

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

RELATÓRIO FINAL

INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mércia M. S. B. de Barros

Pesquisadora: Fernanda Belizário Silva

São Paulo, fevereiro de 2008.

SUMÁRIO

PARTE 1. Resumo do plano de pesquisa e das etapas anteriores.....	4
PARTE 2. Atividades desenvolvidas no quarto período – 10/10/2007 a 10/02/2008	10
2.1. Apresentação do programa experimental.....	10
2.1.1. Obtenção dos materiais	10
2.1.2. Caracterização no estado anidro.....	10
2.1.3. Moldagens e caracterização no estado fresco	11
2.1.4. Caracterização no estado endurecido.....	18
2.2. Apresentação dos resultados	24
2.2.1. Caracterização no estado anidro.....	24
2.2.2. Caracterização no estado fresco.....	26
2.3. Apresentação e análise dos resultados da caracterização no estado endurecido	26
2.4. Considerações finais sobre o programa experimental e a análise dos resultados	47
2.4.1. Comparação com resultados obtidos por outros pesquisadores.....	50
2.5. Publicação científica	51
PARTE 3. Considerações finais	52
3.1. Quanto aos objetivos a serem atingidos	52
3.2. Quanto às dificuldades encontradas no desenvolvimento da presente etapa do trabalho.....	53
3.3. Sugestões para pesquisas futuras.....	54
3.4. Quanto ao aprendizado adquirido durante a iniciação científica.....	55
PARTE 4. Referências bibliográficas	56
PARTE 5. Apêndices.....	58

PARTE 1. Resumo do plano de pesquisa e das etapas anteriores

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 ocorram fissuras na forma de rupturas visíveis, que possam prejudicar o 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 esta tensão.

Há diferentes métodos de ensaio para determinação desta propriedade, que fornecem resultados distintos. Além disso, há também diferentes formas de calcular o módulo de deformação, bem como diversos formatos de corpo-de-prova. Não havendo normalização brasileira específica sobre o tema, ocorre uma falta de consenso no meio técnico sobre quais métodos de ensaio e de cálculo se adotar para determinação desta propriedade. Isto dificulta a caracterização de materiais para fins comerciais e acadêmicos, bem como a comparação entre estudos diversos. Com o objetivo de contribuir para que se estabeleça um consenso sobre como avaliar o módulo de deformação, nesta pesquisa propõe-se analisar os principais métodos de ensaio para determinação desta propriedade.

Durante a primeira fase da pesquisa, realizada no período de 01/06/2006 a 10/11/2006, realizou-se uma extensa revisão bibliográfica sobre o tema, de forma a melhor compreendê-lo para estabelecer o programa experimental a ser conduzido. Em função da revisão, decidiu-se avaliar os seguintes métodos de determinação do módulo de deformação:

- Módulo de deformação estático à compressão;
- Módulo de deformação estático à tração na flexão;
- Módulo de deformação dinâmico pelo ultrassom;
- Módulo de deformação dinâmico pela frequência de ressonância.

Em relação aos corpos-de-prova, analisaram-se os seguintes formatos:

- Barra: 2,5 x 2,5 x 28,5cm;
- Cilindro: Ø5 x 10cm;

- Cubo: 10 x 10 x 10cm;
- Placa: 2,5 x 7,5 x 20cm;
- Prisma: 4 x 4 x 16cm.

Ainda nesta fase da pesquisa, estabeleceram-se dois traços de argamassa, de modo a avaliar a capacidade de diferenciação dos ensaios quanto a dosagens diferentes. Os traços, em volume de areia úmida, são 1:0,5:4,5 (forte) e 1:2:9 (fraco). Realizaram-se as moldagens dos corpos-de-prova, a caracterização no estado fresco e parte da caracterização no estado anidro dos materiais.

A caracterização no estado fresco consistiu no ensaio de índice de penetração pelo “*dropping-ball*”, conforme a BS 4551 (BSI, 1980) e no ensaio de densidade de massa aparente, segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005). Por sua vez, a caracterização no estado anidro foi feita através do ensaio de densidade de massa unitária, conforme a NBR 7251 (ABNT, 1982) e do ensaio de determinação do coeficiente de inchamento da areia, segundo a NBR 6467 (ABNT, 2006).

Na segunda fase da pesquisa, que compreendeu o período de 11/11/2006 a 10/05/2007, foi realizado o restante da caracterização dos materiais no estado anidro: determinação da densidade de massa específica dos materiais pelo picnômetro de gás Hélio, de acordo com procedimento disponível no Anexo B do segundo relatório encaminhado à FAPESP; determinação do conteúdo de resíduo insolúvel na cal, segundo a NBR 6473 (ABNT, 2003) e determinação da granulometria da areia, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Entretanto, o foco das atividades deste período foi a caracterização no estado endurecido. Além da caracterização geométrica, pesagem e ensaios de resistência à compressão (BS EN 1015-11 (BSI, 1999) ou adaptação (Anexo B do segundo relatório)) e resistência à tração na flexão (BS EN 1015-11 (BSI, 1999) ou procedimento adotado por Bastos (2001)), foram realizados os seguintes ensaios de módulo:

- Módulo de deformação estático à compressão, conforme adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003), disponível no Anexo B do segundo relatório encaminhado à FAPESP. Formatos de corpo-de-prova: cilindro, cubo e prisma. No caso do cubo, analisaram-se

dois métodos de medição dos deslocamentos: extensômetro elétrico e relógios comparadores;

- Módulo de deformação estático à tração na flexão, segundo procedimento proposto por Bastos (2001). Formato de corpo-de-prova: placa;
- Módulo de deformação dinâmico pelo ultrassom, de acordo com procedimento descrito no Anexo B do segundo relatório encaminhado à FAPESP. Formatos de corpo-de-prova: todos (com medição em duas direções para a placa e para o prisma). Analisou-se também a influência do operador sobre os resultados deste ensaio;
- Módulo de deformação dinâmico pela frequência de ressonância, segundo a NF B 10-511 (AFNOR, 1975). Formato de corpo-de-prova: barra.

Ainda nesta fase foram analisados os resultados obtidos destes ensaios, de onde se pode concluir que os ensaios dinâmicos, além de serem não destrutivos, são de mais fácil realização, menor custo e menor variabilidade dos resultados se comparados aos estáticos. O ensaio pelo ultrassom é de mais amplo emprego do que o ensaio pela frequência de ressonância, além de ser operacionalmente mais simples, motivo pelo qual foi escolhido como o ensaio mais indicado para se avaliar o módulo de deformação em argamassas. Verificou-se, ainda, que este ensaio não sofre influência do operador. Entretanto, ressaltou-se a capacidade do ensaio estático de traçar a curva tensão-deformação do material, fornecendo um panorama mais completo sobre seu comportamento mecânico. Em relação ao instrumento de medida de deslocamentos, o extensômetro elétrico forneceu resultados muito mais confiáveis do que os relógios comparadores. O ensaio de módulo à tração na flexão fornece um dado diferente dos demais ensaios e merece maiores investigações para seu emprego.

Com relação aos formatos de corpo-de-prova, o que apresentou melhor desempenho foi o cilindro, quanto à representatividade e variabilidade dos seus resultados. Em seguida, o prisma apresentou também desempenho satisfatório. O corpo-de-prova cúbico apresentou um alto consumo de argamassa e resultados discrepantes de módulo de deformação, enquanto a barra tem aplicabilidade restrita e está sujeita a maiores níveis de retração. A

placa é interessante por assemelhar-se dimensionalmente aos revestimentos de argamassa aplicados; entretanto, seu comportamento é muito distinto dos demais formatos de corpo-de-prova e seu emprego deve ser investigado com mais profundidade.

No segundo período, foram elaborados ainda o resumo e o artigo para participação no 49º Congresso Brasileiro do Concreto. Esta publicação abordou os resultados obtidos para o corpo-de-prova de formato cilíndrico.

Na finalização desta etapa da pesquisa, surgiram alguns questionamentos: o ensaio de módulo pelo ultrassom seria capaz de caracterizar bem argamassas modificadas? Ele apresentaria um bom comportamento para argamassas com incorporador de ar e, principalmente, com polímero, se comparado ao ensaio estático à compressão (escolhido como o segundo melhor para efetuar caracterização de argamassas)?

Desta forma, propôs-se a prorrogação da bolsa de iniciação científica, para se realizar um programa experimental visando dar respostas a estes questionamentos. A prorrogação foi concedida pela assessoria da FAPESP, e uma nova fase da pesquisa foi desenvolvida no período de 11/05/2007 a 10/10/2007, registrando-se os seus resultados no que se denominou terceiro relatório.

Nesta fase foi realizada uma nova revisão bibliográfica para possibilitar à pesquisadora uma maior compreensão do comportamento das argamassas modificadas com incorporadores de ar e polímeros, principalmente os aplicados na forma de látex. Esta revisão bibliográfica serviu como base para a definição dos parâmetros a serem adotados no programa experimental, quais sejam:

- Traço da argamassa: 1: 3 de cimento e areia úmida, em volume;
- Utilização de cimento CII-F, por ser o recomendado pela bibliografia internacional e não apresentar constituintes que tenham interação desconhecida com os polímeros, como, por exemplo, a escória, presente em grande quantidade no cimento CII-E, empregado nas etapas anteriores da pesquisa;
- Uso de incorporador de ar Lauril Sulfato de Sódio (LSS) para obter 3 teores de ar incorporado distintos, nas seguintes faixas: 10-15%, 20-25%, 30-35%;

- Emprego de 3 tipos de polímero: Baucryl 30/30, Baucryl 5000 e Baucryl 60/80, a serem doados pela empresa Quimicryl. A relação p/c a ser adotada foi estabelecida em 0,20, propondo-se, ainda, uma moldagem adicional com Baucryl 60/80, de relação p/c igual a 0,10, para se analisar a influência desta variação sobre o módulo. O Baucryl 60/80 foi o polímero escolhido para esta análise pois, de acordo com o fabricante, constitui-se num polímero mais flexível.
- Realização de ensaio de caracterização no estado anidro e no estado fresco, da mesma forma que na primeira fase da pesquisa;
- Caracterização no estado endurecido conforme Tabela 1.1.

Tabela 1.1 - Ensaios de caracterização mecânica no estado endurecido.

Traço	Modificação	Formato de CP	Ensaio	Referências normativas	nº de CPs/ argamassa
1:3	referência (sem aditivo) Com ar: 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*	
	Baucryl 30/30 Baucryl 5000 Baucryl 60/80 p/c = 0,10 Baucryl 60/80 p/c = 0,20	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.					

Além disso, propôs-se também:

- Analisar a evolução do módulo de deformação ao longo do tempo através do ensaio pelo ultrassom, realizando medidas aos 7, 14, 28 e 70 dias de idade, em 5 corpos-de-prova que seriam preservados;
- Analisar a influência da condição de saturação dos corpos-de-prova sobre os resultados de módulo medido pelo ultrassom, aos 28 dias.

Por fim, apresentou-se o cronograma proposto para realização da última etapa da pesquisa (Figura 1.1), que é o objeto principal do presente relatório.

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 (Téchne) e de pôster para apresentação no 15° SIICUSP							
15° SIICUSP							
Análise dos dados							
Elaboração do relatório final							

Figura 1.1 - Cronograma proposto para realização das atividades da última fase da pesquisa.

Ainda no terceiro período da pesquisa, como forma de aprendizagem, a bolsista colaborou com o trabalho de outros pesquisadores que utilizavam argamassas com ar incorporado. Além disso, foi elaborado nesse período o painel apresentado no 49º Congresso Brasileiro do Concreto, promovido pelo IBRACON em Bento Gonçalves, do qual a pesquisadora participou. Também foi escrito o resumo para submissão do trabalho ao 15º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP (SIICUSP).

PARTE 2. Atividades desenvolvidas no quarto período – 10/10/2007 a 10/02/2008

2.1. Apresentação do programa experimental

O programa experimental realizado nesta fase da pesquisa compreendeu a caracterização dos materiais no estado anidro, assim como das argamassas produzidas nos estados fresco e endurecido, este último sendo o foco da pesquisa, particularmente os ensaios de determinação do módulo de deformação.

2.1.1. Obtenção dos materiais

Parte dos materiais utilizada nesta fase da pesquisa já se encontrava disponível no laboratório, enquanto alguns foram obtidos por doação de algumas empresas:

- Cimento Ribeirão CPlI-F-32, doado pelo fabricante, grupo Votorantim;
- Areia rosa fina, disponível no laboratório;
- Incorporador de ar “Lauril Sulfato de Sódio” (LSS), disponível no laboratório;
- Látex poliméricos doados pela Quimicryl: Baucryl 30/30, Baucryl 5000 e Baucryl 60/80.

2.1.2. Caracterização no estado anidro

Os ensaios realizados para caracterização dos materiais no estado anidro, assim como as datas em que foram feitos estão indicados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Relação dos ensaios de caracterização no estado anidro e cronograma de realização.

Ensaio	Referência normativa	Material	Data
Densidade de massa unitária	Adaptação da NBR 7251 (ABNT, 1982), descrita no Anexo A do primeiro relatório parcial encaminhado à FAPESP	Cimento	25/10/07
Densidade de massa específica pelo picnômetro de gás Hélio	Procedimento descrito no Anexo B do segundo relatório parcial encaminhado à FAPESP	Cimento	17/01/08

Para os demais materiais, adotou-se a caracterização disponível no laboratório.

A caracterização dos polímeros foi fornecida pelo fabricante. As fichas técnicas que descrevem estes produtos encontram-se no apêndice A.

2.1.3. Moldagens e caracterização no estado fresco

Tendo em vista que o objetivo do trabalho é a análise da influência da incorporação de ar e dos polímeros sobre o módulo de deformação das argamassas, adotou-se o traço 1:3 em massa seca, sem a adição de cal, que poderia apresentar interferência com os modificadores empregados. Adotou-se como princípio, ainda, a manutenção da relação a/c constante, possibilitando, assim, a análise comparativa entre as diferentes séries de argamassa.

Sendo assim, a proporção de materiais necessários para uma moldagem foi de 6,3kg de cimento para 18,9kg de areia. A quantidade de água foi determinada com base na primeira moldagem, de modo a se obter uma trabalhabilidade mínima necessária para a argamassa de referência, e resultou em 3,4L de água (teor de água de 13,5%). A conduta de obter uma trabalhabilidade mínima para esta argamassa de referência foi tomada porque se esperava que a consistência das argamassas aditivadas fosse significativamente mais baixa do que a desta (principalmente as com polímero), o que posteriormente não se verificou (detalhes ainda neste item).

Para a obtenção dos 3 teores de ar incorporado desejados, seguiram-se os passos desenvolvidos quando do treinamento com as argamassas com ar incorporado, em conjunto com o pesquisador César Romano¹. Esta atividade foi apresentada no relatório anterior.

Pelo trabalho anteriormente realizado, definiu-se que a variação do teor de ar na argamassa seria obtida pela variação do tempo de mistura ao invés de se alterar o teor de incorporador de ar (conforme será discutido um pouco mais adiante, ainda neste item). Esta decisão, infelizmente mostrou inadequada, pois duas das três argamassas resultaram com teores de ar muito próximos (item 2.2.2).

¹ Pesquisador que atua na área de incorporadores de ar, no Laboratório de Microestrutura (PCC/USP)

A quantidade de incorporador de ar (Lauril Sulfato de Sódio) utilizada foi de 3,15g, correspondente a 0,125% da massa seca empregada na argamassa (Figura 2.1).



Figura 2.1 - Incorporador de ar.

As proporções de materiais empregados nas AMPs é apresentada na Tabela 2.2. As quantidades necessárias de polímeros foram calculadas em função da quantidade de cimento.

Tabela 2.2 - Quantidade dos materiais para moldagem de argamassa modificada com polímero.

Relação p/c (em peso)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Polímero (kg)	Teor de sólidos	Látex (kg)	Água no látex (L)	Água a ser adicionada (L)
0,10	6,3	18,9	0,63	0,5	1,26	0,63	2,77
0,20	6,3	18,9	1,26	0,5	2,52	1,26	2,14

As moldagens foram feitas seguindo o cronograma apresentado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Cronograma de realização das moldagens.

Argamassa	Moldagem
Referência	25/10/07
Com incorporador de ar – teor 1 (T1)	26/10/07
Com incorporador de ar – teor 2 (T2)	01/11/07
Com incorporador de ar – teor 3 (T3)	01/11/07
Com polímero – Baucryl 30/30 p/c = 0,10	06/11/07
Com polímero – Baucryl 60/80 p/c = 0,20	06/11/07
Com polímero – Baucryl 5000 p/c = 0,20	08/11/07
Com polímero – Baucryl 60/80 p/c = 0,10	09/11/07

Apesar de todos os cuidados tomados pela pesquisadora, houve problemas com as moldagens dos corpos-de-prova de argamassa modificada com polímero (AMP).

Inicialmente, devido a um erro de transcrição de valores por parte da pesquisadora, as argamassas foram feitas com a metade da quantidade de água de amassamento necessária, o que alterou de maneira indesejada a relação a/c que se desejava manter constante em 0,54. Com isto, as argamassas apresentaram consistência muito seca e, por conseqüência, enormes dificuldades de moldagem; por isto, muitos dos corpos-de-prova produzidos não apresentavam condições de serem avaliados pelos ensaios. Deve-se salientar que a falta de experiência com as argamassas poliméricas não permitiu que se detectasse, no momento da mistura, que a quantidade de água estava errada. Num primeiro momento, considerou-se que poderia ser algo proporcionado pelas características do polímero. No entanto, fazendo-se uma análise mais pormenorizada para que se pudesse identificar algum possível erro, o mesmo fora encontrado, havendo, portanto, a necessidade de se refazer estas moldagens.

As datas das novas moldagens estão apresentadas na Tabela 2.4 e foram determinadas segundo dois critérios: não-coincidência com a caracterização no estado endurecido das argamassas de referência e com incorporador de ar, cujos corpos de prova haviam sido moldados nas datas anteriormente apresentadas; e possibilidade de ensaiar os novos corpos-de-prova aos 28 dias de idade, previamente à finalização do prazo da bolsa de pesquisa.

Tabela 2.4 - Datas de moldagem dos novos corpos-de-prova de AMP.

Argamassa	Moldagem
Com polímero – Baucryl 5000 p/c = 0,10	06/12/07
Com polímero – Baucryl 30/30 p/c = 0,10	07/12/07
Com polímero – Baucryl 60/80 p/c = 0,10	07/12/07
Com polímero – Baucryl 60/80 p/c = 0,15	07/12/07

Entretanto, antes de se executar nova moldagem das AMPs, entrou-se em contato com o químico responsável da Quimicryl, sr. Luiz Prado, que sugeriu algumas mudanças, de modo a melhorar a qualidade das argamassas a serem produzidas. As mudanças foram:

- Adotar relação p/c referência de 0,10 (ao invés de 0,20), com relação adicional de 0,15 para Baucryl 6080 T2 (ao invés de 0,10). Segundo Prado, a adição de polímero pode melhorar a trabalhabilidade das argamassas; entretanto, o excesso de polímero pode exercer o efeito

contrário, o que provavelmente aconteceu para relação p/c de 0,20 (a Figura 2.2 mostra uma das argamassas poliméricas com consistência muito seca);

- Diluir o látex na proporção de 1 volume de látex : 1 volume de água, de modo a ajudar na dispersão do látex no momento da mistura, tornando a argamassa mais homogênea (a má dispersão do látex não diluído é ilustrada pela Figura 2.3).

Sendo assim, foram recalculadas as quantidades de polímero e água necessárias para as moldagens, conforme a Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Quantidade de polímero e água necessários para as remoldagem das AMPs.

p/c (em peso)	Polímero (kg)	Teor de sólidos	Látex (kg)	Água do látex (L)	Água para diluição (L)	Água rest. (L)
0,10	0,63	0,5	1,26	0,63	1,26	1,51
0,15	0,945	0,5	1,89	0,945	1,89	0,57



Figura 2.2 - Argamassa com polímero (moldagem descartada) com consistência seca, assemelhando-se a uma argamassa de contrapiso.



Figura 2.3 - Mistura de látex não diluído à argamassa. O polímero não se misturou adequadamente na massa, concentrando-se em alguns pontos.

Mesmo com estas alterações, quando se iniciaram as novas moldagens, ainda houve dificuldades com a trabalhabilidade da argamassa. Decidiu-se, então, modificar a quantidade de água para tornar a argamassa moldável, pois a necessidade de se obter corpos-de-prova de qualidade prevaleceu sobre a de manter a relação a/c constante, assumindo as possíveis conseqüências desta alteração – que não foram significativas, conforme discutido no item 2.3. O procedimento adotado foi adicionar água aos poucos, até que se atingisse a quantidade mínima necessária para que se obtivesse consistência adequada à

moldagem, sendo isto avaliado visualmente, com o auxílio da orientadora. As quantidades finais adotadas apresentam-se na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Modificações no teor de água das AMPs.

Argamassa	Água adicionada acima do previsto (g)	Água total (c/ a do látex) (L)	Teor de água final	Relação a/c
Baucryl 30/30	742,60	4,14	16,0%	0,66
Baucryl 5000	540,67	3,94	15,2%	0,63
Baucryl 60/80 T1 (p/c = 0,10)	666,95	4,07	15,8%	0,65
Baucryl 60/80 T2 (p/c = 0,15)	30,0	3,43	14,1%	0,55

Nota-se que, para a argamassa Baucryl 60/80 T2, foi necessário apenas um pequeno acréscimo de água. Neste caso, uma relação p/c maior exerceu efeito positivo sobre a trabalhabilidade, como havia previsto Prado.

No entanto, mesmo observando-se todos estes cuidados, houve corpos-de-prova com defeitos, sobretudo os prismas, indicando que o modo de adensamento adotado para estes corpos-de-prova (mesa de queda) pode ser inadequado para argamassas que contém polímeros (Figura 2.4 e Figura 2.5). Os cilindros, que foram adensados manualmente, apresentaram uma quantidade muito menor de defeitos, observando-se alguns problemas isolados (Figura 2.6 e Figura 2.7).



Figura 2.4 - Corpo-de-prova prismático, argamassa Baucryl 60/80 T1, com grande quantidade de defeitos.

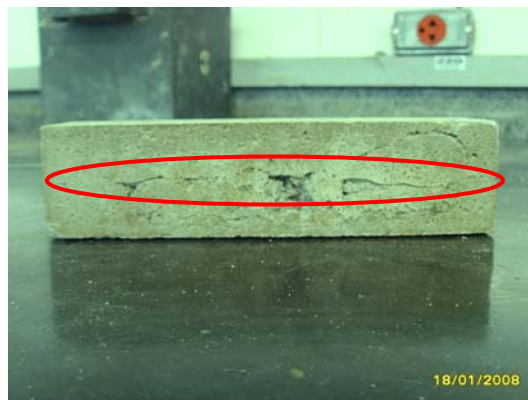


Figura 2.5 - Corpo-de-prova com evidente divisão entre camadas de compactação.



Figura 2.6 - Corpo-de-prova após ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Nota-se o molde do soquete no vazio presente (argamassa polimérica)



Figura 2.7 - Corpo-de-prova após ruptura à compressão. Novamente, há um defeito em forma de vazio deixado pelo soquete (argamassa polimérica).

A mistura da argamassa seguiu os procedimentos descritos a seguir:

- Argamassa de referência: mistura da areia e parte da água por 30 segundos (Figura 2.8), seguida de interrupção e raspagem da misturadora. Colocação do cimento e restante da água, misturando-se por 1 minuto e 30 segundos (Figura 2.9), seguida de interrupção e raspagem, e mais 1 minuto de mistura. Tempo total de mistura: 3 minutos;
- Argamassa com ar incorporado: mistura por 30 segundos da areia e parte da água, seguida de interrupção e raspagem. Adição de cimento com incorporador de ar pré-misturados manualmente (Figura 2.10) e mistura por 1 minuto e 30 segundos, com interrupção e raspagem. A partir de então, variou-se o tempo de mistura para obter teores de ar distintos, da seguinte maneira: 1 minuto (T1), 5 minutos (T2) e 10 minutos (T3). Tempos totais de mistura: 3 minutos (T1), 7 minutos (T2) e 12 minutos (T3);
- Argamassa com polímero: mistura por 30 segundos da areia e parte da água. Após interrupção e raspagem, misturou-se por mais 1 minuto e 30 segundos o cimento, o látex (Figura 2.11) e restante da água. Enquanto o cimento foi inteiramente colocado na misturadora antes de reativá-la, o látex foi gradualmente adicionado ao longo da mistura. Houve

novamente interrupção e raspagem, seguidas de 1 minuto de mistura final. Tempo total de mistura: 3 minutos.

O equipamento utilizado para a mistura foi a misturadora de eixo horizontal, a mesma utilizada na fase anterior da pesquisa.



Figura 2.8 - Mistura da areia com parte da água.



Figura 2.9 - Mistura do restante dos materiais.



Figura 2.10 - Incorporador de ar e cimento antes de serem misturados, por agitação manual no saco plástico.



Figura 2.11 - Pesagem da quantidade de látex necessária.

O procedimento de cura adotado foi o seguinte: durante 4 dias, os corpos-de-prova permaneceram em ambiente de laboratório, sendo as fôrmas cobertas com filme plástico para evitar a saída de água do sistema (Figura 2.12). Depois, os corpos-de-prova eram desformados e encaminhados à câmara úmida, onde permaneciam por mais 3 dias. Aos 7 dias de idade, os corpos-de-prova eram transferidos para a câmara seca, onde permaneciam até completarem 28 dias (alguns foram retirados um ou dois dias antes, para adiantar a etapa de caracterização geométrica, conforme será detalhado a seguir). Esta seqüência não é a mesma prevista no relatório anterior

encaminhado à FAPESP, onde se definiam 7 dias de câmara úmida e posterior desfôrma. Entretanto, a alteração foi feita de modo a preservar as fôrmas do laboratório do ambiente úmido que as danificaria devido à corrosão.

Os corpos-de-prova que foram mantidos para avaliações em idades mais avançadas foram armazenados na câmara seca até a data de seus respectivos ensaios.



Figura 2.12 - Corpos-de-prova cilíndricos, cobertos com plástico, mantidos em ambiente de laboratório.

A caracterização no estado fresco consistiu nos seguintes ensaios:

- Determinação da densidade de massa aparente da argamassa, segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005);
- Determinação do índice de penetração pelo “*dropping-ball*”, conforme a BS 4551 (BSI, 1980).

A realização dos ensaios citados acima coincide com a data das moldagens.

2.1.4. Caracterização no estado endurecido

Os ensaios realizados, suas respectivas referências normativas ou bibliográficas e datas de realização estão apresentados na Tabela 2.7, Tabela 2.8 e Tabela 2.9. As figuras Figura 2.13 a Figura 2.18 ilustram alguns destes ensaios.

Tabela 2.7 - Ensaio de caracterização no estado endurecido, para o corpo-de-prova prismático.

Argamassas	Ensaio	Ref. normativa	Distribuição de CPs (por dosagem)
Referência Ar T1 Ar T2 Baucryl 30/30 Baucryl 5000 Baucryl 60/80 T1 Baucryl 60/80 T2	Caracterização geométrica (CG)	NBR 13280 (ABNT, 2005)	Todos (12)
	Módulo de deformação pelo ultrassom (MU)	Procedimento*	Todos (12)
	Resistência à tração na flexão (RTF)	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	7
	Resistência à compressão (RC)	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	4
	Módulo de deformação à compressão (MC)	Adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003)*	10

* Disponível no anexo B do segundo relatório parcial encaminhado à FAPESP

Tabela 2.8 - Ensaio de caracterização no estado endurecido, para o corpo-de-prova cilíndrico.

Argamassas	Ensaio	Ref. normativa	Distribuição de CPs (por dosagem)
Referência Ar T1 Ar T2 Baucryl 30/30 Baucryl 5000 Baucryl 60/80 T1 Baucryl 60/80 T2	Caracterização geométrica (CG)	NBR 13280 (ABNT, 2005)	Todos (25)
	Módulo de deformação pelo ultrassom (MU)	Procedimento*	Todos (25)
	Resistência à tração por compressão diametral (RTCD)	NBR 7222 (ABNT, 1994)	5
	Resistência à compressão (RC)	BS EN 1015-11 (BSI, 1999)	5
	Módulo de deformação à compressão (MC)	Adaptação da BS EN 1015-11 (BSI, 1999) e da NBR 8522 (ABNT, 2003)**	10

* Disponível no anexo B do segundo relatório parcial encaminhado à FAPESP

Tabela 2.9 - Datas de realização da caracterização no estado endurecido e idade dos corpos-de-prova (entre parênteses). "P" refere-se aos prismas e "c", aos cilindros. Quando não houver distinção, ambos os formatos foram ensaiados na mesma data.

Argamassa	Ensaio					
	CG	MU	RTF	RTCD	RC	MC
Referência	21/11 (27)	22/11 (28)	22/11 (28)	22/11 (28)	p: 22/11 (28) c: 23/11 (29)	p: 22/11 (28) c: 23/11 (29)
Ar T1	23/11 (28)	23/11 (28)	23/11 (28)	23/11 (28)	23/11 (28)	p: 23 e 24/11 (28 e 29) c: 24 e 28/11 (29 e 33)
Ar T2	28/11 (27)	28/11 (27)	29/11 (28)	29/11 (28)	29/11 (28)	p: 29/11 (28) c: 29 e 30/11 (28 e 29)
Baucryl 30/30	p: 03/01 (27) c: 02/01 (26)	p: 03/01 (27) c: 02/01 (26)	10/01 (34)	02/01 (27)	p: 10/01 (34) c: 03/01 (27)	p: 11/01 (35) c: 04/01 (28)
Baucryl 5000	p: 03/01 (28) c: 02/01 (27)	p: 03/01 (28) c: 02/01 (27)	11/01 (36)	03/01 (28)	p: 11/01 (36) c: 03/01 (28)	p: 11/01 (36) c: 04/01 (29)
Baucryl 60/80 T1*	02/01 (26)	02/01 (26)	-	03/01 (27)	03/01 (27)	03 e 04/01 (27 e 28)
Baucryl 60/80 T2	p: 03/01 (27) c: 02/01 (26)	p: 03/01 (27) c: 02/01 (26)	10/01 (34)	03/01 (27)	p: 10/01 (34) c: 03/01 (27)	p: 10/01 (34) c: 04/01 (29)



Figura 2.13 - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



Figura 2.14 - Ensaio de resistência à tração na flexão.



Figura 2.15 - Ensaio de resistência à compressão - prisma.



Figura 2.16 - Ensaio de resistência à compressão - cilindro.



Figura 2.17 - Ensaio de módulo à compressão - cilindro.



Figura 2.18 - Prensa para realização dos ensaios estáticos.

Observa-se, pela Tabela 2.9, que os corpos-de-prova com teor de ar T3 não foram submetidos à caracterização no estado endurecido. A justificativa para se adotar este procedimento foi que os teores T2 e T3 resultaram muito próximos (como será apresentado no item 2.2.2). Decidiu-se, portanto, em conjunto com a orientadora, ensaiar somente os corpos-de-prova do teor T2, pois a diferença entre os resultados das duas amostras não seria significativa. Os corpos-de-prova do teor T3, entretanto, foram aproveitados como corpos-de-prova de sacrifício, nos testes de script que se fizeram necessários, conforme será detalhado adiante, ainda neste item.

A série dos prismas de AMP teve de ser ensaiada com alguns dias a mais de idade (conforme indicado na Tabela 2.9), porque não houve tempo de realizar todos os ensaios na primeira semana de janeiro de 2008, uma vez que o tempo de ensaio estático de cada corpo-de-prova era prolongado. Como isto

não estava previsto, algumas avaliações tiveram de ser feitas posteriormente, encaixando-se no tempo disponível da prensa que também estava sendo utilizada por outros pesquisadores. Uma das séries de prisma (Baucryl 60/80 T1) não pode ser ensaiada por apresentar quantidade excessiva de defeitos (Figura 2.4).

A metodologia empregada para a caracterização no estado endurecido sofreu poucas alterações. Houve dificuldades no ensaio de módulo à compressão dos cilindros com ar incorporado, pois muitos corpos-de-prova rompiam antes dos 80% de carga, quando se interrompe a aquisição de dados de deformação. Ou seja, a ruptura ocorria enquanto os extensômetros ainda estavam acoplados ao corpo-de-prova, o que poderia danificar o equipamento.

Levantou-se a hipótese do ciclo de carga e descarga, aplicado anterior ao ensaio, exercer influência sobre o modo de fissuração do corpo-de-prova: ao se aplicar a carga, poderiam estar ocorrendo micro fissuras que se interligariam enquanto os ciclos são executados. Deste modo, durante a aplicação de carga para medição da deformação, a argamassa já estaria fissurada, o que reduziria sua capacidade de carga. Sendo assim, decidiu-se alterar o ciclo para a série T1 de ar incorporado que apresentou problemas de ruptura precoce, antes que se perdessem muitos corpos-de-prova. A definição deste ciclo foi feita experimentalmente, utilizando-se os corpos-de-prova com o teor de ar incorporado T3 (item 2.2.2). Em outra série, T2, manteve-se o ciclo e alterou-se somente a carga de ruptura prevista, depois de alguns corpos-de-prova romperem também precocemente, mas não em cargas tão baixas quanto a série anterior. O ciclo utilizado na maioria dos ensaios e o alterado apresentam-se na Figura 2.19.

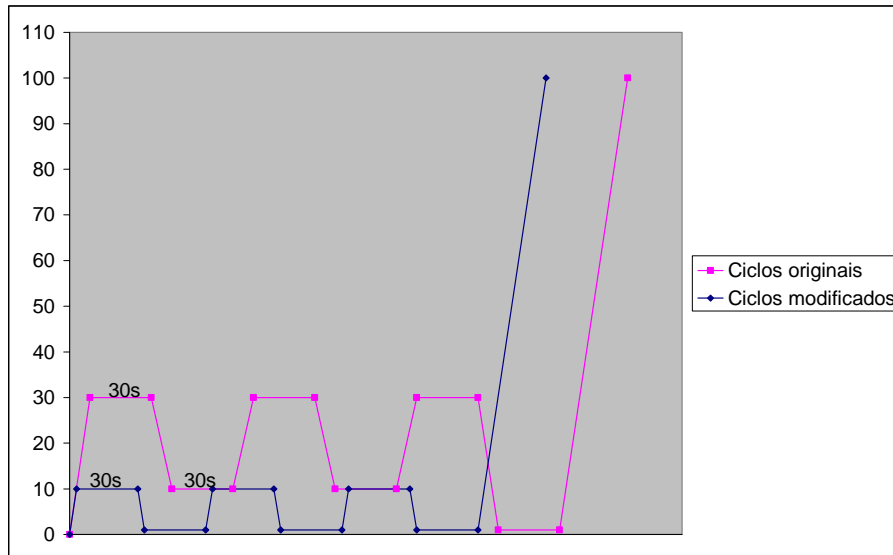


Figura 2.19 - Ciclos de carga e descarga adotados no ensaio de determinação do módulo estático à compressão.

Para os corpos-de-prova prismáticos, não houve alteração. Acredita-se que a não ruptura precoce do corpo-de-prova prismático deve-se ao “confinamento” gerado pelo atrito do prato da prensa. Esta análise será retomada no item 2.3.

Para as argamassas com polímeros, também ocorreu ruptura precoce de alguns corpos-de-prova prismáticos, possivelmente devido à grande incidência de defeitos, em função das características de moldagem. Neste caso, adotou-se como carga de ruptura prevista a média dos três menores valores do ensaio de resistência à compressão, entre cinco corpos-de-prova ensaiados.

Em relação ao acompanhamento da evolução do módulo ao longo do tempo, só foram realizadas medidas aos 28 e aos 70 dias de idade. O acompanhamento antes dos 28 dias não foi possível, pois não houve tempo hábil devido às tarefas inerentes à desforma (a limpeza das fôrmas deve ser feita o quanto antes, para liberá-las para outros pesquisadores, e consome tempo significativo), além das atividades acadêmicas intensificadas em novembro e dezembro. Tendo em vista a necessidade de refazer as moldagens das AMPs, os corpos-de-prova só completarão 70 dias de idade após a entrega deste relatório, mas ainda assim terão seu módulo medido. Foram medidos, até agora, somente a argamassa de referência e as duas moldagens de ar incorporado.

Embora tenha sido proposto avaliar a influência das condições de umidade dos corpos-de-prova para todas as argamassas, este procedimento não foi realizado em função da quantidade de ensaios a serem realizadas em curto espaço de tempo.

Assim, em conjunto com a orientadora, escolheu-se a amostra que apresentaria diferenças maiores entre o seu estado seco e o saturado, por ter mais poros: a que continha alto teor de ar incorporado. Assim foi submetida a esta análise somente a argamassa com teor de ar incorporado T2.

Outra alteração foi quanto à idade de avaliação. Devido aos mesmos motivos que levaram ao acompanhamento parcial do módulo ao longo do tempo, não foi possível realizar esta análise aos 28 dias. Os corpos-de-prova remanescentes da amostra T2 foram pesados e tiveram seu módulo dinâmico medido aos 89 dias, sendo submetidos à saturação e novamente avaliado o seu módulo, também pelo ultrassom, quando saturados, aos 92 dias de idade.

O procedimento de saturação adotado foi o prescrito pela versão antiga da NBR 9778 (ABNT, 1987), que prevê a adição gradual de água, permitindo a absorção por capilaridade. Acredita-se que este procedimento seja mais adequado do que a simples submersão indicada pela nova versão da norma, publicada em 2005. Além dessa saturação, ambas as versões da norma prevêem a fervura dos corpos-de-prova durante 5 horas.

2.2. Apresentação dos resultados

2.2.1. Caracterização no estado anidro

Os resultados dos ensaios de densidade de massa unitária e específica encontram-se na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Resultados de densidade de massa unitária e de densidade de massa específica.

Material	$\bar{\delta}$ massa unitária (g/cm³)	$\bar{\delta}$ massa específica (g/cm³)
Areia	1,58	2,632
Cimento	1,08	3,100

A curva granulométrica da areia encontra-se na Figura 2.20.

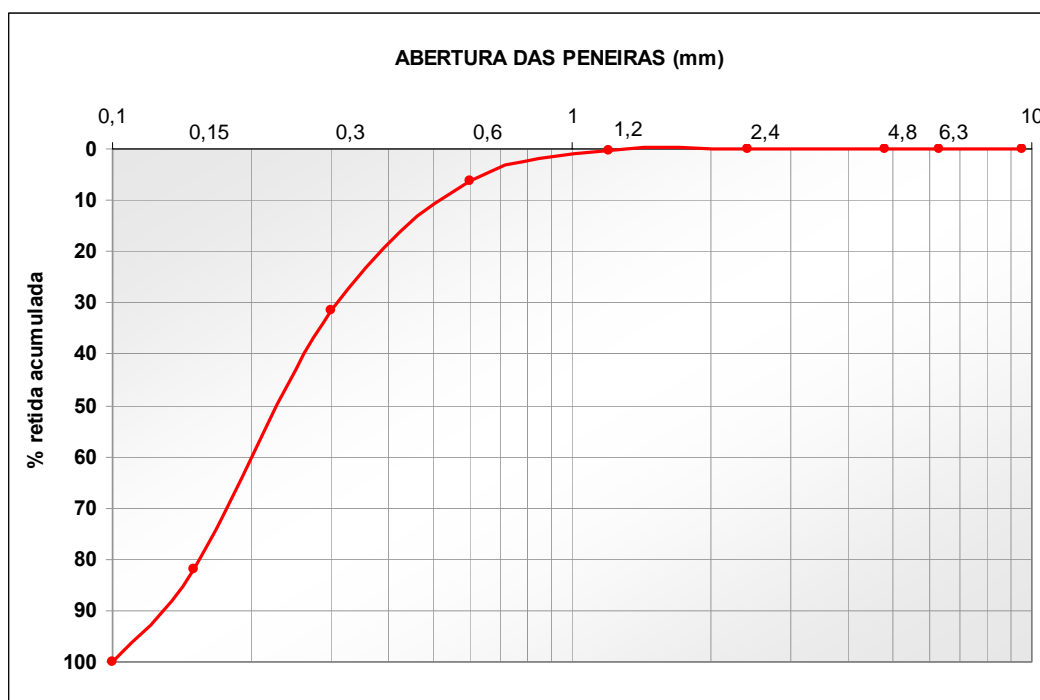


Figura 2.20- Curva granulométrica da areia empregada no programa experimental, traçada segundo NBR NM 248 (ABNT, 2003).

A curva de inchamento da areia apresenta-se na Figura 2.21.

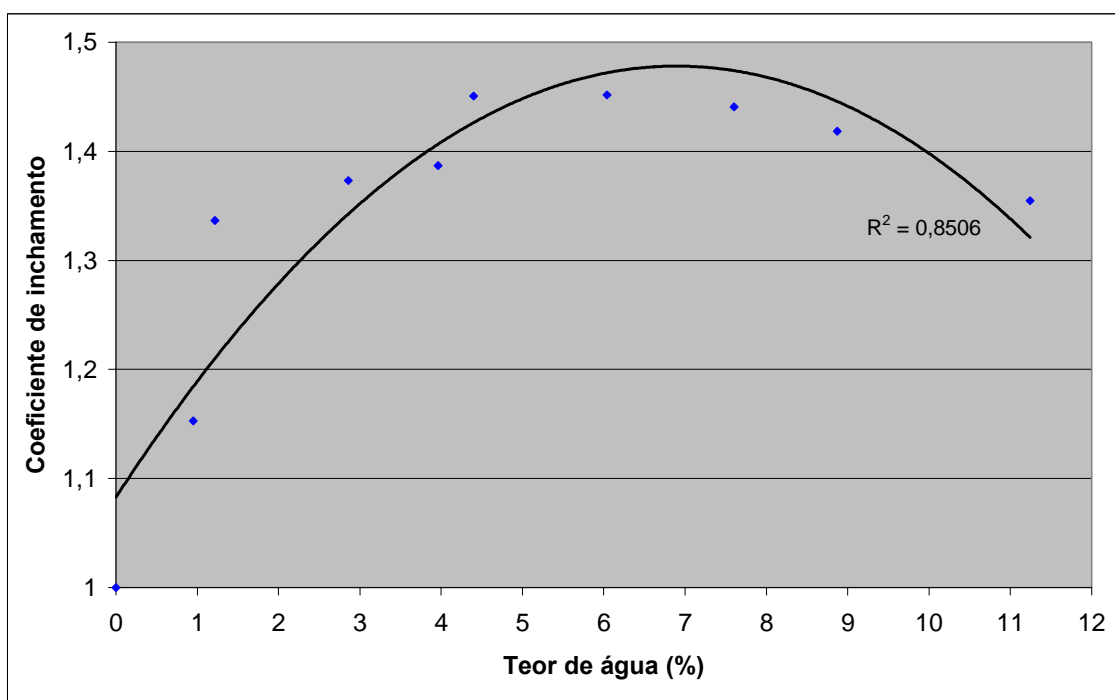


Figura 2.21 - Curva de inchamento da areia, segundo NBR 6467 (ABNT, 2006).

2.2.2. Caracterização no estado fresco

Os resultados da caracterização no estado fresco apresentam-se na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Resultados de densidade de massa aparente, teor de ar incorporado e índice de penetração pelo "dropping-ball" das argamassas.

Argamassa	δ (g/cm ³)	Teor de ar incorporado	Índice de penetração (mm)
Referência	2,15	5,34%	6,45
Ar inc. T1	1,91	15,83%	3,43
Ar inc. T2	1,85	18,35%	7,95
Ar inc. T3	1,87	17,53%	9,25
Baucryl 30/30	1,99	7,27%	4,95
Baucryl 5000	1,87	13,78%	2,90
Baucryl 60/80 T1	1,96	8,60%	2,47
Baucryl 60/80 T2	1,86	14,49%	3,60

Analisando-se os resultados, nota-se que os teores de ar incorporado, para as argamassas em que se empregou incorporador de ar foram próximos, sobretudo para os teores T2 e T3.

Em relação ao índice de penetração pelo "dropping-ball", observa-se que, exceto pela argamassa com ar incorporado T2, todos os outros índices resultaram muito baixos, especialmente para as argamassas poliméricas. Isto evidencia a difícil moldagem destes corpos-de-prova, pois a consistência da argamassa estava muito seca.

2.3. Apresentação e análise dos resultados da caracterização no estado endurecido

Em seguida, serão apresentados e discutidos os resultados da caracterização das argamassas no estado endurecido. Os resultados detalhados encontram-se no apêndice B. A análise será focada no módulo de deformação, sendo as demais características abordadas somente quando exercerem influência sobre o módulo.

Os resultados de densidade no estado endurecido e a comparação estão apresentados na Tabela 2.12 e no Gráfico 2.1, respectivamente.

Tabela 2.12 - Densidade no estado endurecido.

Argamassa	Cilindro		Prisma	
	$\bar{\rho}$ estado endurecido (g/cm ³)	C. V.	$\bar{\rho}$ estado endurecido (g/cm ³)	C. V.
Referência	2,06	0,5%	2,05	0,2%
Ar inc. T1	1,85	0,4%	1,81	0,3%
Ar inc. T2	1,86	0,6%	1,79	0,5%
Baucryl 3030	1,95	0,6%	1,84	0,4%
Baucryl 5000	1,85	0,6%	1,70	1,1%
Baucryl 6080 T1	1,99	1,2%	-	-
Baucryl 6080 T2	1,89	1,0%	1,68	0,5%

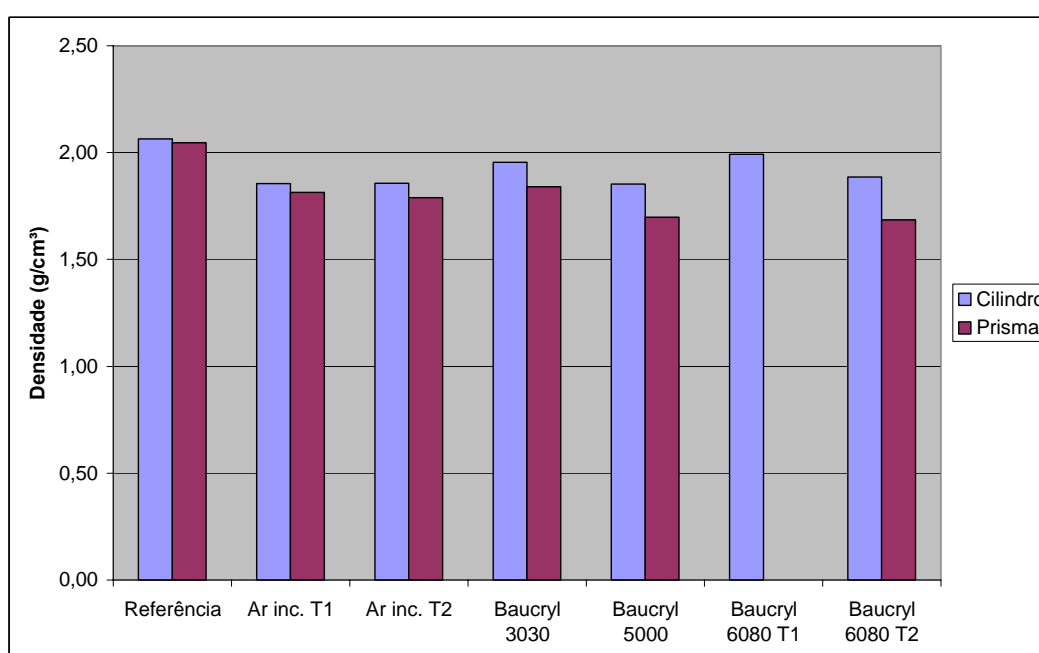


Gráfico 2.1 - Densidade no estado endurecido: comparação entre formatos diferentes de CP.

Percebe-se que a densidade nos corpos-de-prova cilíndricos resultou sempre maior do que no prisma, o que indica uma melhor compactação dos cilindros. Nas AMPs, esta diferença se torna mais evidente, confirmando as dificuldades de moldagem dos prismas, devido ao desempenho inadequado da mesa de queda.

Observa-se, ainda, que a argamassa de referência foi a mais densa se comparada às demais. Além disso, nota-se também que praticamente não houve diferença entre as densidades das argamassas com incorporador de ar. Isto se explica pelo fato da argamassa T2 ser mais fácil de moldar (o que se demonstra com os índices de penetração pelo “*dropping-ball*”, conforme a Tabela 2.12), o que levou a corpos-de-prova com menor quantidade de

defeitos. Entre as AMPs, os prismas da argamassa Baucryl 60/80 T1 ficaram muito defeituosos (Figura 2.4), motivo pelo qual não foram incluídos na análise. No restante das AMPs, observou-se que a contendo Baucryl 5000 apresentou grande quantidade de defeitos, enquanto a com Baucryl 60/80 T2 incorporou mais ar – constatação não só com base no gráfico, mas também na análise visual dos corpos-de-prova, apresentados na Figura 2.22 e na Figura 2.23. A incorporação de ar pelos surfactantes presentes nos polímeros é apontada por Mehta e Monteiro (1994) e Ohama (1998) e foi discutida no relatório anterior encaminhado à FAPESP.



Figura 2.22 - CP da argamassa Baucryl 5000, com grande quantidade de defeitos.



Figura 2.23 - CP da argamassa Baucryl 60/80 T2. A quantidade de defeitos é pequena, e as bolhas indicam incorporação de ar.

Os dados referentes à resistência à compressão, à tração na flexão e à tração por compressão diametral serão apresentados antes dos resultados de módulo de deformação (Tabela 2.13, Tabela 2.14 e Tabela 2.15; e Gráfico 2.2 e Gráfico 2.3), pois serão úteis às análises subseqüentes.

Tabela 2.13 - Resultados de resistência à compressão.

Argamassa	Cilindro		Prisma	
	σ compressão (MPa)	C. V.	σ compressão (MPa)	C. V.
Referência	23,9	17,3%	36,7	9,3%
Ar inc. T1	21,0	8,0%	26,7	8,5%
Ar inc. T2	24,6	4,0%	26,3	7,7%
Baucryl 3030	25,6	14,8%	19,7	9,3%
Baucryl 5000	15,8	8,2%	14,2	7,8%
Baucryl 6080 T1	22,2	7,0%	-	-
Baucryl 6080 T2	18,5	17,7%	19,7	9,3%

Tabela 2.14 - Resultados de resistência à tração na flexão – prisma.

Argamassa	σ tração flexão (MPa)	C. V.
Referência	7,31	4,6%
Ar inc. T1	6,32	7,0%
Ar inc. T2	6,30	7,2%
Baucryl 3030	8,52	11,8%
Baucryl 5000	5,03	8,5%
Baucryl 6080 T1	-	-
Baucryl 6080 T2	8,52	11,8%

Tabela 2.15 - Resultados de resistência à tração por compressão diametral – cilindro.

Argamassa	σ tração diam.(MPa)	C. V.
Referência	3,70	7,9%
Ar inc. T1	2,57	24,5%
Ar inc. T2	2,27	9,0%
Baucryl 3030	3,85	29,5%
Baucryl 5000	2,34	15,9%
Baucryl 6080 T1	3,56	9,8%
Baucryl 6080 T2	2,56	24,7%

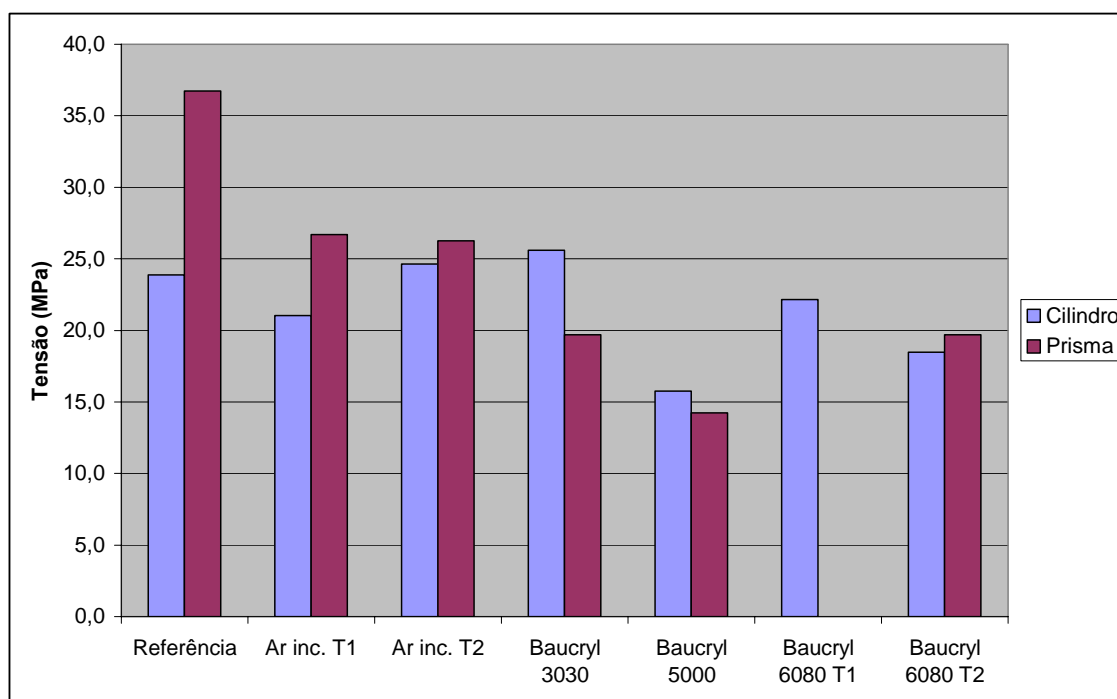


Gráfico 2.2 - Resultados de resistência à compressão, para o cilindro e para o prisma.

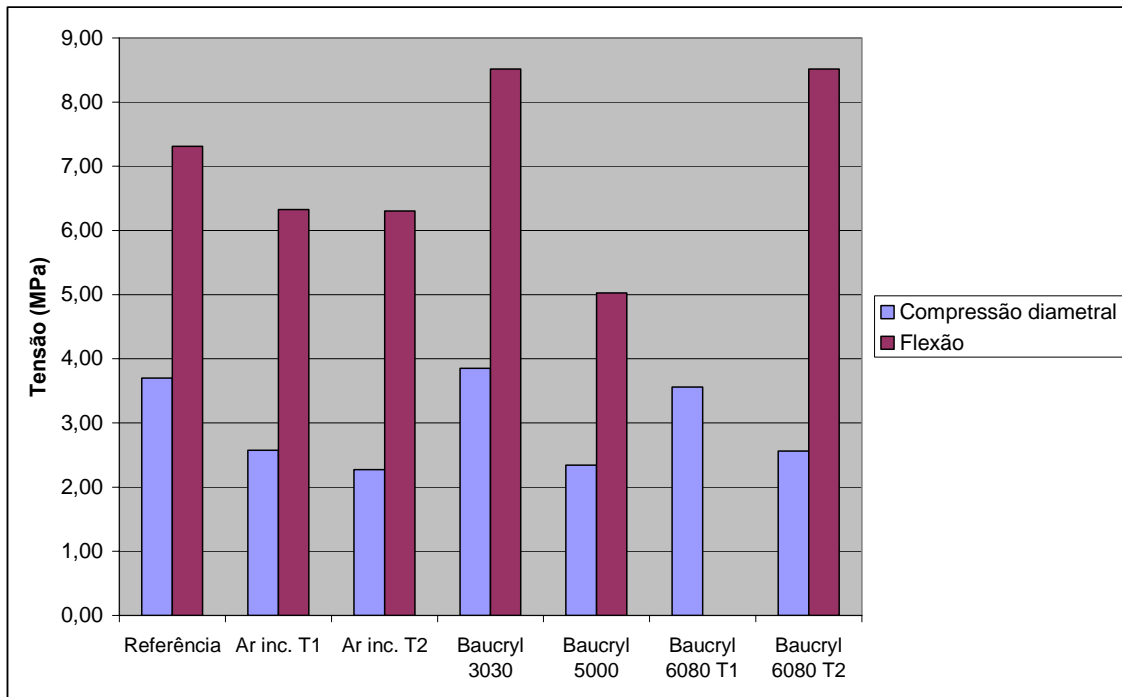


Gráfico 2.3 - Resultados de tração por compressão diametral (cilindro) e resistência à tração na flexão (prisma).

Os resultados de módulo para o cilindro são apresentados na Tabela 2.16 e no Gráfico 2.4.

Tabela 2.16 - Resultados de módulo de deformação, para o cilindro.

Argamassa	E ultra. (GPa)	C. V.	Etg inicial (GPa)	C. V.	Etg 50% (GPa)	C. V.	Esec 10% e 50% (GPa)	C. V.
Referência	27,6	2,2%	27,8	8,1%	23,8	8,6%	23,1	8,5%
Ar inc. T1	20,6	2,6%	21,0	12,6%	18,1	13,4%	17,1	13,9%
Ar inc. T2	20,7	2,4%	21,6	5,4%	18,5	6,2%	17,9	5,6%
Baucryl 3030	23,9	2,5%	19,8	7,8%	15,9	7,3%	15,1	7,5%
Baucryl 5000	16,6	2,6%	12,2	8,3%	10,1	8,1%	9,6	7,8%
Baucryl 6080 T1	23,1	4,0%	17,2	13,6%	14,1	13,5%	13,5	14,1%
Baucryl 6080 T2	19,9	3,0%	13,1	11,1%	10,0	7,4%	9,4	8,1%

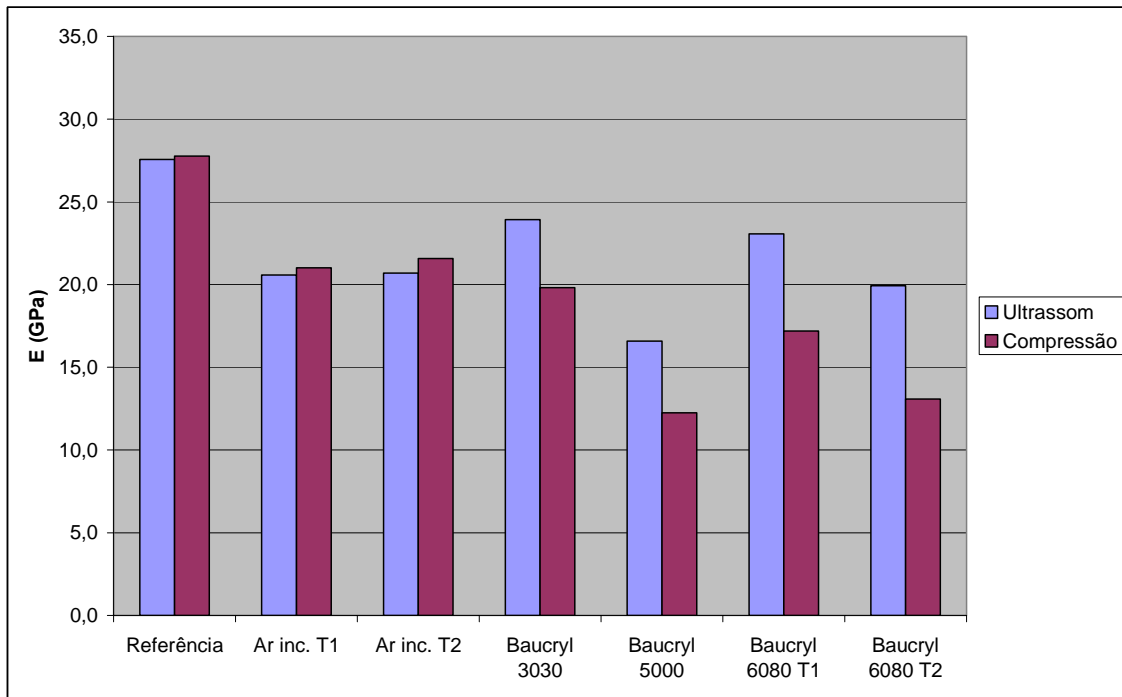


Gráfico 2.4 - Comparação entre módulo pelo ultrassom e módulo tangente inicial à compressão, para o cilindro.

A comparação entre o módulo pelo ultrassom e o tangente inicial à compressão justifica-se, pois, teoricamente, ambos deveriam coincidir, conforme revisão bibliográfica apresentada no primeiro relatório encaminhado à FAPESP. Isto ocorre para as argamassas de referência e com incorporador de ar, em que a diferença entre os resultados dos diferentes métodos não é significativa. Nota-se, também, que a argamassa de referência é a mais “rígida” entre todas e que houve uma redução do módulo devido à incorporação de ar, como era de se esperar. Em relação às AMPs, a redução no módulo detectada pelo ultrassom é menor do que a indicada pelo ensaio estático. Acredita-se que esta ligeira diferença ocorre porque a redução dos valores identificada pelo ultrassom deve-se, na verdade, à incorporação de ar (seja por bolhas ou por defeitos) que também ocorreu nas AMPs, e não à presença de polímero em si. Aparentemente, a presença de polímero na argamassa não exerce nenhuma atenuação na propagação das ondas ultrassônicas na argamassa. Entretanto, apesar desta aparente deficiência do método do ultrassom, é importante observar que o módulo das argamassas com polímero por ele medido é mais baixo do que a de referência, indicando que o ensaio consegue classificar as argamassas. Portanto, pode-se afirmar que os módulos dinâmico e estático avaliados pela tangente na origem seguem a mesma tendência para as AMPs.

Os resultados de módulo de deformação dos corpos-de-prova prismáticos são apresentados na Tabela 2.17 e no Gráfico 2.5. Embora não tenha sido possível ensaiar os prismas da argamassa Baucryl 60/80 T1, manteve-se esta categoria no eixo das abscissas de modo a uniformizar a apresentação dos gráficos.

Tabela 2.17 - Resultados de módulo de deformação, para o prisma.

Argamassa	E ultra. (GPa)	C. V.	Etg inicial (GPa)	C. V.	Etg 50% (GPa)	C. V.	Esec 10% e 50% (GPa)	C. V.
Referência	30,5	1,6%	29,7	11,1%	19,4	10,6%	23,6	10,5%
Ar inc. T1	22,7	2,1%	27,4	20,5%	18,0	18,5%	21,9	19,5%
Ar inc. T2	21,4	3,4%	27,0	15,7%	17,8	12,9%	21,7	14,8%
Baucryl 3030	23,0	1,4%	23,5	13,4%	14,7	11,7%	18,4	13,0%
Baucryl 5000	13,4	4,1%	12,0	22,4%	7,2	18,3%	9,2	20,7%
Baucryl 6080 T1	-	-	-	-	-	-	-	-
Baucryl 6080 T2	16,6	0,6%	11,0	12,8%	6,8	10,3%	8,5	11,8%

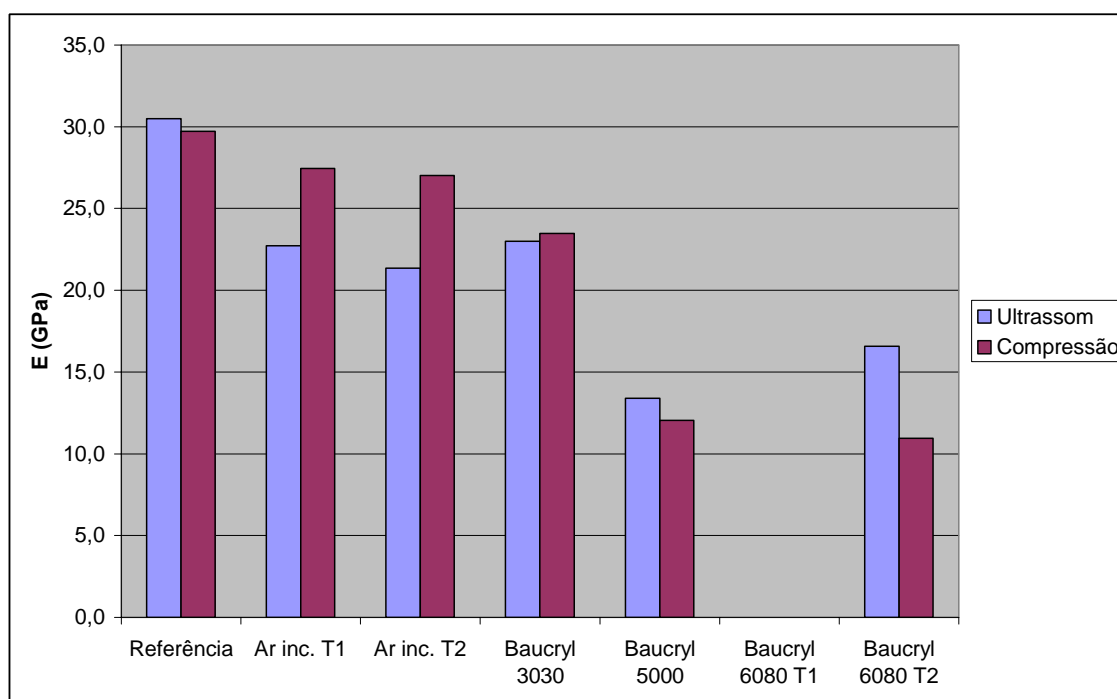


Gráfico 2.5 - Comparação entre módulo pelo ultrassom e módulo tangente inicial à compressão, para o prisma.

O comportamento das argamassas avaliadas na forma de prisma é semelhante ao observado no cilindro: a argamassa de referência também é a mais rígida, havendo redução no módulo devido às modificações com incorporador de ar e polímero. Esta redução no módulo de deformação das

argamassas com incorporação de ar também foi observada por Monte et al. (2007), que estudou argamassas com diferentes teores de ar incorporado. Para a argamassa de referência, ambos os métodos indicam o mesmo módulo, o que não se verifica para as argamassas com ar incorporado, ao contrário do que se observou no cilindro. O ensaio estático indicou valores maiores de módulo do que os medidos pelo ultrassom, havendo uma diferença significativa, da ordem de 5GPa. Uma provável explicação para este efeito é o maior “confinamento” do corpo-de-prova prismático entre os pratos da prensa: acredita-se que, por ter dimensões reduzidas, o atrito dos pratos exerça um maior efeito sobre o corpo-de-prova, limitando seus deslocamentos e, conseqüentemente, alterando o seu módulo de maneira a aumentá-lo. É possível observar este efeito também nas AMPs, em que se esperaria uma redução maior no módulo estático do que a observada, assim como uma maior diferença entre os módulos dinâmico e estático, dada a grande incidência de defeitos nos corpos-de-prova.

A comparação entre as medidas de módulo pelo ultrassom obtidas com diferentes formatos de corpo-de-prova é apresentada no Gráfico 2.6.

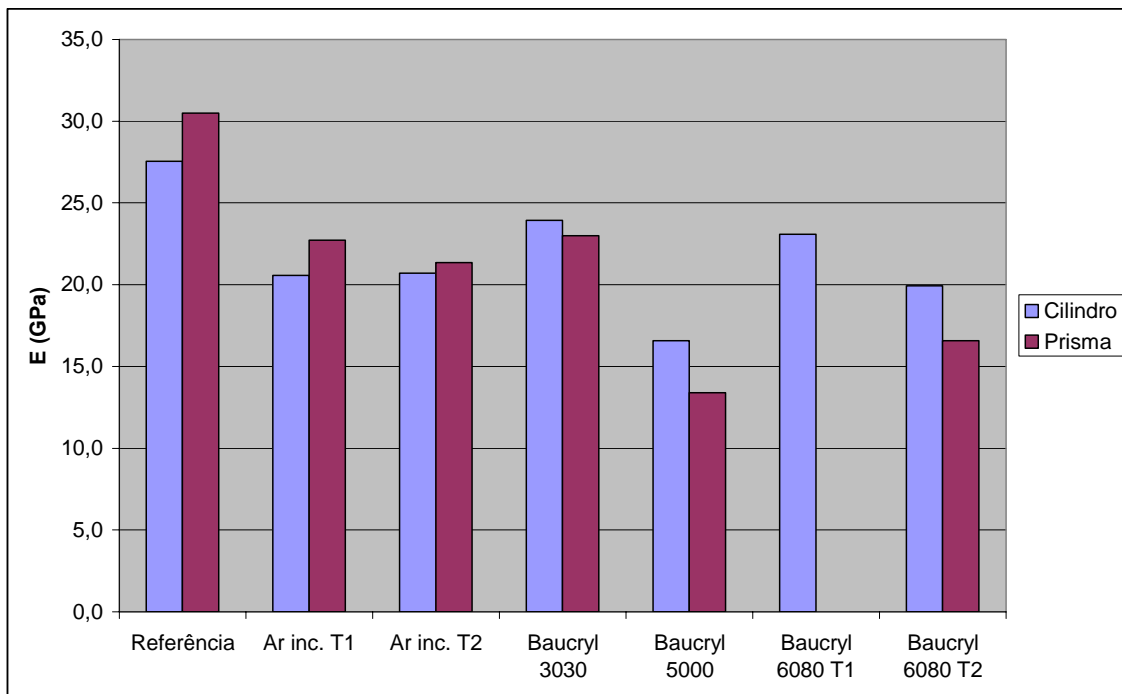


Gráfico 2.6 - Módulo pelo ultrassom: comparação entre formatos diferentes de CP.

Como já discutido, percebe-se que o módulo pelo ultrassom é eficiente em detectar a tendência de deformação das argamassas, embora não reflita a

verdadeira capacidade de se deformar no caso das AMPs. Nota-se que, para a argamassa de referência e as argamassas com incorporador de ar, o módulo pelo prisma é maior que o do cilindro, tendência que se inverte para as AMPs. Esta inversão pode ser explicada pela grande presença de defeitos em formas de vazios nos prismas das AMPs, já que o módulo pelo ultrassom é calculado em função da densidade do corpo-de-prova.

A comparação entre o módulo tangente inicial à compressão dos dois formatos de corpo-de-prova é apresentada pelo Gráfico 2.7.

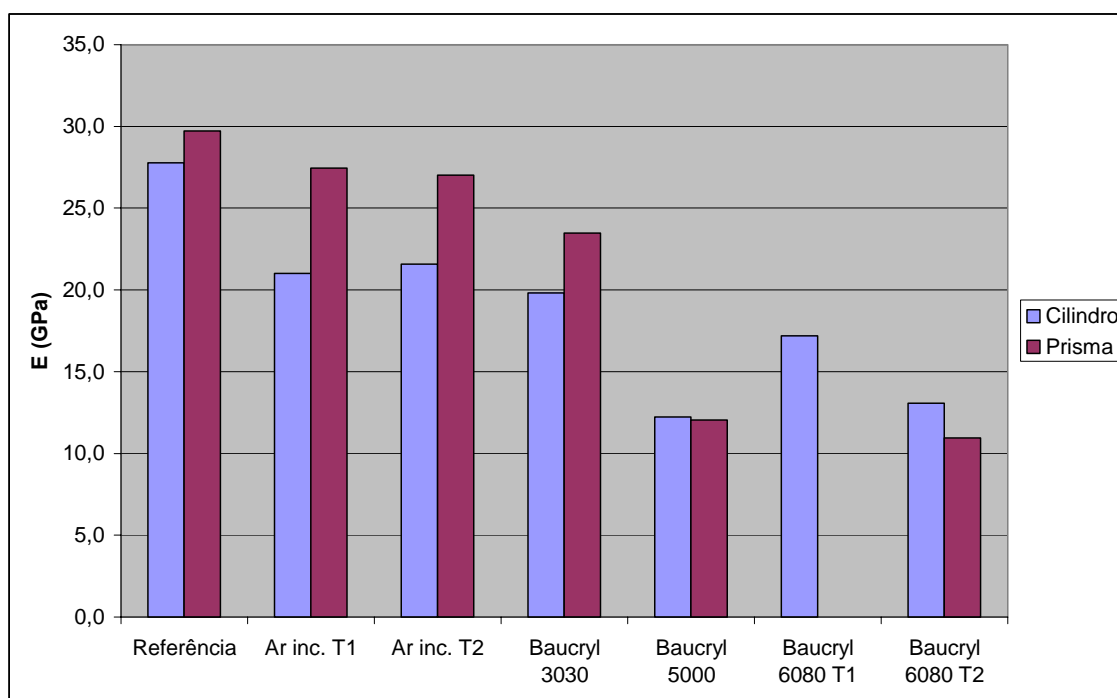


Gráfico 2.7 - Módulo tangente inicial à compressão: comparação entre formatos diferentes de CP.

Observa-se que o módulo estático pelo cilindro é menor do que o prisma, para as argamassas de referência, com incorporador de ar e Baucryl 30/30. Aqui surge novamente uma evidência do efeito do confinamento do corpo-de-prova prismático, que exerce influência sobre o modo como se propagam as fissuras pelo material, diminuindo sua deformação e indicando um aumento do seu módulo. A diferença se torna mais acentuada para os corpos-de-prova com incorporador de ar, e a tendência se inverte para as argamassas Baucryl 5000 e Baucryl 60/80 T2, provavelmente devido à grande presença de vazios (defeitos).

Esse comportamento evidencia que, em muitas situações, a análise da deformabilidade dos materiais não pode se restringir ao módulo tangente inicial

à compressão ou ao módulo pelo ultrassom, como corretamente ressaltado por Godoy (1999). Da curva tensão-deformação dos ensaios estáticos, é possível extrair outros dados (as curvas encontram-se no apêndice B).

A partir dessas curvas, calculou-se o módulo em diferentes níveis da aplicação da carga. Uma comparação entre as várias formas de calcular o módulo estático é apresentada no Gráfico 2.8, para o cilindro, e no Gráfico 2.9, para o prisma.

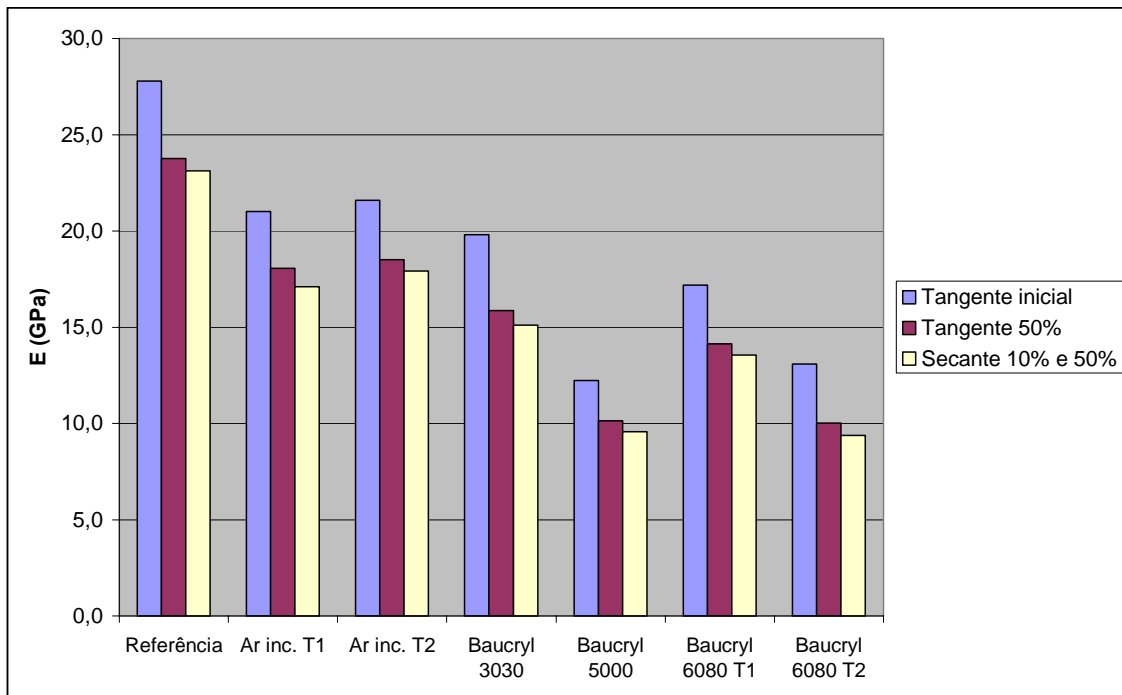


Gráfico 2.8 - Módulo à compressão calculado de diferentes maneiras, para o cilindro.

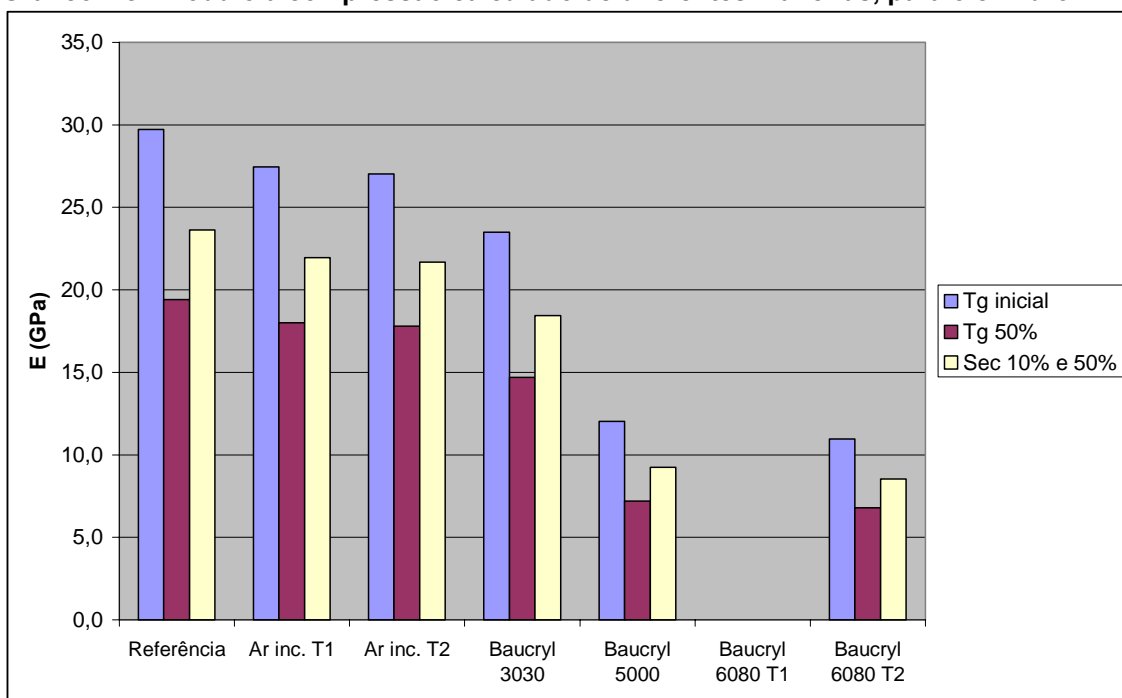


Gráfico 2.9 - Módulo à compressão calculado de diferentes maneiras, para o prisma.

Percebe-se que, tanto para o cilindro quanto para o prisma, os módulos calculados de diferentes maneiras seguem a mesma tendência. Observa-se uma diferença de comportamento entre o cilindro e o prisma: enquanto no cilindro o módulo secante é menor do que o tangente a 50% da carga de ruptura, no prisma ocorre o contrário. Este dado, em conjunto com a análise das curvas tensão-deformação (apêndice B), revela que, enquanto os cilindros têm uma deformação mais uniforme, com uma curva mais alongada e suave, os prismas apresentam uma deformabilidade um pouco maior próximo à carga de ruptura, com uma curva tensão-deformação menos uniforme. Esta diferença de comportamento é, provavelmente, mais um efeito do maior confinamento do corpo-de-prova prismático.

Outro dado importante na análise da deformabilidade de uma argamassa é a deformação última que ela alcança, um dado que pode ser obtido do ensaio estático à compressão. Como há uma grande dispersão deste dado para algumas argamassas, para se conseguir um valor representativo, adotou-se o seguinte método: foram excluídos os resultados extremos, de modo a se restringir os dados de deformação última registrada dentro de uma faixa de variação de 0,00025mm/mm; ou até se atingir o número mínimo de 5 corpos-de-prova para compor a média. Foi tomada a “deformação última registrada” em vez da deformação aos 80% da carga de ruptura prevista, para contabilizar a deformação extrema dos corpos-de-prova que romperam precocemente. Mesmo alguns corpos-de-prova que romperam na carga prevista apresentaram dados discrepantes para o nível de 80% de carga de ruptura, indicando um início de fissuração ou acomodação do corpo-de-prova. Neste caso, estes dados também foram descartados, tomando-se como deformação última a alcançada em níveis menores de tensão. Os resultados são apresentados na

Tabela 2.18 e no Gráfico 2.10.

Tabela 2.18 - Resultados de deformação última, para o cilindro e o prisma.

Argamassa	Cilindro		Prisma	
	ϵ última (mm/mm)	C. V.	ϵ última (mm/mm)	C. V.
Referência	0,00101	9,8%	0,00155	14,5%
Ar inc. T1	0,00118	5,0%	0,00101	8,1%
Ar inc. T2	0,00136	5,2%	0,00125	7,0%
Baucryl 3030	0,00133	4,3%	0,00155	5,2%
Baucryl 5000	0,00153	5,9%	0,00192	10,8%
Baucryl 6080 T1	0,00137	9,8%	-	-
Baucryl 6080 T2	0,00158	4,9%	0,00239	7,2%

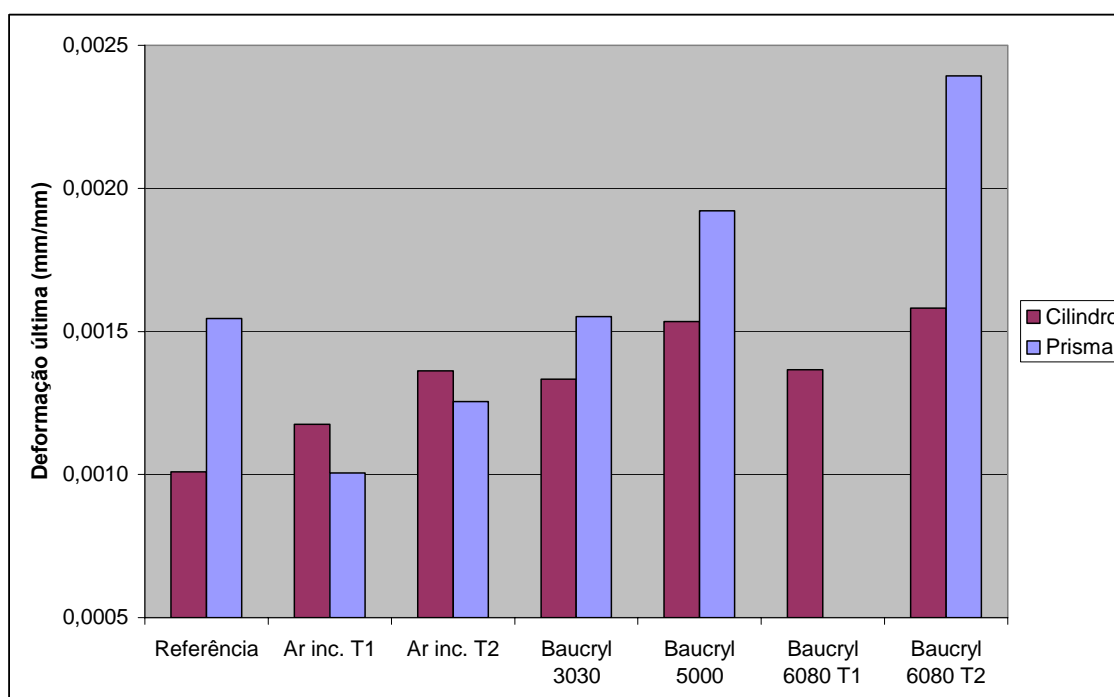


Gráfico 2.10 - Capacidade de deformação: comparação entre formatos diferentes de CP.

Observam-se comportamentos diferentes para o cilindro e para o prisma. No caso do cilindro, a argamassa de referência foi a que teve menores níveis de deformação. A incorporação de ar tornou as argamassas mais deformáveis, assim como a presença de polímero, que causou uma deformação ainda maior. Já no caso dos prismas, os ensaios indicam que as argamassas com incorporador de ar foram as menos deformáveis. Este dado, somado às análises anteriores sobre o comportamento do prisma no ensaio estático, permite refinar as hipóteses sobre o confinamento exercido sobre o prisma pelos pratos da prensa. Como se observou na comparação entre os diversos modos de se calcular o módulo estático, os prismas apresentam um comportamento mais acentuado de deformação próximo à carga de ruptura.

Como a incorporação de ar reduz a resistência da argamassa (Gráfico 2.2), os níveis de deformação para esta argamassa também resultaram menores. As AMPs, por sua vez, apresentam comportamento diferente: embora tenham cargas de ruptura ainda menores do que as das argamassas com incorporador de ar (Gráfico 2.2), elas se deformam mais. Esta é uma evidência da ação do filme polimérico no retardamento da propagação de fissuras, destacada por Ohama (1987) e abordada no relatório anterior encaminhado à FAPESP. Esta ação do filme polimérico se dá inclusive nos corpos-de-prova defeituosos; e se torna mais acentuada na argamassa Baucryl 60/80 T2, que apresentou as melhores condições de moldagem e, conseqüentemente, a menor incidência de defeitos, provavelmente devido à formação de um filme polimérico mais coeso e homogêneo.

Em seguida, será analisada a variabilidade inerente aos ensaios e aos formatos de corpo-de-prova. A variabilidade é aqui representada pelo coeficiente de variação dos resultados, e estes dados encontram-se no Gráfico 2.11 e no Gráfico 2.12, e nas tabelas anteriormente apresentadas.

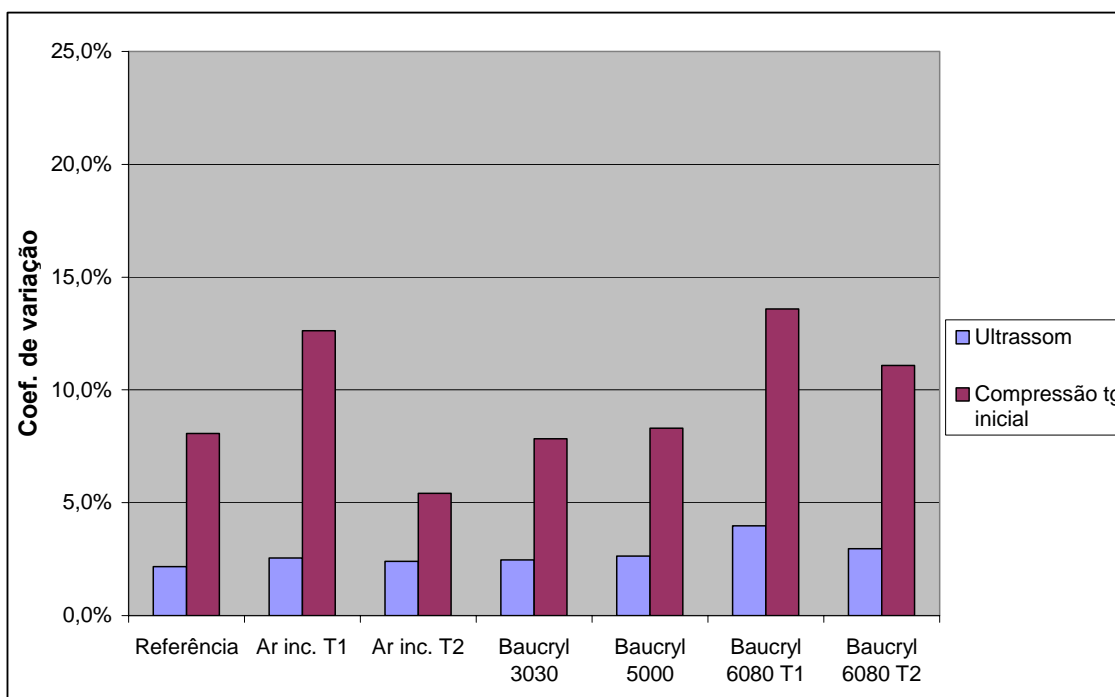


Gráfico 2.11 - Comparação do coeficiente de variação do módulo de deformação, para o cilindro.

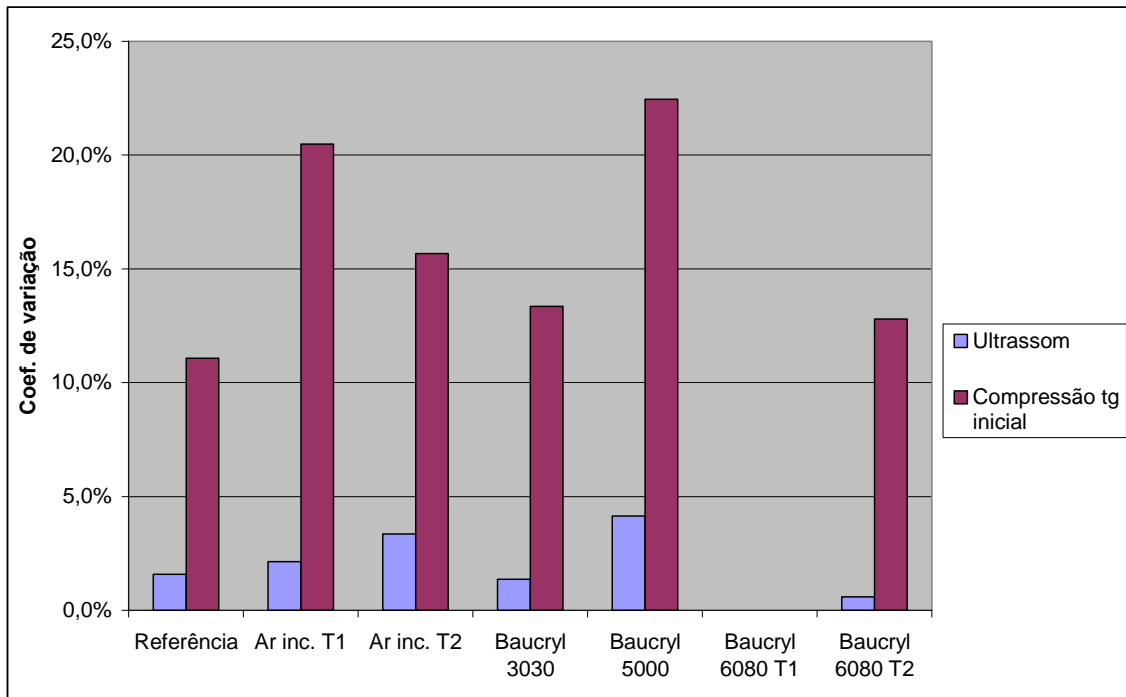


Gráfico 2.12 - Comparação do coeficiente de variação do módulo de deformação, para o prisma.

Nota-se que o ensaio estático é significativamente mais variável que o ensaio dinâmico, repetindo o que já se havia verificado na fase anterior da pesquisa. Outro ponto a ser observado é que ambos os ensaios seguem a mesma tendência de variabilidade. Interpreta-se que os maiores coeficientes de variação observados para o módulo de deformação estático (representado pela tangente inicial à compressão) se devem realmente ao ensaio, e não à variabilidade do material em si, novamente de acordo com o observado na fase anterior da pesquisa.

No caso do prisma, também se observa que os resultados do ensaio estático são mais variáveis do que o do dinâmico, sendo a diferença muito mais acentuada do que no cilindro. Esta dispersão é ilustrada também pelas curvas tensão x deformação, que se encontram no apêndice B.

A seguir, no Gráfico 2.13 e no Gráfico 2.14, apresentam-se as comparações de coeficientes de variação entre diferentes corpos-de-prova, para um determinado tipo de módulo de deformação.

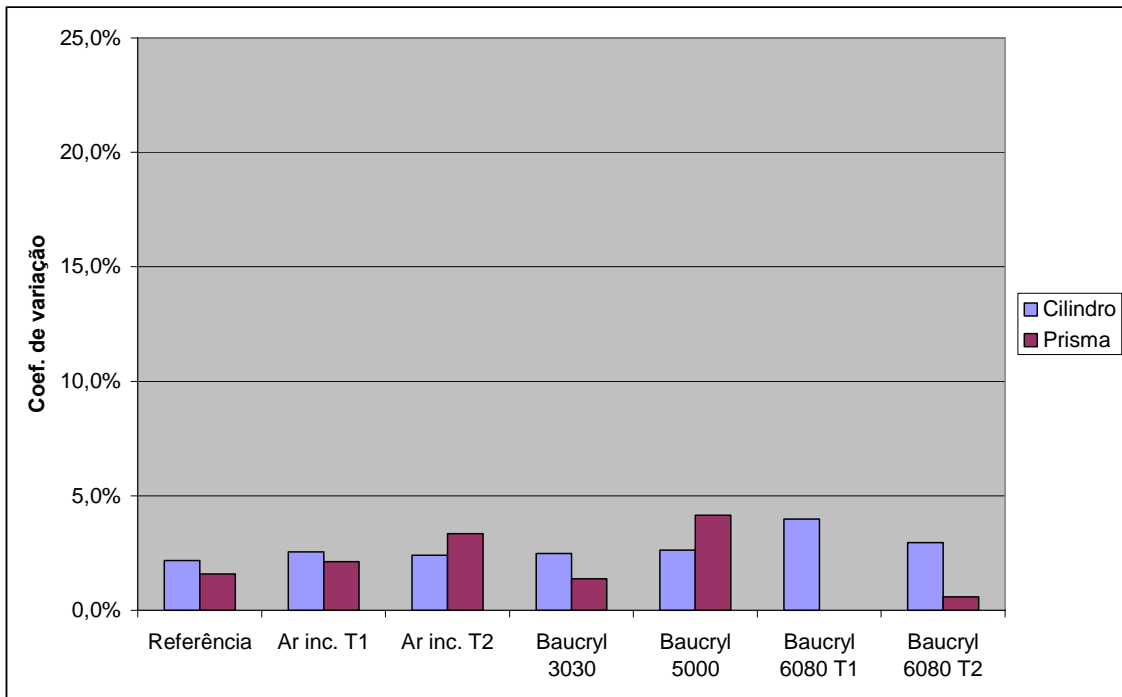


Gráfico 2.13 - Comparação do coeficiente de variação do módulo pelo ultrassom, entre diferentes formatos de CP.

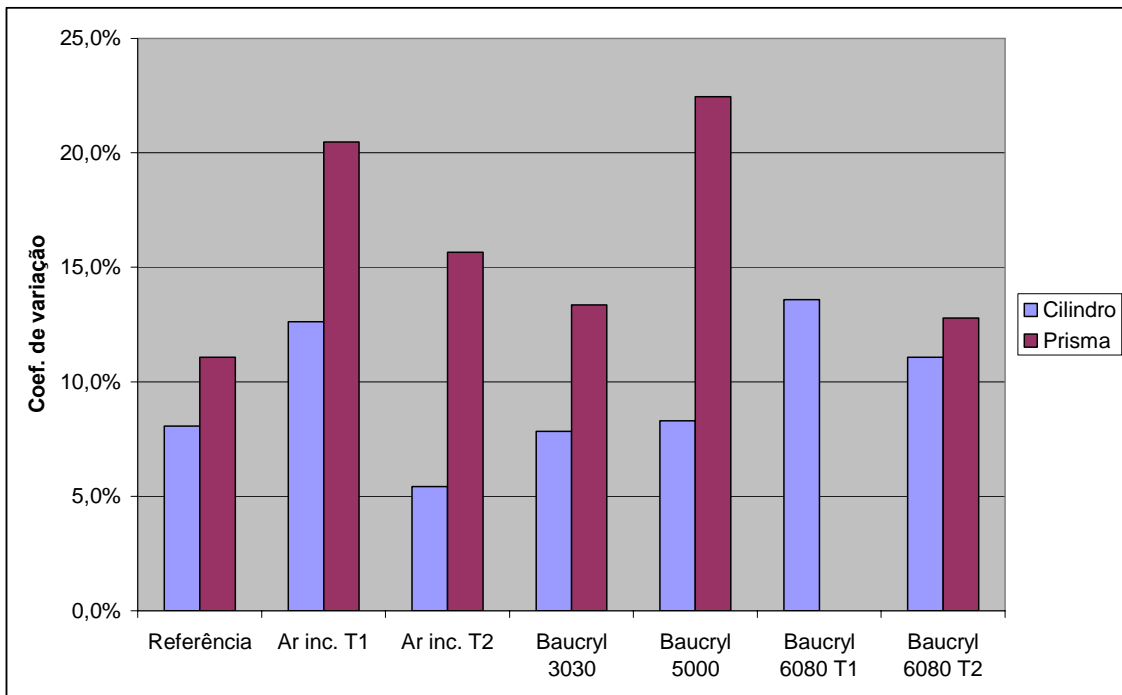


Gráfico 2.14 - Comparação do coeficiente de variação do módulo tangente inicial à compressão, entre diferentes formatos de CP.

Analisando-se o Gráfico 2.13, percebe-se que os níveis de variabilidade do ensaio de ultrassom são baixos e a diferença entre ambos os formatos não é significativa. Por sua vez, a análise do Gráfico 2.14, referente ao ensaio estático de módulo de deformação, mostra que para este ensaio os prismas apresentam maior variabilidade de resultados que os cilindros.

O Gráfico 2.15 e o Gráfico 2.16 ilustram a comparação entre os módulos medidos pelo ultrassom em diferentes idades (28 e 70 dias).

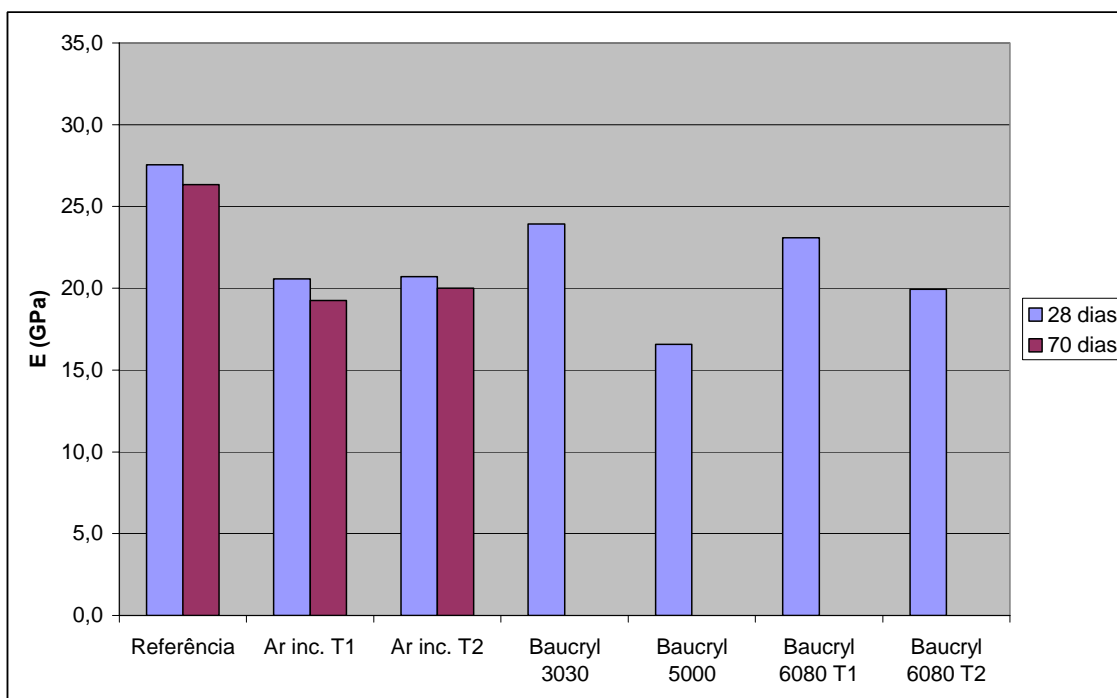


Gráfico 2.15 - Comparação de valores de módulo pelo ultrassom em idades distintas, para o cilindro.

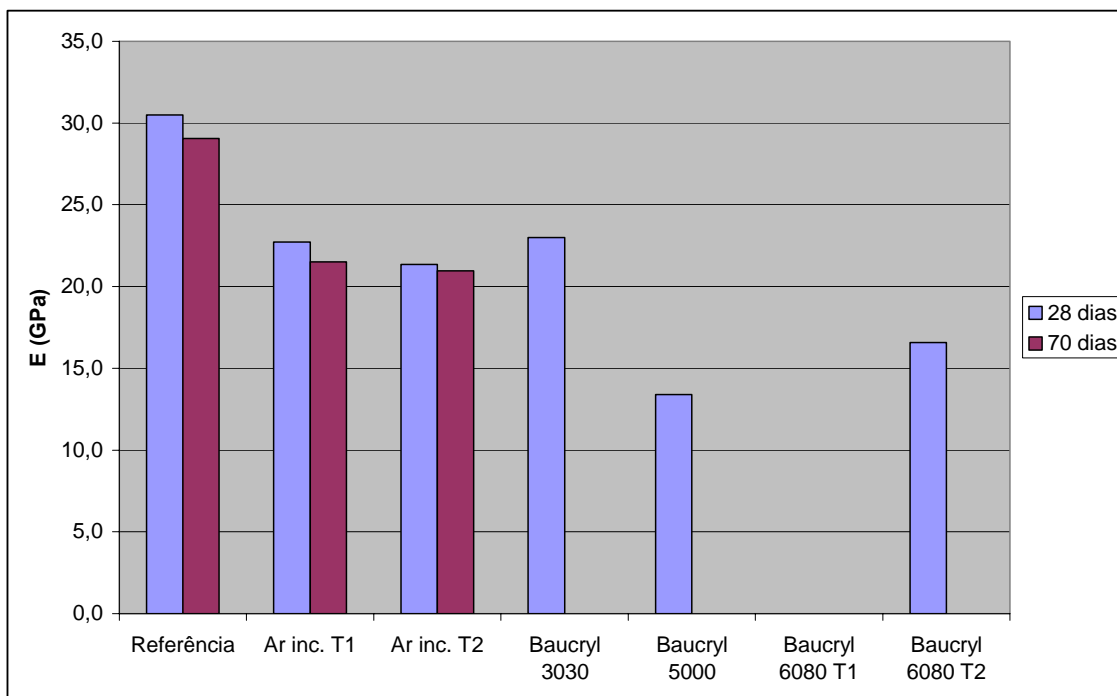


Gráfico 2.16 - Comparação de valores de módulo pelo ultrassom em idades distintas, para o prisma.

Nota-se que, para ambos os formatos, o módulo aos 70 dias foi ligeiramente menor do que o medido aos 28 dias de idade. Isto se deve,

provavelmente, à evaporação da água restante no corpo-de-prova, deixando mais vazios e conseqüentemente modificando o módulo. Entretanto, a diferença é mínima, não sendo capaz de ocasionar diferenças na argamassa em termos práticos.

A comparação entre os resultados de módulo pelo ultrassom medidos com os corpos-de-prova secos e saturados apresenta-se na Tabela 2.19 e no Gráfico 2.17. Os resultados detalhados, com dados de massa específica, encontram-se no apêndice B.

Tabela 2.19 - Resultados de módulo pelo ultrassom para condições de saturação distintas, para o cilindro e o prisma da argamassa com ar incorporado T2.

Condição de saturação	Cilindro		Prisma	
	E (GPa)	C. V.	E (GPa)	C. V.
Seco	19,7	2,6%	20,9	1,6%
Saturado	20,1	2,0%	20,8	0,8%

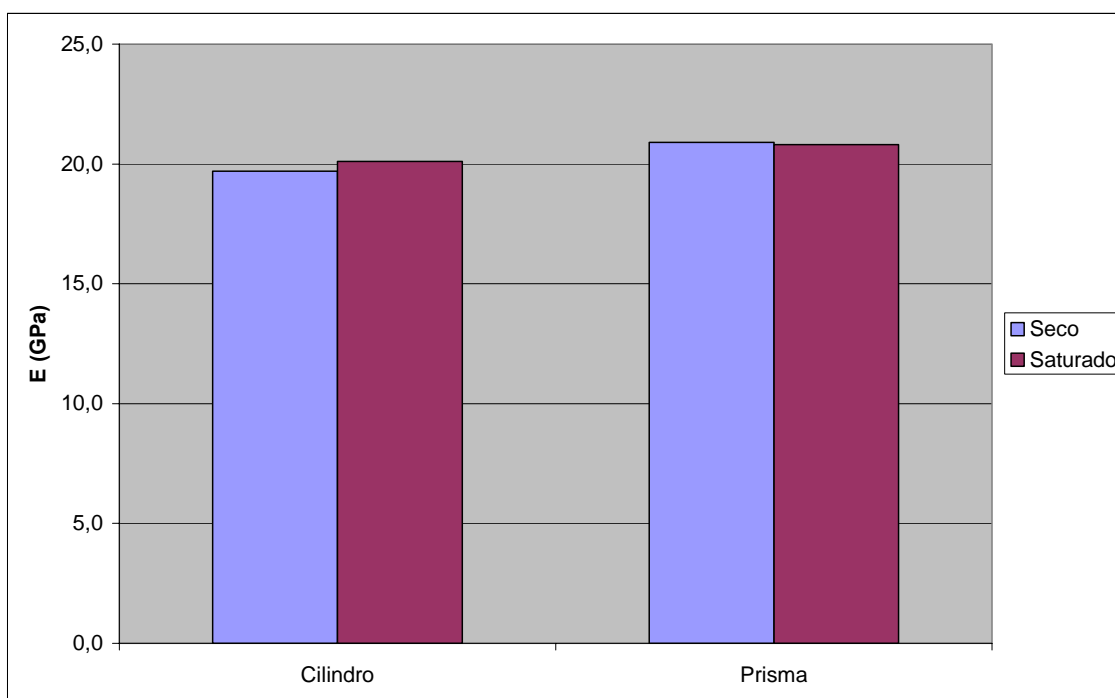


Gráfico 2.17 - Comparação entre módulos pelo ultrassom para diferentes condições de saturação.

Como se pode perceber, não houve diferença entre as medidas obtidas para condições diferentes de saturação. Isto indica que não haveria vantagem em submeter os corpos-de-prova à saturação para medição do módulo, quando os resultados no estado seco são praticamente coincidentes.

De modo a ter uma percepção mais ampla sobre o comportamento mecânico das argamassas analisadas, realizaram-se correlações entre diferentes variáveis. A primeira delas se apresenta no Gráfico 2.18.

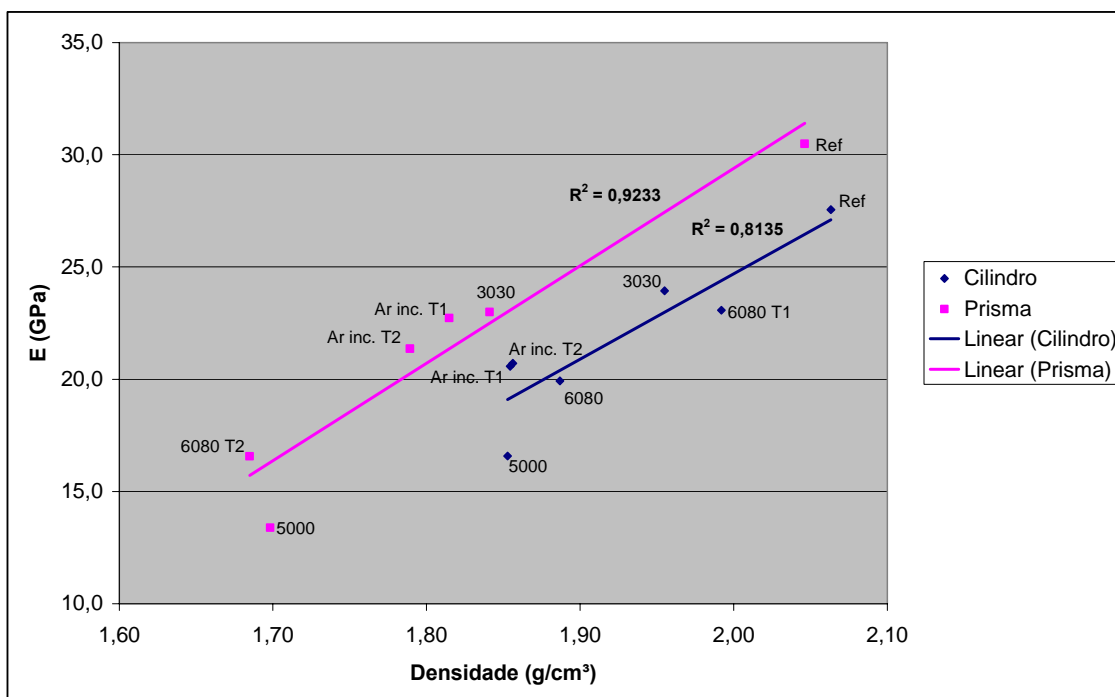


Gráfico 2.18 - Módulo pelo ultrassom x densidade no estado endurecido, para formatos diferentes de CP.

Nota-se que há uma grande correlação entre o módulo pelo ultrassom e a densidade no estado endurecido. Este resultado já era esperado, pois o módulo pelo ultrassom é calculado em função da densidade do material. O fato da presença de polímeros não exercer efeito sobre a propagação das ondas ultrassônicas no material é reforçado por este gráfico, que indica um efeito predominante da densidade neste tipo de módulo.

Correlação semelhante foi traçada para o módulo estático à compressão e apresenta-se no Gráfico 2.19.

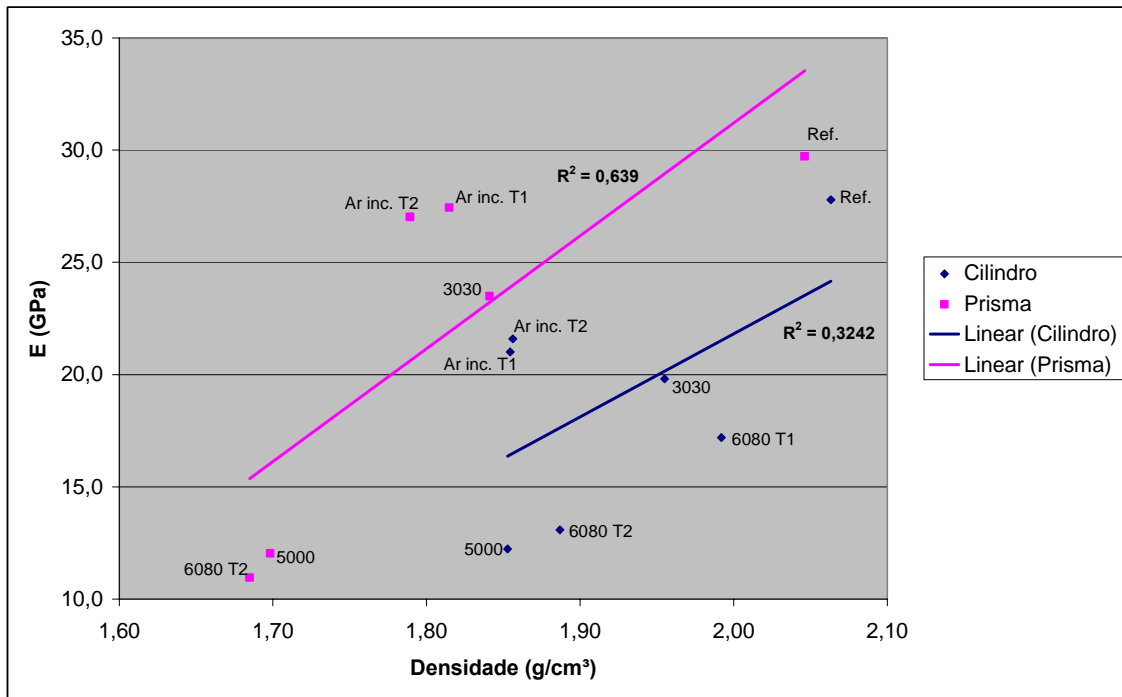


Gráfico 2.19 - Módulo tangente inicial à compressão x densidade no estado endurecido, para formatos diferentes de CP.

No caso do módulo estático, não houve uma correlação forte com a densidade no estado endurecido; embora seja possível notar, para ambos os formatos de corpo-de-prova, uma tendência de aumento do módulo com o aumento da densidade. Uma das explicações para esta correlação não ser forte é a influência da presença de polímero sobre o módulo estático, reduzindo-o. Esta diferença de comportamento entre o módulo estático e o dinâmico demonstra que o módulo pelo ultrassom não é suficiente para caracterizar completamente as argamassas com polímero, já que a densidade não é o único fator a exercer influência no caso destas argamassas.

Correlações entre o módulo de deformação e a deformação última dos corpos-de-prova são apresentadas no Gráfico 2.20 e no Gráfico 2.21.

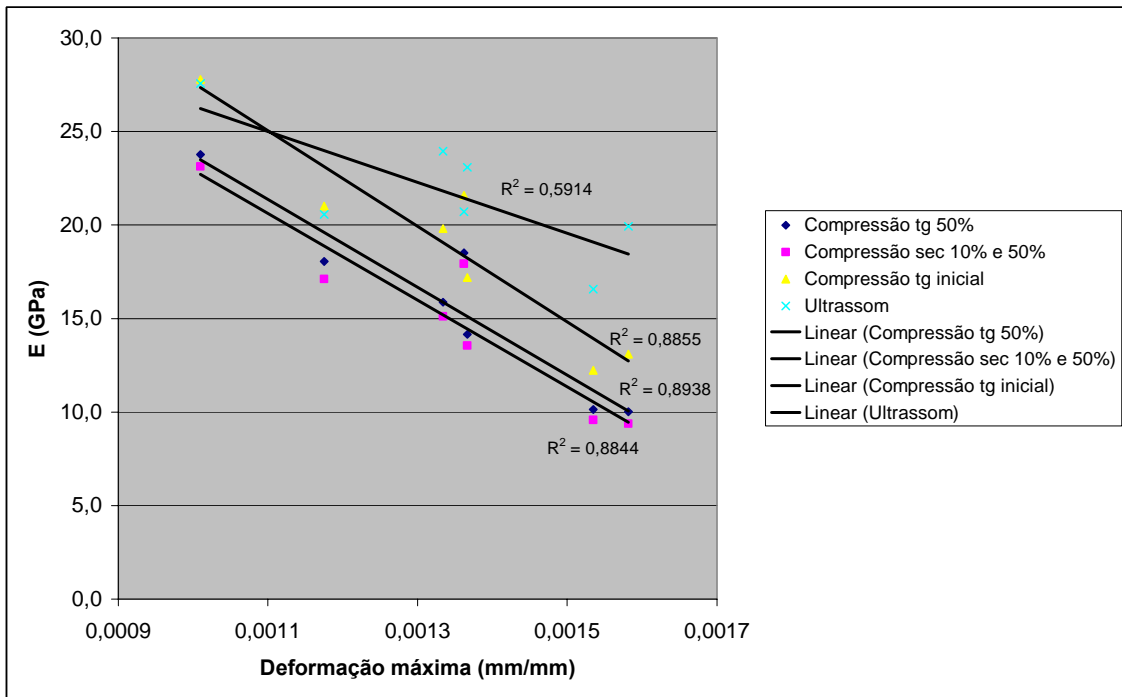


Gráfico 2.20 - Módulo de deformação x capacidade de deformação, para o cilindro.

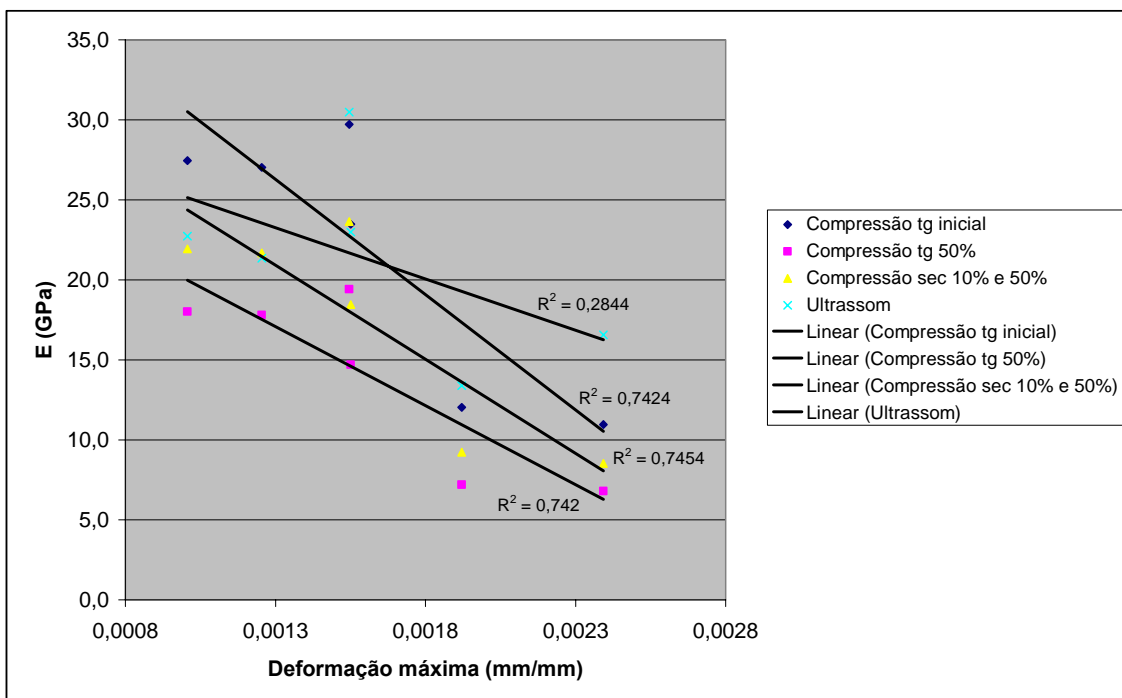


Gráfico 2.21 - Módulo de deformação x capacidade de deformação, para o prisma.

Tanto no cilindro quanto no prisma, os módulos estáticos foram os que tiveram uma correlação mais forte com a deformação última. O módulo pelo ultrassom, em ambos os casos, teve um coeficiente de correlação (R^2) baixo.

Para analisar se a alteração da relação água/cimento, que se fez necessária para permitir a moldagem das AMPs, exerceu influência sobre os resultados, foi estabelecida a correlação ilustrada no Gráfico 2.22.

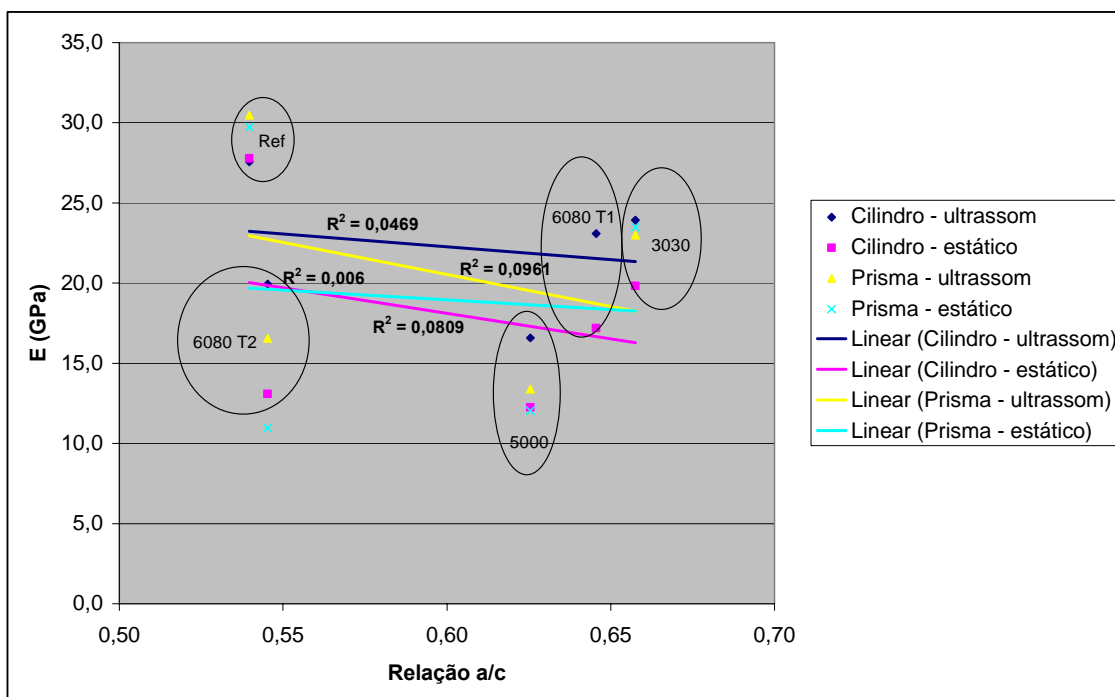


Gráfico 2.22 - Módulo de deformação pelo ultrassom e tangente inicial à compressão x relação água/cimento, para diferentes formatos de CP.

Para todos os módulos e formatos de corpo-de-prova, nota-se que não houve influência precisa da relação a/c, indicando que as alterações feitas nesta variável não tiveram conseqüências negativas para o estudo.

2.4. Considerações finais sobre o programa experimental e a análise dos resultados

Com base na análise dos dados, é possível afirmar que o ensaio de módulo pelo ultrassom apresenta grande potencial de emprego. Sua facilidade e rapidez de execução, aliados a um baixo custo (o aparelho de ultrassom custa muito menos do que a prensa necessária ao ensaio estático), baixa variabilidade e alta confiabilidade dos resultados o tornam um ensaio adequado para a caracterização de argamassas, sobretudo as não-modificadas. Para argamassas com incorporador de ar, o ensaio também apresentou bom desempenho, identificando a redução no módulo proporcional ao aumento da

capacidade de deformação do material e apresentando boa correlação com o ensaio estático.

Entretanto, o ensaio pelo ultrassom não se mostrou totalmente adequado às argamassas modificadas com polímero. A presença de polímero nestas argamassas aumenta significativamente a capacidade de deformação das mesmas, fato não detectado pelo ultrassom.

O ensaio identificou somente parcialmente a redução no módulo (correspondente ao tangente inicial à compressão), referente ao efeito da incorporação de ar nas AMPs. Inicialmente, imaginava-se que a influência do polímero só ocorreria para cargas maiores, conforme observaram Godoy e Barros (1999). Estes autores, em seu estudo, obtiveram resultados de módulo tangente inicial muito próximos para argamassas sem e com polímero, e a diferença na deformabilidade destas duas argamassas só se evidenciou para cargas maiores (Figura 2.24). Sendo assim, era de se esperar que o ensaio pelo ultrassom seria capaz de medir corretamente o módulo tangente inicial, sendo o ensaio estático somente necessário para caracterização em níveis de deformação maiores.

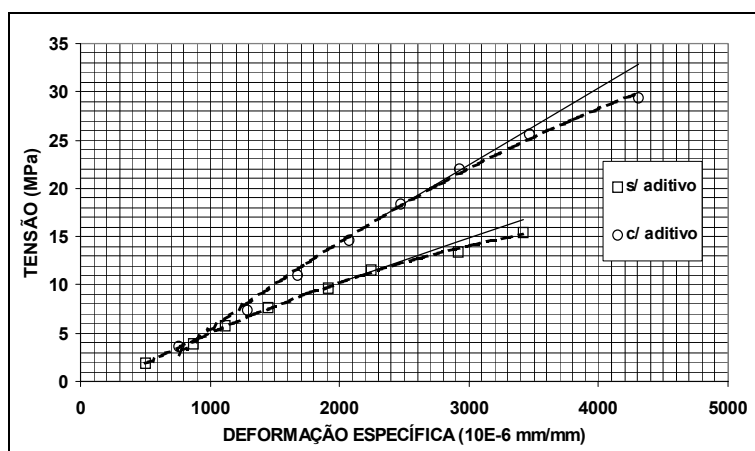


Figura 2.24 - Análise comparativa da deformação de argamassas com e sem aditivo polimérico (GODOY e BARROS, 1999)

Entretanto, mesmo para cargas baixas, observou-se a influência do filme polimérico sobre deformação do material, e o ensaio pelo ultrassom não foi capaz de detectar esta modificação. Isto indica que, mesmo no trecho elástico, o ensaio pelo ultrassom não é adequado para caracterizar as AMPs.

A análise do ensaio estático permite confirmar o que havia sido observado na etapa anterior da pesquisa. De realização mais difícil e demorada que o ensaio pelo ultrassom, ele apresenta uma variabilidade que não pode ser

creditada à variabilidade do material. Não apresenta vantagens, em relação ao ultrassom, para argamassas não-modificadas e com incorporadores de ar. No entanto, oferece uma melhor caracterização de argamassas modificadas com polímero, se comparado ao ensaio pelo ultrassom. Ao traçar a curva tensão-deformação, o ensaio estático representa o comportamento mecânico completo do material. Levando-se em conta que inclusive o módulo tangente inicial foi alterado nas AMPs devido ao polímero (e não somente à presença de ar incorporado), acredita-se que a realização do ensaio estático seja a melhor forma de caracterização desse tipo de argamassa.

Em relação aos formatos de corpo-de-prova, novamente o cilindro apresentou-se melhor que o prisma. Com um menor nível de variabilidade nos seus resultados, o cilindro se mostrou mais sensível às modificações (incorporador de ar e polímero), fornecendo uma melhor idéia do comportamento mecânico das argamassas e identificando-as melhor. O prisma, além de uma variabilidade maior de seus resultados, devido à sua reduzida altura, parece estar sujeito a um maior confinamento entre os pratos da prensa, sofrendo maior influência do atrito provocado por eles. Isto restringiria sua deformação e alteraria o comportamento do corpo-de-prova, de modo que os seus resultados não indicam o verdadeiro comportamento da argamassa.

Frente aos resultados obtidos, acredita-se que o corpo-de-prova na forma de cilindro é o que melhor representa o comportamento da argamassa e não na forma de prisma.

Além disso, não se sabe a extensão da influência do ensaio de resistência à tração na flexão, cuja realização é necessária para romper o corpo-de-prova ao meio e então submetê-lo aos ensaios de resistência e módulo à compressão. É possível que este ensaio modifique significativamente as ligações da microestrutura do corpo-de-prova, alterando o seu comportamento para os ensaios posteriores.

Em relação ao próprio comportamento das argamassas, verificaram-se as expectativas baseadas na teoria dada pela revisão bibliográfica. A incorporação de ar, embora tenha reduzido a resistência mecânica das argamassas, aumentou sua capacidade de deformação. Este é um efeito desejável para argamassas de revestimento, cuja deformabilidade é mais

importante do que a resistência mecânica – embora uma resistência mínima seja requerida para que o sistema se mantenha íntegro.

Notou-se, também, a influência do tempo de mistura sobre o comportamento das argamassas. A argamassa T2, que foi misturada por mais tempo, apresentou um melhor desempenho quando solicitada mecanicamente. Isto se deve provavelmente pela melhor dispersão dos materiais, sobretudo das partículas de cimento, possibilitando a formação de uma rede de cristais com um maior grau de interligação. Portanto, o tempo de mistura do material é uma importante variável a ser controlada durante a produção das argamassas.

No que diz respeito ao comportamento das AMPs, os polímeros respeitaram a indicação do fabricante: o Baucryl 30/30 produziu argamassas de maior rigidez e resistência mecânica, enquanto o Baucryl 5000 e o Baucryl 60/80 resultaram em argamassas mais flexíveis. Enquanto o Baucryl 5000 incorporou grande quantidade de ar, o 60/80 apresentou, conforme o esperado, os maiores níveis de deformabilidade. Os polímeros, de um modo geral, aumentaram a capacidade de deformação das argamassas.

2.4.1. Comparação com resultados obtidos por outros pesquisadores

Embora algumas tendências identificadas em trabalhos de outros pesquisadores tenham sido mencionadas e comparadas com os resultados apresentados neste relatório, não foi possível estabelecer comparações numéricas entre os dados obtidos e os de outras fontes.

Não foram encontradas referências que tenham utilizado parâmetros próximos aos adotados nesta pesquisa. Embora o traço 1:3 seja uma constante entre os pesquisadores, principalmente na área de polímeros, outras variáveis importantes não coincidiram com o adotado, como relação a/c, tipo de polímero (inclusive fabricante), métodos de avaliação do módulo de deformação e formatos de corpo-de-prova. Isto torna ainda mais importante a necessidade de se estabelecerem normas que uniformizem a avaliação do módulo de deformação na comunidade científica brasileira, bem como um aumento no número de estudos acerca desta propriedade.

2.5. Publicação científica

Durante o último período da pesquisa, foi elaborado o painel para participação no 15º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP (SIICUSP). O evento aconteceu no dia 26/11/2007, no campus da USP em São Carlos (Figura 2.25). Uma versão do painel apresentado do evento em tamanho A4 encontra-se no apêndice C.

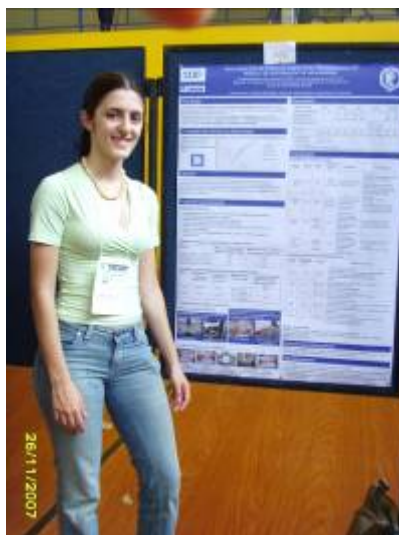


Figura 2.25 - Pesquisadora ao lado do painel apresentado no 15º SIICUSP.

Além disso, visando à participação no 12º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2008), foram elaborados o resumo (aprovado pela comissão organizadora) e o artigo a ser apresentado neste evento, que acontecerá no período de 07 a 10 de outubro de 2008, em Fortaleza (CE). O resumo e o artigo encontram-se no apêndice D.

De acordo com o relatório anterior encaminhado à FAPESP, seria elaborado, em novembro de 2007, um artigo para a revista *Téchne*. Entretanto, decidiu-se esperar até que a análise dos dados provenientes da atual fase da pesquisa fosse concluída, para que o artigo a ser publicado compreendesse toda a pesquisa. Sendo assim, a elaboração deste artigo se inicia com a conclusão deste relatório final de iniciação científica.

PARTE 3. Considerações finais

3.1. Quanto aos objetivos a serem atingidos

Em relação à última fase da pesquisa, pode-se afirmar que os objetivos estabelecidos foram atingidos. Grande parte dos ensaios foi realizada, exceto a medição do módulo semanalmente até que fossem atingidos os 28 dias de idade. Entretanto, salienta-se que este aspecto do crescimento do módulo com a idade não fazia parte do núcleo essencial da pesquisa, que é a análise dos métodos de determinação do módulo de deformação em si e, por isto, não impediu que se atingissem plenamente os objetivos propostos.

Conseguiu-se avaliar bem a aplicabilidade dos métodos de ensaio de acordo com as modificações de argamassa previstas no relatório anterior, bem como definir o tipo de corpo-de-prova mais adequado para este tipo de ensaio. Ainda que tenham ocorrido contratemplos, como o erro nas quatro primeiras moldagens de AMPs, que tiveram de ser refeitas, isto não inviabilizou a realização do programa experimental. A única conseqüência deste atraso foi a impossibilidade de se medir o módulo de deformação das AMPs aos 70 dias de idade, em tempo de incluir estes resultados no presente relatório, mas esta medida será feita para que possa fazer parte do artigo a ser proposto para a revista *Téchne*.

Outras alterações em relação ao proposto no relatório anterior, como as modificações das relações p/c e a/c (esta última para as AMPs) foram necessárias para a obtenção de corpos-de-prova em melhores condições de ensaio e não exerceram influência significativa sobre os resultados.

Em relação à publicação científica, como já explicado no item 2.5, decidiu-se postergar o artigo para a revista *Téchne* de modo a incluir os resultados desta fase da pesquisa e, assim, ter uma publicação completa dos resultados.

3.2. Quanto às dificuldades encontradas no desenvolvimento da presente etapa do trabalho

As principais dificuldades encontradas nesta etapa da pesquisa concentraram-se nas argamassas poliméricas. A não possibilidade de se realizar um treinamento visando à sua produção, o que se deve em parte ao atraso na etapa anterior do trabalho, dificultou muito o trabalho de preparo dos corpos de prova, pois o comportamento previsto na teoria em relação à trabalhabilidade das AMPs não se verificou na prática.

O fato de não terem sido feitos os testes para avaliar o progresso da incorporação de ar, seja com o tempo de mistura, seja com a adição de maiores quantidades de incorporador, resultou em uma gama reduzida de teores de ar incorporado, havendo inclusive dois teores praticamente idênticos. Isto reduziu em uma série a quantidade de corpos-de-prova para ensaio, prejudicando, de certa forma, a análise para este tipo de modificação.

A alteração no tempo de mistura das argamassas com incorporador de ar resultou, ainda, em outras alterações no material produzido: a argamassa que permaneceu mais tempo no misturador teve, provavelmente, um grau maior de dispersão dos seus constituintes do que aquelas que foram misturadas por tempo menor. Com isto, ela desenvolveu uma microestrutura diferente, o que é evidenciado pelo seu comportamento mecânico. Frente a isto, deve-se registrar aqui uma recomendação para trabalhos futuros em que se utilizem este aditivo: quando se pretende obter diferentes teores de ar para uma mesma argamassa, deve-se alterar a quantidade de incorporador de ar ao invés do tempo de mistura, além de estabelecer um tempo de mistura de referência maior, de modo a promover melhor dispersão dos materiais como um todo.

A reduzida trabalhabilidade das argamassas de base polimérica tornou inadequado o procedimento de moldagem dos corpos-de-prova utilizando a mesa de queda, pois não foi possível adensar adequadamente os prismas, prejudicando a análise que deveria ser feita. Embora tenha sido um resultado negativo para esta pesquisa, é válido em termos de gerar uma recomendação para que outros pesquisadores não tenham o mesmo tipo de dificuldade.

Quanto à caracterização no estado endurecido, deparou-se com o problema de se ter ruptura precoce de corpos-de-prova nos ensaios estáticos.

Este problema foi solucionado alterando-se o ciclo de carga e descarga (que merece maiores estudos, como será abordado no item 3.3) ou pela adoção de uma carga de ruptura menor do que a fornecida pelo ensaio de resistência à compressão.

Devido às atividades inerentes ao próprio programa experimental, não foi possível realizar na íntegra o acompanhamento da evolução do módulo ao longo do tempo, conforme apresentado no item 2.1.4. Como o quadro de funcionários do laboratório é reduzido, a própria pesquisadora realizava todas as atividades para a moldagem e desmoldagem dos corpos-de-prova: pesagem dos materiais constituintes da argamassa; montagem, preparação e limpeza das fôrmas; lavagem da argamassadeira e toda limpeza do laboratório após as moldagens; preparo da prensa; entre outros. Estas atividades, em conjunto com os ensaios estáticos, consumiram um tempo muito acima do esperado. Isto impossibilitou a realização dos ensaios de ultrassom em todas as idades inicialmente previstas, bem como a análise da influência da condição de saturação dos corpos-de-prova na idade que se havia proposto inicialmente.

Entretanto, o trabalho para a montagem da infra-estrutura não deve ser encarado somente sob a forma de empecilho para o programa experimental, pois acaba contribuindo para um outro aprendizado: a valorização do trabalho dos técnicos do laboratório e a organização pessoal para que tudo possa ser realizado no tempo disponível.

3.3. Sugestões para pesquisas futuras

Durante o desenvolvimento do programa experimental, notaram-se alguns pontos que podem ser objetos de estudo para outros pesquisadores, aqui registrados:

- **Avaliação do tipo de ciclo de carga-descarga no ensaio de módulo estático:** dado que o ensaio estático se mostrou indispensável no caso das AMPs, seria interessante avaliar tipos diferentes de ciclos de carga-descarga e sua influência sobre o comportamento dos corpos-de-prova. É possível que aplicar 30% da carga, repetidas vezes, ocasiona um estado de pré-fissuração do material que pode afetar seu comportamento na posterior aplicação de carga, quando da medição da deformação. Recomenda-se a avaliação tanto dos limites superior e

inferior de carga a serem adotados, como o número de ciclos a ser empregado;

- **Avaliação do comportamento de corpos-de-prova com incorporador de ar:** considerando a reduzida gama de teores de ar incorporado obtidos nesta pesquisa, recomenda-se a realização de programa experimental semelhante, com uma maior faixa de variação do teor de ar incorporado. Para se obter esta variação, recomenda-se adotar quantidades diferentes de incorporador de ar, mantendo-se o tempo de mistura constante, conforme discutido no item 2.4.

3.4. Quanto ao aprendizado adquirido durante a iniciação científica

A realização desta pesquisa proporcionou uma grande contribuição à formação da pesquisadora. O método científico, com todas as etapas a ele inerentes (levantamento e revisão bibliográficos, planejamento e realização do programa experimental, análise de dados, elaboração de relatório e conclusões), foi incorporado pela pesquisadora na realização de outros trabalhos de graduação e mesmo de extensão universitária. A pesquisadora interpreta esta metodologia como uma eficiente ferramenta de trabalho, que deveria ser do conhecimento de todos, e pretende utilizá-la sempre em suas atividades, qualquer seja o seu futuro ramo de atuação. A pesquisadora considera inclusive que esta foi a maior contribuição que se pode depreender da iniciação científica.

Além disso, a compreensão e o desenvolvimento do conteúdo da pesquisa só fizeram aumentar o conhecimento da pesquisadora na área de materiais de construção. Contribuíram para isso também os contatos feitos com pesquisadores da área, seja no próprio ambiente da universidade, seja nos congressos de que a pesquisadora participou, o que também proporcionou uma maior familiaridade com o universo acadêmico.

A pesquisadora está extremamente satisfeita com a realização da pesquisa, o que só foi possível pelo apoio dado pela FAPESP, à qual agradecemos pela bolsa concedida e assessoria prestada.

PARTE 4. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.

_____. **Cal virgem e cal hidratada – Análise química – NBR 6473**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos – NBR 7222**. 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.

_____. **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica – NBR 9778**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – NBR 9778**. 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.

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.

GODOY, E. H. P.; BARROS, M. M. S. B. **Proposta de procedimento de ensaio para avaliação do módulo de deformação de argamassas**. In.: **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 3. Vitória, 1999. **Anais**, Vitória: SBTA, 1999. p. 249-264.

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

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

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.

Fernanda Belizário Silva -
pesquisadora

Mércia Maria S. B. de Barros
orientadora

PARTE 5. Apêndices

Apêndice A – Fichas técnicas dos polímeros , fornecidas pela Quimicryl.