

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E MECÂNICA DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO FABRICADAS COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA ¹

*Maria Teresa Paulino Aguilár⁽²⁾
Elaine Carballo Siqueira Corrêa⁽³⁾
Odair José dos Santos⁽⁴⁾
Paulo Roberto Cetlin⁽⁵⁾*

Resumo

O desempenho das argamassas de revestimento é influenciado basicamente pela natureza e proporção dos materiais utilizados. Além de se fazer a escolha de materiais isentos de substâncias danosas, é interessante a adição de materiais capazes de melhorar as propriedades dessas argamassas. Entre as adições utilizadas destacam-se os materiais pozolânicos, que em função de sua capacidade de reação com o hidróxido de cálcio, formam compostos de características cimentícias, produzindo um aumento da resistência mecânica. Dentre estes materiais destaca-se a sílica ativa, por ser rejeito industrial e por ter elevada superfície específica, o que promove a diminuição da porosidade das argamassas. Além disso, ao agir na consistência e coesão interna da mistura, aumenta o rendimento do material durante a aplicação, devido a redução da reflexão. Neste trabalho é feita a caracterização mecânica e microestrutural de argamassas fabricadas com e sem sílica ativa. O procedimento experimental consistiu na caracterização microestrutural das argamassas, submetidas a difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura com microsonda de feixe de elétrons, e em ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico por frequência ressonante. Através dos resultados foram obtidas algumas informações relativas às fases presentes e aos aspectos microestruturais dos materiais estudados. Os resultados mostraram que a utilização de sílica ativa em substituição a 10% do cimento conduz a um aumento da resistência mecânica, reduz a permeabilidade, e eleva o módulo de elasticidade dinâmico.

Palavras-chave: Argamassa; Silica ativa; Propriedades mecânicas; Microestrutura.

¹ 60º Congresso Anual da ABM, 25 a 28 de julho de 2005, Belo Horizonte - MG

² Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Escola de Engenharia - UFMG, Belo Horizonte. teresa@demc.ufmg.br

³ Dr., Engenheiro Mecânico, Aluno de Pós-Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia - UFMG, Belo Horizonte. elaine@demet.ufmg.br

⁴ Msc., Engenheiro Mecânico, USIMINAS, Belo Horizonte. ajunior@demc.ufmg.br

⁵ Dr., Professor Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia - UFMG, Belo Horizonte. pctlin@demet.ufmg.br

1 INTRODUÇÃO

As argamassas de revestimento têm como funções básicas reduzir a penetração da água de chuvas sobre os elementos de vedação da construção e proporcionar às paredes características aceitáveis de planeza e regularidade superficial. As argamassas de revestimento também podem desempenhar os papéis de isolante térmico e acústico⁽¹⁾. Para que desempenhem suas funções básicas é importante que esse tipo de argamassa seja avaliada em termos de resistência mecânica, resistência à fissuração, permeabilidade à água, aderência aos suportes e compatibilidade de deformação com o suporte. As argamassas serão tanto melhores quanto mais baixa for a tendência de ocorrência de fissuração, maior a impermeabilidade à água e maior aderência e compatibilidade ao suporte. Para determinação do grau de aderência e de impermeabilidade são, comumente, utilizados os ensaios de arrancamento por tração e o de absorção de água, respectivamente. A resistência da argamassa é comumente avaliada pelo ensaio de resistência à compressão. A resistência à fissuração pode ser avaliada pelo módulo de elasticidade dinâmico. Também a compatibilidade da argamassa com o suporte pode se avaliar através do módulo de elasticidade⁽¹⁾.

O desempenho das argamassas é influenciado basicamente pela natureza e pela proporção na mistura dos materiais utilizados. Além de se fazer a escolha de materiais isentos de substâncias danosas, é interessante a adição de materiais capazes de implementar propriedades desejáveis às argamassas. Entre as possíveis adições minerais destacam-se, em especial, por serem rejeitos industriais, a sílica ativa e a escória de alto forno finamente moída. A sílica ativa devido a reação pozolânica e por seu efeito de colmatar os vazios aumenta a resistência mecânica e diminui a porosidade das argamassas. Além disso, ao agir na consistência e coesão interna da mistura, aumenta o rendimento do material durante a aplicação, devido a redução da reflexão⁽²⁾. Esses fatores indicam que, provavelmente, em um futuro próximo, esses materiais serão constituintes comumente utilizados nas argamassas.

Dentro deste contexto, neste trabalho são avaliados o desempenho de argamassas de revestimento: as fabricadas com adição de cal e com adição de sílica ativa, mantendo-se constantes as proporções dos outros constituintes. Os resultados obtidos são avaliados através de difração de raios-X, microscopia eletrônica de varredura com microsonda de feixe de elétrons, ensaios de resistência à compressão, absorção de água e módulo de elasticidade dinâmico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados três tipos de argamassas: comum (areia e cimento), com adição de cal e com adição de sílica ativa. As mesmas foram analisadas em termos de aspectos microestruturais, resistência mecânica e módulo de elasticidade dinâmico.

As análises químicas dos sistemas particulados, areia, cimento, cal e sílica ativa, são apresentadas na Tabela 1. Na Figura 1 pode ser observada a análise granulométrica dos mesmos, realizada através de peneiramento a seco com agitador de peneiras

Bertel (areia) e via espalhamento de luz através do Sympatec Helos (demais constituintes).

Tabela 1. Análise química dos sistemas particulados.

Areia		Cimento		Cal		Sílica ativa	
Constituinte	Teor (%)	Constituinte	Teor (%)	Constituinte	Teor (%)	Constituinte	Teor (%)
CaO	62,070	SiO ₂	91,360	SiO ₂	90,010	CaO	68,150
SiO ₂	20,670	LiO	< 0,001	Li ₂ O	< 0,001	MgO	0,511
Al ₂ O ₃	4,920	Na ₂ O	0,190	Na ₂ O	1,430	Fe ₂ O ₃	0,160
Fe ₂ O ₃	3,590	K ₂ O	1,150	K ₂ O	2,860	MnO	0,067
TiO ₂	0,209	Al ₂ O ₃	4,500	Al ₂ O ₃	0,080	C	1,810
MnO	0,231	Fe ₂ O ₃	1,640	Fe ₂ O ₃	1,090	PPC	26,810
MgO	0,470	MnO	0,080	MnO	0,318		
Na ₂ O	0,019	TiO ₂	0,133	TiO ₂	0,050		
K ₂ O	0,513	PPC	0,770	PPC	4,030		
P ₂ O ₅	0,417						
SO ₃	3,900						
PPC	2,800						

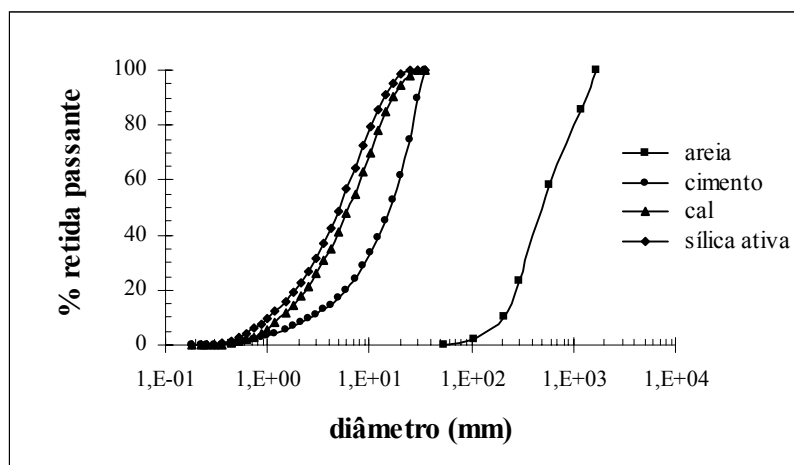


Figura 1. Análise granulométrica dos sistemas particulados.

As demais propriedades físicas da areia são apresentadas na Tabela 2. O cimento utilizado foi o CP V, marca CIMINAS, fabricado pela HOLDERCIM DO BRASIL S/A com as propriedades físicas apresentadas na Tabela 3. A água utilizada atende às especificações da NBR-3118 da ABNT.

A composição das argamassas pode ser observada na Tabela 4, onde é apresentada a proporção dos materiais na mistura tomando como referência o peso do cimento/sílica ativa na mistura. As argamassas foram fabricadas à temperatura

ambiente em argamassadeira. Os corpos de prova foram estocados em câmara úmida. O tempo de cura foi de 28 dias.

Tabela 2. Propriedades físicas da areia.

Características	Areia
Densidade Real (kg/m ³)	2.570
Densidade Aparente (kg/dm ³)	1,38
Impurezas Orgânicas (ppm)	<300
Argilas em Torrões (%)	1,50
Material Pulverulento (%)	1,20

Tabela 3. Propriedades físicas do cimento.

Características	Cimento
Início de Pega (min)	120
Fim de Pega (min)	182
Resistência a 1 dia (MPa)	28,5
Resistência aos 3 dias (MPa)	42,9
Resistência aos 7 dias (MPa)	47,5
Resistência aos 28 dias (MPa)	56,5

Tabela 4. Composição das argamassas: relação entre os constituintes, em massa.

Tipo	Constituinte				Teor de cimento	a/c
	Cimento	Cal	Areia	Sílica ativa		
Comum	1	0	6	0	14,3%	1,6
Com cal	1	1,2	4,8	0	14,3%	1,6
Com sílica ativa	0,95	0	6	0,05	13,5%	1,6

Estabelecidos os traços a serem utilizados, o procedimento experimental constituiu na confecção da argamassa, moldagem e cura dos corpos de prova por fim, na caracterização microestrutural, na realização dos ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico.

A análise por difração de raios-X foi realizada em um aparelho do tipo $\theta/2\theta$, marca Phillips.. A microscopia eletrônica de varredura foi realizada em um microscópio marca JEOL – JMS 5410 com microssonda de feixe de elétrons Noran. As imagens foram obtidas através de feixe de elétrons secundários.

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico foram utilizados corpos de prova cilíndricos com 10cm de diâmetro e 20cm de altura. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados seguindo-se as recomendações da norma NBR-5729 em uma máquina Instron.

Os ensaios para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico foram em aparelho de frequência ressonante, marca Elle International, com base nas

recomendações da norma ASTM-C-848-88, utilizando as montagens longitudinal e transversal.

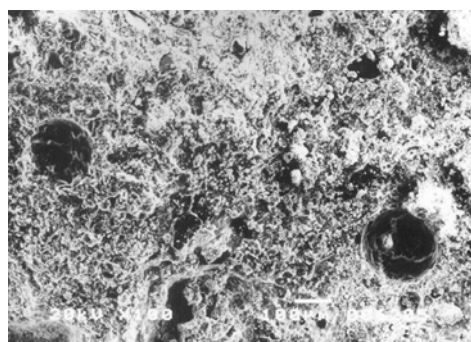
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5 são apresentadas as fases observadas nas argamassas através da análise dos difratogramas. Verifica-se que quartzo, calcita e etringita são encontrados nos três materiais. A fase portlandita está presente nas argamassas comum e com adição de cal. A moscovita é observada apenas no material com adição de sílica ativa. Dessa forma, podem ser verificadas alterações na microestrutura do material em função dos constituintes. Os resultados indicam a ação superpozolânica da sílica ativa.

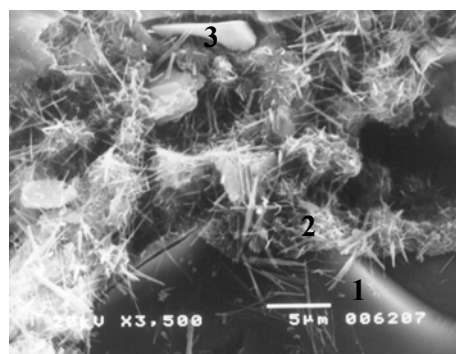
Tabela 5. Fases observadas nos três tipos de argamassa.

Tipos de argamassa	Fases observadas
Argamassa	Quartzo (SiO_2) Calcita (CaCO_3) Portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) Etringita ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4, \text{SiO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{OH})_{12} 26\text{H}_2\text{O}$)
Argamassa com cal	Quartzo (SiO_2) Calcita (CaCO_3) Portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) Etringita ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4, \text{SiO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{OH})_{12} 26\text{H}_2\text{O}$)
Argamassa com sílica ativa	Quartzo (SiO_2) Calcita (CaCO_3) Etringita ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4, \text{SiO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{OH})_{12} 26\text{H}_2\text{O}$) Moscovita ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$)

Os aspectos microestruturais das três argamassas podem ser observados nas Figuras 2 a 4. As fotomicrografias são apresentadas em dois aumentos de forma que possam ser verificados a morfologia e distribuição geral de poros e demais características microestruturais dos materiais, que são associadas à análise química realizada através da microsonda de feixe de elétrons nas regiões indicadas.

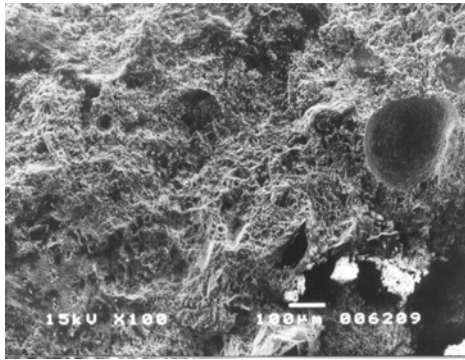


(a)

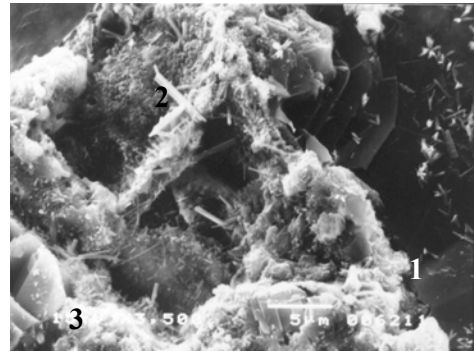


(b)

Figura 2. Fotomicrografia da argamassa comum (MEV)

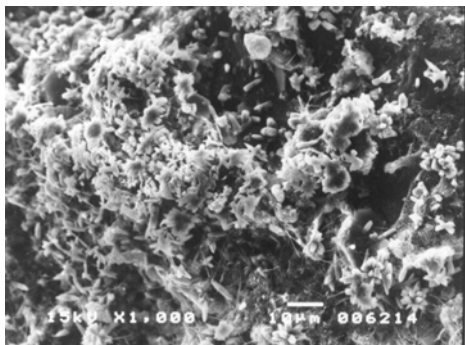


(a)

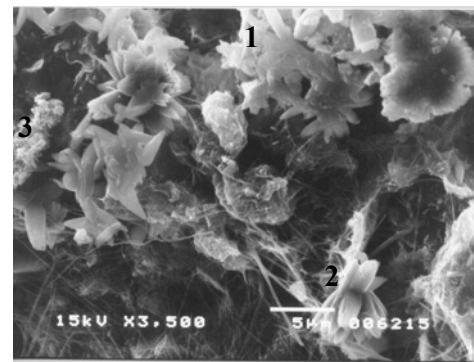


(b)

Figura 3. Fotomicrografia da argamassa com adição de cal (MEV).



(a)



(b)

Figura 4. Fotomicrografia da argamassa com adição de sílica ativa (MEV).

Através da análise das Figuras 2(a), 3(a) e 4(a), observa-se que a adição de sílica ativa poderia resultar em alterações no tamanho e distribuição dos poros, apresentando, aparentemente, uma estrutura mais densa, o efeito *microfiller*.

Lembrando que a microsonda de feixe de elétrons detecta composição química e não fases, neste trabalho a presença de óxidos foi associada à ocorrência das fases. Na argamassa comum, Figura 2(b), foi verificada a presença dos óxidos CaO, SiO₂ e Al₂O₃ nas regiões indicadas. Esses três compostos poderiam ser associados às fases quartzo, calcita e etringita (vide Tabela 5). As distintas formas observadas podem estar relacionadas às diferentes quantidades de cada óxido encontrado nessas regiões, que estariam formando diferentes fases.

A argamassa com adição de cal, Figura 3(b), também apresentou formas distintas na fotomicrografia. Nas três regiões foi indicada a presença de CaO em maior proporção, seguido de SiO₂ e Al₂O₃. Entretanto, novamente foram observadas diferenças nas proporções de cada um dos óxidos.

Na argamassa com adição de sílica ativa, observa-se uma região (1) basicamente composta por CaO, podendo ser relacionada às fases calcita e etringita. A região 2,

de aspecto acicular, apresentou similaridades com microestruturas das argamassas comum e com cal, associada aos óxidos SiO_2 e CaO . Entretanto, essa estrutura acicular aparece em menor quantidade, se comparada à argamassa comum. A região 3, à esquerda da figura, parece ser composta principalmente por CaO , seguido de SiO_2 . Não foram encontradas indicações da fase muscovita através da análise química por microsonda de feixe de elétrons.

Os valores de resistência mecânica obtidos para o ensaio de resistência à compressão são apresentados na Figura 5 para as argamassas fabricadas com e sem adições de cal e sílica ativa, após 28 dias de cura. Esses dados mostram que a utilização da cal diminuiu o limite de resistência, que é fortemente aumentado com a utilização de 10% de sílica ativa.

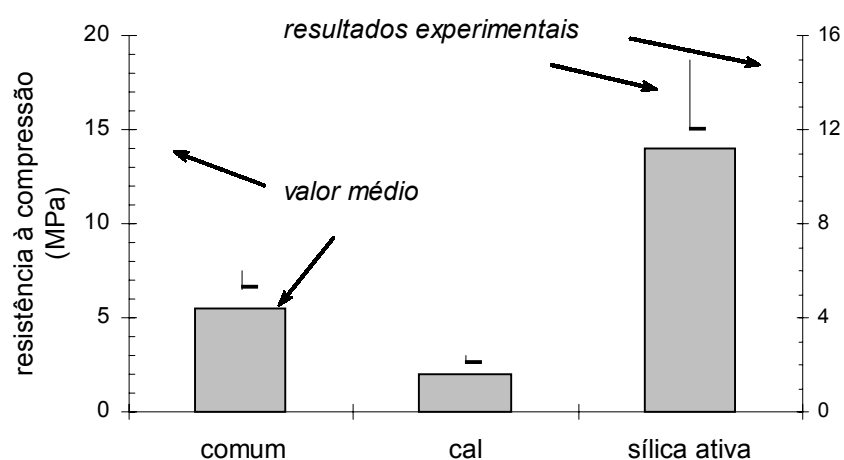


Figura 5. Resistência à compressão das argamassas.

Na Figura 6 são apresentados os valores do módulo de elasticidade dinâmico e coeficientes de dispersão obtidos no ensaio de frequência ressonante de argamassas fabricadas com e sem adições de cal/sílica ativa/fibras após 28 dias de cura. Os valores da constante de dispersão obtidos, assim como a similaridade dos dados obtidos nas montagens longitudinal e transversal mostrou que a heterogeneidade do material não afetou as medições da frequência natural de vibração coeficiente.

Os dados da Figuras de 5 a 6 indicam que a adição de sílica ativa é um método eficaz para o aumento da resistência mecânica. A cal é um forte redutor do módulo de elasticidade dinâmico, produzindo um abaixamento em torno de 70%. Já a sílica ativa promoveu um aumento do módulo de Young, o que poderia indicar que a regra das misturas aplica ao caso.

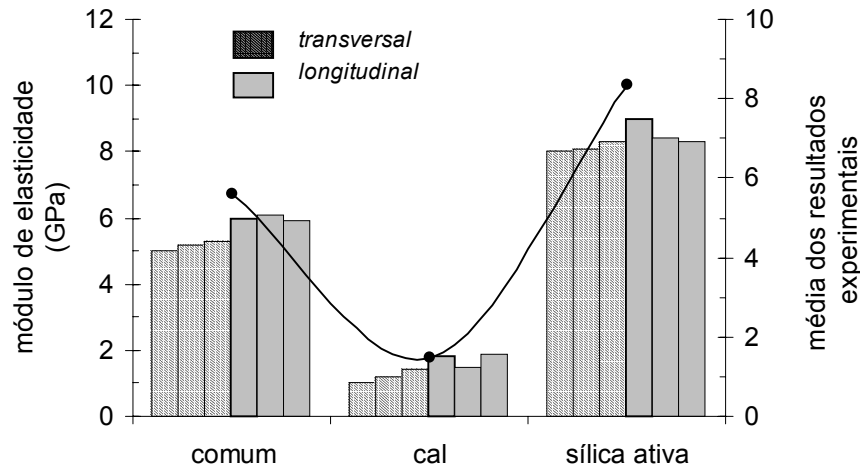


Figura 6. Módulo de elasticidade dinâmico (longitudinal e transversal) e coeficientes de dispersão das argamassas submetidas a ensaios de frequência ressonante.

4 CONCLUSÕES

Os resultados confirmam que quando se deseja diminuir o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas é indicado a utilização de cal. Quando se objetiva o aumento da resistência mecânica à compressão, e por conseguinte à tração, e a diminuição da permeabilidade poderia se usar sílica ativa. A utilização conjunta desses materiais poderia promover uma maior deformação específica (limite de resistência/módulo de elasticidade), o que em muito contribuiria para o desempenho das argamassas de revestimento, na medida em que se aumenta sua capacidade de absorver deformações⁽⁵⁾. Dessa forma seria interessante o estabelecimento de proporções ótimas desses materiais que maximizassem a deformação específica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 GOMES, A. G. Caracterização de Argamassas Tradicionais Utilizadas nos revestimentos Exteriores de Edifícios, **Tese de Doutorado**. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 269p. 1995.
- 2 MEHTA, P.K. Condensed Silica Fume . **Concrete Technology and Design**, v.3, p.134-169, 1986.
- 3 MEHTA, P.K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**, São Paulo: Editora Pini, 573 p., 1994
- 4 LEVY, S. M., MARTINELLI, F.A., HELENIO, P. A Influência de Argamassas Endurecidas e Resíduos Cerâmicos Finamente Moídos nas Propriedades de Novas Argamassas. **Anais do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**, p.561-563, Abril 1997.
- 5 SABBATINI, F.H. Tecnologia de Execução de Revestimentos de Argamassas. **Anais do 13º Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto**, p. 1-24, 1994.
- 6 YOUNG, J. F. et al. **The Science and Technology of Civil Engineering Materials**. First Edition. United States of America: Prentice-Hall, Inc., 1998. 384p.

CHARACTERIZATION OF COATING MORTARS MANUFACTURED WITH THE ADDITION OF SILICA FUME

Maria Teresa Paulino Aguilár
Elaine Carballo Siqueira Corrêa
Odair José dos Santos
Paulo Roberto Cetlin

Abstract

The acting of coating mortars is influenced basically by the nature and for the proportion in the mixture of the used materials. Besides doing the exempted of harmful substances choice of materials, it is interesting the addition of materials capable to implement the properties of the mortars. Among the possible mineral additions they stand out, especially, for they be industrial rejects, the silica fume. The silica fume due to super-pozolanic reaction and for its effect of void filler it increases the mechanical resistance and it decreases the porosity of the mortars. Besides, they affect the consistency of the mixture it increases the revenue of the material during the application. In this work, the evaluation of the behavior of coating mortars is accomplished through resistance rehearsals to the compression, dynamic module of elasticity, microstructural characterization of three types of coating mortars: one without additions, one manufactured with addition of 10% of cal and another with additions 10% of silica fume, staying constant the other representatives' proportions. The results show that the conjuntas additions are beneficial.

Key-words: Mortar; Silica fume; Mechanical properties.