento (adaptado de OHAMA, 1987 e GODOY, 1999).

Para que o processo descrito anteriormente ocorra, é necessário que a temperatura ambiente esteja acima da temperatura mínima de formação de filme (TMFF), sendo este um fator crítico em regiões mais frias (GODOY, BARROS, 1999).

A formação do filme polimérico explica as duas principais modificações das argamassas nas quais estes aditivos são aplicados: a resistência à propagação de microfissuras e o efeito selante dos polímeros. A explicação para o último efeito reside no segundo passo da modificação por látex, em que os poros da pasta são preenchidos ou têm as suas paredes seladas pelas partículas poliméricas. No que diz respeito à primeira modificação, o mecanismo é o seguinte: as microfissuras, que surgem devido à aplicação de tensões nas argamassas e nos concretos, são ligadas pelas membranas ou filmes poliméricos formados, o que previne sua propagação. Além disso, a alta adesão entre os produtos de hidratação e os agregados, descrito no terceiro passo da modificação com látex, por si só já aumenta a resistência à fissuração (OHAMA, 1987). Na Figura 4-13 e Figura 4-14, obtidas por Afridi et al. (2003)

por microscopia de varredura eletrônica, são apresentados alguns filmes formados por diferentes polímeros.

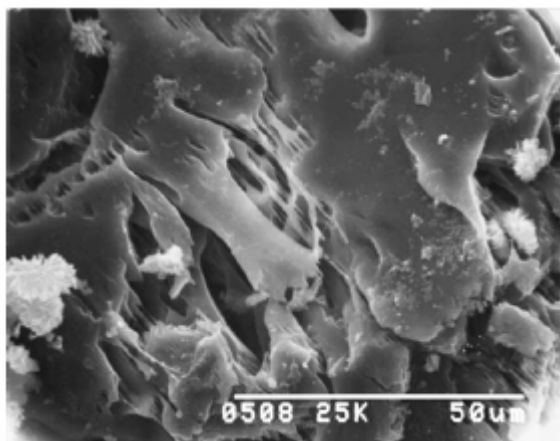


Figura 4-13 - Filme formado em argamassa modificada com SBR, relação p/c de 10% (AFRIDI et al., 2003).

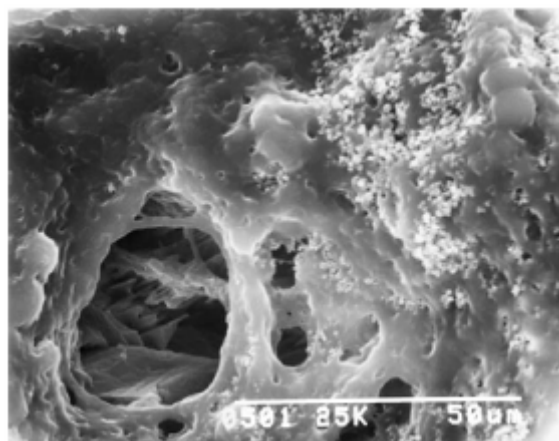


Figura 4-14 - Filme formado em argamassa modificada com EVA, relação p/c de 10% (AFRIDI et al., 2003).

Os efeitos descritos anteriormente tendem a aumentar com o aumento da relação polímero-cimento (p/c) (relação, em massa, entre o total de sólidos em um látex polimérico e o total de cimento da argamassa ou concreto modificado com látex). No entanto, existe um limite, acima do qual a adição de polímero causa um excesso de incorporação de ar (pelos tensoativos), além de descontinuidades da matriz monolítica das AMPs e CMPs, com prejuízo às propriedades destes materiais. Riley e Razi (1974) dizem que, devido a estas descontinuidades, razões p/c acima de 0,25 não são usualmente adotadas na prática. Ainda segundo os mesmos autores, há um limite mínimo de 0,05 para a razão p/c, pois quantidades menores de polímero não causam efeitos significativos sobre materiais cimentícios.

Entre as alterações nas propriedades dos materiais cimentícios modificados com polímeros, constam:

- **Propriedades no estado fresco: teor de ar incorporado, trabalhabilidade (consistência) e retenção de água**

Como comentado anteriormente, os tensoativos presentes nos látex poliméricos podem causar incorporação excessiva de ar. Por este motivo, são adicionados aos látex produtos que controlam esta incorporação de ar, de modo que não haja efeitos negativos sobre as propriedades das AMPs (OHAMA, 1998). Ainda segundo o mesmo autor, muitos látex poliméricos

comerciais contêm, em sua formulação, agentes antiespumantes e, portanto, não necessitam de aditivos específicos durante a mistura das argamassas, embora este último procedimento também seja possível.

A maioria dos látex tem efeito positivo sobre a trabalhabilidade de argamassas ou concretos, de modo similar a aditivos plastificantes comuns. Uma das explicações para este efeito é que o filme polimérico formado permite que as partículas dos constituintes dos materiais cimentícios deslizem mais facilmente umas sobre as outras. Além disso, contribuem para a melhoria da trabalhabilidade, também, a incorporação de ar e a natureza dispersiva das partículas poliméricas (OHAMA, 1998). Assim, como a adição de látex melhora a trabalhabilidade, ela permite relações água/cimento (a/c) menores para uma mesma consistência (RILEY e RAZL, 1974). É importante ressaltar que a água contida no látex deve ser contabilizada como água de amassamento da argamassa ou do concreto.

Em relação à retenção de água, pode-se afirmar que AMPs que contêm látex apresentam uma melhora significativa nesta propriedade. Isto pode ser explicado, segundo OHAMA (1998), pela natureza hidrofílica das partículas coloidais poliméricas e pelo efeito selante das mesmas, dificultando a evaporação de água.

As alterações descritas para as propriedades no estado fresco são válidas, a princípio, para os três tipos de látex (termoplásticos, termofixos e elastoméricos), pois não haveria diferenças significativas no processo de formação de filme de diferentes polímeros. Na literatura pesquisada, não foi encontrado nenhum tipo de referência que distinguisse o comportamento no estado fresco para estas três “famílias” de látex.

• **Propriedades no estado endurecido**

- **Resistência mecânica**

Há divergências em relação ao efeito da adição de látex na resistência mecânica das AMPs e dos CMPs. Ohama (1987) diz que, em geral, ambos apresentam um aumento considerável nas resistências à tração e à flexão, mas nenhuma alteração na resistência à compressão quando comparados a argamassas e concretos comuns. Já Oliveira e Bauer (1999) observaram uma melhoria tanto da resistência à tração quanto da resistência à compressão das

argamassas que continham látex (PVAc e SBR). Este mesmo aumento foi observado por Rossignolo e Agnesini (1999), em seus estudos sobre argamassa modificada com látex SBR.

Acredita-se que estas divergências possam ser explicadas da seguinte maneira: se considerada somente a adição de polímero e como as suas propriedades afetam as da argamassa, é de se esperar que não haja diferença na resistência à compressão, já que a característica deste material é a alta resistência à tração (OHAMA, 1987). No entanto, o efeito plastificante dos látex permite uma redução da relação a/c , que contribui com o aumento da resistência mecânica, inclusive de compressão (RILEY e RAZL, 1974). Por outro lado, outro fator a ser considerado é a incorporação de ar: caso seja excessiva, pode contribuir para a queda de resistência. Há também a influência do tipo de polímero: os polímeros termoplásticos, em geral, proporcionam melhores resistências do que os elastoméricos, conforme Riley e Razl (1974). Os autores compararam somente os polímeros mais utilizados, pois os termofixos são de uso mais restrito. No entanto, como citado no item 4.1.2, os polímeros termofixos são mais resistentes por apresentarem ligações cruzadas e estrutura reticulada. Desta forma, é possível que AMPs modificadas com polímeros termofixos tenham algum ganho de resistência.

A melhoria na resistência (à tração e à tração na flexão) tende a crescer com o aumento da relação polímero/cimento (p/c), sendo válidas, também neste caso, as considerações sobre um limite para o aumento desta relação, a partir do qual descontinuidades afetam esta propriedade negativamente. Outra variável que exerce influência sobre esta propriedade é o tamanho das partículas de polímero: quanto maiores as partículas, maiores as chances de afetarem a resistência de forma negativa, também devido à formação de descontinuidades (WALTERS, 1990). Prado (2007) detalhou o fenômeno da descontinuidade: as partículas de polímero, para que possam caber entre duas partículas de cimento, devem ter dimensões da ordem de 400nm. Caso sejam maiores, há grande risco de aglomeração destas partículas por não interpenetrarem as partículas de cimento e, assim, o filme polimérico não se forma de maneira contínua.

Outra característica que pode exercer influência sobre o comportamento de argamassas poliméricas é a temperatura de transição vítrea dos polímeros

(WALTERS, 1990; PRADO, 2007). Quando um polímero é resfriado abaixo desta temperatura, ele passa de um comportamento dúctil para frágil, rompendo-se para cargas muito mais baixas do que o normal para este tipo de material, com deformações também menores.

As condições de cura também podem alterar a resistência, bem como outras propriedades mecânicas. O ideal, para AMPs que contêm látex, é que sejam submetidas à cura úmida durante os primeiros dias e cura seca no restante. Assim, a hidratação do cimento ocorre durante a cura úmida e, depois, se dá a formação do filme de látex pela secagem (RILEY e RAZL, 1974; OHAMA, 1987). Além disso, a retenção de água proporcionada pela adição de polímeros contribui com o desenvolvimento da resistência mecânica ao longo do tempo, porque mantém na argamassa a água necessária para a reação de hidratação do cimento.

- Módulo de deformação

Os polímeros são materiais que apresentam grande capacidade de deformação quando submetidos a tensões, ou seja, possuem baixo módulo de elasticidade (vide Tabela 4-1 no item 4.1.2.) quando comparados ao cimento hidratado (10-30GPa) (OHAMA, 1998). Isto se reflete nas AMPs com látex: o filme polimérico formado tende a conferir alta elasticidade às argamassas, reduzindo o seu módulo de deformação ou, também, aumentando a sua capacidade de deformação. Esta ressalva foi feita corretamente por Godoy (1999), ao comparar uma argamassa comum a uma modificada com látex SBR. Confrontando os valores de módulo tangente a 50% das duas argamassas, poderia se afirmar que a AMP é mais rígida, pois apresenta o maior módulo (8375MPa contra 6009MPa da argamassa comum). No entanto, a AMP de SBR apresenta maior capacidade de deformação, pois possui carga e deformação de ruptura superiores, como se pode notar na Figura 4-15. Isto se explica pela inibição da propagação das microfissuras, devido à ligação das mesmas pelo filme polimérico formado, fenômeno descrito no item 4.1.2.

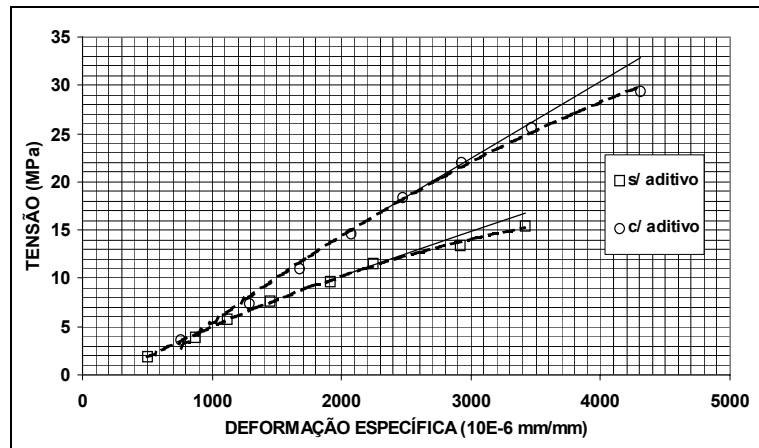


Figura 4-15 - Análise comparativa da capacidade de deformação de duas argamassas, sendo uma delas modificada com polímero (GODOY, 1999).

Em relação à evolução do módulo de deformação no tempo, há controvérsias. Godoy e Barros (1999) observaram tendência de diminuição do módulo ao longo do tempo, à medida que se processa o filme de polímero com a saída de água do sistema. Os autores utilizaram os polímeros estireno-butadieno, estireno-acrílico e poli(acetato de vinila). A metodologia adotada foi avaliar o módulo tangente a 50% da carga de ruptura de compressão, com corpos-de-prova cúbicos de 10cm de lado, e comparar os valores de módulo aos 7, 14 e 28 dias. A ordem de grandeza da redução varia de acordo com o polímero empregado e o teor do mesmo, sendo a máxima redução da ordem de 1GPa para o SBR. Barluenga e Hernández-Olivares (2004), por sua vez, identificaram o contrário: o módulo de deformação cresceu com o tempo (1, 7, 28 e 56 dias), utilizando-se o estireno-butadieno (SBR). O formato de corpo-de-prova adotado foi o prisma de 4x4x16cm e o módulo foi medido pelo método do ultrassom. Neste caso, é possível que a retenção de água devido à presença do látex tenha favorecido a hidratação do cimento, contribuindo para o enrijecimento da argamassa. Além disso, a formação de filme pode ter ocasionado o preenchimento dos poros, favorecendo a propagação da onda ultrassônica e resultando em um maior módulo de deformação. Esta é uma das influências que se pretende investigar no programa experimental proposto no item 4.2.

A influência sobre o módulo de deformação varia com o tipo de látex empregado. Pela Figura 4-16, pode-se observar que a AMP modificada com SBR (polímero elastomérico) possui maior capacidade de deformação do que as que contêm outros polímeros. Riley e Razl (1974) fizeram observação

semelhante acerca dos polímeros elastoméricos empregados em AMPs: eles conferem maior resiliência e extensibilidade às argamassas, devido à própria característica dos elastômeros, que é uma alta capacidade de deformação (item 4.1.2.).

Segundo Ohama (1998), o coeficiente de Poisson não se altera para as AMPs com látex.

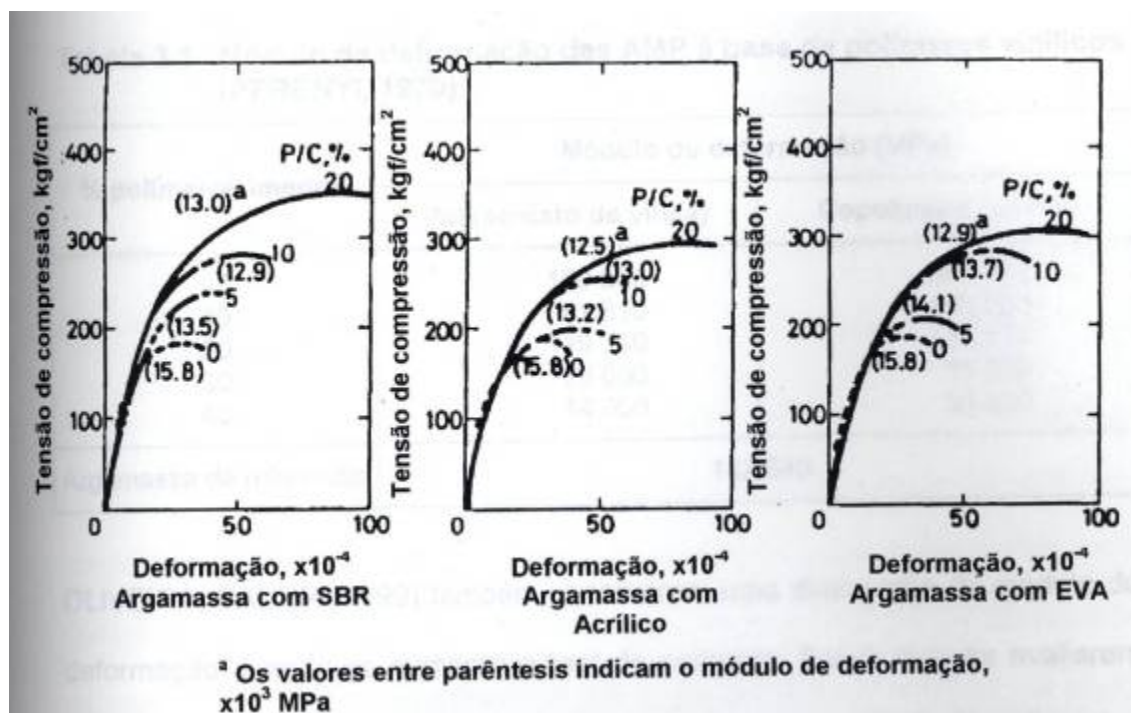


Figura 4-16 - Comparação entre curvas tensão-deformação de argamassas poliméricas modificadas com diferentes polímeros, em que foram utilizadas diferentes relações p/c (GODOY, 1999 apud OHAMA, 1984³).

- Resistência de aderência

Argamassas modificadas com látex têm, em geral, uma excelente aderência a vários substratos, devido às propriedades adesivas características dos polímeros (OHAMA, 1987). Oliveira e Bauer (1999) mediram a resistência de aderência, conforme a NBR 13528 (ABNT, 1995), aos 28 dias de idade da argamassa, a partir de 15 determinações em uma mesma parede. Foram testados três substratos diferentes: bloco de concreto chapiscado, bloco de concreto sem chapisco e concreto armado. Os revestimentos produzidos com as AMPs de SBR apresentaram melhor desempenho do que as de PVAc para todos os substratos: no bloco de concreto sem chapisco, por exemplo, as AMPs de SBR apresentaram valores de resistência de aderência da ordem de

³ OHAMA, Y. **Polymer-modified mortars and concretes**. In: RAMACHANDRAN, V. S., ed. **CONCRETE ADMIXTURES HANDBOOK: PROPERTIES; SCIENCE AND TECHNOLOGY**. Noyes Publications, Park Ridge, 1984. p. 337-429.

0,60MPa, enquanto as de PVAc tiveram valores da ordem de 0,30MPa (Figura 4-17). No entanto, parte deste desempenho pode ter sido conferido pela alta resistência à tração da argamassa, que também foi verificada experimentalmente. O autor não especifica o local do revestimento em que ocorreu a ruptura.

No mesmo trabalho, observou-se também uma tendência de crescimento da resistência de aderência com o aumento do teor de polímero, sendo que, para ambos os polímeros, foram adotados os teores de 10, 15 e 20% (Figura 4-17).

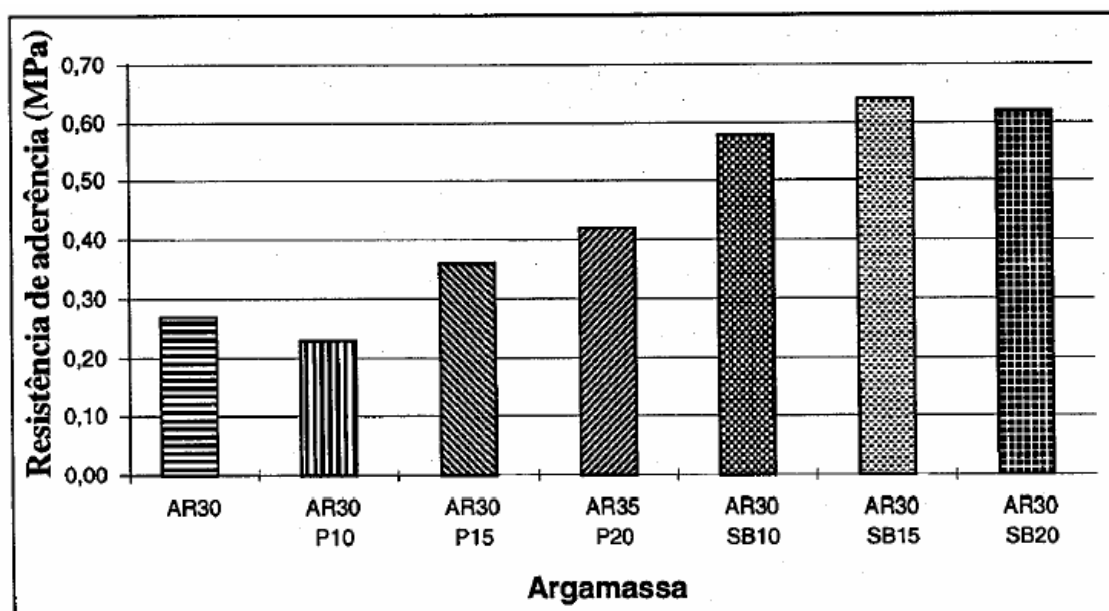


Figura 4-17 - Resultados médios de resistência de aderência, medida conforme a NBR 13258 (ABNT, 1995), no bloco de concreto sem chapisco. As argamassas com índice "P" são com PVAc, e as que têm índice "SB" são as modificadas com SBR, sendo a primeira a argamassa de referência. São indicadas também as relações p/c (OLIVEIRA e BAUER, 1999).

Rossignolo e Agnesini (1999) também observaram uma melhoria na resistência de aderência (NBR 13258, ABNT, 1995) de argamassas modificadas com látex estireno-butadieno, em relação às argamassas não modificadas. Este aumento da resistência de aderência foi maior quanto maior o teor de cimento da argamassa, ou, em outras palavras, quanto mais forte o traço. Neste estudo, não se estudou a influência da variação do teor de polímero.

- Retração por secagem

Segundo Ohama (1998), geralmente, a retração por secagem se estabiliza aos 28 dias quando a AMP é submetida à cura seca. A retração aos

28 dias tende a diminuir com o aumento da relação p/c; no entanto, a rigor, esta é uma propriedade que depende do tipo de látex empregado. Segundo Riley e Razl (1974), polímeros termoplásticos tendem a aumentar a retração, enquanto os elastoméricos podem reduzir a retração, mas somente para razões p/c suficientemente grandes (o autor não especifica o que seria este limite).

- **Estrutura de poros, permeabilidade e durabilidade**

A permeabilidade das AMPs com látex é reduzida pela combinação de dois fatores: o efeito selante dos aditivos poliméricos, pelo preenchimento dos poros da pasta da argamassa com filme de polímero; e pela redução da relação a/c devido ao efeito plastificante do látex. A redução da permeabilidade aumenta a resistência das AMPs a ataques químicos (RILEY e RAZL, 1974; OHAMA, 1998).

Segundo Ohama (1987), a impermeabilidade à água contribui com a resistência à penetração de íons cloreto, diminuindo assim a corrosão de armaduras em estruturas de concreto. Além disso, a carbonatação também diminui com a adição de látex. Por estes motivos, AMPs são muito utilizadas como materiais de reparo para estruturas danificadas (AL ZHRANI et al., 2003). O efeito selante do látex resulta também em maior resistência da argamassa a ciclos de gelo e degelo, fator importante em países de clima frio (RILEY e RAZL, 1974). A transmissão de gases, como ar, CO₂, O₂ e vapor de água; é reduzida com a diminuição da permeabilidade das argamassas (OHAMA, 1987).

No entanto, nem todos os polímeros apresentam excelentes características de permeabilidade e durabilidade. Argamassas modificadas com PVAc, por exemplo, apresentam menor resistência à carbonatação, a ciclos de gelo e degelo e maior permeabilidade. Isto se deve aos seguintes fatores: efeito negativo do tamanho grande de suas partículas e hidrólise do grupo acetato de vinila em condições de alta alcalinidade e umidade (WALTERS, 1990). Por este motivo, o autor não recomenda o uso de látex de PVAc, principalmente nos casos em que a AMP será submetida à umidade constante. Ohama (1998) ressalta também a má resistência à água do PVAc, assim como

Prado (2007), que cita o reemulscionamento do polímero em água, devido à hidrólise do grupo acetato de vinila.

Segundo Ohama (1998), os empregos mais comuns de látex poliméricos utilizados como aditivos para materiais cimentícios são os seguintes:

- Pisos e pavimentos;
- Impermeabilizantes;
- Revestimentos decorativos;
- Materiais para reparo de estruturas;
- Revestimentos anticorrosivos;
- Revestimentos de coberturas;
- Elementos pré-moldados (AGGARWAL et al., 2007).

Entre os materiais citados na classificação proposta no item 4.1.2., os polímeros comumente utilizados no Brasil são: o poli(acetato de vinila) (PVAc), apesar dos inconvenientes citados, os acrílicos (ACR) e o estireno-butadieno (SBR) (OLIVEIRA e BAUER, 1999). Entre estes polímeros, o SBR, segundo Walters (1990), é o que apresenta as melhores propriedades, com adequada adesão e resistência à água e a agentes químicos solúveis em água. Godoy (1999) obteve os melhores resultados de resistência e elasticidade para o SBR, assim como Oliveira e Bauer (1999), em seus estudos comparativos. Além disso, o fato do SBR ser um polímero elastomérico faz com que ele apresente uma elasticidade maior, resultando em uma diferença mais clara entre os comportamentos elásticos de argamassas modificadas e comuns. Por esta razão, deverá ser um dos polímeros utilizados nas investigações que se propõem no presente trabalho. Segundo Prado (2007), os polímeros acrílicos apresentam adequado desempenho quando empregados para aumentar a estanqueidade de argamassas modificadas. Como no mercado brasileiro o emprego de argamassas poliméricas, atualmente, está focado no aumento de estanqueidade, os polímeros acrílicos estão presentes em grande parte dos aditivos, em maior ou menor teor. Por isto, pretende-se usar também os látex de base acrílica no programa experimental, de modo a contemplar os materiais utilizados em obras.

Além dos polímeros citados, há uma tendência a se utilizar misturas de látex poliméricos, reunindo as vantagens de diferentes polímeros, formando um

novo material com uma combinação favorável de propriedades (ZHONG e CHEN, 2002).

A maioria das observações feitas anteriormente em relação à modificação por látex é válida também para modificações pelas outras formas de polímero, discutidas na seqüência.

4.1.2.3.b) Dispersões em pó

As dispersões em pó são fabricadas pela secagem do látex com adições, como bactericidas e produtos que auxiliam na secagem e previnem a incorporação excessiva de ar. Durante a secagem, são adicionados ainda produtos para evitar a formação de blocos sólidos.

Estes pós de polímero são ditos redispersíveis, pois, quando entram em contato com a água e são agitados, eles redispersam ou reemulsificam facilmente, convertendo-se em látex com partículas de polímero de tamanho 1-10µm (OHAMA, 1998). O processo de modificação da argamassa, a partir da redispersão, é o mesmo que o descrito para o látex no item 4.1.2.

Os tipos comerciais de dispersões em pó mais utilizados no mundo, segundo o ACI (1997c)⁴ apud Godoy (1999), são à base de homopolímeros de poli(acetato de vinila), de copolímeros de acetato de vinila e de copolímeros acrílicos.

Segundo Ohama (1996), a tecnologia de produção de pó de polímero redispersível melhorou muito até então, fazendo com que a formação de filme polimérico e as propriedades de AMPs e CMPs produzidos com os pós se tornassem muito próximas às conferidas pela modificação por látex. No entanto, Afridi et al. (1994) observaram que polímeros em pó apresentam uma coalescência mais fraca, formando filmes poliméricos de qualidade inferior em comparação aos látex. Para razões p/c acima de 10%, esta diferença se torna menos significativa.

A principal vantagem dos pós é que eles podem ser pré-misturados ao cimento e aos agregados secos, razão pela qual estes produtos são amplamente utilizados em argamassas industrializadas. Sua desvantagem é o

⁴ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for the selection of polymer adhesives with concrete – ACI 503.5R-92**. In: **ACI manual of concrete practice**. Manual of concrete practice. Detroit, Farming Hills, 1997c. v. 5. n. p.

custo mais alto, por envolver a secagem como etapa adicional no processo de produção (GODOY, 1999).

4.1.2.3.c) Polímeros solúveis em água

Em comparação às outras formas de polímero, os solúveis em água possuem baixo peso molecular, são empregados em pequenas quantidades e adicionados durante a mistura do concreto ou da argamassa, e têm como função principal aumentar a sua trabalhabilidade (OHAMA, 1998; GODOY, 1999). Os mais difundidos são o poli(vinil-álcool) (PVOH) e os derivados celulósicos, como sugere a classificação apresentada no item 4.1.2.

4.1.2.3.d) Resinas

Segundo Mano (1985), resinas são substâncias amorfas ou misturas, de peso molecular intermediário ou alto, insolúveis em água, mas solúveis em alguns solventes orgânicos, que são, à temperatura ambiente, sólidos ou líquidos muito viscosos, que amolecem gradualmente por aquecimento. Na fabricação das resinas destinadas a aditivos poliméricos para argamassas, são empregados polímeros termofixos, como as resinas à base de poliéster e epóxi. A modificação dos concretos e argamassas se dá por cura química das resinas durante a hidratação do cimento, ocorrendo também a formação de filme polimérico (RALEY e RAZL, 1974; GODOY, 1999). Além disso, são empregadas quantidades muito maiores de polímero em comparação aos látex, de modo que, em alguns casos, a resina passa a ser o aglomerante principal (RALEY e RAZL, 1974).

4.2. Definição do programa experimental

Com base nas referências bibliográficas, pode-se entender melhor o comportamento dos aditivos poliméricos e dos incorporadores de ar e as variáveis que exercem influência sobre o comportamento das AMPs.

Em função do aprendizado, julgou-se necessárias algumas alterações no programa experimental proposto no último relatório parcial enviado à FAPESP (PARTE 3, Tabela 3-12), de modo a tornar mais completo o estudo a ser feito neste trabalho. As alterações propostas são apresentadas e justificadas na seqüência, e sintetizadas na Tabela 4-5.

4.2.1 Traço da argamassa a ser utilizada

Propõe-se que o traço, inicialmente previsto como 1:0,5:4,5, seja alterado para 1:3 (ambos em volume de areia úmida), pelos seguintes motivos: primeiramente, elimina-se a cal, que seria uma variável a mais nos estudos, pois pode interagir com os aditivos de maneira inesperada. Além disso, muitas pesquisas, nacionais e internacionais, adotaram este traço em seus programas experimentais e, portanto, esta alteração facilitará a comparação dos resultados. Esta alteração foi, inclusive, recomendada por Prado (2007).

4.2.2 Procedimento de cura dos corpos de prova

De acordo com a revisão bibliográfica, o ideal é submeter os corpos-de-prova durante os primeiros dias à cura úmida, seguida de cura seca (para que ocorra hidratação do cimento e, depois, formação de filme polimérico). Sendo assim, será feita a cura em câmara úmida durante 7 dias, colocando os corpos-de-prova, depois, na câmara seca por mais 21 dias, de modo a totalizar os 28 dias para realização da caracterização no estado endurecido.

4.2.3 Idade das avaliações dos corpos-de-prova no estado endurecido

Inicialmente, previa-se uma idade de 63 dias para realização da caracterização no estado endurecido; no entanto, devido aos atrasos ocorridos e tendo em vista o término do prazo da pesquisa, não haveria tempo hábil para ensaiá-los em uma idade tão avançada. No entanto, esta alteração não deve, a priori, exercer impacto sobre os resultados, como já foi discutido no item III.1.2 do último relatório encaminhado à FAPESP.

4.2.4 Teores e tipos de polímeros a serem investigados

Ao invés de serem investigados 3 teores diferentes de polímero, Prado (2007) sugeriu que fossem estudados 3 polímeros com características diferentes de elasticidade. Os produtos a serem utilizados na pesquisa, portanto, são os seguintes⁵:

- Baucryl 30/30: aditivo composto por polímero acrílico-estirenado, de maior rigidez;

⁵ Os aditivos poliméricos serão doados pela Quimicryl.

- Baucryl 5000: também composto por polímero acrílico-estirenado, mas com maior flexibilidade;
- Baucryl 60/80: aditivo composto por estireno-butadieno-acrílico, sendo o mais flexível entre os três produtos. Especificamente para este polímero, serão estudadas duas relações p/c: 10 e 20%.

4.2.5 Incorporador de ar a ser utilizado

No que diz respeito ao aditivo incorporador de ar, o pesquisador César Romano, do Laboratório de Microestrutura (PCC/USP), que estuda este tipo de aditivo, recomendou o uso do Lauril Sulfato de Sódio (LSS). Trata-se de um incorporador de ar de caráter aniônico, disponível em quantidade suficiente no laboratório e que permite a incorporação de ar nos teores desejados (Tabela 4-2).

4.2.6 Demais parâmetros e programação de realização dos ensaios

O cimento a ser utilizado será o CII-F, por não conter substâncias como escória e pozolana, que poderiam constituir novas variáveis. Além disso, é o cimento brasileiro que mais se aproxima do cimento Portland comum utilizado nas pesquisas estrangeiras, segundo observado durante a revisão bibliográfica, e confirmado por Prado (2007). Isto também facilita comparações dos resultados. Esta recomendação também foi ressaltada por Romano.

A areia a ser utilizada será areia rosa, fina, disponível no laboratório. A caracterização desta areia está sendo feita por outra pesquisadora de iniciação científica, de modo que não será necessário repetir a caracterização.

Para as argamassas a serem utilizadas nesta fase da pesquisa, deverá ser mantida constante a relação a/c ao invés do índice de consistência pelo “*dropping ball*”. Isto se justifica porque, mantendo a relação a/c constante, será avaliada somente a influência do aditivo sobre as propriedades a serem estudadas. Em função da relação a/c, a ser definida experimentalmente com base na argamassa de referência (traço 1:3, sem aditivos), será estabelecida a quantidade de água necessária para cada argamassa. Com isso, serão definidos precisamente os traços, em massa de material seco, em função das quantidades de materiais necessários para cada moldagem.

A produção da argamassa será feita em misturadora de eixo horizontal, mantendo o procedimento adotado na última etapa da pesquisa. Primeiramente, será verificada a estabilização da incorporação de ar, conforme procedimento proposto por Monte et al. (2003).

No que diz respeito à caracterização dos materiais, esta se dará em três momentos. Primeiramente, no estado anidro, serão feitos os seguintes ensaios:

- Determinação da densidade de massa unitária do cimento, de acordo com adaptação da NBR 7251 (ABNT, 1982), descrita no Anexo A do primeiro relatório parcial encaminhado à FAPESP;
 - Determinação da densidade de massa específica do cimento pelo picnômetro de gás Hélio, conforme procedimento de laboratório apresentado no Anexo B do segundo relatório encaminhado à FAPESP;
- Para a argamassa no estado fresco, serão realizados os ensaios:
- Ensaio de consistência pelo método do “*dropping ball*”, segundo a BS 4551 (BSI, 1980);
 - Determinação da densidade de massa aparente, de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005).

A caracterização no estado endurecido envolve, além do ensaio de determinação da densidade de massa aparente, conforme a NBR 13280 (ABNT, 1980), os ensaios listados na

Tabela 4-2 e Tabela 4-3. Decidiu-se incluir o ensaio de resistência à tração por compressão diametral para o cilindro, pois permite a obtenção de mais um dado sobre o material, sendo possível estabelecer comparações adicionais durante a fase de análise dos resultados.

Tabela 4-2 - Programa experimental proposto para avaliar a influência da incorporação de ar sobre o comportamento dos ensaios de módulo de deformação de argamassas.

Traço	Teor de ar incorporado	Formato de CP	Ensaio	Referências normativas	nº de CPs/ teor de ar
1:3	referência (sem aditivo) 10-15% 20-25% 30-35%	prisma	Resistência à tração na flexão (RTF)	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	12, dos quais: 7 para RTF 4 para RC 10 para MC todos para MU (5 não serão rompidos)
			Resistência à compressão (RC)	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	
			Módulo de deformação à compressão estático (extensômetro) (MC)	adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003)*	
			Módulo de deformação pelo ultrassom (MU)	Procedimento*	
		cilindro	Resistência à compressão (RC)	adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999)*	25, dos quais 5 para RC 5 para RTCD 10 para MC todos para MU (5 não serão rompidos)
			Resistência à tração por compressão diametral (RTCD)	NBR 7222 (ABNT, 1994)	
			Módulo de deformação à compressão estático (extensômetro) (MC)	adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003)*	
			Módulo de deformação pelo ultrassom (MU)	Procedimento*	

* Adaptação das normas BS EN 1015-11 e NBR 8522, e procedimento para módulo pelo ultrassom disponíveis no anexo B do último relatório encaminhado à FAPESP.

Tabela 4-3 - Programa experimental proposto para avaliar a influência do uso de aditivos poliméricos sobre o comportamento dos ensaios de módulo de deformação de argamassas.

Traço	Polímeros*	Formato de CP	Ensaio	Referências normativas	nº de CPs/ teor de ar
1:3	Baucryl 30/30 Baucryl 5000 Baucryl 60/80, p/c 10% Baucryl 60/80, p/c 20%	prisma	Resistência à tração na flexão (RTF)	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	12, dos quais: 7 para RTF 4 para RC 10 para MC todos para MU (5 não serão rompidos)
			Resistência à compressão (RC)	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	
			Módulo de deformação à compressão estático (extensômetro) (MC)	adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003)**	
			Módulo de deformação pelo ultrassom (MU)	Procedimento**	
		cilindro	Resistência à compressão (RC)	adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999)**	25, dos quais 5 para RC 5 para RTCD 10 para MC todos para MU (5 não serão rompidos)
			Resistência à tração por compressão diametral (RTCD)	NBR 7222 (ABNT, 1994)	
			Módulo de deformação à compressão estático (extensômetro) (MC)	adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003)**	
			Módulo de deformação pelo ultrassom (MU)	Procedimento**	

* Vale, neste caso, a mesma argamassa de referência mencionada na tabela do ar incorporado.

** Adaptação das normas BS EN 1015-11 e NBR 8522, e procedimento para módulo pelo ultrassom disponíveis no anexo B do último relatório encaminhado à FAPESP.

Além disso, será investigada a evolução do módulo durante o tempo (aos 7, 14, 28 e 70 dias, com os 5 corpos-de-prova que não serão rompidos), além de serem realizadas medições com corpos-de-prova úmidos e secos (aos 28 dias), para verificar a influência desta variável. Ambas as avaliações serão feitas através do ensaio de módulo de deformação pelo ultrassom.

Esta programação resulta em 296 corpos-de-prova a serem moldados e ensaiados. Estas moldagens foram divididas em 8 dias, levando-se em conta os tempos necessários para moldagens e ensaios, sobretudo os estáticos. Sendo assim, para a realização deste programa experimental, propõe-se o cronograma apresentado na Tabela 4-4:

Tabela 4-4 - Cronograma para realização do programa experimental.

Data ou período	Atividade
15 a 24/10/2007	Aquisição dos materiais e caracterização no estado anidro, cálculo das dosagens.
25 e 26/10; 1, 6, 7, 8 e 9/11	Moldagens e caracterização no estado fresco
22, 23 e 29/11; 4, 5, 6 e 7/12	Ensaio de caracterização no estado endurecido

Uma síntese das alterações feitas no programa experimental proposto no último relatório encaminhado à FAPESP se apresenta na Tabela 4-5.

Tabela 4-5 - Síntese das alterações feitas no programa experimental.

Item	Proposto no programa anterior	Proposto no programa atual
Traço	1 : 0,5 : 4,5	1 : 3
Cura	4 dias em ambiente laboratorial + câmara seca até completar a idade para ensaio	7 dias em câmara úmida + 21 dias em câmara seca
Idade dos CPs para caracterização no estado endurecido	63 dias	28 dias
Polímeros	1 polímero com 3 relações p/c	3 polímeros, sendo 1 deles com 2 relações p/c
Caracterização no estado endurecido	ver PARTE 3, Tabela 3-12	Inclusão de ensaio de resistência à tração por compressão diametral; Análise da influência da idade no módulo; Análise da condição de saturação no módulo.

4.3. Contribuições a trabalhos de outros pesquisadores

Durante o terceiro período do desenvolvimento da iniciação científica, foram feitas duas contribuições a trabalhos de outros pesquisadores, como parte do aprendizado da pesquisadora para o desenvolvimento de seu próprio trabalho experimental.

O primeiro trabalho de que a pesquisadora participou visou avaliar a influência da energia, do teor de água e do tempo de mistura na incorporação de ar de argamassas industrializadas. Para tal fim, utilizaram-se três tipos de misturadores de argamassa (misturador planetário, de eixo horizontal e betoneira), variando-se o teor de água para a mistura no misturador planetário (o indicado pelo fabricante, 1% inferior e 1% superior). Moldaram-se, ainda, corpos-de-prova em três intervalos diferentes de tempo de mistura, para verificação da estabilização da incorporação de ar. O objetivo desta participação foi proporcionar à pesquisadora um aprendizado sobre incorporadores de ar e argamassas com eles modificadas. Durante o período de 11 a 20 de julho de 2007, a pesquisadora contribuiu com a moldagem e parte dos ensaios de módulo pelo ultrassom a serem realizados para o trabalho proposto. Uma primeira versão do relatório resultante deste trabalho está apresentada no Anexo A.

A segunda contribuição se deu ao trabalho desenvolvido pela pesquisadora Renata Monte, com o objetivo de avaliar a influência do tipo de transdutor e das condições de umidade dos corpos-de-prova sobre os resultados de módulo de deformação pelo ultrassom. Foram utilizados transdutores de dois fabricantes: PUNDIT, com frequência de 200kHz, e Panametrics, de 1MHz. Foram avaliados os corpos-de-prova primeiramente secos em estufa, sendo posteriormente imersos em água de modo que se efetivasse a saturação dos mesmos. A pesquisadora, neste caso, auxiliou na realização dos ensaios de módulo de deformação pelo ultrassom, seguindo o mesmo procedimento adotado em seu trabalho e descrito no Anexo B do segundo relatório encaminhado à FAPESP. Os ensaios foram realizados nos dias 14 e 20 de setembro de 2007. Os resultados dos ensaios estão apresentados no Anexo B, e o relatório referente a este trabalho ainda está sendo redigido. Pretende-se, com este trabalho, contribuir para definição de

parâmetros a serem adotados em normalização brasileira sobre o ensaio de módulo de deformação pelo ultrassom.

4.4. Publicação científica

4.4.1 49º Congresso Brasileiro do Concreto

O artigo enviado ao IBRACON, que consta no Anexo G do último relatório enviado à FAPESP, foi aprovado para apresentação em forma de pôster no 49º CBC (Congresso Brasileiro do Concreto) (Figura 4-18).



Figura 4-18 - Pesquisadora junto ao pôster apresentado no 49º CBC.

O congresso foi realizado na cidade de Bento Gonçalves (RS), entre os dias 01/09 e 05/09/2007. Graças aos recursos cedidos pelo CONSITRA (Consórcio Setorial para Inovação em Tecnologia de Revestimentos de Argamassa), que cobriram os gastos com inscrição, transporte e hospedagem, foi possível a participação da pesquisadora no evento. O artigo revisado, publicado no livro de anais do congresso, encontra-se no Anexo C. O pôster, por sua vez, foi anexado a este relatório em formato digital (vide CDROM em anexo).

4.4.2 15º Simpósio internacional de iniciação científica da Universidade de São Paulo (SIICUSP)

O resumo elaborado para participação neste simpósio anual realizado pela Universidade de São Paulo encontra-se no Anexo D e contempla todos os aspectos analisados até o término do segundo período da pesquisa. O evento será realizado nos dias 26, 27 e 28 de novembro, em São Carlos (SP).

PARTE 5. Considerações finais

5.1. Quanto aos objetivos a serem atingidos

Os objetivos estabelecidos para esta etapa da pesquisa foram parcialmente atingidos. Houve um atraso no cronograma, cuja justificativa encontra-se no item 5.2.

Realizou-se uma revisão bibliográfica mais profunda do que se previa inicialmente sobre os polímeros e os incorporadores de ar, entrando em detalhes sobre a estrutura e o comportamento destes materiais. Esta etapa, que consumiu um longo tempo, mostrou-se extremamente importante para o estabelecimento de parâmetros adequados para o programa experimental.

Outro objetivo atingido foi a participação no 49º Congresso Brasileiro do Concreto, em Bento Gonçalves (RS). Além da apresentação do trabalho em forma de pôster e da inclusão do artigo entre os anais do congresso, esta foi uma experiência que agregou um grande aprendizado à pesquisadora.

Além disso, as contribuições que a pesquisadora fez a trabalhos de outros pesquisadores, embora não previstas no relatório anterior, também serviram como aprendizado, até mesmo contribuindo com o planejamento do programa experimental.

Embora se tenha gasto um tempo consideravelmente maior com esta fase de preparação do que se havia imaginado, isto se refletirá na execução do programa experimental de maneira mais rápida e com melhor embasamento, pois todos os parâmetros já estão bem definidos.

5.2. Quanto às dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento da terceira etapa do trabalho

A principal dificuldade encontrada durante a realização desta etapa foi a baixa disponibilidade de tempo, devido aos compromissos acadêmicos, tais como provas e trabalhos. Este fator comprometeu o desenvolvimento da pesquisa, principalmente, durante os meses de maio e junho. O início do segundo semestre também foi um período crítico.

Outra dificuldade foi o baixo número de referências bibliográficas nacionais referentes aos temas pesquisados, principalmente para aditivos

poliméricos. Algumas referências internacionais, inclusive, não foram encontradas. Há também a dificuldade de comparar resultados de pesquisadores diferentes, pois eles adotam critérios distintos, não raramente mantendo muitas variáveis em seus trabalhos que exercem interferências sobre as quais não se tem domínio.

A elaboração do pôster, os preparativos e a própria participação da pesquisadora no 49º Congresso Brasileiro do Concreto consumiram tempo expressivo, o que também contribuiu com o atraso que se verifica em relação ao cronograma inicial.

Não obstante, acredita-se que será possível cumprir o programa inicialmente previsto, apresentando-se, na seqüência o novo cronograma para a finalização do trabalho.

5.3. Novo cronograma para o trabalho

Além da realização do programa experimental e da análise dos dados e resultados, pretende-se, durante esta etapa final, elaborar um artigo a ser submetido para a revista *Téchne*, além da elaboração do pôster a ser apresentado no 15º SIICUSP. Propõe-se, portanto, o cronograma apresentado na Figura 5-1.

Atividade	15 a 31/10	01 a 14/11	15 a 30/11	01 a 14/12	15 a 31/12	1 a 14/01	15 a 10/02
Aquisição de materiais							
Moldagens e caracterização no estado fresco							
Caracterização no estado endurecido							
Elaboração de artigo (<i>Téchne</i>) e de pôster para apresentação no 15º SIICUSP							
15º SIICUSP							
Análise dos dados							
Elaboração do relatório final							

Figura 5-1 - Proposta de cronograma de atividades para a última etapa da pesquisa.

PARTE 6. Referências bibliográficas

AFRIDI, M. U. K., et al. **Development of polymer films by the coalescence of polymer particles in powdered and aqueous polymer-modified mortars.** In: Cement and Concrete Research 33, 2003. p. 1715-1721.

AFRIDI, M. U. K; et al. **Strength and elastic properties of powdered and aqueous polymer-modified mortars.** In: Cement and Concrete Research. Vol. 24, no. 7, 1994. p. 1199-1213.

AGGARWAL, L. K.; THAPLIYAL, P. C.; KARADE, S. R. **Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic emulsions.** In: Construction and Building Materials 21, 2007. p. 379-383.

AL-ZAHRANI, M. M.; et al. Mechanical properties and durability characteristics of polymer- and cement-based repair materials. In: Cement and Concrete Composites 25, 2003. p. 527-537.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Análise química – Determinação de resíduo insolúvel. NBR NM 15.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Agregados – Determinação da composição granulométrica. NBR NM 248.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio. NBR 6467.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Agregados – Determinação da composição granulométrica. NBR 7217.** Rio de Janeiro, 1987 (cancelada).

_____. **Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 1994.

_____. **Agregados em estado solto – Determinação da massa unitária. NBR 7251.** Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. NBR 8522.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. NBR 13528.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. NBR 13276.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. NBR 13278.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION – NF B 10-511 – **Produits de carrières pierres calcaires – mesure du module d'élasticité dynamique.** Paris, AFNOR, 1975.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento.** São Paulo, 2001. 172p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

BARLUENGA, G.; HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. **SBR látex modified mortar rheology and mechanical behaviour.** In: Cement and Concrete Research 34, 2004. p. 527-535.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Methods of testing mortars, screeds and plasters – BS 4551.** Londres, 1980.

_____. **Methods of test mortar for masonry – determination of flexure and compressive strength of hardened mortar – BS EN 1015-11.** Londres, 1999.

CALHAU, E. L.; TRISTÃO, F. A. **Influência do teor de ar incorporado nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3. Vitória, 1999. **Anais**, Vitória: SBTA, 1999: p. 219-230.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação.** São Paulo, 1996. 285p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CAVANI, G. R.; ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M. **Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2. Salvador, 1997. **Anais**, Salvador: SBTA, 1997: p. 110-119.

CINCOTTO, M. A.; et al. **Tecnologia dos aditivos.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas/ Divisão de Edificações. São Paulo, IPT, 1983.

DU, L.; FOLLIARD, K. J. **Mechanisms of air entrainment in concrete.** In: Cement and Concrete Research 35, 2005. p. 1463-1471.

GODOY, E. H. P.; BARROS, M. M. S. B. **Contribuição ao estudo da influência do teor de polímero nas propriedades das argamassas de**

cimento Portland. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3. Vitória, 1999. **Anais**, Vitória: SBTA, 1999: p. 249-264.

GODOY, E. H. P. **Contrapisos de argamassa de cimento Portland e polímeros como camada promotora de estanqueidade de pisos de edifícios.** São Paulo, 1999. 181p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

LEA, F. M. **Lea'she chemistry of cement and concrete.** Oxford, Elsevier, 2004. p. 843-849.

MANO, E. B. **Introdução a polímeros.** São Paulo, Edgard Blücher, 1985.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia.** São Paulo, Edgard Blücher, 1991.

MANSUR, A. A. P.; NASCIMENTO, O. L.; MANSUR, H. S. **Efeito da adição do polímero poli(álcool vinílico) nas propriedades das argamassas.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 7. Recife, 2007. **Anais**, Recife: SBTA, 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, Pini, 1994. p. 277-282 e 452.

MONTE, R.; UEMOTO, K. L.; SELMO, S. M. S. **Qualificação de aditivos incorporadores de ar para argamassas de assentamento e revestimento.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5. São Paulo, 2003. **Anais**, São Paulo: SBTA, 2003: p. 181-194.

MONTE, R.; UEMOTO, K. L.; SELMO, S. M. S. **Efeitos de aditivos incorporadores de ar nas propriedades de argamassas e revestimentos.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5. São Paulo, 2003. **Anais**, São Paulo: SBTA, 2003: p. 303-315.

MONTE, R.; SILVA, A. C. M. A.; FIGUEIREDO, A. D. **Avaliação da influência do teor de ar no módulo de elasticidade de argamassas.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 7. Recife, 2007. **Anais**, Recife: SBTA, 2007.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo, Pini, 1982. p. 452-463.

OHAMA, Y. **Polymer-based admixtures.** In: Cement and Concrete Composites 20, 1998. p. 189-202.

OHAMA, Y. **Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes.** In: ACI Materials Journal, nov/dec 1987. p. 511-518.

OHAMA, Y. **Recent progress in concrete-polymer composites**. In: Advanced Cement Based Materials 5, 1997. p. 31-40.

OLIVEIRA, J. A. C.; BAUER, E. **Análise comparativa das alterações das propriedades dos revestimentos com polímeros de base látex**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3. Vitória, 1999. **Anais**, Vitória: SBTA, 1999: p. 281-292

RILEM. **Application of admixtures in concrete – State-of-the art**. RILEM Report n. 10, 1995. Capítulo 2.

RILEY, V. R.; RAZL, I. **Polymer additives for cement composites: a review**. In: Composites, 1974. p. 27-33.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M. V. C. **Propriedades da argamassa de cimento Portland modificada com látex estireno-butadieno para revestimento de fachadas – estudo de caso**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3. Vitória, 1999. **Anais**, Vitória: SBTA, 1999: p. 267-279.

VAN VLACK, L. H. **Princípio da ciência dos materiais**. São Paulo, Edgard Blücher; Brasília, INL, 1973. Capítulo 7.

WALTERS, G. **Comparison of latex-modified Portland cement mortars**. In: ACI Materials Journal, V. 87, No. 4, jul/aug 1990. p. 371-377.

ZHONG, S.; CHEN, Z. **Properties of latex blends and its modified cement mortars**. In: Cement and Concrete Research 32, 2002. p. 1515-1524.

PARTE 7. Outras bibliografias consultadas

BUREAU, L.; et al. **Mechanical characterization of a styrene-butadiene modified mortar**. In: Materials Science and Engineering A308, 2001. p. 233-240.

KIM, J.; ROBERTSON, R. E.; NAAMAN, A. E. **Structure and properties of poly(vinyl alcohol)-modified mortar and concrete**. In: Cement and Concrete Research 29, 1999. p. 407-415.

OHAMA, Y.; et al. **Properties of polymer-modified mortars using styrene-butyl acrylate latexes with various monomer ratios**. In: ACI Materials Journal, jan/feb 1991. p. 56-61.

MORENO JR., R. **Aderência de argamassas de reparo de estruturas de concreto**. São Paulo, 2002. 202p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PASCAL, S.; ALLICHE, A.; PILVIN, Ph. **Mechanical behaviour of polymer modified mortars.** In: Materials Science and Engineering A380, 2004. p 1-8.

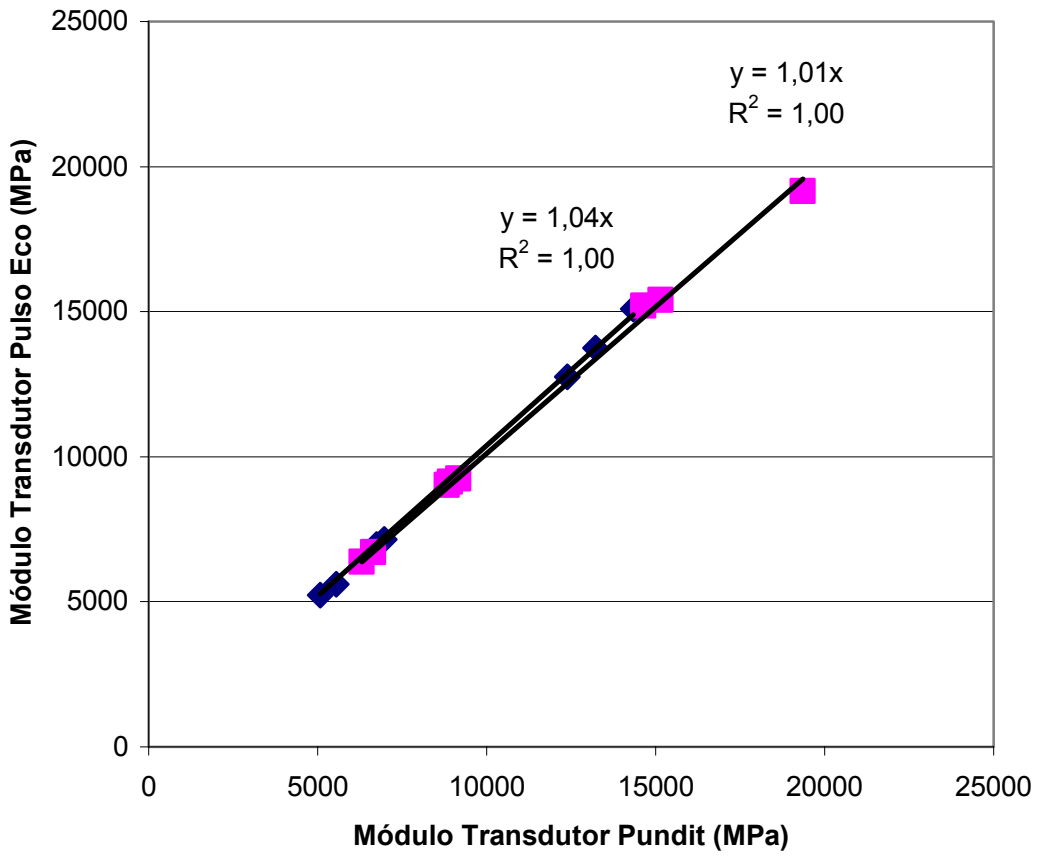
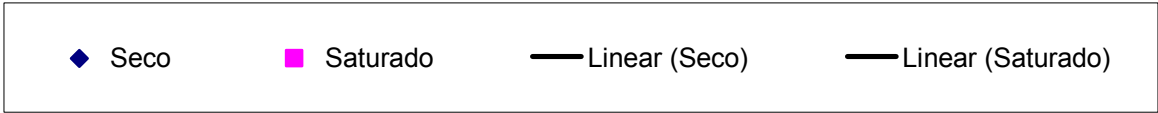
SCHULZE, J. **Influence of water-cement ratio and cement content on the properties of polymer-modified mortars.** In: Cement and Concrete Research 29, 1999. p. 909-915.

STORTE, M. **Látex estireno-butadieno. Aplicação em concretos de cimento e polímero.** São Paulo, 1991. 127p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PARTE 8. Anexos

8.1. Anexo A – Relatório sobre suscetibilidade das argamassas ao processamento, de Romano et al. (2007)

8.2. Anexo B – Apresentação dos resultados dos ensaios realizados pela pesquisadora e Renata Monte



8.3. Anexo C – Artigo publicado nos anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto

8.4. Anexo D – Resumo elaborado para participação no 15º SIICUSP (Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP)