

## Estudo da Influência da Composição da Argamassa na Resistência da Alvenaria de Blocos Cerâmicos

*Dario de Araújo Dafico\**, *Ariovaldo Fernandes de Almeida,*  
*Paulo Sérgio de Oliveira Resende, Celso Gerônimo Cristaldo*

*Universidade Católica de Goiás – UCG*  
*Av. Universitária, 1440, Setor Universitário, 74605-010 Goiânia - GO, Brasil*  
*\*e-mail: dariodafico@ucg.br*

**Resumo:** O valor da resistência à compressão do prisma de alvenaria é utilizado na teoria de cálculo da alvenaria estrutural como representativa da resistência potencial da parede e, por isso, seu valor é de fundamental importância. A resistência do prisma de alvenaria possui um valor menor que a resistência do bloco, sendo a relação entre a resistência do prisma e a resistência do bloco denominada fator de eficiência. Enquanto as características da argamassa pouco afetam o fator de eficiência das alvenarias de blocos de concreto, para blocos cerâmicos o seu controle é imprescindível. Com o objetivo de obter um modelo para previsão do fator de eficiência para auxiliar nos estudos de dosagem de argamassas destinadas à elevação de alvenarias de blocos cerâmicos, realizou-se um estudo experimental em que foram produzidos prismas de blocos cerâmicos estruturais utilizando argamassas de assentamento com 16 proporções diferentes entre seus componentes básicos. Após a ruptura à compressão dos prismas e os ensaios de propriedades mecânicas das argamassas, foram realizadas várias análises buscando correlacionar as diversas propriedades. Verifica-se que os fatores de eficiência dos prismas de blocos cerâmicos correlacionam-se com as propriedades mecânicas das argamassas, mas os valores dos coeficientes de determinação mostram que há outras variáveis importantes ainda não suficientemente explicadas.

**Palavras-chave:** *blocos cerâmicos, alvenaria estrutural, fator de eficiência.*

### 1. Introdução

A opção preferencial de calculistas e construtores brasileiros por blocos de concreto pode ser parcialmente explicada pelo maior fator de eficiência dos blocos de concreto em comparação aos blocos cerâmicos. Essa desvantagem dos blocos cerâmicos fica evidente quando comparamos os números apresentados na Tabela 1 que mostra os valores publicados por diversos autores que afirmam haver influência das propriedades dos materiais componentes das unidades de alvenaria, das propriedades das argamassas de assentamento e das geometrias das unidades<sup>7</sup>.

Se fizermos uma simulação utilizando os valores mais baixos das faixas de cada material, apresentadas na Tabela 1, isto é, fatores de eficiência de 65% para os blocos de concreto e de 16% para os blocos cerâmicos, vemos que, para elevar uma parede de resistência de 4,0 MPa, seriam necessários blocos de concreto de resistência característica de 6,15 MPa ou blocos cerâmicos de resistência característica de 25 MPa. A magnitude da desvantagem apresentada pelos blocos cerâmicos é imensa.

Prudêncio et al.<sup>8</sup> procuram explicar as causas que resultam nessa opção preferencial pelos blocos de concreto como unidade das alvenarias estruturais construídas no Brasil. Segundo os autores, o material concreto possui um módulo de elasticidade similar ao da junta de argamassa, aproximando a resistência da alvenaria à do bloco. Ainda, segundo os autores, as alvenarias de blocos cerâmicos têm mostrado fatores de eficiência sempre abaixo de 50% em função das grandes diferenças exibidas pelos materiais cerâmicos em relação às argamassas.

Dafico et al.<sup>5</sup> fizeram um estudo comparando os fatores de eficiência de prismas de blocos cerâmicos e de concreto elaborados com mesmas argamassas, de uma série de 4 traços básicos e 4 diferentes teores de aditivo incorporador de ar, totalizando 16 condições distintas. O objetivo do estudo era testar a explicação de Prudêncio et al.<sup>8</sup> baseada nos módulos de deformação. O estudo não mostrou nenhuma correlação entre o fator de eficiência e o módulo de

deformação ou entre o fator de eficiência e a resistência à compressão para o caso dos blocos de concreto, mostrando que as variações nas características mecânicas da argamassa não são importantes quando se trata desse material. Já no caso dos blocos cerâmicos o fator de eficiência apresentou correlação linear significativa com a resistência à compressão ( $r^2 = 0,71$ ), mas com o módulo de deformação não foi possível encontrar uma correlação linear significativa. Entretanto os autores obtiveram fatores de eficiência para os prismas de blocos cerâmicos entre 28 e 71%, e para os blocos de concreto entre 62 a 102%, confirmando a importância da composição da argamassa nos fatores de eficiência. Também mostrou que as alvenarias de blocos cerâmicos podem possuir fatores de eficiência muito mais altos que os frequentemente relatados na literatura.

A melhor compreensão da relação entre a composição da argamassa de assentamento e o fator de eficiência é de fundamental importância para aumentar a competitividade dos blocos cerâmicos frente aos blocos de concreto. Não só é necessário saber como se obter a proporção que maximize a resistência da alvenaria de blocos cerâmicos, mas também como garantir que os desvios naturais de uma produção de argamassa em obra não afetem a segurança da edificação. O presente estudo experimental tem como objetivo relacionar os valores dos fatores de eficiência com valores de propriedades mecânicas da argamassa endurecida e também com os valores representativos da composição da mistura fresca.

### 2. Materiais e Métodos

Foram produzidas argamassas mistas com 16 traços diferentes, em quatro blocos com relações cal/cimento em massa de 0,000 – 0,125 – 0,250 – 0,500, sendo cada bloco com quatro argamassas com relações água/aglomerante em massa de 0,6 – 0,7 – 0,8 – 0,9. As proporções de cal/cimento fixadas no estudo baseiam-se na necessidade prática

de dosar o cimento e a cal na obra em proporções fixas, isto é, em sacos, cujas quantidades são impostas pelos fornecedores. A norma NBR 7175<sup>2</sup>, que estabelece os tipos de cal hidratada e as respectivas exigências químicas e físicas, não padroniza a quantidade por saco.

No mercado brasileiro o cimento é comercializado em sacos de 25 kg (raramente) e 50 kg, sendo a cal hidratada para argamassa vendida em sacos de 15, 20 e 25 kg (raramente). Em Portugal, país de onde herdamos a tradição da construção em alvenaria, a cal hidratada é mais frequentemente comercializada em sacos de 25 kg. Para o presente estudo as proporções, entre a cal e o cimento, foram propostas considerando a utilização de sacos de 50 kg para o cimento e de 25 kg para a cal. Nas obras correntes a proporção cal/cimento igual a 0,125 é muito difícil, pois teria cada betonada de conter 4 sacos de 50 kg de cimento e 1 saco de 25 kg de cal hidratada. Só em obras que possuem betoneiras de grande volume isso é possível. Na prática, para um traço desse tipo, acaba sendo necessário medir a cal em volume aparente através de latas ou padiolas.

Com o objetivo de produzir misturas com relações entre água/aglomerante fixas, o ajuste de trabalhabilidade foi feito pela adição de mais areia na betoneira. Para isso, foi proposto um teor inicial de areia significativamente menor que o esperado para cada traço. As relações água/aglomerante adotadas foram propostas com base no trabalho de Rago e Cincoto<sup>9</sup> que afirmam ser o valor 0,8 um número bastante comum para traços de argamassas mistas com teores de cal não muito altos, e a particular opção por argamassas mais resistentes, para utilização em alvenaria estrutural.

**Tabela 1.** Fatores de eficiência segundo diversos autores.

Unidades	Fator de eficiência (Autor)
Tijolo de concreto	60 a 90 % (Monk)
Blocos de concreto	65 a 90 % (Sutherland)
Tijolo cerâmico	25 a 50 % (Sahin)
Tijolo cerâmico	10 a 40 % (Monk)
Tijolo cerâmico	18 a 30 % (Prudêncio)
Bloco cerâmico	16 a 19 % (Gomes)
Bloco sílico calcáreo	46 % (Franco)
Bloco sílico-calcáreo maciço	33 % (Franco)

**Tabela 2.** Proporções em massa dos traços de argamassa antes do ajuste de trabalhabilidade.

Código dos traços	Traços em massa (cimento : cal : areia : água)*	
	Traços teóricos (proporção de areia é incógnita)	Traços iniciais (proporção de areia antes dos acréscimos)
A6	1 : 0,000 : a : 0,60	1 : 0,000 : 1,0 : 0,60
A7	1 : 0,000 : a : 0,70	1 : 0,000 : 1,5 : 0,70
A8	1 : 0,000 : a : 0,80	1 : 0,000 : 2,0 : 0,80
A9	1 : 0,000 : a : 0,90	1 : 0,000 : 2,5 : 0,90
B6	1 : 0,125 : a : 0,68	1 : 0,125 : 1,5 : 0,68
B7	1 : 0,125 : a : 0,79	1 : 0,125 : 2,0 : 0,79
B8	1 : 0,125 : a : 0,90	1 : 0,125 : 2,5 : 0,90
B9	1 : 0,125 : a : 1,01	1 : 0,125 : 3,0 : 1,01
C6	1 : 0,250 : a : 0,75	1 : 0,250 : 2,0 : 0,75
C7	1 : 0,250 : a : 0,88	1 : 0,250 : 2,5 : 0,88
C8	1 : 0,250 : a : 1,00	1 : 0,250 : 3,0 : 1,00
C9	1 : 0,250 : a : 1,13	1 : 0,250 : 3,5 : 1,13
D6	1 : 0,500 : a : 0,90	1 : 0,500 : 2,5 : 0,90
D7	1 : 0,500 : a : 1,05	1 : 0,500 : 3,0 : 1,05
D8	1 : 0,500 : a : 1,20	1 : 0,500 : 3,5 : 1,20
D9	1 : 0,500 : a : 1,35	1 : 0,500 : 4,0 : 1,35

\*A simbologia utilizada neste trabalho para expressão do traço em massa é (1: k : a : x).

Para elaboração das misturas foi utilizado um cimento tipo CP-II-Z-32-RS com massa específica de 3,05 g.cm<sup>-3</sup>, uma cal hidratada tipo CH-I de massa específica de 1,82 g.cm<sup>-3</sup> e uma areia lavada com massa específica de 2,66 g.cm<sup>-3</sup> e módulo de finura igual a 1,81. A Tabela 2 apresenta na primeira coluna os códigos utilizados para diferenciar as misturas, sendo que a letra indica a proporção cal/cimento e o número informa a relação água/aglomerante utilizada. Na segunda coluna estão as proporções em massa de cal, areia e água em relação ao cimento, onde a proporção de areia é um valor incógnito a ser obtido experimentalmente. A última coluna mostra os traços em massa antes dos acréscimos de areia realizados para o ajuste de trabalhabilidade.

O ajuste de trabalhabilidade das misturas foi feito através do acréscimo de mais areia diretamente na betoneira por um pedreiro experiente em elevação de alvenaria estrutural e em plena atividade. Para confirmação da trabalhabilidade das argamassas assim produzidas, antes da moldagem dos corpos de prova, uma parte do material era retirada da betoneira, e era testada pelo pedreiro através do assentamento de alguns blocos cerâmicos.

Após a produção das misturas foram moldados corpos de prova cilíndricos de dimensões 5 × 10 cm para os ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e módulo de deformação das argamassas. Paralelo à moldagem dos corpos de prova de argamassa o pedreiro produziu os prismas, sendo 6 unidades para cada traço de argamassa. A idade de ensaio das propriedades mecânicas foi de 20 semanas, idealizada de modo a proporcionar uma avaliação dessas propriedades em idade avançada, mais realista quanto ao desempenho de uma argamassa no edifício ao longo do tempo.

### 3. Resultados e Discussão

A Tabela 3 contém os traços definitivos em massa sobre o cimento, as relações em massa de água/aglomerante ( $M_{\text{água}}/M_{\text{aglo}}$ ) e areia/aglomerante ( $M_{\text{areia}}/M_{\text{aglo}}$ ), mais as relações volumétricas pasta/argamassa ( $V_{\text{pasta}}/V_{\text{arg}}$ ), aglomerante/pasta ( $V_{\text{aglo}}/V_{\text{pasta}}$ ) e cal/aglomerante ( $V_{\text{cal}}/V_{\text{aglo}}$ ): A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão<sup>4</sup>, resistência à tração na compressão diametral<sup>3</sup> e módulo de deformação<sup>1</sup> das argamassas. A Tabela 5 mostra as resistências dos prismas e os fatores de eficiência.

**Tabela 3.** Proporções dos traços definitivos em massa e relações em massa e volume entre os componentes das argamassas utilizadas nas análises.

Código do traço	Traço				$M_{\text{água}}/M_{\text{aglo}}$	$M_{\text{arcia}}/M_{\text{aglo}}$	$V_{\text{pasta}}/V_{\text{arg}}$	$V_{\text{aglo}}/V_{\text{pasta}}$	$V_{\text{cal}}/V_{\text{aglo}}$
	1	k	a	X					
A6	1	0,000	2,24	0,60	0,6	2,24	0,52	0,35	0,00
A7	1	0,000	2,49	0,70	0,7	2,49	0,52	0,32	0,00
A8	1	0,000	2,66	0,80	0,8	2,66	0,53	0,29	0,00
A9	1	0,000	2,79	0,90	0,9	2,79	0,54	0,27	0,00
B6	1	0,125	2,35	0,68	0,6	2,09	0,55	0,40	0,17
B7	1	0,125	2,86	0,79	0,7	2,54	0,52	0,36	0,17
B8	1	0,125	2,98	0,90	0,8	2,65	0,54	0,33	0,17
B9	1	0,125	3,30	1,01	0,9	2,93	0,53	0,31	0,17
C6	1	0,250	2,44	0,75	0,6	1,95	0,57	0,44	0,30
C7	1	0,250	3,01	0,88	0,7	2,41	0,54	0,40	0,30
C8	1	0,250	3,25	1,00	0,8	2,60	0,54	0,37	0,30
C9	1	0,250	3,60	1,13	0,9	2,88	0,54	0,34	0,30
D6	1	0,500	1,92	0,90	0,6	1,28	0,67	0,50	0,46
D7	1	0,500	3,27	1,05	0,7	2,18	0,57	0,46	0,46
D8	1	0,500	3,64	1,20	0,8	2,43	0,57	0,43	0,46
D9	1	0,500	4,35	1,35	0,9	2,90	0,54	0,40	0,46

**Tabela 4.** Resultados dos ensaios de resistência à compressão, tração e módulo de deformação.

Código do traço	Resistência à compressão (MPa)				Resistência à tração (MPa)				Módulo de deformação (GPa)			
	CP 1	CP 2	CP 3	Média	CP 1	CP 2	CP 3	Média	CP 1	CP 2	CP 3	Média
A6	9,2	9,0	7,5	8,6	3,5	3,5	3,3	3,4	22,4	21,3	21,8	21,8
A7	8,3	8,3	7,4	8,0	2,2	2,3	2,9	2,5	21,8	21,8	23,2	22,3
A8	6,7	6,3	6,6	6,5	2,5	2,7	2,3	2,5	17,6	18,8	21,0	19,1
A9	4,9	5,3	4,4	4,9	2,1	2,1	2,2	2,1	18,2	16,6	15,4	16,7
B6	6,0	7,1	7,2	6,8	2,4	2,8	2,7	2,6	19,4	18,8	18,2	18,8
B7	6,0	6,3	5,6	6,0	2,5	2,4	2,9	2,6	16,7	18,1	17,3	17,6
B8	2,0	5,5	4,9	4,1	2,1	2,5	2,6	2,4	12,9	16,2	13,6	14,2
B9	2,7	3,5	3,4	3,2	2,0	2,1	1,6	1,9	14,2	13,3	12,6	13,4
C6	6,3	6,1	6,3	6,2	2,2	3,3	2,5	2,7	18,7	16,2	17,2	17,4
C7	5,3	4,8	5,5	5,2	2,4	2,4	2,4	2,4	14,6	14,6	15,2	14,8
C8	4,0	3,9	3,7	3,9	2,3	2,8	1,4	2,2	12,5	13,9	14,3	13,6
C9	3,1	2,5	2,9	2,8	1,5	1,3	1,4	1,4	12,5	10,7	9,9	11,0
D6	4,5	5,1	5,2	4,9	1,9	2,7	1,9	2,2	14,2	13,2	13,2	13,5
D7	4,1	3,9	4,1	4,0	2,0	1,9	2,1	2,0	12,7	14,3	5,7	10,9
D8	3,1	3,3	3,2	3,2	1,7	1,5	1,3	1,5	10,2	10,0	10,7	10,3
D9	2,4	2,1	2,3	2,3	1,2	1,3	1,2	1,2	10,1	8,6	7,8	8,8

A Tabela 6 apresenta os valores de resistência à compressão dos blocos cerâmicos.

Na primeira análise realizada buscou-se correlacionar as propriedades da argamassa endurecida com a composição das misturas. Após várias tentativas de se obter um modelo matemático para explicar a resistência à compressão, o módulo de deformação e a resistência à tração das argamassas por meio de regressões lineares múltiplas, obteve-se sucesso utilizando um modelo baseado nas variáveis  $V_{\text{cal}}/V_{\text{aglo}}$  e  $V_{\text{aglo}}/V_{\text{pasta}}$ . As equações obtidas e os coeficientes de determinação são apresentados na Tabela 7.

O modelo se baseia nas propriedades da pasta. Por exemplo, com respeito ao módulo de deformação da argamassa, o modelo diz que seu valor, para determinada idade, depende essencialmente do módulo de deformação da pasta. Por sua vez, o módulo de deformação da pasta depende essencialmente da composição do aglomerante ( $V_{\text{cal}}/V_{\text{aglo}}$ ) e do teor de aglomerante da pasta ( $V_{\text{aglo}}/V_{\text{pasta}}$ ). Os resultados mostram

que a previsibilidade da resistência à compressão e do módulo de deformação da argamassa em função da composição da mistura é muito boa. Já para a resistência à compressão na compressão diametral os resultados deixam um pouco a desejar.

Se há boa previsibilidade para as propriedades mecânicas da argamassa de assentamento, baseada nas proporções entre os componentes das misturas, é de se esperar que também se consiga prever a resistência da parede em função da resistência do bloco cerâmico e das características da argamassa de assentamento. A Figura 1 apresenta o resultado da tentativa de obtenção de correlação na regressão linear simples entre o fator de eficiência e a resistência à compressão da argamassa. Verifica-se que há correlação entre as variáveis, mas a resistência à compressão não explica satisfatoriamente o fator de eficiência.

Em função do resultado insatisfatório buscou-se observar graficamente se haveria melhor correlação entre as mesmas variáveis,

**Tabela 5.** Resistência à compressão dos prismas e fatores de eficiência.

Item	Código do Traço	Resistência à compressão dos prismas						Média	Fatores de eficiência
		CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	RP	FE
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	%
1	A6	10,6	8,6	10,5	10,7	10,7	11,5	10,4	78
2	A7	10,2	10,6	7,2	9,6	9,8	7,4	9,1	68
3	A8	8,8	6,6	9,4	9,5	8,3	8,5	8,5	64
4	A9	6,9	8,5	7,4	9,7	7,0	10,7	8,4	63
5	B6	6,0	7,6	6,9	7,9	8,5	9,3	7,7	58
6	B7	8,4	8,2	8,2	7,6	8,1	5,9	7,7	58
7	B8	7,9	8,3	7,1	6,5	9,3	8,6	8,0	60
8	B9	7,1	7,6	8,9	7,2	6,1	6,6	7,3	55
9	C6	7,0	7,0	8,3	7,1	9,3	6,4	7,5	56
10	C7	7,7	8,1	6,5	6,0	7,2	5,5	6,8	51
11	C8	7,1	7,6	6,2	9,2	7,3	8,7	7,7	58
12	C9	5,3	7,3	6,3	6,6	5,2	7,1	6,3	47
13	D6	7,2	6,6	7,9	6,6	8,3	9,5	7,7	58
14	D7	5,6	5,2	7,9	5,9	6,2	7,3	6,4	48
15	D8	8,6	7,4	8,9	5,9	6,2	8,9	7,7	58
16	D9	5,4	6,2	4,3	5,1	4,5	5,9	5,2	39

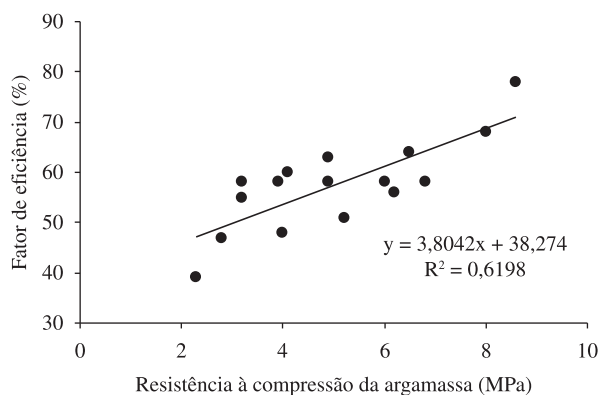
Obs.: somente os prismas da série A6 sofreram ruptura brusca.

**Tabela 6.** Resistência à compressão dos blocos cerâmicos.

Resistência à compressão dos blocos cerâmicos (MPa)							Média (MPa)
CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6		
12,0	12,5	13,2	15,0	12,0	14,8		13,3

**Tabela 7.** Equações obtidas com regressão linear múltipla.

Equação	Unidade	r <sup>2</sup>	Observações
$R_c = -4,07 - 18,28 \cdot \frac{V_{cal}}{V_{aglo}} + 35,76 \cdot \frac{V_{aglo}}{V_{pasta}}$	MPa	0,96	16
$E = 2,75 - 37,05 \cdot \frac{V_{cal}}{V_{aglo}} + 56,53 \cdot \frac{V_{aglo}}{V_{pasta}}$	Gpa	0,96	16
$R_t = -0,43 - 5,12 \cdot \frac{V_{cal}}{V_{aglo}} + 10,3 \cdot \frac{V_{aglo}}{V_{pasta}}$	MPa	0,85	16



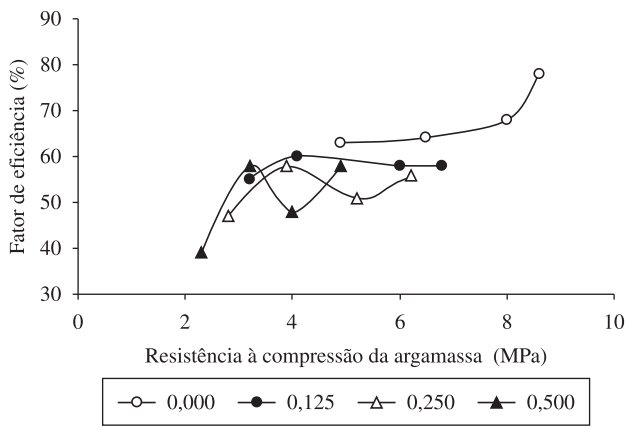
**Figura 1.** Regressão linear simples entre o fator de eficiência da alvenaria de bloco cerâmico e a resistência da argamassa de assentamento de todas as 16 misturas.

separadamente para cada grupo de argamassas de um mesmo aglomerante, isto é, dos grupos de argamassas com mesmos teores de cal sobre o cimento. A Figura 2 mostra esse gráfico onde se pode observar que na análise individual dos grupos não há melhora na

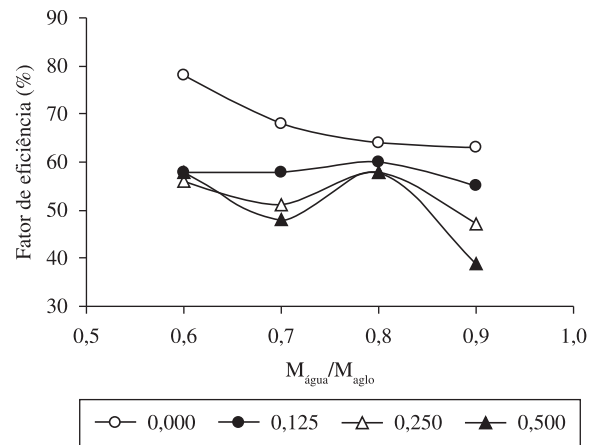
correlação, ou ainda, em função da diminuição do tamanho da amostra, aparenta não haver nenhuma correlação entre as variáveis.

Também foi verificada a existência de correlação na regressão linear simples do fator de eficiência dos prismas de blocos cerâmicos com o módulo de deformação da argamassa de assentamento, o que é mostrado na Figura 3, e com a resistência à tração na compressão diametral, apresentada na Figura 4. O módulo de deformação da argamassa se mostrou mais importante para o fator de eficiência que a resistência à compressão, como era de se esperar, e cujo resultado adere à hipótese frequentemente levantada na literatura de que a deformabilidade da argamassa de assentamento influi significativamente na resistência da alvenaria<sup>6</sup>.

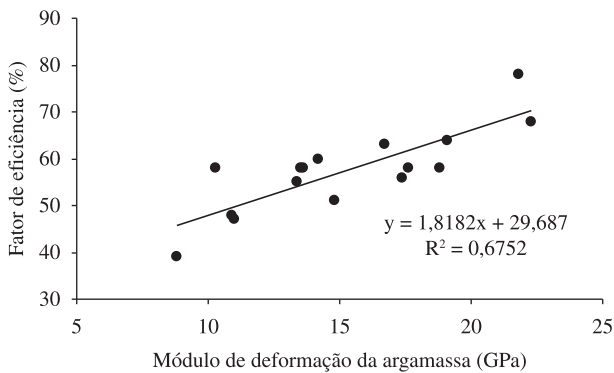
A correlação na regressão entre o fator de eficiência e a resistência à tração da argamassa apresentou-se pior que o resultado da regressão feita com a resistência à compressão. A análise individual dos grupos compostos por argamassas com mesmos teores de cal em relação ao cimento também foi realizada com o módulo de deformação e a resistência à tração na compressão diametral e os resultados foram semelhantes aos observados em relação à resistência à compressão. Não se verificou melhora nos coeficientes de determinação em função da diminuição do tamanho da amostra, mas demonstrou que a outra variável (ou outras) que poderia ajudar a explicar o fator de eficiência certamente não é o teor de cal em relação ao cimento.



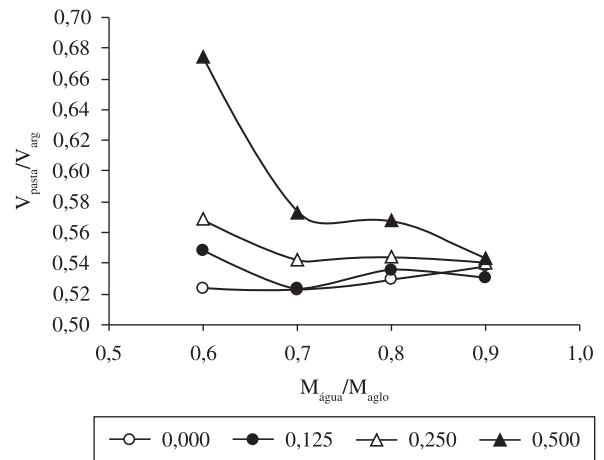
**Figura 2.** Observação da relação entre o fator de eficiência e a resistência à compressão da argamassa para grupos separados pelo teor de cal do aglomerante.



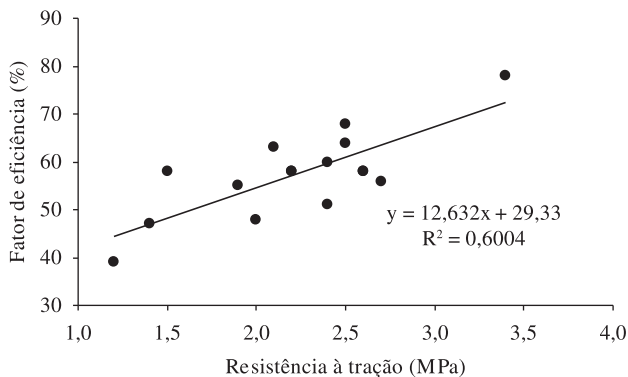
**Figura 5.** Relação entre o fator de eficiência dos prismas de blocos cerâmicos e a variável  $M_{\text{água}}/M_{\text{aglo}}$  para grupos separados pelo teor de cal do aglomerante.



**Figura 3.** Regressão linear simples entre o fator de eficiência da alvenaria de bloco cerâmico e o módulo de deformação da argamassa de assentamento de todas as 16 misturas.



**Figura 6.** Relação entre as variáveis  $V_{\text{pasta}}/V_{\text{arg}}$  e  $M_{\text{água}}/M_{\text{aglo}}$  para grupos separados pelo teor de cal do aglomerante.



**Figura 4.** Regressão linear simples entre o fator de eficiência da alvenaria de bloco cerâmico e a resistência à tração na compressão diametral da argamassa de assentamento de todas as 16 misturas.

Após as tentativas de correlacionar o fator de eficiência com as propriedades mecânicas da argamassa, a busca passou a ser pela correlação com as variáveis representativas da composição da argamassa fresca. O melhor modelo encontrado, mostrado

na Tabela 8, assemelha-se ao modelo utilizado para explicar as propriedades mecânicas da argamassa em função da composição da mistura, descrito anteriormente, contendo a introdução de uma terceira variável independente, o volume de pasta em relação ao volume de argamassa ( $V_{\text{pasta}}/V_{\text{arg}}$ ). Considerou-se como sendo zero os teores de ar incorporado por não terem sido feitas medições desta variável. Verificou-se que o modelo é insatisfatório para prever de forma econômica o fator de eficiência da alvenaria. É preciso levar em consideração que o número de misturas experimentais para determinação do traço ideal de uma argamassa de assentamento, de modo a maximizar o fator de eficiência, deve ser pequeno a fim do método utilizado não se tornar pouco econômico.

Em função dos resultados insatisfatórios das regressões lineares múltiplas, foram feitas várias análises gráficas entre os valores do fator de eficiência e variáveis características da argamassa, de modo a obter visualização de tendências não lineares. Ao analisar a relação entre o fator de eficiência e a variável  $M_{\text{água}}/M_{\text{aglo}}$ , separando cada grupo de argamassas de mesmo conteúdo de cal, pôde-se observar algumas coisas interessantes. Na Figura 5 pode-se notar que o fator de eficiência mostra tendência de ser menor quanto maior a proporção de cal da mistura (utilização de aglomerante com menor resistência



**Tabela 8.** Equação obtida na regressão linear múltipla entre o fator de eficiência do prisma de alvenaria e a composição da argamassa no estado fresco.

Equação	Unidade	r <sup>2</sup>	Observações
$FE = 16,9 - 70,1.V_{cal} / V_{aglo} + 81,5.V_{aglo} / V_{pasta} + 47,9.V_{pasta} / V_{arg}$	%	0,747105	16

potencial) e maior a relação entre a massa de água e a massa de aglomerante. Entretanto, observa-se também que, para a relação  $M_{água} / M_{aglo}$  igual a 0,8, os fatores de eficiência de 3 das 4 misturas desviaram-se da tendência esperada. Se os desvios tivessem se dado para menor, a hipótese imediata para explicá-los seria a ocorrência de defeitos de preparação dos corpos de prova (prismas). Entretanto, os desvios se deram para cima, o que é bem mais difícil explicar.

Na tentativa de encontrar uma explicação para o fenômeno, foram realizadas várias comparações entre as proporções das misturas de modo a encontrar desvios semelhantes aos verificados no gráfico da Figura 5. Observou-se que as misturas também mostraram desvio de tendência em um outro gráfico que analisa a variação dos volumes de pasta das misturas, como é mostrado na Figura 6. Comparando-se com a Figura 5 nota-se que, para a relação  $M_{água} / M_{aglo}$  igual a 0,8, todos os desvios de tendência do fator de eficiência (para maior) coincidem com maiores teores de pasta que os esperados pela tendência do gráfico da Figura 6.

É interessante também notar que das 16 misturas, dosadas livremente pelo pedreiro até que encontrasse a trabalhabilidade ideal, 15 resultaram em teores de pasta (em volume) entre 52 e 57%, ou seja, o teor ideal de pasta de quase todas as misturas situa-se em uma faixa muito estreita. Isso pode significar que, para argamassas de assentamento de alvenarias de média a elevada resistência, o teor de pasta para a trabalhabilidade ideal depende essencialmente da granulometria da areia, sendo seu valor numérico pouco afetado pela coesão e plasticidade da pasta.

É óbvio que a quantidade de dados do presente estudo é muito pequena para defender a hipótese de que a variação no teor de pasta da mistura possui tamanha influência no fator de eficiência, sendo que pouco influi na resistência da argamassa ou no módulo de deformação. Entretanto, não é absurda essa hipótese, pois se espera que a argamassa funcione como um colchão que se deforma para acomodar o bloco cerâmico de modo a evitar concentrações de tensões. É então de se esperar que argamassas com maiores volumes de pasta possuam maior capacidade de atuar no sentido de deformar-se para distribuir os esforços. Seriam essas deformações de caráter plástico, que não compõem o valor do módulo de deformação, mas que permitem grandes acomodações sem a ocorrência de ruptura total da argamassa, tal como ocorre no capeamento de pasta de enxofre de corpos de prova nos ensaios de compressão.

#### 4. Conclusão

A composição da argamassa de assentamento possui papel de suma importância nas alvenarias estruturais de blocos cerâmicos.

Ainda não é possível estabelecer um modelo matemático de elevada confiabilidade para utilização em estudos de dosagem dessas argamassas. Sabe-se, porém que, dosando-se argamassas mais resistentes, fatores de eficiência maiores que 50% são facilmente alcançados e isso melhora de forma significativa a competitividade do material cerâmico frente ao concreto. Enquanto não se tem um modelo matemático satisfatório, é importante que nos estudos de dosagem de argamassas para assentamento de blocos cerâmicos estruturais se utilize uma metodologia que limite o valor da relação água/aglomerante para algo em torno de 0,8 e se trabalhe com menores proporções de cal em relação ao cimento.

#### Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8522**. Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2003. 9 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7175**. Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7222**. Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13279**. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995. 2 p.
- DAFICO, D. A. Método para obtenção de independência entre resistência e elasticidade em estudos de dosagem de argamassas mistas. **Ambiente Construído**, v. 7, p. 35-42, 2007.
- MONDARDO, M. M.; KINDLEIN, T.; CAMARGO, J. W. Resistência à compressão de prismas com argamassas de cimento, cal e areia e cimento, saibro e areia. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5, 1994. **Proceedings...** Florianópolis: [s.n.], 1994. p. 176-186.
- PRUDÊNCIO Jr., L. R. **Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes**. Porto Alegre, 1986. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.
- PRUDÊNCIO Jr., R. L.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002. 208 p.
- RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. A reologia da pasta de cimento e a influência da cal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1, 1995, Goiânia. **Anais...**