



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

INFLUÊNCIA DOS FINOS E DA CAL NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

Narciso Gonçalves da Silva (1); Vicente Coney Campiteli (2)

(1) Prof. Msc. da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – e-mail: ngsilva@cefetpr.br
(2) Prof. Dr. da Universidade Estadual de Ponta Grossa e do PPGCC da Universidade Federal do Paraná – e-mail: vicente@uepg.br

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência do teor de finos ($\phi < 0,075$ mm) no desempenho das argamassas de cimento e areia e, também, das argamassas de cimento, cal e areia. Utilizou-se cimento CP II Z 32, cal virgem moída e areia britada de rocha calcária. Foram preparadas cinco argamassas na proporção 1 : 9 (cimento : areia) e cinco argamassas na proporção 1 : 2 : 9 (cimento : cal : areia), em volume. As argamassas foram produzidas com os seguintes teores de finos: 0,20%, 10,18%, 20,16%, 30,14% e 40,12%, respectivamente. No estado fresco determinou-se o índice de consistência na mesa (NBR 7215) e o teor de ar aprisionado. Foram moldados corpos de prova cilíndricos 5x10 cm para ensaios de compressão, densidade de massa no estado endurecido, permeabilidade por capilaridade, absorção de água e índice de vazios. Os resultados indicaram que a presença da cal na argamassa diminui a resistência à compressão e a densidade de massa no estado endurecido e aumenta a absorção de água, o teor de ar aprisionado e o índice de vazios. As propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido são otimizadas para um certo teor de finos.

ABSTRACT

This work had the objective to evaluate the influence of the content of fine ($\phi < 0,075$ mm) in the performance of mortars of cement and sand and, too, of mortars of cement, lime and sand. Cement CP II Z 32, worn out virgin lime and crushed rock sand of limestone were used. Five mortars had been prepared in proportion 1 : 9 (cement : sand) and five mortars in proportion 1 : 2 : 9 (cement : lime : sand), in volume. Mortars had been produced with following contents of fine: 0,20%, 10,18%, 20,16%, 30,14% and 40,12%, respectively. In the fresh state had established the index of consistency on the table (NBR 7215) and the imprisoned air content were determined. Cylindrical specimens of test had been molded 5x10 cm for assays of compress, density of mass in the hard state, permeability for capillarity, absorption of water and index of emptiness. The results had indicated that presence of the lime in the mortar diminishes the resistance to compression and the density of mass in the hard state and increases absorption of water, the imprisoned air content and the index of emptiness. The properties of mortars in the fresh state and the hard state are optimized for a certain content of fine.

Palavras-chave: argamassa, teor de finos, cal.

Keywords: mortar, content of fine, lime.

1. INTRODUÇÃO

A distribuição granulométrica dos agregados miúdos é uma variável determinante no desempenho das argamassas mistas de assentamento e de revestimento de alvenarias, tanto no que se referem às proporções adequadas de tamanhos quanto no que se refere à morfologia e textura das partículas.

O empacotamento de partículas que segundo McGEARY (1961) citado por OLIVEIRA et al. (2000) pode ser definido como sendo “o problema da correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente”, influencia em diversas propriedades da argamassa, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

A densidade de massa no estado endurecido é uma importante propriedade que pode explicar o desempenho do revestimento quanto às propriedades mecânicas, influenciada, principalmente, pelo empacotamento das partículas dos agregados miúdos e, também, pelo empacotamento do conjunto agregado-aglomerantes (SILVA, 2006).

2. OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo avaliar através de um estudo experimental, a influência da adição de material pulverulento (finos) com diversos teores no desempenho das argamassas de cimento e areia e, também, nas argamassas de cimento, cal e areia, no estado fresco e no estado endurecido.

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais

Para a produção das argamassas foram empregados os seguintes materiais: cimento Portland CP II Z 32, cal virgem moída CV-C, areia britada de rocha calcária calcítica proveniente de pedreira da Região Metropolitana de Curitiba-PR produzida através de um britador VSI, a qual foi lavada diversas vezes, ficando com 0,20% de material pulverulento (designada areia 0). Adicionou-se material pulverulento à areia 0 de modo a se obter o teor desejado. A tabela 1 apresenta a análise granulométrica e a Tabela 2 as caracterizações físicas das areias.

Tabela 1 – Análise granulométrica das areias (NBR 7217/87)

Abertura da peneira (mm)	Porcentagem retida acumulada				
	0	10	20	30	40
4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,4	2,78	2,52	2,31	2,15	2,00
1,2	40,83	37,05	33,98	31,65	29,38
0,6	70,63	64,10	58,78	54,76	50,82
0,3	88,39	80,22	73,56	68,53	63,60
0,15	98,85	89,72	82,26	76,63	71,13
Fundo	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 2 – Caracterizações físicas das areias

Ensaios realizados	Norma	Resultados médios				
		0	10	20	30	40
Módulo de finura	NBR 7217	3,02	2,74	2,51	2,34	2,17
Dimensão máxima caracter. (mm)	NBR 7217	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Massa unitária (g/cm³)	NBR 7251	1,601	1,655	1,664	1,596	1,493
Massa específica (g/cm³)	NBR 9776	2,775	2,775	2,775	2,775	2,775
Teor de argila em torrões (%)	NBR 7218	0	0	0	0	0
Absorção de água (%)	NBR 9777	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Teor de material pulverulento (%)	NBR 7219	0,20	10,18	20,16	30,14	40,12
Índice de vazios (%)	Adaptado ¹	41,18	39,27	38,94	41,43	45,21

3.2 Preparo das argamassas

As argamassas mistas foram preparadas fazendo-se a mistura em massa de cimento, pasta de cal² e areia em betoneira de eixo inclinado de capacidade de 120 litros, através de procedimentos padronizados. A pasta de cal foi preparada fazendo-se a hidratação da cal virgem moída em betoneira de eixo inclinado de capacidade de 320 litros sob agitação contínua por 20 minutos, a qual ficou em processo de maturação por aproximadamente 30 dias em recipiente fechado e vedado com lona plástica. Após a maturação, colocaram-se amostras em estufa à 105°C por aproximadamente 96 horas para desidratação e determinação do teor de água da pasta (60,75%). Destorrou-se a cal hidratada seca e com o pó, após peneiramento (malha 0,6 mm), determinou-se a massa unitária e a massa específica. As caracterizações físicas e químicas do cimento e da cal estão apresentadas no ANEXO.

As proporções dos materiais, em massa, foram definidas a partir da determinação da massa unitária do cimento (1,092 g/cm³), da cal hidratada em pó (0,606 g/cm³) e das areias (Tabela 2). Foi adicionada água na mistura para se obter um índice de consistência (I.C.) na mesa (NBR 7215) de (210 ± 10) mm. As caracterizações das argamassas mistas produzidas são apresentadas nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Definição dos traços e do teor de finos

Arg	Proporções de materiais secos (cimento : cal : areia)		Teor de finos ³ (%)
	Volume	Massa	
SC 0	1 : 0 : 9	1 : 0 : 13,20	0,20
SC 10	1 : 0 : 9	1 : 0 : 13,64	10,18
SC 20	1 : 0 : 9	1 : 0 : 13,71	20,16
SC 30	1 : 0 : 9	1 : 0 : 13,15	30,14
SC 40	1 : 0 : 9	1 : 0 : 12,30	40,12
CC 0	1 : 2 : 9	1 : 1,11 : 13,20	0,20
CC 10	1 : 2 : 9	1 : 1,11 : 13,64	10,18
CC 20	1 : 2 : 9	1 : 1,11 : 13,71	20,16
CC 30	1 : 2 : 9	1 : 1,11 : 13,15	30,14
CC 40	1 : 2 : 9	1 : 1,11 : 12,30	40,12

¹ Para um volume unitário, a diferença entre a massa específica e a massa unitária corresponde ao volume de vazios expresso pela massa equivalente da areia. Esse valor dividido pela massa específica determina o índice percentual de vazios.

² Massa de pasta de cal = massa de cal hidratada + massa de água da pasta.

³ Teor de finos é a porcentagem de massa de material pulverulento (dimensões menores que 0,075 mm) com relação à massa total da areia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estado fresco

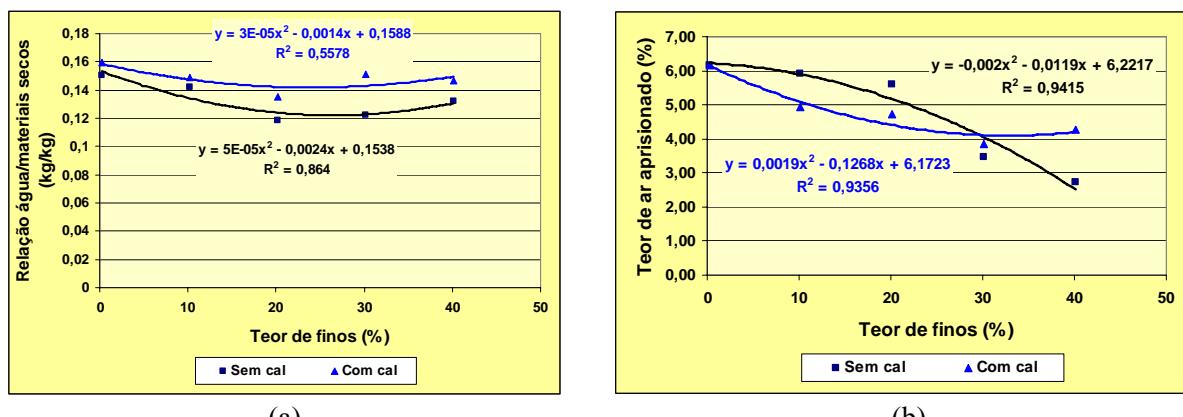
A Tabela 4 apresenta os resultados das relações água/cimento, água/materiais secos, finos/materiais secos, densidade de massa no estado fresco e teor de ar aprisionado realizado segundo a NBR 13278/1995 e índice de consistência obtido na mesa.

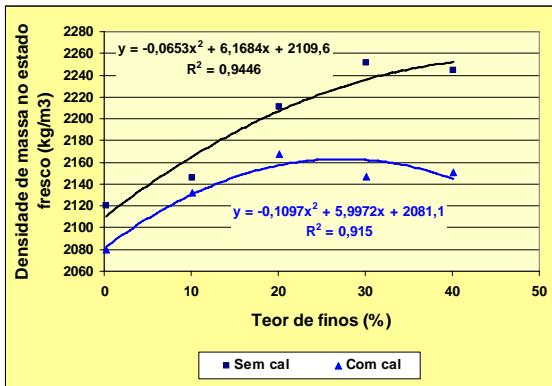
Tabela 4 – Caracterização das argamassa no estado fresco

Arg	Relações em massa (kg/kg)			Densidade de massa (kg/m ³)	Teor de ar aprisionado (%)	Índice de consist. (mm)
	Água/cimento	Água/mat. secos	Finos/mat. secos			
SC 0	2,13	0,1504	0,002	2120	6,14	200
SC 10	2,08	0,1417	0,095	2146	5,97	220
SC 20	1,75	0,1187	0,188	2211	5,67	208
SC 30	1,73	0,1223	0,280	2251	3,55	215
SC 40	1,75	0,1318	0,371	2244	2,82	218
CC 0	2,44	0,1592	0,002	2080	6,23	205
CC 10	2,34	0,1485	0,088	2132	5,00	220
CC 20	2,14	0,1351	0,175	2168	4,78	213
CC 30	2,31	0,1515	0,260	2147	3,90	220
CC 40	2,11	0,1464	0,342	2151	4,35	208

Observando os resultados da Tabela 4, constata-se que as argamassas produzidas com cal (CC) exigiram maior quantidade de água. A mobilidade e a interação entre as partículas com diâmetros menores que 0,075 mm se deve, principalmente, às cargas de superfície e a presença da cal na argamassa. A presença da cal na argamassa aumenta a área superficial das partículas, consequentemente, aumenta o consumo de água.

Conforme pode ser observado na Figura 1a, com o aumento do teor de finos da areia, nas argamassas com cal diminui a exigência de água até o teor de 23,33% (ponto de mínimo da função quadrática) e até 24,00% de teor de finos nas argamassas sem cal, aumentando, a partir daí o consumo de água. As partículas finas adicionadas à argamassa preenchem os vazios existentes entre as partículas maiores, deslocando a água, que passa a atuar como “lubrificante” da movimentação das partículas.





(c)

Figura 1 – Correlação entre teor de finos e: (a) teor de ar aprisionado; (b) relação água/cimento; (c) densidade de massa no estado fresco

À medida que aumenta o teor de finos das areias, diminui o teor de ar aprisionado nas argamassas produzidas sem cal (Figura 1b). O mesmo acontece nas argamassas produzidas com cal até o teor de 33,37% de finos, aumentando, a partir daí o teor de ar aprisionado.

Com a função de regressão obtida da Figura 1c, observa-se que a maior densidade de massa no estado fresco nas argamassas sem cal será com 47,23% de teor de finos. A maior densidade de massa ocorre nas argamassas com cal, quando o teor de finos for de 27,33%. Segundo SILVA (2006), o aumento do teor de finos da areia, aumenta a densidade de massa no estado fresco e também no estado endurecido devido ao maior empacotamento provocado pelos finos.

4.2 Estado endurecido

A Figura 2 apresenta a correlação quadrática entre o teor de finos e a densidade de massa no estado endurecido, obtida aos 28 dias de idade em corpos de prova 5x10 cm de acordo a NBR 13280/1995.

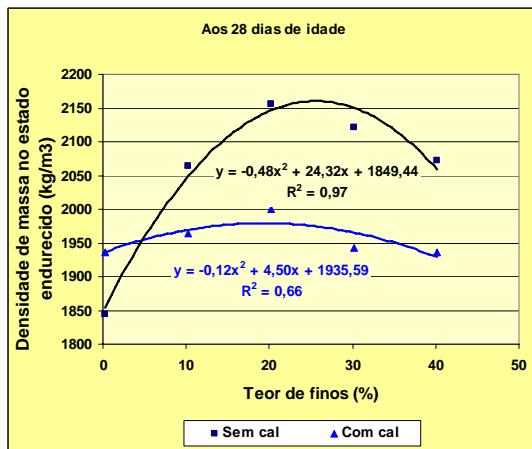


Figura 2 – Correlação entre teor de finos e densidade de massa no estado endurecido

As argamassas com cal apresentaram densidade de massa menor que as argamassas sem cal, exceto para a argamassa com 0,20% de teor de finos. As argamassas com cal exigiram mais água, sendo que uma parte da água serviu para hidratar o cimento (a cal ficou em processo de maturação por aproximadamente 30 dias) e a outra parte ficou adsorvida às partículas dos agregados. Com a perda da água no estado endurecido as argamassas produzidas com cal apresentaram maior quantidade de

vazios que as argamassas produzidas sem cal (Figura 6a), diminuindo, assim, a densidade de massa no estado endurecido (SILVA, 2006).

À medida que aumenta o teor de finos, aumenta a densidade de massa no estado endurecido para as argamassas com cal e sem cal, até um certo teor de finos. Com as funções de regressão da Figura 2 obteve-se a máxima densidade de massa das argamassas sem cal com 25,33% de teor de finos, enquanto que as argamassas com cal têm maior densidade de massa para 18,75% de teor de finos. O menor índice de vazios corresponde à areia 20, conforme mostra a Tabela 2. Portanto, de acordo com McGEARY (1961) citado por OLIVEIRA et al. (2000), o melhor empacotamento das partículas dos agregados miúdos foi obtido com adição de 20,16% de finos, que também produziu a maior densidade de massa no estado endurecido para as argamassas com cal e sem cal (vide Tabela 9 no ANEXO).

As Figuras 3a e 3b apresentam a correlação entre teor de finos e resistência à compressão obtida nas idades de 7 e 28 dias, segundo a NBR 13279/1995.

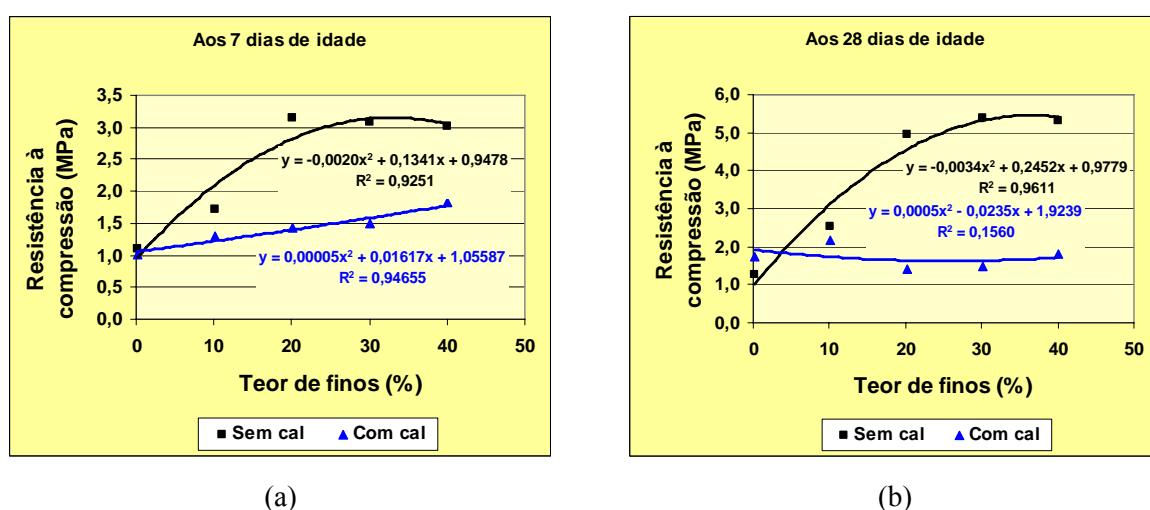


Figura 3 – Correlação entre teor de finos e: (a) resistência à compressão aos 7 dias de idade; (b) resistência à compressão aos 28 dias de idade

As argamassas produzidas com cal apresentaram menores resistências à compressão que as argamassas de cimento e areia (sem cal), devido ao menor teor de cimento, conforme pode ser observado na Figura 3 e nos resultados apresentados no Anexo.

A resistência à compressão nas argamassas com cal aumentou com o aumento do teor de finos na idade de 7 dias apresentando correlação quadrática, conforme pode ser observado na Figura 3a. Porém com a hidratação do cimento ao longo do tempo, não mais apresentou correlação entre o teor de finos e a resistência à compressão (Figura 3b) e, também, não apresentou correlação entre densidade de massa e resistência à compressão (Figura 4). A menor resistência à compressão aos 28 dias de idade nas argamassas com cal foi com 23,5% de teor de finos. A argamassa de cimento e areia (SC) apresentou correlação quadrática entre teor de finos e resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias, com expressivo coeficiente de determinação. Na idade de 7 dias, a resistência à compressão chegou ao máximo valor nas argamassas sem cal com 33,52% de teor de finos e na idade de 28 dias com 33,06% de teor de finos, pois conforme se observa na Figura 4, à medida que aumenta a densidade de massa aumenta a resistência à compressão. Segundo SILVA (2006), o aumento do consumo de água também é responsável pela diminuição das resistências mecânicas das argamassas.

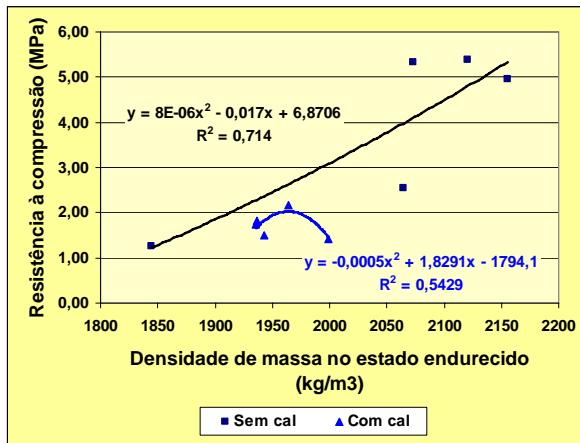


Figura 4 – Correlação entre densidade de massa no estado endurecido e resistência à compressão, aos 28 dias de idade

A Figura 5 apresenta a correlação entre o teor de finos e o coeficiente de capilaridade, obtido através da norma CSTB 2669-4/1993 aos 28 dias de idade em corpos de prova 4x4x16 cm.

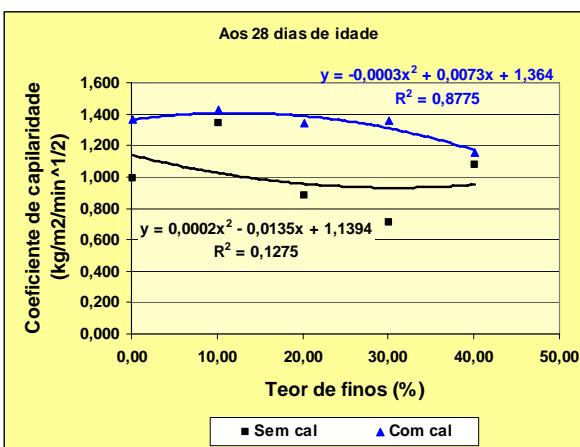


Figura 5 – Correlação entre teor de finos e coeficiente de capilaridade

A Lei de Jurin relaciona a altura da penetração da água nos capilares da argamassa ao inverso dos raios dos capilares, ou seja, quanto menor os raios capilares, maior a ascensão da água nos corpos de prova (SILVA, 2006). Isto pode explicar o fato das argamassas com cal apresentarem maiores coeficientes de capilaridade que as argamassas sem cal, conforme mostra a Figura 5, pois com adição de materiais finos, os raios capilares diminuem.

Com o aumento do teor de finos dos agregados, aumenta o coeficiente de capilaridade nas argamassas com cal até o teor de 12,17% de finos. Já nas argamassas de cimento e areia (SC), com o aumento de teor de finos, diminuiu o coeficiente de capilaridade. Conforme mostra a Figura 5, a correlação quadrática entre teor de finos e coeficiente de capilaridade apresentou baixo coeficiente de determinação, sendo que o menor coeficiente de capilaridade foi para 33,75% de teor de finos.

A Figura 6 mostra a correlação quadrática entre teor de finos e índice de vazios e a correlação entre teor de finos e absorção de água, obtidos em corpos de prova 5x10 cm aos 28 dias de idade conforme a NBR 9778/1987.

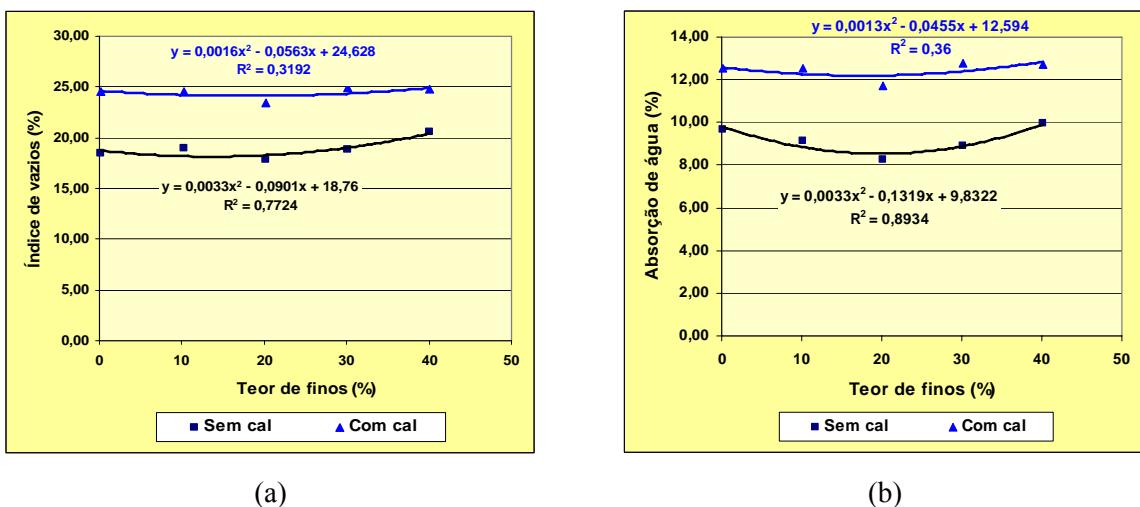


Figura 6 – Correlação entre teor de finos e: (a) índice de vazios; (b) absorção de água

Conforme mostra a Figura 6, nas argamassas de cimento e areia, à medida que aumenta o teor de finos diminui o índice de vazio até o teor de 13,65% de finos e, também, diminui a absorção de água até o teor de 19,98% de finos. As argamassas com cal apresentaram correlações quadráticas com menores coeficientes de determinação, sendo que o menor índice de vazios e a menor absorção de água ocorreram com teor de 17,50% de finos. O aumento do teor de finos provoca o aumento da densidade de massa no estado endurecido (Figura 2), devido ao empacotamento das partículas, com isso, diminui o índice de vazios. A Figura 7 mostra que a absorção de água é diretamente proporcional ao índice de vazios.

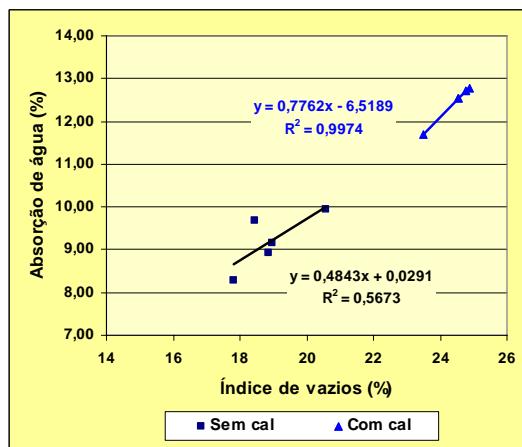


Figura 7 – Correlação linear entre índice de vazios e absorção de água

5. CONCLUSÕES

A cal é um aglomerante com funções importantes na argamassa, além de melhorar a trabalhabilidade, diminui a absorção de água e o índice de vazios, porém provoca diminuição da resistência à compressão.

A densidade de massa no estado endurecido é uma variável determinante nas propriedades mecânicas e na permeabilidade e absorção de água de uma argamassa, devido ao empacotamento das partículas que é melhorado com adição de finos. A Tabela 5 apresenta o teor de finos que otimiza as propriedades das argamassas sem cal e com cal.

Tabela 5 – Teor de finos que otimiza as propriedades das argamassas

Propriedades	Teor de finos (%)	
	Argamassa sem cal	Argamassa com cal
Mínima relação água/cimento	24,00	23,33
Máximo teor de ar aprisionado	0,00	33,37
Máxima densidade de massa no estado endurecido	25,33	18,75
Máxima resistência à compressão aos 28 dias	33,06	23,50
Mínimo coeficiente de capilaridade	33,75	12,17
Mínima absorção de água	19,98	17,50
Mínimo índice de vazios	13,65	17,50

O teor adequado de finos que uma areia deve ter para otimizar as propriedades da argamassa depende, principalmente, da granulometria e da morfologia das partículas.

Avaliando os resultados apresentados na Tabela 5, pode-se concluir que é possível reduzir os custos de produção das argamassas de cimento e areia e, também, das argamassas de cimento, cal e areia, sem comprometer o desempenho, substituindo-se cimento e/ou cal por material pulverulado da areia, com proporções adequadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7217**: Determinação de composição granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro, 1982.

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

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 1995.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT – CSTB. **Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation**. Modalités d'essais. Cahiers du CSTB, Paris, Livrason 341, n. 2669-4, juil-août, 1993.

OLIVEIRA, Ivone R.; STUDART, André R.; PILEGGI, Rafael G.; PANDOLFELLI, Victor C. **Dispersão e empacotamento de partículas**. São Paulo: Fazendo Arte, 2000. 224 p.

SILVA, Narciso Gonçalves. **Argamassas de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Curitiba, 2006. 164 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

ANEXO

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E RESULTADOS DOS ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Tabela 6 - Caracterização física do cimento CPII Z 32 e da cal hidratada em pó

Ensaios	Método	Cimento	Cal
Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	NBR 7251/82	1,092	0,606
Massa específica (g/cm ³)	NBR 6474 /84	2,944	2,356

Tabela 7 – Caracterização química do cimento CPII Z 32

Ensaios	Resultados (%)
Dióxido de silício (SiO ₂)	22,91
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	7,25
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	3,18
Óxido de cálcio (CaO)	52,29
Óxido de magnésio (MgO)	5,56
Óxido de potássio (K ₂ O)	1,04
Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,18
Trióxido de enxofre (SO ₃)	2,82
Anidrido carbônico (CO ₂)	4,23
Resíduo insolúvel	12,91
Perda ao fogo	4,97

Tabela 8 – Caracterização química da cal virgem em pó CV-C

Ensaios	Resultados (%)
Óxido de cálcio (CaO)	51,0
Óxido de magnésio (MgO)	35,6
Óxido totais	91,4
Água combinada	1,7
Carbonato residual	4,6
Anidrido carbônico (CO ₂)	3,6
Resíduo insolúvel	6,3
Perda ao fogo	5,3

Tabela 9 – Resultados médios dos ensaios realizados em corpos de prova 5x10 cm aos 28 dias de idade

Arg	Densidade de massa (kg/m ³)	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² /min ^{1/2})	Resistência à compressão (MPa)	
					7 dias	28 dias
SC 0	1844	9,69	18,43	0,989	1,11	1,25
SC 10	2065	9,16	18,96	1,344	1,72	2,55
SC 20	2156	8,27	17,82	0,883	3,14	4,95
SC 30	2121	8,92	18,86	0,709	3,09	5,38
SC 40	2073	9,95	20,58	1,074	3,02	5,32
CC 0	1935	12,52	24,56	1,364	1,02	1,74
CC 10	1965	12,53	24,53	1,426	1,30	2,16
CC 20	1999	11,71	23,48	1,339	1,42	1,42
CC 30	1943	12,78	24,89	1,355	1,49	1,49
CC 40	1937	12,73	24,75	1,155	1,82	1,82