

Proposta de método de dosagem racional de argamassas contendo argilominerais

Adailton de Oliveira Gomes

Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA
adailton@ufba.br

Célia Maria Martins Neves

Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, Camaçari, BA
cneves@ceped.br

Recebido em 20/08/2001; aceito em 13/02/2002

Este trabalho apresenta uma proposta de método de dosagem racional para as argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos desenvolvido no CETA – Centro Tecnológico da Argamassa, especialmente para as argamassas que contêm adições argilosas, empregadas na RMS – Região Metropolitana de Salvador. Faz algumas considerações sobre as características e o uso de argilominerais como material constituinte da argamassa. Comenta outros métodos de dosagem de argamassa propostos e defende a adoção de traço em massa para as argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos, ao invés de traço em volume, como habitualmente tem sido utilizado nas diversas obras. Apresenta os parâmetros básicos e o procedimento para formulação de traços de argamassa contendo argilominerais. Em função do uso da argamassa, adota um consumo de cimento; em função do teor de finos dos agregados, calcula suas proporções; e determina experimentalmente o teor de água em função de características das adições argilosas¹. Com estes dados, formula o traço e trata do seu ajuste, após a mistura experimental. Por último, indica uma forma de relacionar as massas secas dos materiais, obtidas no traço em massa, aos volumes úmidos a serem medidos no canteiro de obra. Apresenta resultados de ensaios de argamassas contendo diversos tipos de adições argilosas e de três diferentes regiões dosadas pelo método aqui proposto, comparando os valores obtidos com os de uma argamassa mista de referência. Comenta sobre o uso de outras adições. Conclui, convidando a comunidade científica a usar o método de dosagem proposto e contribuir para que se possa estabelecer uma metodologia racional para dosagem das argamassas de assentamento e revestimento.

Palavras-chave: argamassa, revestimento, adições, dosagem.

This paper proposes a method of obtaining an optimised, economic dosage for mortars used in wall and ceiling rendering, which was developed at CETA (Mortar Technological Centre) and applies specially to clay-containing mortars used in the RMS — Metropolitan Region of Salvador. It also presents some characteristics and uses of mineral clay as a mortar ingredient. It discusses other methods proposed to dose mortar and supports the use of weight proportions for wall and ceiling rendering mortar, instead of volume proportion, which is traditionally used at construction sites. It presents the basic parameters and procedures used to determine the proportion for mortar containing clay minerals. It determines cement usage based on mortar utilization; it calculates the proportions of mortars according to the amount of fines; and determines water proportion based on clay characteristics. Based on this data, it determines the trace and describes the adjustments after the experimental mixture. Finally, it suggests a method to relate the dry weight of the materials obtained from the weight proportion to the humid volumes measured at construction sites. It presents results of mortar tests containing several types of clays from three different regions dosed by the method proposed on this paper, comparing the values obtained with those from a reference mortar. It also discusses the use of other additions. It concludes by inviting the scientific community to use the proposed method and to contribute to the establishment of an optimised dosage methodology for rendering mortars.

Keywords: mortar, rendering, complements, proportioning.

¹ As adições argilosas tratadas neste trabalho são denominadas na RMS de arenoso e caulim.

Introdução

De modo geral, a proporção dos materiais (traço) para a produção de argamassas é realizada pelo mestre da obra, contando com pouca interação e acompanhamento do engenheiro. O empirismo adotado no estabelecimento dos traços das argamassas, aliado à falta de programas específicos de inspeção, controle e manutenção dos sistemas de revestimento, tem gerado um número expressivo de fenômenos patológicos, notadamente fissuras, pulverulências e descolamentos do revestimento cerâmico, que podem comprometer a segurança dos usuários, além da estanqueidade e estética do edifício.

Os traços das argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos vêm sendo definidos em volume, conforme recomendações de diversas normas e procedimentos, quando o mais adequado seria estabelecê-los em massa, permitindo-se, porém, a medição dos materiais em volume. Neste sentido, O CETA tem sugerido à Comissão de Estudos de Argamassa de Assentamento e Revestimento do CB-02 – Comitê Brasileiro de Construção Civil² a mudança no estabelecimento dos traços, adotando-se a massa seca dos materiais no proporcionamento, podendo, no entanto, os agregados ser medidos em massa ou volume, após sua caracterização. Aparentemente não há alteração, mas esta postura muda significativamente o entendimento e o tratamento do tema entre os diversos profissionais. A falta de critério dessa natureza tem levado à obtenção de argamassas com comportamentos diversos, face à variação das características físicas, químicas e mineralógicas dos materiais que as constituem.

Diante deste fato, o CETA – Centro Tecnológico da Argamassa³ desenvolveu procedimentos para dosagem de argamassas que adotam a massa seca dos materiais no proporcionamento e, com base em seus índices físicos, transforma as quantidades determinadas dos agregados⁴ em volumes de materiais úmidos, como podem ser mais facilmente medidos nos canteiros de obra. Para as argamassas que contêm argilominerais, especialmente as empregadas na Região Metropolitana de Salvador, o procedimento de dosagem limita o teor de finos e a quantidade de ar incorporado.

Considerações sobre as adições contendo argilominerais

A NBR 13529 (ABNT, 1995f) define adições como materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração na dosagem. Define os saibros como materiais provenientes de granitos e gnaisses, com minerais parcialmente decompostos, sendo arenosos ou siltosos, com baixo teor de argila, e de cor variada. Esclarece, ainda, que o saibro recebe as mais variadas designações regionais, tais como, *taguá*, *arenoso*, *massara*, *piçarra*, *barro*, entre outras.

Na Região Metropolitana de Salvador, os saibros são denominados de *arenoso* e *caulim*, sendo largamente utilizados no preparo de argamassas de assentamento e revestimento. São provenientes da formação Barreiras, cujo solo possui areia de composição heterogênea, argila de várias cores – sobressaindo o cinza avermelhado, o roxo e o amarelo. Em termos mineralógicos, a fração argila desses materiais é composta basicamente de caulinita, com discreta presença de illita (GOMES, 2000).

Os saibros, entretanto, em função da região de ocorrência, podem possuir características físicas, químicas e mineralógicas distintas. De forma simplificada, pode-se dizer que a composição da rocha de origem e o meio físico envolvido – clima, condições de drenagem e biosfera – são fatores primordiais na formação dos diversos argilominerais.

Segundo os estudos realizados por Cascudo e Carasek (1994), os saibros da Região Metropolitana de Goiânia são essencialmente quartzosos, tendo, na fração argila, indícios da presença de caulinita, montmorilonita, mica e clorita.

Do ponto de vista granulométrico, a composição do saibro abrange partículas de pequenas dimensões e difere da composição adotada para a areia constituinte do concreto e argamassas. A Figura 1 apresenta as classificações adotadas nas áreas de geotecnia, concreto e argamassa, em função do tamanho dos grãos.

Os argilominerais, compostos por partículas com dimensões inferiores a 2 µm, têm a capacidade de conferir plasticidade e trabalhabilidade às argamassas, por apresentarem área específica relativamente elevada. No estado endurecido, as argamassas com argilominerais bem dosadas não apresentam comportamento diferenciado da argamassa mista (NEVES et al., 1995; GOMES, 2000).

Em geral, os saibros são adicionados às argamassas em substituição à cal. Por serem materiais não processados, resultam em argamassas de custo menor que o da mista, sendo, portanto, mais atraentes ao construtor. A falta de

² Atualmente a Comissão de Estudos encontra-se com suas atividades suspensas.

³ O CETA é resultado da parceria entre o CEPED – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento e a UFBA – Universidade Federal da Bahia, que é coordenado pelo Prof. Adailton de Oliveira Gomes da UFBA.

⁴ Neste trabalho, o termo agregado refere-se à areia e às possíveis adições constituintes da argamassa, inclusive argilominerais, entulho reciclado, etc.

um procedimento de dosagem leva, muitas vezes, ao seu uso em proporções inadequadas, o que produz revestimentos sujeitos a manifestações patológicas. Carasek et al. (2001) ressaltam esta situação e sugerem a necessidade de estudos sobre a durabilidade da aderência das argamassas com saibro. As argamassas contendo argilominerais dosadas no CETA por mais de cinco anos, de acordo com a metodologia aqui apresentada,

encontram-se aplicadas nas mais diversas obras na Região Metropolitana de Salvador e não têm apresentado manifestações patológicas que costumam decorrer do uso inadequado desses materiais.

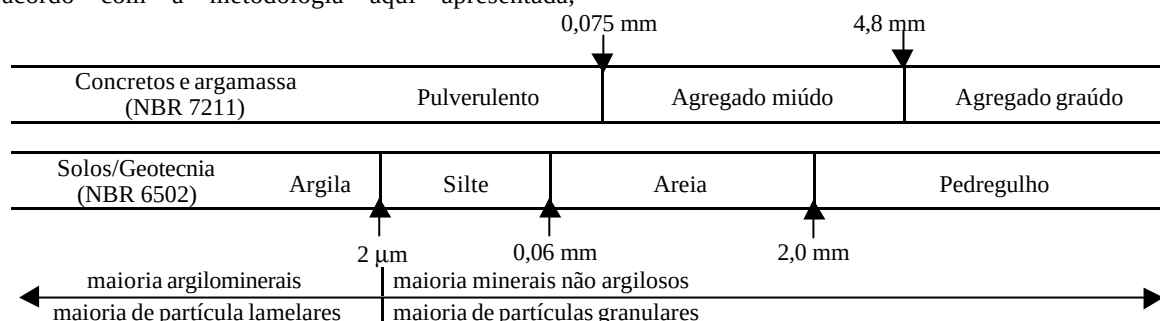


Figura 1 - Distribuição do tamanho das partículas dos solos e dos agregados

Considerações sobre a dosagem do traço de argamassa

Diferentemente do concreto, que conta com diversos métodos racionais de dosagem, a argamassa ainda não dispõe de um método consensualmente reconhecido no meio técnico nacional, muito embora várias contribuições tenham sido oferecidas neste sentido por diversos estudiosos.

Historicamente, pode-se considerar como marco no estudo da questão, a tese apresentada em 1959 pelo Prof. Hildérico Pinheiro de Oliveira, no concurso à Cátedra de Construções Cíveis e Arquitetura da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, em que o autor já alertava o meio técnico para a pequena importância dada à dosagem das argamassas, propondo o emprego racionalizado desse material, cujas composições deveriam considerar as características dos materiais constituintes, sua função no edifício e as propriedades necessárias ao seu desempenho (OLIVEIRA, 1959).

A partir da década de 80, simultaneamente à introdução do conceito de *desempenho* para avaliação das edificações, a comunidade científica vem se dedicando com mais ênfase ao estudo das argamassas e ao desenvolvimento de sua tecnologia, o que inclui, necessariamente, as contribuições para se definir metodologias de dosagem.

Selmo (1989, 1990 apud CASCUDO, CARASEK 1994), propõe a dosagem racional de adições argilosas em argamassas de revestimento e assentamento a partir de curvas de trabalhabilidade, que correspondem à relação entre agregados/cimento e adição/cimento em misturas experimentais: ao variar a relação areia/cimento obtém-se, empiricamente, a quantidade mínima de adição capaz de plastificar a argamassa. Cada argilomineral apresenta uma curva de trabalhabilidade específica.

Lara et al. (1995) descartam, em princípio, o uso de materiais de natureza argilosa nas argamassas, mas propõem o uso de material aglutinante⁵ como agente plastificante, sem especificar sua origem. Estabelecem a quantidade de finos⁶ total⁷ e limitam o consumo de água requerido pelo aglutinante, bem como o teor de finos da areia sem, todavia, justificar tais parâmetros. Para cada relação agregado/cimento especificada no projeto ou determinada pela experiência do construtor, os autores indicam, através de um gráfico, o consumo estimado de água no traço. Calculam a relação água/cimento, os consumos de cimento e de areia e a quantidade de finos faltantes que possibilitam determinar o consumo de aglutinante. O cálculo da fração relativa a cada material constituinte da argamassa é feito por eles a partir de traços escolhidos empiricamente.

Campiteli et al. (1995) propõem um critério para dosagem de argamassa mista restrito àquelas com emprego de cal virgem moída. Segundo eles, inicialmente produz-se uma argamassa básica de cal, constituída de água, cal virgem moída e areia seca, com proporção de 1:3 em volume. Os autores sugerem a dosagem de cimento a partir um traço 1:k:3 (cimento, argamassa de cal: areia seca) em volume, sendo o valor de k calculado a partir de análise de desempenho de argamassas formuladas experimentalmente. Determinam as quantidades dos materiais que compõem a argamassa mista a partir de proporções em volumes e, finalmente, a partir dos índices físicos dos materiais constituintes, calculam os respectivos consumos.

⁵ os autores consideram inapropriadamente como aglutinante as partículas minerais de origem natural, com dimensões inferiores a 0,075 mm sem, no entanto, deixar claro este conceito.

⁶ finos – material que passa na peneira com abertura de malha de 0,075 mm (# 200).

⁷ finos total – considera a parcela de finos de todos os materiais sólidos constituintes da argamassa.

Cavalheiro (1995) comenta sobre a pequena importância dada à argamassa e defende o suporte tecnológico para a escolha do traço da argamassa de assentamento sem, no entanto, apresentar uma metodologia. Propõe a adequação de “traços” (proporções em volume) recomendados em normas internacionais em função das condições de aplicação e de suas características, determinadas através de ensaios.

Em geral, têm-se adotado recomendações de proporcionamento em volume baseadas, principalmente, na ASTM⁸ e BS⁹. Mas as interpretações dessas recomendações estrangeiras vêm gerando diversos problemas, em decorrência de equívocos na adoção do proporcionamento mais adequado. Ao considerar a proporção da cal em argamassa mista, por exemplo, alguns pesquisadores adotam o volume do pó, enquanto outros, o da pasta. Ocorre o mesmo com a areia, já que, em dado momento, alguns adotam o volume seco e outros, o úmido.

O fato de as normas de alguns países estabelecerem critérios diferentes para o proporcionamento dos materiais constituintes da argamassa tem contribuído também para aumentar ainda mais as dúvidas a respeito da questão. Como ilustração, pode-se citar a antiga NBR 7200 (ABNT, 1982a), que recomendava adotar o volume da areia úmida “para teor de umidade de 2 a 5% sem correção devida a inchamento”. Já Sabbatini (1984) comenta que a Norma Inglesa (BS) considera, nas proporções, a areia seca; enquanto que, conforme a Norma Alemã (DIN¹⁰), “o volume de areia refere-se ao estado de umidade natural (em depósito)”; por outro lado, a Norma Americana (ASTM) trata a areia como úmida e solta¹¹.

As diferenças no entendimento do critério a ser adotado refletem diretamente sobre a quantidade de material empregado no preparo das argamassas. Na composição de um traço, por exemplo, se for especificado o uso de 130 kg de areia (massa seca), a quantidade de sólidos é a mesma em qualquer parte do país, mas, se for especificada a utilização de 130 litros de areia, esta quantidade de sólidos é variável, pois depende das características físicas do material, sobretudo de sua granulometria e teor de umidade.

Hoje, os diversos tipos e classes de cimento e areias, com módulo de finura variáveis, além de diversas adições empregadas no preparo das argamassas, apresentam massas unitárias diversificadas, tornando as misturas bastante heterogêneas, mesmo se for considerado um campo de utilização definido, como um canteiro de obra.

Quando se adota o proporcionamento da argamassa em volume, surge a primeira dificuldade quanto à determinação da quantidade de cimento. Na maioria das

obras, adota-se a massa unitária de 1,39 kg/dm³, que resulta em um volume de 36 litros por saco de cimento. Medido em laboratório, este valor tem ficado em torno de 1,20 kg/dm³, dependendo do tipo, classe ou marca do cimento. O volume, neste caso, é de 42 litros.

A partir da proporção em volume de uma argamassa de revestimento que estava sendo utilizada em uma obra residencial em Salvador, a Tabela 1 apresenta o consumo de cimento estimado, em função do valor adotado para sua massa unitária. O teor de ar incorporado na argamassa era de 5%, e a relação entre a massa seca e o volume úmido para a areia e o arenoso era de 1,19 kg/dm³ e 0,96 kg/dm³, respectivamente (GOMES, 2000). A divergência no valor da massa unitária do cimento pode produzir argamassas com diferença de consumo de cimento em torno de 30 kg por metro cúbico de argamassa, fato que geralmente passa despercebido aos construtores.

O consumo de cimento por m³ de argamassa também varia em função das características físicas, químicas e mineralógicas dos agregados empregados na sua produção. A Tabela 2 apresenta o consumo de cimento de argamassas estudadas por Gomes (2000) para cinco diferentes adições com as mesmas proporções dos materiais sólidos e aditivos. Para manter a plasticidade adequada na argamassa fresca, o teor de água foi modificado em função da adição adotada — caulim ou arenoso — resultando em consumos de cimento diferentes.

Outro aspecto de grande relevância que repercute no custo final da edificação corresponde ao estabelecimento dos traços em volume com proporções inteiras, tais como (1:5), (1:6) e (1:7), que são de uso freqüente na prática da construção civil. Muitas vezes, as proporções estabelecidas não são seguidas pelos encarregados da produção da argamassa, que têm o “poder” de modificar o traço quando acham que ele “está fraco” (contendo baixo consumo de cimento) ou com “pouca liga” (apresentando plasticidade não adequada para sua aplicação). Estas decisões resultam, geralmente, em argamassas com consumos de cimento mais elevados que o necessário. A Tabela 3, preparada para melhor esclarecer esse aspecto, mostra que, para os mesmos materiais constituintes, ao passar de um traço com teor de agregado para outro inteiro maior, o consumo de cimento por metro cúbico de argamassa varia de 25 kg a 45 kg, a depender da proporção considerada. Porém, se os traços forem dosados em laboratório, com as caixas para medição de agregados na obra em volume, definidas de forma adequada, estas variações seguramente não ocorreriam, devido à possibilidade de haver traços com proporções fracionárias.

Parâmetros de dosagem

O CETA – Centro Tecnológico da Argamassa adota os seguintes parâmetros básicos para formulação de traços de argamassa contendo argilominerais:

⁸ American Society for Testing and Materials.

⁹ British Standard.

¹⁰ Deutsches Institut für Normung.

¹¹ Apud Sabbatini (1984)

- (a) teor máximo de finos ($<0,075$ mm) do agregado de 7%;
- (b) relação da adição de argilominerais – arenoso ou caulim – em relação ao total de agregado máxima de 35%;
- (c) consumo de cimento especificado no projeto ou conforme recomendação apresentada na Tabela 4;
- (d) índice de consistência de $260 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$;
- (e) teor de ar incorporado entre 8% e 17%;
- (f) teor de retenção de água superior a 75%, determinado pelo método NBR 13277 (ABNT, 1995b).

Os valores e limites adotados resultam de estudos diversos, avaliação de desempenho e observação relativos à ocorrência de fenômenos patológicos em argamassas contendo argilominerais preparadas com materiais disponíveis na RMS e aplicadas em paredes e tetos. Estes trabalhos vêm sendo realizados desde 1990, inicialmente pelo Laboratório de Argamassa da UFBA e em seguida pelo CETA, após sua criação em 1996.

Inicialmente, um levantamento feito em diversas obras constatou que o consumo de adições argilosas em argamassas estava em torno de 50% da quantidade total de agregados e que pulverulência superficial e fissuras eram patologias frequentes na argamassa de revestimento. Ao se tentar, em laboratório, diminuir a proporção das adições, comprometia-se a trabalhabilidade.

O procedimento então adotado foi adicionar incorporador de ar concomitantemente à redução da proporção de argilominerais no teor de agregados de modo a manter a trabalhabilidade necessária à aplicação da argamassa de revestimento. Após vários experimentos com diversos traços e adições, concluiu-se que sua proporção no agregado deveria ser seguramente inferior a 35% e, conseqüentemente, o teor máximo de finos do agregado inferior a 7%.

Porém, o aumento do teor de ar incorporado para obter a trabalhabilidade favoreceu a pulverulência na argamassa de revestimento, notadamente para teores superiores a 17%. Além disso, constatou-se que argamassas com teores de ar desse valor tendem a apresentar elevada absorção de água, portanto são mais permeáveis e com menor resistência de aderência à tração.

Além da proporção de argilominerais nas argamassas, verificou-se também a proporção total de agregados nos traços dosados empiricamente em obras, verificando-se os consumos de cimento adotados em função do uso das argamassas.

Os resultados obtidos dos diversos trabalhos realizados permitiram a concepção de um método de dosagem de argamassa de assentamento e revestimento coerente com as atividades de obra – medida de materiais em volume – e com as exigências do laboratório – adoção de parâmetros de dosagem e controle e medida de materiais em massa.

Materiais	Proporção em volume	Proporção em massa	
		$\mu_c = 1,39 \text{ kg/dm}^3$	$\mu_c = 1,20 \text{ kg/dm}^3$
Cimento	1,00	1,00	1,00
Areia	4,00	3,42	3,93
Arenoso	4,00	2,76	3,20
Água	-	1,27	1,45
Consumo de cimento (kg/m^3 de argamassa)		242	212

μ_c = massa unitária do cimento

Tabela 1 - Alteração no consumo de cimento pela adoção de massas unitárias distintas

Materiais	Traços (em massa)					
	T-A1	T-A2	T-A3	T-A4	T-A5	T-C1
Cimento	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Areia	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83
Arenoso	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	-
Caulim	-	-	-	-	-	2,27
Água	1,500	1,440	1,550	1,117	1,132	1,224
Aditivo	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Consumo de cimento (kg/m^3)		184	189	191	197	197

T-A – argamassa com adição de arenoso

T-C – argamassa com adição de caulim

Tabela 2 - Consumo de cimento para argamassas de mesmo traço e adições de diferentes procedências

Materiais		Proporção em volume			
		1:5	1:6	1:7	1:8
Cimento		1,00	1,00	1,00	1,00
Agregado	Areia	3,31	3,97	4,59	5,28
	Arenoso	1,40	1,68	1,92	2,24
Água		0,99	1,15	1,30	1,47
Consumo de cimento (kg/m ³)		308	267	235	207

Tabela 3 - Consumo de cimento em função de modificação na proporção em volume

Tipo de argamassa	Uso ou aplicação	
	Interna	Externa
Assentamento de blocos	150 – 180	160 – 190
Chapisco (sem adição)	380 – 430	410 – 470
Emboço	160 – 180	180 – 210
Reboco	160 – 170	170 – 190
Camada única	160 – 180	180 – 210
Base para cerâmica	180 – 210	190 – 220
Base para laminado	210 – 240	-
Assentamento	250 – 350	250 – 350

Tabela 4 - Faixas de consumos de cimento em kg por m³ de argamassa

Aplicação do método de dosagem do CETA

A dosagem de argamassa contendo argilominerais para assentamento e revestimento de paredes e tetos adotada pelo CETA é realizada a partir de um consumo de cimento específico ao seu uso e de acordo com o procedimento descrito a seguir.

Consumo de cimento

O consumo teórico de cimento por m³ de argamassa (C_c) é definido em função da finalidade à qual se destina a argamassa; quando ele não é especificado no projeto, sugere-se adotar um valor a partir das indicações constantes na Tabela 4.

Quantidade de água

Para materiais de mesma procedência, a quantidade de água utilizada para produzir um m³ de argamassa pouco varia em função do traço adotado, se for mantida a granulometria da mistura.

Vale ressaltar que o teor de água, no entanto, muda de uma região para outra e até mesmo com materiais de mesma procedência, se houver alteração de suas características físicas, químicas ou mineralógicas. Este dado, portanto, deve ser obtido em laboratório, levando-se em conta as características dos materiais constituintes da argamassa.

Considerando os materiais da Região Metropolitana de Salvador – areia, arenoso e caulim – e a incorporação de ar para atender à trabalhabilidade e outros parâmetros de dosagem, têm-se adotado inicialmente 285 litros de água por m³ de argamassa produzida.

Quantidade de agregados

A quantidade individual da areia e da adição é calculada por tentativas em função do teor de finos, que corresponde à porcentagem de material que passa na peneira com abertura de malha de 0,075 mm (# 200).

Inicialmente, verifica-se o teor de finos que deve atender ao limite máximo de 7% com a proporção de 35% da adição, através da seguinte inequação:

$$0,65 \times \% f_{\text{areia}} + 0,35 \times \% f_{\text{adição}} \leq 7 \quad (1)$$

Onde:

% f_{areia} = % da areia que passa na peneira # 200;
 % $f_{adição}$ = % da adição que passa na peneira # 200.

Se (1) for maior que 7, deve-se aumentar a proporção da areia e diminuir a da adição, substituindo-se os valores de 0,65 e 0,35, cuja soma seja sempre igual a 1, até se obterem valores que satisfaçam a inequação (1). Neste caso, a quantidade da adição em relação à massa de agregado corresponde a “p”, valor que substitui 0,35 e a de areia ao valor (1-p).

Após definir o consumo de cimento e adotar uma quantidade de água (285 kg/m³ de argamassa, no caso) e o teor de ar incorporado (entre 8% e 17%), calcula-se a quantidade total de agregado X pela relação:

$$C_c = \frac{1000 - w_d}{\frac{1}{r_c} + X + \frac{285}{C_c}} \quad (2)$$

Onde:

C_c = consumo teórico de cimento por m³ de argamassa;
 w_d = quantidade desejada de ar incorporado por m³ de argamassa;
 ρ_c = massa específica do cimento (kg/dm³).

X é expresso por:

$$X = \frac{a}{r_a} + \frac{ad}{r_{ad}} \quad (3)$$

A proporção da adição é encontrada a partir da relação:

$$ad = \left(\frac{p}{1-p} \right) \times a \quad (4)$$

Onde:

a = proporção da areia no traço;
 ad = proporção da adição argilomineral no traço;
 ρ_a = massa específica da areia (kg/dm³);
 ρ_{ad} = massa específica da adição (kg/dm³)

Mistura experimental

Faz-se a mistura em uma argamassadeira que obedeça aos parâmetros descritos na NBR 7215 (ABNT,1996), utilizando-se as proporções estabelecidas. O tempo de mistura adotado é de 5 minutos.

Quantidade de aditivo

Depois de misturada a argamassa e obtida a trabalhabilidade desejada, mede-se o teor de ar incorporado de acordo com o procedimento descrito na NBR 13278 (ABNT,1995c). Se o valor estiver na faixa estabelecida, adota-se o percentual utilizado. Caso o teor de ar incorporado não esteja de acordo com o projetado, faz-se a correção do teor de aditivo para mais ou para menos e procede-se a uma nova mistura. Geralmente têm-se empregado teores de aditivo incorporador de ar entre 0,15% e 0,20% em relação à massa de cimento.

Ajuste do traço

Com a obtenção da trabalhabilidade e da retenção de água desejadas, anota-se a quantidade de água e o teor de ar incorporado encontrado e, em seguida, calcula-se o novo consumo de cimento por m³ de argamassa, utilizando-se a equação (5):

$$C_c = \frac{1000 - w}{\frac{1}{r_c} + \frac{a}{r_a} + \frac{ad}{r_{ad}} + x} \quad (5)$$

Onde:

w = quantidade obtida de ar incorporado por m³ de argamassa;
 x = quantidade de água em relação à massa do cimento.

Deste modo, obtém-se o traço em massa da argamassa expresso como:

$$1: a : ad: x \quad (6)$$

Medição em volume

Geralmente, no canteiro de obra, faz-se a medição da areia e da adição em volume úmido. Com o traço estabelecido em massa, pode se relacionar adequadamente as quantidades de massa seca definidas no traço com o volume úmido desses materiais. Para tanto, torna-se necessário conhecer a massa unitária e o coeficiente de inchamento médio.

Quanto às adições que contêm argilominerais, não existe método normalizado para determinação do coeficiente de inchamento médio, como há para a areia, determinado segundo a NBR 6467 (ABNT,1987a). A fim de contornar esta deficiência, sugere-se a utilização da massa unitária relativa à umidade natural, em que normalmente se encontra a adição, obtendo-se assim a “massa unitária úmida” que embute o fenômeno do inchamento. No CETA, determina-se a massa unitária úmida da adição pelo método descrito na NBR 7251 (ABNT,1982b), porém substitui-se o material em estado seco pelo material com sua umidade natural, em que normalmente se encontra na obra.

Desta forma, para obter o volume das adições a ser medido na obra, basta dividir a massa seca, definida a partir do traço, pelo valor obtido da relação entre a **massa unitária úmida** e o **coeficiente de umidade** (m_h / C_h) (GOMES, 2000), sendo:

m_h = massa unitária da adição com umidade natural;
 C_h = coeficiente de umidade que corresponde à relação

$$\left(1 + \frac{h}{100} \right);$$

h = teor de umidade (%)

Para o arenoso e o caulim utilizados nas argamassas de assentamento e revestimento da RMS, os valores mais

representativos para a umidade natural destas adições estocadas em obras situam-se na faixa de 6% a 9% e, para a massa unitária úmida, entre 0,98 kg/dm³ e 1,09 kg/dm³. Esses valores foram obtidos em ensaios realizados anteriormente e apresentados por Neves et al. (1997) e Gomes (2000).

Características das argamassas

Argamassas contendo argilominerais e dosadas de acordo com os critérios aqui propostos, apresentam características semelhantes às da argamassa mista.

A seguir, apresentam-se resultados do extenso estudo realizado por Gomes (2000) em argamassas dosadas com três diferentes tipos de arenoso (A1, A2 e A3) e um de caulim (C1) provenientes da Região Metropolitana de Salvador, um arenoso procedente de Fortaleza (A4) e um arenoso de Aracaju (A5), cujas características físicas são apresentadas nas Tabelas 5 e 6, juntamente com as da areia usada no experimento.

Foram dosadas argamassas de acordo com o método proposto (cujos traços estão apresentados na Tabela 2), determinadas suas características nos estados fresco e endurecido e aplicadas em alvenaria de bloco cerâmico sem chapisco. Os resultados são comparados aos da argamassa mista de traço 1:0,5:6,60:1,445 (cimento:cal:areia:água), equivalente à proporção de materiais secos em volume de 1:1,31:6,47 (cimento:cal:areia), que corresponde à argamassa tipo “O”, especificada na ASTM C 91. Os valores obtidos são apresentados nas Tabelas 7 a 9.

Em todos os experimentos utilizou-se o cimento do tipo CP II F 32 e cal CH I e os resultados obtidos demonstram comportamentos semelhantes entre as diversas argamassas com argilominerais e a argamassa mista. Deve-se ressaltar que a cal da argamassa mista possui poder aglomerante, o que contribui para aumentar sua resistência. Além disso, a argamassa mista possui o maior teor de cimento por metro cúbico (212 kg) e, sobretudo, contém o menor percentual de ar incorporado (5%).

Considerações finais

O método de dosagem das argamassas aqui apresentado vem sendo empregado pelo CETA desde 1996. As argamassas formuladas a partir dos princípios aqui enfocados e aplicadas em revestimentos na RMS não têm apresentado patologias que possam ser geradas por materiais constituintes, tais como pulverulências e fissuras. Sua durabilidade, constatada na prática pelo desempenho do revestimento de vários edifícios construídos na RMS, é avaliada em laboratório mediante alguns ensaios. No entanto, ressalta-se a necessidade de desenvolver ensaios adequados para avaliar este aspecto, não só nas argamassas de assentamento e revestimento, mas nos materiais de construção em geral.

Vale ressaltar que a metodologia aqui apresentada se restringe, até o momento, à dosagem de argamassas contendo adições argilosas da RMS e a alguns experimentos com adições de outras procedências. Assim, é oportuno que a avaliação do método seja realizada com o emprego de materiais de outras regiões do país, o que certamente resultará em sugestões capazes de colaborar para aperfeiçoá-lo.

Recentemente, este método foi utilizado para formular argamassa com adição de entulho reciclado. Os resultados dos ensaios de laboratório realizados na argamassa em estados fresco, endurecido, e aplicada em painéis atenderam aos requisitos especificados no estudo. Planeja-se realizar, ainda este ano, uma avaliação em argamassas contendo entulho reciclado e escórias, a serem aplicadas em uma edificação piloto, de modo a verificar, entre outros aspectos, a eficácia do método de dosagem aqui proposto ao se empregarem outras adições que não sejam as da RMS.

Espera-se que o assunto gere interesse da comunidade científica e outras contribuições sejam adicionadas a esta proposta, de modo que se possa estabelecer uma metodologia racional para dosagem das argamassas de assentamento e revestimento, mistas ou com adições, que seja reconhecida por construtores e pelo meio técnico. Para tal, o GTA - Grupo de Trabalho de Argamassa da ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído pode ser a instância mais apropriada para se chegar ao consenso.

Amostra	NBR 7181			Grãos 0,075 mm (%)	NBR 7217	
	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)		D _{max} (mm)	Módulo de finura
A1	80	3	15	18	2,4	2,36
A2	85	3	11	14	1,2	1,88
A3	81	2	16	18	1,2	2,07
A4	91	2	7	9	1,2	1,58
A5	85	10	3	13	1,2	1,48
C1	83	15	2	17	1,2	1,51
Areia	99	-	-	1	1,2	1,66

Tabela 5 - Índices granulométricos das adições e areia

Característica	Método	Material						
		A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	C1	Areia
Massa unitária (kg/dm ³)	NBR 7251	1,26	1,29	1,29	1,38	1,52	1,44	1,49
Massa específica (kg/dm ³)	NBR 6508	2,65	2,63	2,64	2,64	2,66	2,65	2,65
	NBR 9776	2,60	2,60	2,60	2,62	2,61	2,63	2,65
Coef. de inch. médio (%)	NBR 6467	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	1,25
Relação M_s / V_h (kg/dm ³)	Não tem	0,96	0,96	0,96	(b)	(b)	0,96	1,19
Matéria orgânica	NBR 7220	Mais clara	Mais clara	Mais clara	Mais clara	Mais clara	Mais clara	Mais clara
Mat. pulverulentos (%)	NBR 7219	18	13	15	9	18	17	1
Umidade natural (%)	NBR 9775	7,4	6,1	6,4	0,0	0,0	6,1	2,8
Torrões de argila (%)	NBR 7218	9,2	16,5	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Limite de liquidez (%)	NBR 6459	32	23	30	18	NL	30	NL
Limite de plasticidade (%)	NBR 7180 (c)	18	20	20	13	NP	26	NP
Índice de plasticidade (%)		14	3	10	6	-	4	-

Notas:

(a) não se aplica.

(b) como o material já estava seco não foi possível determinar o valor dessa relação.

(c) os limites de liquidez e de plasticidade foram determinados com a fração dos grãos passando na peneira de 0,30 mm, pelo fato de que com a fração passando na de 0,42 mm, como é estabelecido na norma, nenhuma das adições apresenta plasticidade, exceto o arenoso A1.

Tabela 6 - Caracterização física das adições e areia

Traços	Índice de consistência (mm)	Teor de ar incorporado (%)	Densidade de massa (kg/dm ³)	Retenção de água (%)	
				p/consistência	p/molde
T-A1	258	17	1,765	91	92
T-A2	255	16	1,785	85	89
T-A3	251	13	1,856	83	92
T-A4	250	19	1,780	70	85
T-A5	253	16	1,871	62	84
T-C1	258	17	1,849	69	82
T-Cal	254	5	2,023	91	92
Método	NBR 7215	NBR 13278		NBR 9287	NBR 13277

Tabela 7 - Argamassa no estado fresco

Traços	Massa específica (kg/dm³)			Porosidade (%) ¹²	Absorção de água (%)	Absorção capilar kg/m².min ^{1/2}	Resistência (MPa)		
	Real	Seca	Saturada				compressão		tração
							7 d	28 d	28 d
T-A1	2,520	1,610	1,846	36	22	0,89	2,2	3,0	0,50
T-A2	2,581	1,660	1,891	36	22	0,84	2,7	3,3	0,47
T-A3	2,286	1,637	1,875	28	17	0,86	2,9	4,1	0,77
T-A4	2,477	1,661	1,858	33	20	0,60	3,6	4,8	0,81
T-A5	2,506	1,767	1,951	30	18	0,54	3,8	4,7	0,88
T-C1	2,423	1,700	1,904	30	18	0,99	4,0	6,2	0,86
T-Cal	2,441	1,790	2,041	27	15	1,20	3,9	5,2	0,69
Método	NBR 9778					CETA nº 5 ¹³	NBR 13279/ 7222		

Nota: porosidade e absorção de água determinadas após saturação e fervura

Tabela 8 - Argamassa no estado endurecido

¹² A NBR 9778 (ABNT, 1987h) denomina inapropriadamente esta relação percentual - entre o volume dos poros permeáveis e o volume total da amostra - de *índice de vazios*. Adotamos neste trabalho o termo permeabilidade para esta relação, considerando o conceito consagrado na Ciência dos Materiais.

¹³ Corresponde à relação entre a massa de água absorvida por capilaridade por área e a raiz quadrada do período de tempo correspondente. O ensaio consiste em colocar o corpo-de-prova cilíndrico (φ 5 cm x 10 cm) em contato com uma lâmina de água e determinar a massa de cada corpo-de-prova inicialmente a cada 10 min, depois a cada 20 min, 30 min e, após 360 min, a cada 8 e 12 horas. Determina-se o coeficiente de absorção capilar referente ao período em que há linearidade entre a massa de água absorvida e o respectivo tempo.

Traços	Resistência de aderência à tração (MPa)		Dureza superficial		Absorção de água sob baixa pressão (mL/15min)	
	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias
T-A1	0,30	0,38	36	39	1,55	0,98
T-A2	0,31	0,54	38	41	0,62	1,12
T-A3	0,44	0,47	38	41	1,22	1,40
T-A4	0,44	0,40	42	47	0,23	0,48
T-A5	0,44	0,40	44	47	0,97	0,75
T-C1	0,44	0,44	39	44	0,58	0,72
T-Cal	0,32	0,38	43	45	1,75	1,00
Método	NBR 13528		CETA n° 6 ¹⁴		CETA n° 7 ¹⁵	

Tabela 9 - Argamassa aplicada em substrato de bloco cerâmico

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6459**: Solo: determinação do limite de liquidez: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984a. 6 p.

_____. **NBR 6467**: Agregados: determinação do inchamento de agregado miúdo: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987a. 6 p.

_____. **NBR 6502**: Rochas e solos: terminologia. Rio de Janeiro, 1995a. 18 p.

_____. **NBR 6508**: Grãos de solo que passam na peneira 4,8 mm: determinação da massa específica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984b. 8 p.

_____. **NBR 7180**: Solo: determinação do limite de plasticidade. método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984c. 3 p.

_____. **NBR 7181**: Solo: análise granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984d. 13 p.

_____. **NBR 7200**: Revestimento de paredes e tetos com argamassas: materiais, preparo, aplicação e manutenção: procedimento. Rio de Janeiro, 1982a. 16 p.

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 1983a. 9 p.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland: determinação da resistência à compressão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1996. 8p.

_____. **NBR 7217**: Agregado: determinação da composição granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987b. 5 p.

_____. **NBR 7218**: Agregado: determinação do teor de argila torrões e materiais friáveis: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987c. 2 p.

_____. **NBR 7219**: Agregado: determinação do teor de materiais pulverulentos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987d. 3 p.

¹⁴ Corresponde à média de valores obtidos em revestimento de argamassa quando submetido ao impacto do martelo do esclerômetro de pêndulo tipo P. Em um painel de argamassa aplicada sobre uma base, preferencialmente alvenaria de bloco cerâmico, são marcadas três áreas; em cada uma, faz-se um reticulado com pelo menos 16 malhas quadradas de 8 cm de lado, em cujo centro procede-se o impacto.

¹⁵ Corresponde à quantidade de água absorvida pela superfície do revestimento de argamassa após 15 min em contato com a água sob pressão variável. O equipamento utilizado, denominado cachimbo, é constituído de um tubo de vidro vertical graduado, soldado a uma base cilíndrica que faz o contato com o revestimento por uma seção de 5,7 cm².

- _____. **NBR 7220:** Agregado: determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987e. 3 p.
- _____. **NBR 7222:** Argamassas e concretos: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983b. 3 p.
- _____. **NBR 7251:** Agregado em estado solto: determinação da massa unitária: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982b. 3 p.
- _____. **NBR 9287:** Argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto: determinação da retenção de água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986. 6p.
- _____. **NBR 9775:** Agregados: determinação da umidade superficial em agregado miúdo por meio do frasco de Chapman: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987f. 4 p.
- _____. **NBR 9776:** Agregados: determinação da massa específica em agregado miúdo por meio do frasco de Chapman: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987g. 3 p.
- _____. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão: índice de vazios e massa específica: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987h. 5 p.
- _____. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: determinação da retenção de água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995b. 2 p.
- _____. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995c. 2 p.
- _____. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à compressão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995d. 2 p.
- _____. **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995e. 4 p.
- _____. **NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: terminologia. Rio de Janeiro, 1995f. 8 p.
- CAMPITELI, Vicente C.; MASSARETO, Renato; RODRIGUES, Paulo T. Dosagem experimental de argamassas mistas a partir de cal virgem moída. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG; ANTAC, 1995. p. 73-82.
- CARASEK, Helena; CASCUDO, Osvaldo; SCARTEZINI, Luís Maurício. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC; ANTAC, 2001. p. 43-67.
- CASCUDO, Osvaldo; CARASEK, Helena. O saibro nas argamassas de assentamento: estudo de trabalhabilidade e comportamento no estado endurecido: Parte 1. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC; University of Edinburgh; ANTAC, 1994. p. 84-93.
- CAVALHEIRO, Odilon P. Argamassa de assentamento: receita, dosagem ou adequação de traço? In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG; ANTAC, 1995. p. 134-142.
- CENTRO TECNOLÓGICO DA ARGAMASSA (CETA). **Absorção de água por capilaridade:** método de ensaio. Salvador, 1998. 5 p. (CETA, n. 5).
- _____. **Determinação da dureza superficial do revestimento de argamassa:** método de ensaio. Salvador, 1998. 3 p. (CETA, n. 6).
- _____. **Absorção de água por sucção:** método do cachimbo: método de ensaio. Salvador, 1999. 3 p. (CETA, n. 7).
- GOMES, Adailton de Oliveira. **Influência dos argilominerais nas propriedades das argamassas de revestimento em Salvador:** uma contribuição à qualidade ambiental. 2000. 248 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) — Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- LARA, Domingos, et al. Dosagem das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG; ANTAC, 1995. p. 63-72.
- NEVES, Célia et al. A influência do caulim no comportamento das argamassas de revestimento In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG; ANTAC, 1995. p. 219-225.
- NEVES, Célia et al. Arenosos da Região Metropolitana de Salvador – características para seu emprego em argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA; ANTAC, 1997. p. 38-49.
- OLIVEIRA, Hildérico P. de. **Uma introdução para o emprego racional das argamassas no edifício.** 1959, 54 f. Tese (Cátedra de Construções Cíveis e Arquitetura) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SABBATINI, Fernando Henrique. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcário.** 1984. 298 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.