

AVALIAÇÃO DE ASPECTOS MECÂNICOS DE ARGAMASSAS DE REPARO UTILIZADAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

CABRAL, A. E. B. (1); DAL MOLIN, D. C. C. (2); BAUER, E. (3)

(1) Eng. Civil, Mestrando em Engenharia, pesquisador do NORIE/CPGEC/UFRGS

E-mail: eduardo@cpgec.ufrgs.br

(2) Eng^a. Civil, Dr^a, pesquisadora NORIE/CPGEC/UFRGS.

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º Andar - Centro - 90035-190 Porto Alegre/RS/Brasil

Tel.:+55(51)316-3518/316-3353 Fax:+55(51)316-4054.

E-mail:dmolin@vortex.ufrgs.br

(3) Eng. Civil, Dr., pesquisador LEM/UnB. Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia - Asa Norte - Mestrado em Estruturas - SG12 - Subsolo

70910-900 Brasília / DF / Brasil Tel/Fax.: +55 (61) 347-0568

E-mail:elbauer@zaz.com.br

RESUMO

O presente trabalho avaliou aspectos mecânicos de quatro argamassas utilizadas em reparos contra corrosão de armaduras de estruturas de concreto de armado, as quais são: argamassa de referência (cimento e areia) e argamassas modificadas pela adição do nitrito de sódio (inibidor de corrosão), do polímero estireno-butadieno (SBR) e da sílica ativa. Os ensaios realizados foram módulo de elasticidade (NBR 8522/84) e resistência à compressão (NBR 5739/93). Utilizou-se corpos de prova cilíndricos de 5cm de diâmetro por 10cm de altura, os quais foram curados em câmara úmida por 7 dias e posteriormente em ambiente de laboratório até completarem 28 dias, idade onde foram iniciados todos os ensaios. Como resultado teve-se um aumento considerável da resistência à compressão e do módulo de elasticidade da argamassa com adição de sílica ativa; a adição do estireno-butadieno (SBR) não modificou significativamente a resistência à compressão da argamassa embora a tenha deixado mais deformável; e o nitrito de sódio não conferiu modificações significativas na resistência à compressão e no módulo de elasticidade da argamassa por ele modificado.

ABSTRACT

The present work evaluated mechanical aspects of four mortars used in repairs against corrosion rebars of reinforced concrete structures, which are: reference mortar (cement and sand) and mortars modified by the addition of sodium nitrite (corrosion inhibitor), estirene-butadiene polymer (SBR) and silica fume. The accomplished rehearsals were modulus of elasticity (NBR 8522/84) and compressive strength (NBR 5739/93). Cylindrical specimens of 5cm diameter by 10cm height was used, which were cured in humid camera for 7 days and later on in laboratory atmosphere to they complete 28 days, age where began all the rehearsals. As result was had a considerable increase in the compressive strength and in the modulus of elasticity of the mortar with addition of silica fume; the addition of the estirene-butadiene (SBR) didn't modify the compressive strength of the mortar significantly although it has turned it more deformable; and the sodium nitrite didn't check significant modifications in the compressive strength and in the modulus of elasticity of the mortar modified for it.

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais requisitos das argamassas de reparo é a compatibilidade mecânica com o concreto reparado. Portanto, é recomendável que as argamassas de reparo tenham resistência à compressão e à tração, módulo de elasticidade, coeficiente de dilatação térmica, dentre outras propriedades, similares aos do concreto onde a mesma será aplicada. É aconselhável também que as argamassas tenham uma boa aderência aos substratos de concreto endurecido e que tenham alcalinidade semelhante à do concreto. Estas recomendações são essenciais quando se pretende reconstituir o monolitismo da estrutura e evitar problemas futuros.

De uma maneira particular, a resistência à compressão e o módulo de deformação são propriedades importantes para as argamassas de reparo, pois estas devem ter resistência à compressão axial suficiente para resistir aos esforços estruturais sem fissurar, não proporcionando assim o ingresso de agentes agressivos, além de não diferir consideravelmente do módulo de elasticidade dos substratos de concreto aonde são aplicados, sendo capazes de absorver certas deformações do substrato sem descolar-se.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Tendo-se como referência os trabalhos de KULAKOWSLKI (1994) e SCHULER (1998), LIMA (1996) e OHAMA (1987), os quais indicam os teores ótimos encontrados em suas pesquisas para as adições de sílica ativa, do inibidor de corrosão (nitrito de sódio) e do polímero estireno-butadieno (SBR), respectivamente, em argamassas e concretos, utilizou-se os ensaios normalizados prescritos pela NBR 7215/96 e pela NBR 8522/84 para se determinar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade, respectivamente, das seguintes argamassas de reparo: argamassa de referência traço 1:3 a/c=0,5; argamassa de referência com adição de 10% de sílica ativa; argamassa de referência com adição de 2% de inibidor de corrosão (nitrito de sódio) e argamassa de referência com adição de 20% de sólidos de SBR. Os teores indicados são em massa e medidos em relação à massa do cimento.

2.1 Materiais utilizados

Utilizou-se os seguintes materiais: cimento Portland composto, com adição de filler calcário (CP II F-32); areia média (zona 3, segundo a NBR 7211/83) com módulo de finura igual a 2,48 e dimensão máxima característica igual a 4,8mm; sílica ativa de origem nacional, do tipo não densificada; inibidor de corrosão do tipo anódico (nitrito de sódio) e o polímero estireno-butadieno com 50% do teor de sólidos. Utilizou-se ainda um aditivo superplastificante de pega normal à base de melamina em quantidade suficiente para que as argamassas adquirissem uma consistência de 220 ± 20 mm.

2.2 Procedimento experimental

Uma vez preparadas as argamassas segundo a NBR 7215/96, moldou-se 15 corpos-de-prova cilíndricos de 5cm de diâmetro por 10cm de altura, para cada argamassa, sendo 3 para a determinação do módulo de elasticidade e 12 para a determinação da resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias (4 corpos de prova para cada idade). Utilizou-se uma mesa vibratória no processo de adensamento. Após moldados, os corpos de prova foram levados à câmara úmida, sendo desmoldados após 24 horas. Foram curados por mais 6 dias em câmara úmida e 21 dias em ambiente de laboratório, idade em que foram ensaiados.

Uma apropriada e adequada cura é essencial para a melhoria da qualidade do cobrimento de concreto, da durabilidade e da resistência, mas na prática, a maioria das estruturas de concreto não recebem uma cura adequada. Interrupções e descontinuidades nos primeiros dias do processo de cura, se acidental ou deliberada, quebram o processo de hidratação. Então o propósito de se deixar curar em câmara úmida somente até os 7 dias visa justamente tentar expressar a realidade que ocorre nos canteiros de obra, ou seja, uma cura deficiente e inadequada.

Utilizou-se também quatro pastilhas de aço, as quais foram coladas, duas de cada lado, nos corpos de prova destinados ao ensaio de módulo. As mesmas serviram de base para fixação dos extensômetros mecânicos, os quais mediram os deslocamentos dos corpos de prova de acordo com o aumento das cargas. Calculou-se então o módulo de elasticidade secante a 70% da resistência à compressão de ruptura das argamassas, considerando o intervalo de deformações obtido entre a deformação na tensão de 0,5 MPa e a deformação na tensão de 70% da tensão de ruptura. As cargas foram impressas através de uma prensa hidráulica da marca Amsler.

Os resultados apresentados são os valores médios encontrados para cada ensaio.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Fez-se uma análise estatística dos resultados obtidos no intuito de avaliar o efeito das variáveis no desempenho das propriedades (tipos de argamassa e idade, para a resistência à compressão, e tipos de argamassa, para o módulo de elasticidade). Utilizou-se a análise de variância (ANOVA), através de um *software* estatístico, que permite comparar grupos de valores considerando a variabilidade das médias entre os grupos e variabilidades das observações dentro dos grupos, baseando-se na distribuição de Fischer (F), com um determinado nível de significância (que neste caso foi de 95%), para verificar a significância das variáveis.

3.1 Resistência à compressão

Tem-se, na Figura 3.1, os valores da resistência à compressão das argamassas dos sistemas de reparo aos 3, 7 e 28 dias. A tabela 3.1 contém os resultados da ANOVA para a resistência à compressão.

Tabela 3.1 Resultados da ANOVA para os valores da resistência à compressão

Variável	Graus de liberdade	Média Quadrada	F _{calc}	F _{0,05}	Significância
Argamassa	3	405,35	98,08	2,92	significativo
Idade	2	1313,49	317,83	3,32	significativo
Σ todos	6	42,99	10,40	2,42	significativo
Erro	30	4,13	-	-	-

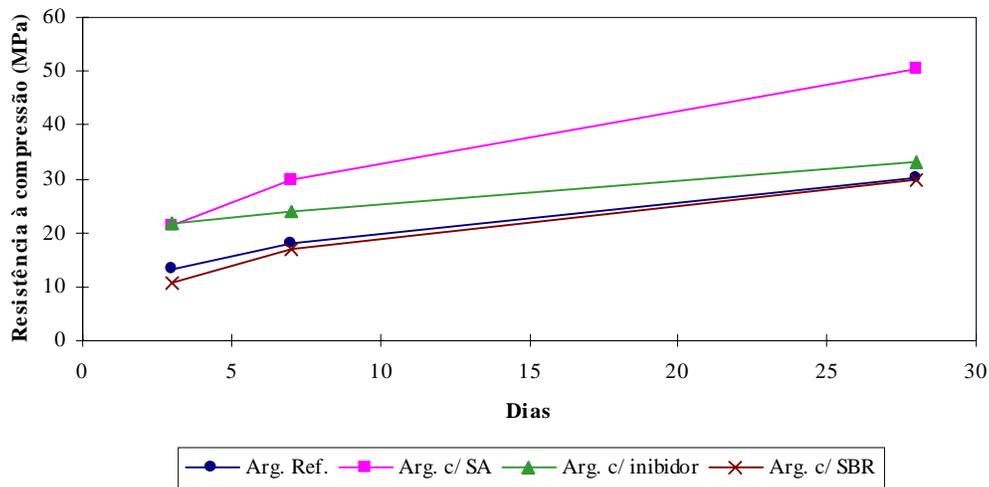


Figura 3.1 Evolução da resistência à compressão das argamassas dos sistemas de reparo. Através dos resultados da tabela 3.1 verifica-se que o tipo de argamassa e a idade são variáveis significativas quanto à resistência à compressão. Entretanto, fez-se uma comparação múltipla de médias de cada tipo de argamassa para cada idade, pelo método de Duncan, utilizando-se os resultados das análises de variância (ANOVA) para cada idade, onde determinou-se que:

1. para a idade de 3 dias, os valores de resistência à compressão das argamassas com adição de sílica ativa e de inibidor não diferem significativamente entre si. As demais diferem significativamente destas e entre elas.
2. Para a idade de 7 dias, os valores de resistência à compressão da argamassa com adição de estireno-butadieno e da argamassa de referência não diferem significativamente entre si. As demais diferem significativamente destas e entre elas.
3. Para a idade de 28 dias, os valores de resistência à compressão das argamassas com adição de estireno-butadieno e de inibidor de corrosão e da argamassa de referência não diferem significativamente. A argamassa com adição de sílica ativa difere significativamente destas.

Tem-se que, aos 3 dias de idade, a argamassa com adição sílica ativa apresenta uma resistência à compressão 61,3% superior à argamassa de referência. Para as próximas idades, observa-se que a argamassa com sílica ativa mantém o ganho de resistência, apresentando resultados 67,6% e 66,6% superiores aos da argamassa de referência, para 7 e 28 dias, respectivamente. Este ganho de resistência é devido a uma ligeira aceleração na hidratação do cimento e também à reação pozolânica, que ocasiona um refinamento dos poros, juntamente com o efeito microfíler, substituindo o constituinte mais fraco (hidróxido de cálcio) por um mais forte (silicato de cálcio hidratado) (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

FIGUEIREDO (1998), através de ensaios realizados em argamassas com e sem adição de sílica ativa, nos traços 1:2 e 1:2,5, obteve um ganho médio de 50% na resistência à compressão das argamassas aos 28 dias ao empregar 10% de sílica ativa. Já KULAKOWSKI (1994) e SCHULER (1998) obtiveram um acréscimo da resistência à compressão aos 28 dias de apenas 6,72% e 4,20%, quando adicionaram 10% de sílica ativa às argamassas de traço similar. A justificativa dada pelas autoras para acréscimos tão baixos foi uma possível ineficiência da sílica ativa em misturas compostas somente por agregado miúdo e cimento, pois no concreto, a sílica atua principalmente na zona de transição pasta-agregado, que é o elo fraco da resistência do concreto. Nas argamassas

esta zona de transição limita-se ao entorno dos agregados miúdos, e portanto o efeito da adição restringe-se a estas pequenas regiões. Entretanto, sabe-se que o tipo adensamento é um fator de grande relevância quando se for comparar valores de resistência. A forma de adensamento utilizado pelas supracitadas autoras foi feito de maneira manual, através de soquete, e provavelmente devida à grande coesão da mistura proporcionado pela adição de sílica, o adensamento manual não é eficiente na retirada do ar incorporado, deixando grande porosidade na argamassa.

Para a argamassa com adição de inibidor de corrosão tem-se uma resistência à compressão 64,1% superior à argamassa de referência, para 3 dias de idade, entretanto, nas outras idades, observa-se um decréscimo no ganho de resistência, apresentando uma resistência à compressão 33,6% e 9,3% superior à argamassa de referência, para 7 e 28 dias, respectivamente. Este ganho de resistência da argamassa com nitrito de sódio nas primeiras idades é também verificado no trabalho de LIMA (1996). Entretanto, VASCONCELOS (1997) encontrou valores para resistência à compressão aos 28 dias 27,8% inferiores, em média, para a argamassa com adição de 2% de nitrito de sódio, quando comparados aos da argamassa sem nitrito. Aos 90 dias, os valores da resistência encontrados atingiram uma diferença insignificante com relação à série de referência.

A argamassa modificada com polímeros apresentou uma resistência 19,5% inferior à argamassa de referência, para 3 dias de idade, entretanto, obteve um acréscimo para as demais idades mas, ainda assim, apresentou uma resistência 4,3% e 1,5% inferior à de referência, para 7 e 28 dias, respectivamente. Este resultado é coerente com os encontrados por FERREIRA & LIBORIO (1993), que encontraram resistências à compressão ligeiramente menores para argamassas idênticas às estudadas, só que submetidas a um processo de cura diferente: 28 dias em câmara úmida para a argamassa de referência (sem adições) e 2 dias em câmara úmida e 26 dias de cura ao ar para a argamassa modificada pelo polímero, promovendo assim, uma menor porosidade da pasta devido a um maior grau de hidratação do cimento para a argamassa de referência. Segundo OHAMA (1987), em geral, argamassas e concretos modificados com látex apresentam notórios aumentos na resistência à tração e à flexão mas nenhum aumento na resistência à compressão quando comparados às argamassas e concretos convencionais. Portanto, parece que a adição do SBR praticamente não altera a resistência à compressão da argamassa modificada.

Mas ainda não existe um consenso sobre a influência do estireno-butadieno na resistência à compressão das argamassa, conforme o trabalho de RAY et alli (1995), que apresentam um decréscimo de 20,5% e 24,6%, aos 7 e 28 dias, respectivamente, na resistência à compressão de argamassas de cimento e areia traço 1:3 a/c=0,5 quando estas são modificadas com 20% de estireno-butadieno, e o trabalho de AFRIDI et alli (1994), que em um amplo estudo sobre argamassas, de traço 1:3 em massa, modificadas pelo polímero estireno-butadieno, adicionado nos teores de 0, 5, 10, 15 e 20%, obtiveram um aumento na resistência à compressão das argamassas proporcional ao aumento no teor de SBR. Entretanto, como estes mesmos justificam, o aumento é atribuído principalmente à redução da relação a/c, que ocorre com o aumento do teor de polímero. Sabe-se que a relação a/c afeta diretamente a relação gel/vazios, causando assim a redução da porosidade capilar e conseqüente aumento na resistência à compressão.

OHAMA (1987) afirma que os maiores fatores que influem nas propriedades relacionadas com a resistência de argamassas e concretos modificados por polímeros de base látex são: a natureza dos materiais utilizados, tais como os látex, cimentos e

agregados; os teores das misturas tais como o teor de polímeros utilizado, relação água/cimento, razão pasta/vazios; métodos de cura e métodos de avaliação. Para tal pesquisador, a resistência à compressão ótima em argamassas ou concretos modificados com polímeros de base látex é obtida alcançando um grau de hidratação de cimento razoável sob condições úmidas nas primeiras idades seguida de condições secas, no intuito de promover a formação do filme polimérico devido à coalescência dos polímeros látex.

3.2 Módulo de elasticidade

Tem-se na figura 3.2 os valores do módulo de elasticidade das argamassas dos sistemas de reparo. A tabela 3.2 contém os resultados da análise de variância (ANOVA) para o módulo de elasticidade.

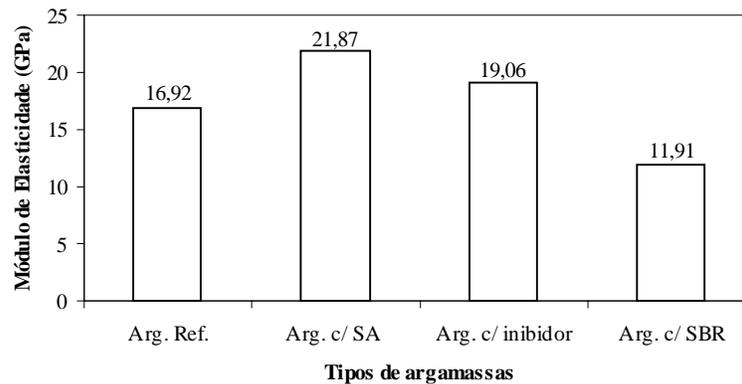


Figura 3.2 Módulo de elasticidade das argamassas dos sistemas de reparo (GPa)

Tabela 3.2 Resultados da ANOVA para os valores do módulo de elasticidade

Variável	Graus de liberdade	Média Quadrada	F _{calc}	F _{0,05}	Significância
Argamassa	3	95,49	6,19	3,13	Significativo
Erro	19	15,42	-	-	-

Através dos resultados da tabela 3.2 verifica-se que o tipo de argamassa é uma variável significativa quanto ao módulo de elasticidade. Entretanto, fez-se uma comparação múltipla de médias de cada tipo de argamassa, pelo método de Duncan, utilizando-se os resultados da tabela 3.2, onde determinou-se que o módulo de elasticidade da argamassa com adição de sílica ativa não difere significativamente do módulo da argamassa com adição do inibidor de corrosão, e este último não difere significativamente do módulo da argamassa de referência. Entretanto, o módulo da argamassa de referência difere significativamente do módulo da argamassa com adição de sílica ativa. O módulo de elasticidade da argamassa com estireno-butadieno difere significativamente do módulo das demais argamassas.

Observa-se que a adição de sílica ativa deixou a argamassa menos deformável, apresentando um módulo de elasticidade 29,3% maior que o da argamassa de referência. Este resultado é coerente com os resultados obtidos por FIGUEIREDO (1998), onde percebeu-se uma tendência de aumento do módulo quando se adiciona sílica ativa à argamassa. Segundo tal autora, ocorre um aumento de 21,4% e de 28,3% no módulo de elasticidade das argamassas ao adicionar-se 6% e 10% de sílica ativa, respectivamente, para as misturas com relação cimento/areia 1:2. Para a relação cimento/areia 1:2,5, o

aumento para as respectivas adições foi de 30,3% e 43,9%, respectivamente. Entretanto, é contraditório ao obtido por SCHULER (1998), a qual apresentou para argamassas similares com adição de 10% de sílica ativa um módulo de elasticidade praticamente igual ao da argamassa sem adição.

A argamassa modificada pelo inibidor de corrosão apresenta um módulo de elasticidade 12,6% superior ao módulo da argamassa de referência. O resultado é coerente com os valores encontrados para a resistência à compressão pois o módulo de elasticidade aumenta com a resistência, embora não exista um acordo sobre a forma exata dessa dependência (NEVILLE, 1997). Mas parece que além de inibir a corrosão, o nitrito de sódio altera a microestrutura das argamassas e concretos, tornando-a menos porosa. Evidenciando tal fato, LIMA (1996), avaliando a absorção de água em concretos modificados com adições de nitrito de sódio nos teores de 2% e 4%, obteve 2,8% e 5,2%, respectivamente, de redução no coeficiente de absorção por imersão. E em ensaios de avaliação do índice de vazios em concretos com adições de 2% e 4% do mesmo inibidor, obteve redução de 2,8% e 3,9% nos índices, respectivamente.

A adição do SBR tornou a argamassa mais deformável, com um módulo de elasticidade 29,6% menor que o de referência, resultado este coerente com o obtido por FERREIRA & LIBORIO (1993) que obtiveram uma redução de aproximadamente 29% para o mesmo teor de adição em argamassa similar. RAY et alli (1995) observaram que com o aumento do teor de SBR adicionado na argamassa, a deformabilidade das mesmas aumentava, obtendo assim, uma redução de 83,2% no módulo inicial tangente com a adição de 20% de SBR. Portanto, tudo indica que a adição de estireno-butadieno nas argamassas, as torna mais deformável, e isto ocorre provavelmente, segundo AFRIDI et alli (1994), porque a adição do polímero promove uma modificação estrutural na argamassa devido à presença de regiões com características semelhantes à borracha (látex) ou devido à presença de filmes poliméricos capazes de deter o avanço das fissuras.

4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nos ensaios realizados, pode-se concluir que:

1. a adição de sílica ativa aumentou consideravelmente a resistência à compressão da argamassa, elevando o módulo de elasticidade, deixando a argamassa menos deformável;
2. a argamassa modificada pelo estireno-butadieno (SBR) não modificou significativamente a resistência à compressão da argamassa embora a tenha deixado mais deformável;
3. o nitrito de sódio não modificou significativamente a resistência à compressão e o módulo de elasticidade da argamassa por ele modificado.

Convém salientar que para a correta escolha de um sistema de reparo deve-se considerar também os aspectos de durabilidade e de custos, os quais não foram abordados neste artigo. Um estudo englobando tais aspectos está sendo realizado por CABRAL (1999).

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFRIDI, M. U. K.; CHAUDHARY, Z. U.; OHAMA, Y.; DEMURA, K.; IQBAL, M. Z. Strength and elastic properties of powdered and aqueous polymer-modified mortars. **Cement and Concrete Research**, Vol. 24, N° 7, p. 1199-1213, 1994.
- CABRAL, A. E. B. *Avaliação de sistemas de reparo utilizados em estruturas atacadas por cloretos, através da resistência de polarização*. Porto Alegre - RS, 1999. Dissertação em andamento (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FERREIRA, O. P.; LIBORIO, J. B. L. Propriedades da argamassa armada modificada com adição de látex de estireno-butadieno. Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural. **Anais**. p. 233-244. Montevideo, 1993.
- FIGUEIREDO, C. R. *Contribuição ao estudo da capacidade de proteção de argamassas com sílica ativa para reparos estruturais*. Brasília-DF, 1998. 156 p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília.
- KULAKOWSKI, M. P. *Argamassa com adição de microssílica para reparos estruturais: estudo da penetração de cloretos*. Porto Alegre-RS, 1994. 106 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- LIMA, M. G. *Inibidores de corrosão: avaliação da eficiência frente à corrosão de armaduras provocada por cloretos*. São Paulo-SP, 1996. 174 p. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.
- MEHTA P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: estruturas, propriedades e materiais*. São Paulo, Ed. PINI, 1994.
- NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. Tradução: Salvador E. Giammusso. 2ª ed. rev. atual. São Paulo: Pini, 1997.
- OHAMA, Y. Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes. **ACI Materials Journal**, p. 511-518, November/December, 1987.
- RAY, I.; GUPTA, A. P.; BISWAS, M. Effect of latex and superplasticiser on portland cement mortar in the hardened state. **Cement and Concrete Composites**. Vol. 17, N° 1, 1995.
- SCHULER, A. *Caracterização de argamassas com adições de sílica ativa como material para reparos e reforços de estruturas de concreto armado*. Porto Alegre-RS, 1998. 142 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VASCONCELOS, K. L. *Avaliação comparativa da eficiência de inibidores de corrosão em armaduras de estruturas de concreto*. Brasília-DF, 1997. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília.

6 AGRADECIMENTOS

Nosso agradecimento ao CNPq e à CAPES, pelo apoio financeiro, e ao Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM) da Universidade de Brasília (UnB), pela concessão dos equipamentos para a realização dos ensaios.