



---

## CAPÍTULO VIII

# USO DO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO



Marcos Jorge Almeida Santana  
Alex Pires Carneiro  
Táís Santos Sampaio

**A**s grandes cidades apresentam, atualmente, processos de urbanização cada vez mais acelerados, que se caracterizam por não obedecerem um plano de desenvolvimento adequado, gerando uma ocupação desordenada. Esses processos atingem bastante a população de baixa renda, que, na maioria dos casos, constrói suas casas em áreas distantes do centro, ou em terrenos invadidos, à beira de encostas ou em áreas chamadas de risco. Feitas com diversos tipos de materiais ou em alvenaria de tijolos cerâmicos, quase sempre sem revestimento, essas habitações, no seu conjunto, formam painéis de casas amontoadas e nuas.

O revestimento da habitação, além de contribuir para a harmonia estética, assume um importante papel na melhoria da qualidade de vida dessa população, pois promove a impermeabilização da alvenaria, dificultando a infiltração de água, a proliferação de ácaros e fungos, melhorando as condições respiratórias dos habitantes, bem como impedindo o alojamento, em frestas, de insetos causadores de doenças graves. Entretanto, para esse contingente da população, carente de recursos financeiros, a questão mais urgente não é a estética ou a possibilidade de problemas futuros de saúde, e sim a alimentação e o abrigo imediato, mesmo que precário.

A utilização de agregados reciclados em argamassas de revestimento surge como alternativa para atender à enorme demanda por revestimentos, uma vez que esse material apresenta desempenho adequado, conforme vários trabalhos publicados sobre o tema (Silva et al., 1997; Levy, 1997; Pinto, 1998). Além disso, o seu uso promove a diminuição de custos, ajuda a solucionar o problema de destinação do entulho e contribui para a melhoria das condições das habitações populares.

A reciclagem do entulho na confecção de argamassa tem a sua utilização mais frequente em canteiro de obras. Nos últimos anos,

diversas construtoras em atividade no país passaram a utilizar argamassas produzidas com agregado reciclado, em substituição às adições e aos agregados convencionais (Levy, 1997). Desse modo, materiais anteriormente considerados como perdas do processo construtivo — pedacos de blocos e tijolos cerâmicos, argamassas e concretos endurecidos, entre outros — passaram a ser reciclados.

As argamassas produzidas com agregado reciclado têm apresentado desempenho significativamente superior ao das argamassas convencionais. Contudo, a maioria dos estudos realizados sobre o tema avalia o desempenho do material reciclado no próprio canteiro de obras. Outras alternativas, tais como a utilização de agregados produzidos em usinas de reciclagem, permitem estender os benefícios da reciclagem a um número maior de usuários, tornando-os acessíveis à população de baixa renda.

Existem algumas diferenças entre os agregados reciclados no canteiro de obras ou em usina de reciclagem. A principal é que, dentro do canteiro, pode-se facilmente separar os materiais que serão reciclados. Por exemplo, durante a execução da obra, selecionam-se, para reciclagem, os restos de concreto (na fase de estrutura), os restos de blocos (na fase de levante) e os restos de argamassas (na fase de acabamento), o que possibilita a produção de agregado reciclado com composição mais homogênea. Já o entulho reciclado em usina origina-se de diversas obras da região e, como apresentado em capítulos anteriores, é constituído de diversos tipos de materiais, cuja separação agrega custos ao processo, podendo tornar economicamente inviável a reciclagem. Portanto, devem-se buscar aplicações que possibilitem a utilização desse material de origem heterogênea e com características diferentes do reciclado em canteiro.

Nesse sentido, o Projeto Entulho Bom desenvolveu estudos de laboratório sobre o uso do agregado reciclado de Salvador;

produzido de forma similar ao da usina de reciclagem, avaliando o desempenho desse material em argamassas de revestimento, em substituição total ou parcial da areia e do arenoso (material areno-silto-argiloso). Esse estudo promoveu a elaboração e a seleção das dosagens, a produção das argamassas e a análise de suas propriedades físicas e mecânicas nos estados fresco e endurecido, tanto em corpos-de-prova quanto em painéis de argamassas, aplicadas sobre alvenaria.



## **UTILIZAÇÃO DO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS**

O reaproveitamento de resíduos na construção civil é uma atividade que já vem sendo desenvolvida há algum tempo. Subprodutos de carvão e cinzas volantes têm sido utilizados, há aproximadamente cinco décadas, em concretos de cimento Portland (Kelly & Willians, 1995 citado por Zordan, 1997). Entretanto, a reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção começa a despertar interesse no Brasil apenas na década de 80, com os estudos iniciais de Pinto (1986).

Uma das formas de reciclagem desse resíduo destina-se à sua utilização em argamassas. A fração fina do material reciclado obtido da britagem ou moagem do entulho, a depender das suas características, pode ser utilizada nas argamassas, em substituição às adições ou aos agregados convencionais. A granulometria semelhante à da areia permite o seu uso como agregado para argamassas de assentamento e revestimento, as quais têm apresentado desempenho similar ou superior às convencionais, tanto em ensaios de laboratório quanto em aplicações de campo (Pinto, 1998).



Levy (1997) realizou experimentos utilizando quatro tipos de materiais que compõem o entulho, processando-os em moinho de rolo. Foram, então, produzidos 8 diferentes tipos de argamassas com o material processado. A partir desses estudos, foi observado que a utilização de agregados reciclados permitiu uma redução de 30% no consumo de cimento da argamassa e um incremento nas propriedades mecânicas, em função do teor de materiais cerâmicos presentes no entulho. Os resultados desse trabalho demonstram que a utilização do agregado reciclado miúdo para a produção de argamassas apresenta vantagens, principalmente pela redução no consumo de cimento.

Hamassaki; Sbrighi; Florindo (1996) avaliaram a influência do agregado reciclado nas argamassas, partindo de um traco referência 1:6 (cimento:areia, em volume) com uso de cal. Esses estudos mostram um incremento na resistência à compressão das argamassas aos 28 dias, quando é usado o agregado reciclado. Não foi avaliada a influência do agregado reciclado na retenção de água, uma vez que a cal interfere significativamente nessa propriedade.

Silva et al. (1997) estudaram quatro tracos experimentais de argamassas com adição de agregado reciclado numa obra de Salvador. Essas argamassas apresentaram comportamento satisfatório no estado fresco e endurecido, evidenciando uma redução no consumo de cimento.

Recentemente, Miranda (2000) analisou parâmetros que podem prevenir a fissuração de revestimentos de argamassas que contêm agregado reciclado. Avaliou, para tal, fatores relativos ao tipo de entulho, sua proporção nas argamassas e o tipo de técnica construtiva utilizada para esses revestimentos. Nesse trabalho, foram estudados doze tracos de argamassas com diferentes composições e proporções de entulho, feitas a partir da moagem de

blocos cerâmicos, blocos de concreto e argamassa de cimento, cal e areia, em moinho tipo argamassadeira, e aplicados em painéis de alvenaria de blocos de concreto com chapisco.

As argamassas com agregado reciclado vêm sendo utilizadas nas últimas décadas em diversas obras de vários países como Israel, Argentina e Brasil. Em São Paulo, são encontradas obras concluídas nas décadas de 80 e 90, onde foi usado esse tipo de argamassa, sem apresentar manifestações patológicas (Levy, 1997). Em Salvador, o melhor exemplo é o Edifício Mansão Bernardo Martins Catarino, obra de padrão luxo, construída em meados da década de 90, onde se reciclou o entulho no canteiro, produzindo argamassas com agregado reciclado sem que, até o momento, se apresentem notícias de patologias.

O bom desempenho do agregado reciclado na aplicação em argamassas pode ser atribuído à presença de aglomerantes ainda não inertizados e de resíduos cerâmicos com características pozolânicas, bem como à maior porosidade de suas partículas, o que privilegia o início das reações químicas, incrementando as propriedades mecânicas das argamassas, devido ao efeito pozolânico normalmente apresentado pelo material reciclado (Pinto, 1998).

Dessa forma, podem ser definidas as proporções de materiais para argamassas com agregado reciclado, as quais, além de apresentarem desempenho adequado, promovem sensível redução no preço do produto final. Essa redução pode ser obtida tanto pelo baixo custo do agregado como pela redução do consumo de cimento e cal (Pinto, 1998).

A utilização de agregado reciclado na produção de argamassas apresenta outras vantagens, dentre as quais podem-se citar: a diminuição dos impactos gerados pela disposição incorreta do entulho, como enchentes e assoreamento de rios e córregos, a

preservação das reservas naturais, devido à substituição de matéria-prima convencional por material reciclado, além da otimização do uso de aterros, em função da conseqüente diminuição de resíduos descartados (Carneiro et al., 2000).

Apesar de a maior ênfase comercial voltar-se para a reciclagem dentro do canteiro de obras, devido à inexistência de custos com transporte do material reciclado, há grandes perspectivas para a reciclagem de entulho nas centrais de reciclagem. Essas centrais, além de processarem o entulho, podem produzir argamassas, blocos, concretos, entre outros materiais, com controle tecnológico adequado (Pinto, 1992).

Nesse sentido, Lima (1999a) apresentou diretrizes para a produção, normalização e uso do agregado reciclado em argamassas e concretos. Também foram apresentados, nesse trabalho, textos informativos dirigidos aos produtores e usuários de agregado reciclado, no intuito de auxiliá-los na correta utilização do material reciclado nesses tipos de aplicações, levando-se em consideração a segurança do usuário e a qualidade do produto.

O uso de agregado reciclado para a execução do revestimento, importante elemento construtivo de edificações, contribui para a maior aceitação do mercado consumidor do uso de materiais reciclados de qualidade e bom desempenho, além de promover a conscientização sobre a necessidade da reciclagem do entulho.



## **AValiação DE DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Algumas características básicas devem ser atendidas pelas argamassas de revestimento de edificações, como resistência mecânica, durabilidade, baixa permeabilidade, pouca retração, isolamento



térmico e acústico — no estado endurecido — e trabalhabilidade, plasticidade e retenção de água — no estado fresco. O completo entendimento do comportamento das argamassas requer a avaliação das condições de produção, de exposição do revestimento, da ação dos usuários e do modo como essas condições influem no seu desempenho (Cincotto; Silva; Cascudo, 1995).

O desempenho de um produto pode ser definido pelo grau de satisfação das necessidades do usuário. Para a execução de revestimentos com bom desempenho, é preciso compreender as funções e propriedades das argamassas que os constituem e dos substratos que lhes servem de base.

Segundo Cincotto; Silva; Cascudo (1995), para a análise do desempenho de uma argamassa de revestimento, deve-se avaliar o seu comportamento em três etapas distintas:

- durante o seu preparo e no período em que se encontra no estado fresco;
- no período após a aplicação sobre o substrato, quando a argamassa se encontra em endurecimento;
- no período de uso da edificação, quando o revestimento (argamassa endurecida) sofre os efeitos provenientes da ação dos usuários e das condições de exposição.

Dessa forma, as propriedades das argamassas são avaliadas tanto no estado fresco quanto no endurecido, sendo que, nesse último, o material é estudado tanto em corpos-de-prova quanto em painéis que simulam a forma de utilização da argamassa de revestimento. Algumas das principais propriedades das argamassas são descritas a seguir.

### **PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO**

Conhecer o comportamento das argamassas no estado fresco é fundamental, uma vez que boa parte das deficiências de qualidade

que o revestimento apresenta, no estado endurecido, é resultado do comportamento inadequado da argamassa no estado fresco (Gomes, 2000). A seguir, são descritos os principais ensaios utilizados para avaliar o comportamento da argamassa no estado fresco.

#### **CONSISTÊNCIA**

Essa propriedade é um indicador da trabalhabilidade, servindo de parâmetro para a determinação da quantidade de água necessária à mistura a fim de que a argamassa alcance uma trabalhabilidade desejável (ensaio descrito na NBR 13276). A consistência pode ser alterada em função da relação água/aglomerante, da relação aglomerante/agregado, da relação agregado/adicação e da natureza e qualidade do aglomerante ou da adição utilizada na argamassa (Cincotto; Silva; Cascudo, 1995).

#### **DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR INCORPORADO**

A densidade de massa das argamassas (também chamada de massa específica real) e o teor de ar incorporado durante o processo de mistura são determinados segundo o ensaio descrito na NBR 13278. Conhecendo esses parâmetros, pode-se calcular o consumo real de cimento por metro cúbico. A partir da avaliação do consumo de cimento, é possível estimar o custo de produção das argamassas. Além disso, o consumo de cimento é um dos principais fatores relacionados com as propriedades das argamassas no estado endurecido.

#### **RETENÇÃO DE ÁGUA**

A retenção de água é medida pela capacidade de a argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações como evaporação e sucção, as quais provocam perda de água. Essa propriedade, determinada segundo o ensaio descrito na NBR 13277, está relacionada à superfície específica dos materiais componentes da argamassa e à relação aglomerante/aglomerante, entre outros fatores (Cincotto; Silva; Cascudo, 1995).

## **PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO – ARGAMASSAS EM CORPOS-DE-PROVA**

As propriedades das argamassas determinadas em ensaios realizados em corpos-de-prova avaliam, em laboratório, o comportamento do material, constituindo-se, basicamente, na análise da resistência mecânica e da sua permeabilidade.

### **RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL**

A resistência mecânica é a propriedade de as argamassas endurecidas resistirem às tensões de tração, compressão ou cisalhamento a que o revestimento pode estar sujeito.

As argamassas de revestimento são usualmente solicitadas a resistir a pequenos esforços de compressão. As solicitações à tração, cisalhamento ou flexão têm ordem de grandeza muito maior. Os esforços gerados por essas tensões provêm de cargas estáticas ou dinâmicas decorrentes de fenômenos térmicos ou climáticos, ou, ainda, das solicitações durante o período de uso da edificação (Cincotto; Silva; Cascudo, 1995).

Os ensaios de determinação da resistência à compressão axial e da resistência à tração por compressão são descritos na NBR 13279 e na NBR 7222, respectivamente.

### **PERMEABILIDADE**

A permeabilidade é a propriedade da argamassa endurecida que caracteriza a passagem de água através do material, por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água. Os principais fatores que influenciam a permeabilidade de uma argamassa são a relação água / cimento, a granulometria do agregado, a natureza e o teor do aglomerante. A percolação de água em um revestimento também depende das características do substrato, ou seja, da superfície onde a argamassa é assentada (Cincotto; Silva; Cascudo, 1995).

A capacidade de proteção das argamassas de revestimento endurecidas, contra a ascensão capilar de água, é avaliada através do ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade, descrito no procedimento CETA nº 5/98, baseado na NBR 9779 (Neves & Maciel, 1998a).

Por sua vez, o ensaio de determinação da absorção de água por imersão, do índice de vazios e da massa específica, descrito na NBR 9778, avalia a estrutura de poros da argamassa endurecida. Os vazios encontrados na argamassa são formados por ar incorporado ou aprisionado, ou decorrentes da evaporação do excesso de água. O teor de ar tem influência na resistência dos revestimentos e na absorção de água, limitando, assim, a dosagem de aditivos incorporadores de ar (Cincotto; Silva; Cascudo, 1995).

### **PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO - ARGAMASSAS EM PAINÉIS**

As propriedades das argamassas no estado endurecido estão relacionadas às características do substrato e da interface revestimento/substrato. Portanto, essas propriedades devem ser avaliadas numa argamassa aplicada sobre um substrato. A alvenaria de blocos cerâmicos é um dos substratos para aplicação da argamassa mais utilizados no país. As principais propriedades avaliadas em painéis de argamassa endurecida, aplicada sobre alvenaria, são apresentadas a seguir.

#### **RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – ARRANCAMENTO**

A resistência de aderência à tração avalia a capacidade de as argamassas resistirem a esforços normais de tração. Essa propriedade é significativamente influenciada por diversos fatores: absorção de água, resistência mecânica, textura superficial, condições de execução do assentamento da base e natureza do aglomerante (Cincotto; Silva; Cascudo, 1995).

Nas edificações, uma das maiores razões de falha das argamassas de revestimento está relacionada com a perda ou a falta de aderência ao substrato. Assim, a capacidade de a argamassa obter uma aderência adequada, resistente e durável junto ao substrato, é uma das mais importantes propriedades relativas ao comportamento de um revestimento.

A NBR 13528 descreve o ensaio utilizado para a determinação dessa propriedade. Os resultados obtidos nesse ensaio geralmente são muito variáveis, devido ao fato de a resistência ao arrancamento ser a medida da interação argamassa/substrato, dependendo, portanto, das características de ambos.

#### **DUREZA SUPERFICIAL**

O ensaio para determinação da dureza superficial do revestimento, descrito no procedimento CETA nº 6/98, deve ser realizado antes de se submeter o painel aos ensaios de resistência de aderência à tração e de absorção de água (Neves & Maciel, 1998b). Os valores de leitura são variáveis, de acordo com imperfeições localizadas no revestimento.

#### **PERMEABILIDADE**

A permeabilidade de uma argamassa já aplicada sobre um substrato pode ser avaliada pelo ensaio de absorção de água por sucção. Ainda não existe norma brasileira que estabeleça o ensaio para a determinação dessa propriedade, sendo, portanto, utilizado o procedimento CETA nº 7/99 (Gomes, 1999). Esse ensaio avalia a passagem de água através da argamassa por meio de infiltração sob pressão. Nesse ensaio, mede-se a quantidade de água absorvida por uma superfície de argamassa em um determinado tempo, simulando um revestimento submetido a chuva com ventos fortes, de aproximadamente 140 km/h.

## CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

As propriedades que interferem no desempenho em serviço das argamassas de revestimento são muitas, porém ainda são poucos os indicadores estabelecidos para avaliar seu comportamento em serviço. A Associação Brasileira de Normas Técnicas — ABNT, apesar de apresentar diversos procedimentos de ensaio para argamassas de revestimento, estabelece apenas critérios para avaliar a resistência de aderência à tração (NBR 13749).

A NBR 13749 estabelece os limites mínimos de resistência à tração para revestimentos de argamassas, conforme o local de aplicação e o tipo de acabamento (**Tabela 1**). Para que o revestimento atenda a essa especificação, a argamassa deverá apresentar, pelo menos, quatro valores, dentre os seis resultados do ensaio de resistência de aderência à tração, superiores aos limites estabelecidos.

**TABELA 1 - LIMITES DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (Ra) PARA ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO ESTABELECIDOS PELA NBR 13749**

LOCAL		ACABAMENTO	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base de reboco	≥ 0,15
		Cerâmica e laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base de reboco	≥ 0,25
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

Como ainda não existe norma brasileira que apresente critérios para avaliação das demais propriedades, a análise comparativa com

argamassas de desempenho comprovado é utilizada por diversos pesquisadores como parâmetro para avaliação do comportamento do material (Hamassaki; Sbrighi; Florindo, 1996; Cavani; Antunes; John, 1997; Silva et al., 1997 e Gomes, 2000).

Alguns países já estabeleceram indicadores, valores e parâmetros de avaliação do comportamento das argamassas. Entretanto, como os materiais utilizados para a produção de argamassas no Brasil têm características diferentes, além das condições climáticas serem distintas, não é adequado adotar, indiscriminadamente, tais parâmetros para a análise das argamassas produzidas no país.

## **EXPERIÊNCIA REALIZADA**

### **USO DO AGREGADO RECICLADO DE SALVADOR EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

O estudo sobre a utilização do agregado reciclado miúdo de Salvador em argamassas de revestimento busca desenvolver uma alternativa tecnológica adequada aos centros urbanos que geram significativa quantidade de entulho e apresentam grande demanda por revestimento, sobretudo em áreas carentes.

Com base na caracterização do agregado reciclado, foi observado que ele se apresenta com elevado potencial para utilização em argamassas. Assim, o Projeto Entulho Bom desenvolveu estudos de laboratório nos quais foi analisada a influência do uso do agregado reciclado de Salvador — processado de forma similar ao produzido na usina de reciclagem — no desempenho dos revestimentos de argamassa. Foi avaliado o processo de produção e o produto final, tanto no estado fresco como no estado endurecido.

Foram analisadas as principais propriedades físicas e mecânicas das argamassas preparadas com agregado reciclado em diferentes





proporções. Essa experiência buscou desenvolver tecnologia adequada para a utilização segura das argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados.



## MATERIAIS UTILIZADOS

Para a produção das argamassas, foram utilizados os seguintes materiais:

- cimento Portland composto com filer (CP II F-32);
- cal do tipo CH-I, cuja função é reter água e promover a trabalhabilidade em argamassas mistas;
- areia disponível na região de Salvador — usualmente empregada em obras locais;
- arenoso — material areno-silto-argiloso, de cor rosada, constituído predominantemente por areia e com baixos teores de silte e argila, prevalecendo a caulinita; melhora a trabalhabilidade em argamassas de cimento, sendo usualmente utilizado na produção de argamassas na região de Salvador (Gomes, 2000);
- agregado reciclado miúdo — material arenoso, predominantemente constituído de areia, com baixo percentual de argila e silte e grande quantidade de partículas finas não plásticas (as suas características são apresentadas no capítulo V);
- água proveniente do sistema de abastecimento da cidade de Salvador;
- aditivo incorporador de ar — material que incorpora minúsculas bolhas esféricas de ar às argamassas, melhorando a sua trabalhabilidade; pode, contudo, reduzir a resistência mecânica da argamassa, se adicionado em teores elevados.

A **Tabela 2**, a seguir, apresenta as principais características da areia, do arenoso e do agregado reciclado utilizados neste estudo.

**TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS**

PROPRIEDADES	NORMAS UTILIZADAS	UNIDADE	AREIA	ARENOSO	AGREGADO RECICLADO
Granulometria (material retido acumulado)	4,8 mm	%	0	0	0
	2,4 mm	%	0	0	0
	1,2 mm	%	4	4	3
	0,6 mm	%	18	9	7
	0,3 mm	%	67	21	14
	0,15 mm	%	94	61	61
	0,075 mm	%	100	82	82
Módulo de finura	NBR 7217	—	1,83	0,95	0,85
Dimensão máxima característica	NBR 7217	mm	1,2	1,2	1,2
Limite de liquidez	NBR 6459	%	NL	NL	NL
Limite de plasticidade	NBR 7180	%	NP	NP	NP
Massa específica	NBR 6508 NBR 9776	g/cm <sup>3</sup>	2,64	2,60	2,59
Massa unitária	NBR 7251	g/cm <sup>3</sup>	1,56	1,23	1,30
Teor de materiais pulverulentos	NBR 7219	%	2,2	18,1	13,5
Impurezas orgânicas	NBR 7220	—	Mais clara	Mais clara	Mais clara
Coefficiente de inchamento	NBR 6467	%	1,34	—	—

## MÉTODO DE PRODUÇÃO E DE AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS

As argamassas produzidas com agregado reciclado foram comparadas com argamassas produzidas com arenoso (típicas da região de Salvador) e com cal (argamassa de referência). Para a definição dos tracos, foram realizadas misturas experimentais e, para a avaliação do comportamento das argamassas, foram realizados ensaios no estado fresco e no endurecido, tanto em corpos-de-prova, quanto em painéis.



A argamassa produzida com arenoso foi utilizada como base para a adição do agregado reciclado, sendo, portanto, chamada de argamassas ou traco **base**. A sua dosagem apresenta relação entre cimento e materiais secos não cimentícios — areia e arenoso — de 1:7,4 em massa, sendo que a proporção de arenoso, em relação à massa dos materiais secos não cimentícios, é de 30%.

A adição de agregados reciclados ocorreu nos teores de 30%, 50%, 75% e 100% em relação aos materiais secos não cimentícios. A argamassa com 30% de agregado reciclado (**AR 30**) foi produzida com a substituição de toda a massa do arenoso do traco base pelo agregado reciclado. Para as argamassas com 50%, 75% e 100% de agregado reciclado (**AR 50**, **AR 75** e **AR 100**), a areia foi substituída também pelo agregado reciclado. As argamassas com adição de 100% de agregado reciclado têm como materiais constituintes apenas cimento, agregado reciclado miúdo, água e aditivo, ou seja, todo o agregado miúdo (areia) e toda a adição argilo-mineral (arenoso) foram substituídos por agregado reciclado.

Essas dosagens foram determinadas com base nas características dos materiais, nos resultados das misturas experimentais e nos parâmetros definidos pelo Centro Tecnológico da Argamassa (CETA) — centro formado pela parceria entre a Escola Politécnica da UFBA e o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento do Estado da Bahia. As misturas experimentais permitiram ajustar as dosagens e definir os tracos. Nessas misturas, foram analisados o índice de consistência, o teor de ar incorporado, o consumo real de cimento e a massa específica prática das argamassas. Foram definidos os teores de 0,15% de aditivo incorporador de ar, para a argamassa com arenoso, e 0,10%, para as argamassas com agregado reciclado, tendo em vista a especificação do CETA, quanto ao teor de ar incorporado, entre 8 e 17%.

Nessa etapa, foram avaliadas argamassas com consumo de cimento de 160, 180 e 200 kg/m<sup>3</sup>. O consumo de 180 kg de cimento por m<sup>3</sup> foi escolhido para o prosseguimento dos estudos, uma vez que as argamassas com esse consumo apresentaram desempenho adequado na mistura experimental, e, segundo o procedimento CETA n° 1/99 (Neves & Maciel, 1999), esse consumo de cimento atende a uma grande faixa de aplicações (**Tabela 3**), ampliando as possibilidades de utilização das argamassas com material reciclado.

**TABELA 3 - APLICAÇÕES INDICADAS PARA ARGAMASSAS DA REGIÃO DE SALVADOR, COM CONSUMO DE CIMENTO DE 180 Kg/m<sup>3</sup> (NEVES & MACIEL, 1999)**

APLICAÇÃO DA ARGAMASSA	CONSUMO DE CIMENTO (Kg/m <sup>3</sup> ) EM FUNÇÃO DO TIPO DE APLICAÇÃO	
	INTERNA	EXTERNA
Assentamento de blocos	150 – 180	160 – 190
Emboço	160 – 180	180 – 210
Reboco	160 – 170	170 – 190
Camada única	160 – 180	180 – 210
Base para cerâmica	180 – 210	190 – 220

Foi utilizada, como **referência**, a argamassa mista de cimento e cal, visando à comparação do desempenho das argamassas com agregado reciclado. Essa argamassa foi dosada segundo as especificações estabelecidas pela American Society for Testing and Materials – ASTM C 91 para argamassa tipo O (Gomes, 2000).

Os tracos unitários, em massa seca, das argamassas utilizadas neste estudo são apresentados na **Tabela 4**, a seguir.

**TABELA 4 - TRAÇOS UNITÁRIOS DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS**

DOSAGEM							
NOMENCLATURA		BASE	AR 30	AR 50	AR 75	AR 100	REF <sup>★</sup>
Teor de Agregado Reciclado		—	30%	50%	75%	100%	—
Traço Unitário	Cimento	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0	1,00
	Cal	—	—	—	—	—	0,50
	Areia	5,20	5,20	3,69	1,79	—	8,26
	Arenoso	2,20	—	—	—	—	—
	Agregado Reciclado	—	2,20	3,69	5,38	7,07	—
	Água	1,58	1,34	1,37	1,45	1,53	1,63
	Aditivo	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	—

★ Argamassa de referência

As argamassas foram produzidas em betoneira de eixo inclinado, e o método de produção foi mantido constante. Antes da mistura, o agregado reciclado foi umidificado dentro da betoneira, durante 15 minutos, com parte da água de amassamento, tendo em vista a sua elevada absorção de água.

As argamassas produzidas foram analisadas visando à sua aplicação em revestimentos. Nesse sentido, foram realizados os seguintes ensaios para a avaliação das propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido, tanto em corpos-de-prova cilíndricos quanto em painéis (1,00 x 1,20m) de alvenaria de blocos cerâmicos chapiscada:

**No estado fresco**

- Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência — padrão (NBR 13276).

- Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado (NBR 13278).
- Determinação da retenção de água (NBR 13277).

#### **No estado endurecido – em corpos-de-prova**

- Determinação da resistência à compressão (NBR 13279).
- Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos (NBR 7222).
- Determinação da absorção de água por capilaridade (procedimento CETA nº 5/98, com base na NBR 9779).
- Determinação da absorção de água por imersão: índice de vazios e da massa específica (NBR 9778).

#### **No estado endurecido – em painéis de revestimento**

- Determinação da resistência de aderência à tração (NBR 13528).
- Determinação da dureza superficial do revestimento de argamassa (procedimento CETA nº 6/98).
- Absorção de água por sucção sob baixa pressão (procedimento CETA nº 7/99).

Os ensaios foram realizados nos Laboratórios do Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais da Escola Politécnica da UFBA, parte integrante do CETA. Os resultados apresentados para argamassas no estado endurecido correspondem ao ensaio realizado aos 28 dias.

Uma vez que são poucos os critérios nacionais para avaliação de desempenho disponíveis até o momento, neste estudo foram utilizados, para avaliação do comportamento do material, os seguintes parâmetros, sugeridos pelo Centro Tecnológico da Argamassa — CETA (Gomes, 2000):

- índice de consistência de  $260 \pm 10$  mm (similar ao intervalo estabelecido na NBR 13276);
- teor de ar incorporado entre 8 e 17%;



- teor de retenção de água superior a 75%.

Adotou-se, também, o limite máximo de 2 ml de absorção de água sob baixa pressão, aos 15 minutos de ensaio realizado no painel, com 28 dias de idade. Esse parâmetro é resultado de estudos sistemáticos das argamassas produzidas com os materiais disponíveis na região de Salvador, obtidos de vários trabalhos de pesquisa anteriores, desenvolvidos nos laboratórios do CETA.

Além disso, as propriedades das argamassas com agregado reciclado foram comparadas com as das argamassas base e referência.

Visando à complementação da análise, foi realizada uma **avaliação subjetiva** de um pedreiro experiente sobre o comportamento das argamassas produzidas com agregado reciclado. Essa avaliação abordou o desempenho do material quanto a facilidade de produção, manuseio, aplicação e acabamento, além da perda de trabalhabilidade durante o período de aplicação da argamassa sobre a alvenaria.

Foi realizada, ainda, a **avaliação econômica** preliminar da produção de argamassas de revestimento com utilização do agregado reciclado de Salvador. Essa avaliação teve por objetivo analisar a viabilidade econômica dessa forma de reciclagem e colaborar, assim, para a sua difusão no meio técnico.

## APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

O **índice de consistência** é uma das principais propriedades utilizadas para avaliação da trabalhabilidade das argamassas. A boa trabalhabilidade da argamassa é fundamental para que o revestimento fique adequadamente aderido ao substrato e para que o acabamento superficial esteja adequado à aplicação proposta.

Conforme apresentado no item anterior, o índice de consistência em todos os traços de argamassa analisada foi mantido na faixa de  $260 \pm 10$  mm (Figura 1).

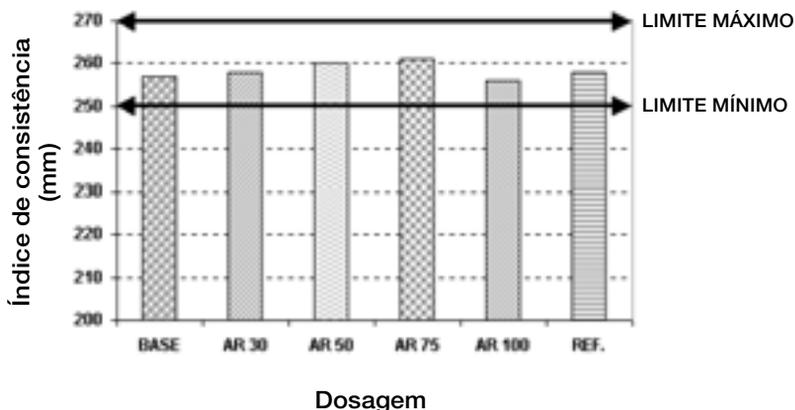
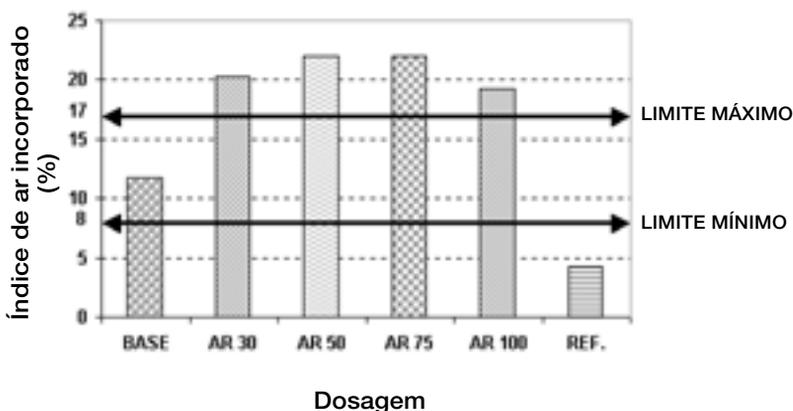


FIGURA 1 -ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS

As argamassas com agregado reciclado apresentaram **teores de ar incorporado** (Figura 2) superiores ao limite de 17%, indicado pelo CETA para argamassas produzidas com arenoso. Nas misturas experimentais, produzidas em argamassadeira de laboratório, o teor de ar incorporado encontrava-se dentro do limite estabelecido pelo CETA. Contudo, ao se produzir a argamassa em betoneira, os valores tenderam a aumentar, indicando que esse equipamento provoca maior incorporação de ar. Como os limites foram estabelecidos para argamassas produzidas com arenoso, esses foram utilizados como referência para a análise do desempenho das argamassas com agregado reciclado e não como fator limitante para utilização do material. A mesma consideração é válida para a argamassa produzida com cal, cuja

dosagem não contém aditivo incorporador de ar, uma vez que a cal já proporciona trabalhabilidade adequada. Observa-se, portanto, que as argamassas com agregado reciclado podem utilizar menor quantidade de aditivo incorporador de ar, mantendo-se a trabalhabilidade adequada.



**FIGURA 2 - TEOR DE AR INCORPORADO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS**

As argamassas com agregado reciclado apresentaram valores da **densidade de massa** entre 1,60 e 1,71 kg/dm<sup>3</sup>, sendo, portanto, argamassas menos densas que as produzidas com arenoso (1,85 kg/dm<sup>3</sup>) e com cal (2,06 kg/dm<sup>3</sup>). Essa diferença pode ser explicada pela maior quantidade de ar incorporado presente nas argamassas com material reciclado e pela menor massa específica apresentada pelo agregado reciclado em relação à areia e ao arenoso. Com base na densidade de massa e no teor de ar incorporado, foi calculado o **consumo de cimento**, verificando-se uma tendência à sua redução, à medida que é aumentado o teor de material reciclado nas argamassas (**Figura 3**).

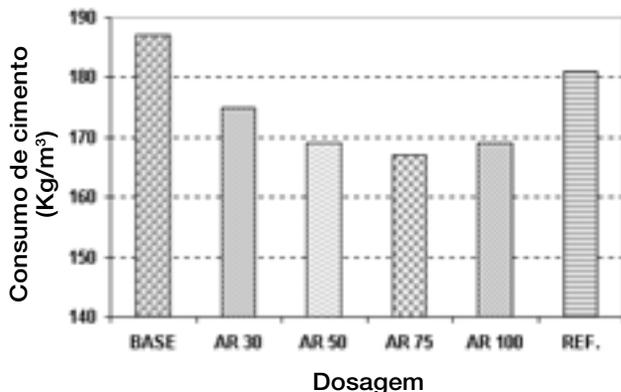


FIGURA 3 - CONSUMO DE CIMENTO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS

As argamassas estudadas apresentaram valores para **retenção de água** superiores a 75%, considerados pelo CETA como limite mínimo para argamassas com arenoso (Figura 4). Pode-se observar, também, que a retenção de água das argamassas diminui significativamente quando se substitui o arenoso pelo agregado reciclado e aumenta gradativamente à medida que se substitui areia por agregado reciclado.

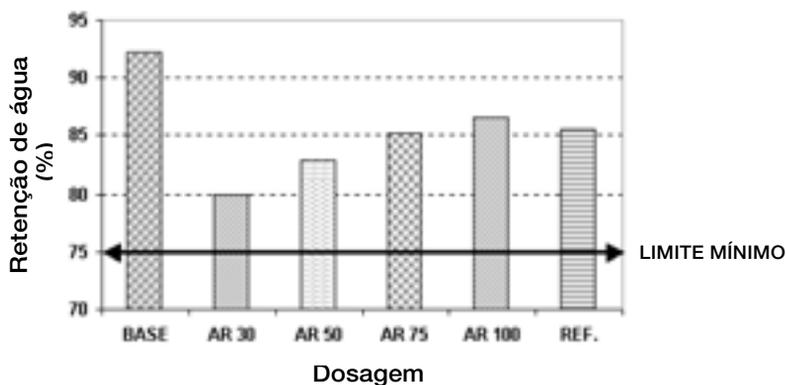


FIGURA 4 - RETENÇÃO DE ÁGUA DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS

## ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO – CORPOS-DE-PROVA

As argamassas estudadas apresentaram resultados para **resistência mecânica a compressão** entre 3,2 e 4,5 MPa, sendo que os resultados das dosagens AR 30 e AR 50 foram superiores aos da argamassa base. Os tracos de argamassa com adição de agregado reciclado apresentaram **resistência à tração por compressão diametral** entre 0,52 e 0,73 MPa. Destacou-se a argamassa com 50% de agregado reciclado (AR 50), que apresentou resistência à tração por compressão diametral superior às outras argamassas estudadas e elevada resistência à compressão axial (**Tabela 5**).

As argamassas produzidas com agregado reciclado apresentaram **absorção de água por capilaridade** inferior à das argamassas base e referência (**Tabela 5**). Portanto, os valores obtidos para as argamassas com material reciclado se mostram adequados para argamassas de revestimento, uma vez que absorveram menos água por capilaridade que as argamassas convencionais. A argamassa com adição de 50% mostrou comportamento superior, apresentando o menor coeficiente de absorção de água.

Contudo, o uso de agregado reciclado em argamassas provocou um aumento na **absorção de água por imersão**, o que pode ter sido causado pela grande absorção de água apresentada pelo material reciclado. Houve, também, um progressivo aumento da **porosidade** e do **índice de vazios**, confirmando a maior incorporação de ar quando se utiliza o agregado reciclado. Com o aumento do teor de agregado reciclado, pode-se perceber a tendência a redução das **massas específicas** seca e saturada (**Tabela 5**).

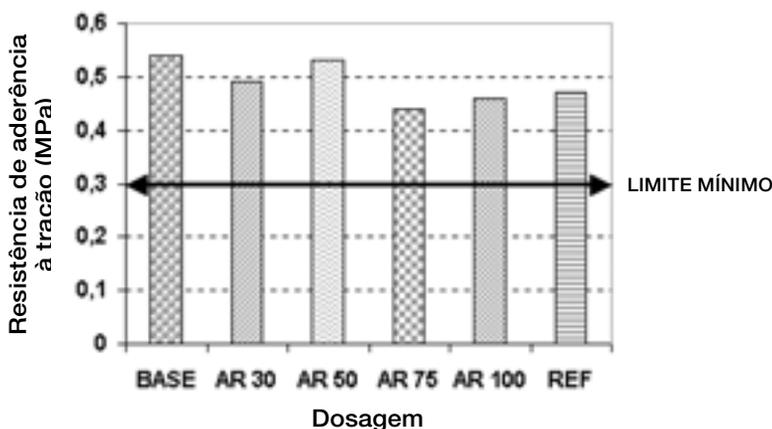


**TABELA 5 - PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS NO ESTADO ENDURECIDO EM CORPOS-DE-PROVA**

PROPRIEDADES		MÉTODO UTILIZADO	UNIDADE	BASE	AR 30	AR 50	AR 75	AR 100	REF.	
Compressão axial		NBR 13279	MPa	4,1	4,4	4,3	3,2	3,8	4,7	
Tração por compressão diametral		NBR 7222	MPa	0,70	0,60	0,75	0,50	0,55	0,65	
Absorção de água por capilaridade		CETA nº 5/98	Kg/m <sup>2</sup> . min <sup>1/2</sup>	0,81	0,72	0,51	0,55	0,64	1,42	
Absorção de água por imersão		Imersão fervura	%	14,70	12,90	14,70	18,00	21,40	12,80	
			%	17,00	22,60	25,10	29,90	31,20	15,00	
Porosidade		Imersão fervura	%	24,60	20,60	22,70	25,80	30,70	23,90	
			%	28,30	36,00	38,70	43,00	44,60	27,80	
Índice de vazios		Imersão fervura	%	32,70	25,90	29,40	34,80	44,20	31,40	
			%	39,40	56,30	63,30	75,40	80,40	38,40	
			Kg/dm <sup>3</sup>	1,66	1,60	1,54	1,44	1,43	1,85	
Massa específica		saturada	Kg/dm <sup>3</sup>	1,90	1,80	1,77	1,70	1,73	2,08	
			real	Kg/dm <sup>3</sup>	2,31	2,50	2,52	2,52	2,56	2,56

## ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO - PAINÉIS DE REVESTIMENTO

As argamassas estudadas apresentaram resultados de **resistência de aderência à tração** significativamente superiores a 0,30 MPa, limite estabelecido pela NBR 13749. A adição de 50% de agregado reciclado (AR 50) aponta para uma melhoria da resistência de aderência à tração, em comparação à das demais argamassas com agregado reciclado e à da argamassa com cal, além de apresentar valor similar ao obtido pela argamassa base (**Figura 5**).

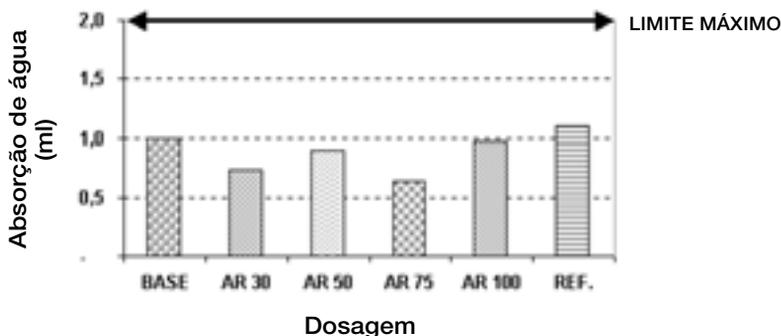


**FIGURA 5 - RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS**

De um modo geral, as argamassas estudadas apresentaram resultados similares para a **dureza superficial**, cerca de 45. Apenas as argamassas AR 75 e AR 100 apresentaram valores inferiores, 40 e 42, respectivamente.

As argamassas com agregado reciclado obtiveram, aos 15 minutos, valores de **absorção de água sob baixa pressão** inferiores a 1,0 ml, ou seja, menos da metade do valor máximo limite (**Figura 6**).

Desse modo, pode-se concluir que os revestimentos produzidos com as argamassas estudadas atenderam à especificação quanto à permeabilidade, apesar do aumento da absorção de água verificado nos corpos-de-prova, para o ensaio de absorção por imersão.



**FIGURA 6 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR SUCÇÃO DE BAIXA PRESSÃO DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS, AOS 15 MINUTOS DE ENSAIO.**

### **AVALIAÇÃO SUBJETIVA DAS ARGAMASSAS**

A argamassa base, com adição de arenoso, apresentou excelente adesão ao substrato e nenhuma perda significativa de água, e, desse modo, a trabalhabilidade se manteve constante durante o período de aplicação. Essa argamassa permitiu um bom acabamento com uso do sarrafo, resultando num revestimento liso.

Já a argamassa de referência mista, com cimento e cal, não apresentou boa aderência inicial ao substrato. Por outro lado, a perda de água dessa argamassa, ao longo do tempo, foi pequena, não prejudicando a trabalhabilidade. Essa argamassa permitiu excelente acabamento, resultando num revestimento sem irregularidades.

As argamassas com o material reciclado, de uma maneira geral, apresentaram consistência muito boa logo após o processo de mistura. Entretanto, há uma significativa perda de água ao longo



do tempo, o que diminui a trabalhabilidade durante o processo de aplicação e acabamento. Apesar de essas argamassas terem excelente aderência inicial ao substrato, apresentaram, para teores elevados de agregado reciclado, acabamento superficial áspero.

Por fim, na análise visual dos painéis, após 28 dias de executados, não foi verificado o surgimento de fissuras, indicando que as argamassas estudadas não apresentaram retração por secagem, apesar da significativa quantidade de partículas finas presentes no agregado reciclado.

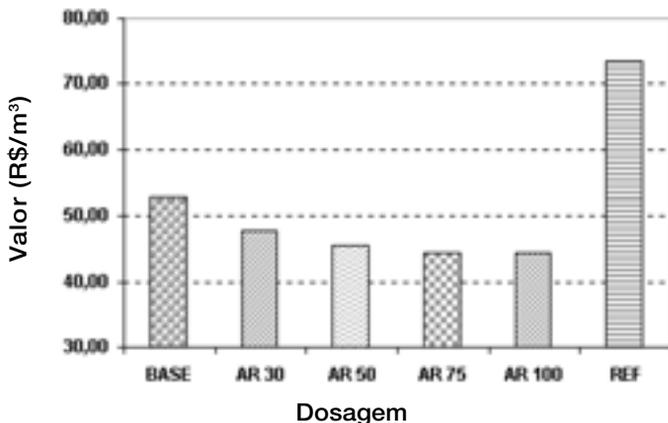
### **AVALIAÇÃO ECONÔMICA**

Uma vez comprovada a viabilidade técnica do uso do agregado reciclado em argamassas, a sua viabilidade econômica torna-se um aspecto fundamental para a aceitação dos novos produtos pelo mercado consumidor. A avaliação realizada pelo Projeto Entulho Bom visou a uma análise preliminar da viabilidade econômica da produção de argamassas de revestimento com o agregado reciclado, comparando-a com a das argamassas base (com arenoso) e referência (com cal).

Os custos de equipamento, mão de obra e materiais foram cotados no mercado de Salvador no período de abril a maio de 2000. A cotação de preços da areia e do arenoso utilizados na execução desse serviço foi obtida de lojas de materiais de construção da região, visto que esse tipo de comércio preenche as necessidades de pequenas obras, reformas, ampliações e habitação popular.

O uso de agregado reciclado em argamassas proporcionou uma redução de custos de produção de até 37%, quando comparados com os da argamassa de cal (REF), e de até 16% quando comparados com os da argamassa base, convencionalmente utilizada na região de Salvador (**Figura 7**). Essa redução de custo se deve ao

menor preço do agregado reciclado (cerca de R\$ 11,00/m<sup>3</sup>) em relação à areia (cerca de R\$ 15,00/m<sup>3</sup>) e ao arenoso (cerca de 13,00/m<sup>3</sup>), ao menor consumo de cimento das argamassas com agregado reciclado e, no caso da argamassa de referência, ao elevado preço da cal (cerca de R\$ 5,00 por saco de 20 kg).



**FIGURA 7 - CUSTO POR M<sup>3</sup> DAS ARGAMASSAS ESTUDADAS**

## CONCLUSÃO

A utilização do agregado reciclado de Salvador em substituição à areia e ao arenoso, na produção de argamassas de revestimento, apresentou-se como alternativa tecnicamente viável, proporcionando, inclusive, redução significativa do custo do material.

O processo de produção das argamassas com agregado reciclado não diferiu significativamente do das argamassas convencionais, devendo-se, apenas, umedecer previamente o material reciclado. Contudo, o modo de mistura influenciou o teor de ar incorporado da argamassa, pois o uso da betoneira para misturas das argamassas com agregado reciclado promoveu um aumento na quantidade



de ar incorporado, quando comparado com a das argamassas produzidas na argamassadeira. Buscando evitar valores elevados de ar incorporado, deve-se diminuir o teor de aditivo incorporador de ar adicionado às misturas.

No estado fresco, as argamassas com adição de agregado reciclado apresentaram consistência adequada. Entretanto, à medida em que se aumentou o teor de agregado reciclado, houve uma significativa perda de água ao longo do tempo, o que diminuiu a trabalhabilidade durante o processo de aplicação e acabamento.

No estado endurecido, as argamassas com agregado reciclado apresentaram desempenho adequado, destacando-se a resistência a tração, superior ao limite estabelecido na NBR 13749, e a absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, inferior à das argamassas base e referência e menor que a metade do limite adotado pelo CETA para painéis de revestimento.

De um modo geral, a argamassa com 50% de agregado reciclado apresentou o melhor desempenho na maioria das propriedades avaliadas, destacando-se como o teor mais indicado para a produção de argamassas com os materiais utilizados pelo Projeto Entulho Bom.

Além disso, as argamassas com agregado reciclado apresentaram comportamento semelhante ao das argamassas analisadas em trabalhos sobre reciclagem de entulho em canteiro, indicando que tanto o agregado reciclado produzido em canteiro quanto o produzido em usina de reciclagem podem apresentar comportamento satisfatório para a sua utilização em argamassas de revestimento. Contudo, as características do entulho, e, por consequência, dos agregados reciclados, podem variar em cada região e ao longo do tempo. Portanto, os resultados desta pesquisa não devem ser generalizados, tornando-se necessária a realização de estudos específicos para a análise de materiais de outras regiões.

No caso dos revestimentos, uma das principais exigências de desempenho é a durabilidade, que deve ser entendida como a capacidade de suportar, durante a vida útil para o qual foram projetados, as condições físicas e químicas, às quais estão expostos e que podem provocar sua degradação (Comisión Permanente del Hormigón, 1999 citado por Lima, 1999b). Nesse sentido, buscando o aprofundamento do conhecimento desenvolvido pelo Projeto Entulho Bom, deverão ser realizados estudos sobre a durabilidade das argamassas que contêm agregado reciclado e projetos-piloto que avaliem esse material em uso. Nesses estudos, deverá ser avaliado o desempenho das argamassas de revestimento ao longo do tempo e em utilização, além de ser analisada a adequação desse novo material às necessidades do usuário.

Sugere-se, também, a avaliação do processo de incorporação de ar da argamassa, ao se utilizar agregado reciclado, sobretudo quando misturado em betoneira.

Futuras pesquisas poderão abordar, ainda, a influência do agregado reciclado no comportamento das argamassas de assentamento de blocos e de base para cerâmica, além da avaliação da retração do material.

Para o desenvolvimento desses estudos, é de significativa importância que sejam identificados critérios adequados para avaliação tanto das argamassas convencionais quanto das argamassas produzidas com agregado reciclado.

A produção de argamassas com agregado reciclado é simples e resulta num produto final de qualidade, possibilitando o seu uso como revestimento de moradias. A produção de materiais de construção que utilizam agregado reciclado surge, assim, como uma alternativa acessível de melhoria e ampliação da oferta de habitações.



O drama da habitação popular ainda se constitui num grande desafio, não só para os agentes governamentais incumbidos desses problemas, como para os pesquisadores de um modo geral. De forma independente, a população pobre avança sobre a cidade, construindo os seus casebres, num verdadeiro cinturão de pobreza, usando os seus poucos recursos para vencer os obstáculos. A produção de agregados de baixo custo para a habitação popular e o aproveitamento de resíduos dispostos, de forma indevida, em diversos espaços da cidade são ações de significativa importância na busca de soluções para a recuperação de áreas urbanas degradadas.



#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARNEIRO, Alex P. et al. Construction waste characterisation for production of recycled aggregate - Salvador/Brasil. In: SCIENCE AND ENGINEERING OF RECYCLING FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION, Wascon, 2000. *Anais...* Leeds, 2000. p.825-835.
- CAVANI, Gilberto R.; ANTUNES, Rubiane P. N.; JOHN, V. M. Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: UFBA/ANTAC, 1997. p.110-119.
- CINCOTTO, Maria Alba; SILVA, Maria Angélica Covelo; CASCUDO, Helena Carasék. *Argamassa de revestimento*: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo, IPT. 1995. p.118.
- COMISSIÓN PERMANENTE DEL HORMIGÓN. *Instrucción de Hormigón Estructural*, EHE. Madrid, 1999.
- GOMES, Adailton de Oliveira. *Absorção de água por sucção de baixa pressão*. Salvador: CETA/UFBA, 1999. p.3. (Procedimento CETA, 7/99)

GOMES, Adailton de Oliveira. *Influência dos argilominerais nas propriedades das argamassas de revestimentos em Salvador: uma contribuição à qualidade ambiental*. 2000. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, 2000. p.215.

HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. Uso do entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 1996. p. 107-115.

JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. 2000. 120f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. p.102.

KELLY, K.; WILLIAMS, P. Spinning waste into gold in construction. *ENR*, Engineering News Record, v.234, n.16, p. E. 32, 34, 37, 1995.

LEVY, Salomon. *Reciclagem do entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concretos*. 1997. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. p.143.

LIMA, José Antonio Ribeiro de. *Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos*. 1999. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999a.

LIMA, Luciana Amaral de. *Hormigones com escórias de aceria de borno eléctrico como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental*. 1999. Tese (Doutorado) - Universidade Politécnica da Catalunha, Barcelona, 1999b.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosemback. *Estudo dos fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado*. 2000. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

NEVES, Célia; MACIEL, Luciana., *Absorção de água por capilaridade*. Salvador: CETA/UFBA, 1998a. p.5. (Procedimento CETA, 5/98)

NEVES, Célia; MACIEL, Luciana., *Determinação da dureza superficial do revestimento de argamassa*. Salvador: CETA/UFBA, 1998b. p.3. (Procedimento CETA, 6/98)

NEVES, Célia; MACIEL, Luciana. *Dosagem de argamassa para revestimento de paredes e tetos*. Salvador: CETA/UFBA, 1999. p.11. (Procedimento CETA, 1/99)

PINTO, T. P. Entulho de construção: problema urbano que pode gerar soluções. *Construção*, São Paulo, n. 2325, p. 11-12, ago. 1992.

PINTO, T. P. *Manual de uso dos resíduos de construção reciclados*. São Paulo: I & T, 1998.

PINTO, T. P. *Utilização de resíduos de construção*: estudo do uso em argamassas. 1986. 148f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

SILVA, Antônio S. R. da et al. Argamassa inorgânica com o emprego de entulho reciclado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: UFBA/ANTAC, 1997. p. 203-206.

ZORDAN, Sérgio Eduardo. *A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto*. 1997. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.



## **NORMAS TÉCNICAS CITADAS<sup>1</sup>**

NBR 6459 - *Solo*: determinação do limite de liquidez: método de ensaio. 1984.

NBR 6467 - *Agregados*: determinação de inchamento de agregado miúdo método de ensaio. 1987.

NBR 6508 - *Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm*: determinação da massa específica: método de ensaio. 1984.

NBR 7180 - *Solo*: determinação do limite de plasticidade: método de ensaio. 1984.

- NBR 7181 - *Solo*: análise granulométrica: método de ensaio. 1984.
- NBR 7217 - *Agregados*: determinação da composição granulométrica: método de ensaio. 1987.
- NBR 7219 - *Agregados*: determinação do teor de materiais pulverulentos: método de ensaio. 1987.
- NBR 7220 - *Agregados*: determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo: método de ensaio. 1987.
- NBR 7222 - *Argamassas e concretos*: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos: método de ensaio. 1983.
- NBR 7251 - *Agregado em estado solto*: determinação da massa unitária: método de ensaio. 1982.
- NBR 9776 - *Agregados*: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman: método de ensaio. 1987.
- NBR 9778 - *Argamassa e concreto endurecidos*: determinação da absorção de água por imersão: índice de vazios e massa específica: método de ensaio. 1987.
- NBR 9779 - *Argamassa e concreto endurecidos*: determinação da absorção de água por capilaridade. 1987.
- NBR 13276 - *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos*: determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão: método de ensaio. 1995.
- NBR 13277 - *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos*: determinação da retenção de água: método de ensaio. 1995.
- 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. 1995.
- NBR 13279 - *Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos*: determinação da resistência à compressão: método de ensaio. 1995.

NBR 13528 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração*: método de ensaio. 1995.

NBR 13749 - *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas*: especificação. 1996.

<sup>1</sup> Publicação ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.



**Marcos Jorge Almeida Santana** - Engenheiro Civil, PhD, MSc, Professor do MEAU / UFBA, Consultor do Projeto Entulho Bom

**Alex Pires Carneiro** - Engenheiro Civil, Mestrando em Engenharia Ambiental Urbana - UFBA, Coordenador do Projeto Entulho Bom

**Tais Santos Sampaio** - Engenheira Civil, Pesquisadora do Projeto Entulho Bom - Universidade Federal da Bahia - UFBA