



ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM AGREGADOS RECICLADOS MISTOS PENEIRADOS: UMA ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS OCASIONADOS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL

Rosana Prado Oliveira – ropradoliveira@hotmail.com.br
Universidade Federal de Santa Maria | Mestre em Engenharia Civil e Preservação Ambiental

Prof. Dr. Antônio Luiz Guerra Gastaldini – alggastaldini@gmail.com
Universidade Federal de Santa Maria | Depto. Estruturas e Construção Civil | Centro de Tecnologia

Artur Spat Ruviano – arturspatruviano@gmail.com
Universidade Federal de Santa Maria

Resumo: A construção civil tem grande importância no desenvolvimento econômico do país, devido à posição de destaque que o setor ocupa na economia, com geração de empregos, viabilização de moradias, renda e infraestrutura. No entanto, é também responsável por graves problemas ambientais relacionados aos processos construtivos. Diante da atual preocupação com sustentabilidade, a reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD), é um tema a ser discutido, pois reduz impactos ambientais como a extração de matéria prima natural e a poluição, causada pela destinação inadequada desses materiais. Os resíduos reciclados podem ser aplicados em diversos usos na construção civil e a utilização de areia reciclada em argamassas de revestimento, é uma das mais viáveis, visto que não estão sujeitas a esforços estruturais. No entanto ainda há dificuldade na utilização, devido à heterogeneidade do material e ao teor de finos, muitas vezes relacionado à fissuração de argamassas. Esse artigo é proveniente de uma dissertação de mestrado e neste trabalho, foi realizada a investigação frente à influência do teor de finos dos agregados reciclados nas argamassas de revestimento. Para avaliar essa influência foram analisadas as principais propriedades das argamassas. No estudo concluiu-se que as argamassas com agregado reciclado peneirado - entre elas, a argamassa com 30% de substituição de agregado natural por agregado reciclado - apresentaram melhores propriedades e menor susceptibilidade à fissuração, em relação às argamassas com agregado não peneirado, demonstrando ser uma alternativa para a minimização de impactos ambientais, com grande potencial para uso na indústria da construção.

Palavras chave: agregado reciclado peneirado, minimização de impactos ambientais, argamassas de revestimento.



COATING MORTAR WITH RECYCLED AGGREGATES MIXED SIEVED: AN ALTERNATIVE TO REDUCING ENVIRONMENTAL IMPACTS CAUSED BY CONSTRUCTION

Abstract: *The expansion of the construction is of great importance for the economic development of the country, due to the prominent position the sector takes in economy, creating jobs, enabling housing, income and infrastructure. However, it is also responsible for serious environmental problems related to the construction processes. Given the current concern about sustainability, recycling of waste from construction and demolition (WCD), is a topic to be discussed because it reduces environmental impacts such as the extraction of raw natural material and pollution caused by improper disposal of these materials. The recycled waste may be applied in various uses in the construction and the use of recycled sand mortar coating is one of the most viable, since they are not subject to structural efforts. However there is still difficulty in use, because of the heterogeneity of the material and the fines content, often related to cracking mortar. This article is from a dissertation and in this work, the research was performed against the influence of the fines content of recycled aggregates in the mortar coating. To evaluate this influence the main properties of mortars were analyzed. The study concludes that, mortars with recycled and sieved aggregate among they, the mortar with a 30% replacement of natural aggregate by crushed and sieved recycled aggregate, showed better properties and lower susceptibility to cracking, relative to mortars with unsieved aggregate showing that an alternative to the minimization of environmental impacts, with great potential for use in the construction industry.*

Keywords: *sieved recycled aggregate, minimizing environmental impacts, coating mortar*

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a humanidade desenvolveu a exploração contínua dos mais variados recursos naturais sem se preocupar com as ameaças dessa atividade aos ecossistemas.

De acordo com Neto (2005), a partir da segunda metade do século XX o descontrolado crescimento populacional impulsionou o aumento da demanda por bens e serviços, o que gerou uma sociedade de consumo e desperdício como jamais havia ocorrido. Paralelamente, aliado ao avanço tecnológico, o progresso da indústria propiciou a criação de novos produtos, cujo uso indiscriminado levou à dilapidação dos recursos naturais. Nesse paradigma, a preservação da natureza era vista como contrária ao desenvolvimento e os recursos naturais eram considerados inesgotáveis. Tradicionalmente, os resíduos gerados durante a produção e ao final de sua vida útil eram descartados em aterros irregulares.

É recente a percepção de que esse caminho levaria a natureza rapidamente à catástrofe, da qual já existem indícios inequívocos, como problemas relacionados ao consumo energético, exemplificados no aquecimento global e na chuva ácida; e relacionados ao meio ambiente, como desmatamento e desertificação. Esse discernimento fez com que a questão ambiental passasse a ser discutida em diversas áreas do conhecimento.

Nesse contexto, a construção civil, embora seja de grande importância para o desenvolvimento econômico do país devido à posição de destaque que o setor ocupa na economia, com a geração de número elevado de empregos, viabilização de moradias, renda e infraestrutura, é também responsável por graves problemas ambientais relacionados aos processos construtivos, como a extração de matérias primas naturais e a geração de grande volume de resíduos nas construções e demolições de obras.



Segundo Angulo (2000), com a chegada do conceito de desenvolvimento sustentável e a necessidade de novas relações da população com o meio ambiente, a construção civil passa por importantes transformações. Redução de desperdício, busca de melhor qualidade de seus produtos, reciclagem de seus resíduos, projetos voltados para sustentabilidade ambiental, aumento da durabilidade de componentes passam a ser preocupações no campo da pesquisa.

Essa preocupação com a sustentabilidade faz com que a procura por inovações se intensifique cada vez mais nesse setor. Visando a isso, tem-se buscado, entre outras ações, tornar viável a reciclagem dos resíduos de construção e de demolição para substituição de agregados naturais, podendo ser aplicados em diversos usos na construção civil.

Para Dal Molin et al. (2009), uma solução possível para a redução dos impactos causados pelo setor centra-se na reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) para a produção de agregados, destacando-se a sua reutilização como matéria prima na própria construção civil.

Miranda e Selmo (2003) também destacam que opções para a reciclagem de RCD não faltam, e a produção de areia reciclada para uso em argamassas de assentamento e de revestimentos talvez seja uma das mais viáveis, visto que não estão sujeitas a esforços estruturais.

Embora as primeiras pesquisas científicas no Brasil, envolvendo o uso de agregados reciclados de resíduos de construção civil (RCD) em argamassas, tenham sido realizadas por Pinto em 1986 e a partir daí já existam muitos estudos na área, hoje, trinta anos após, pouco se tem aplicado na prática, devido às dificuldades ainda encontradas na reciclagem e na produção dessas argamassas.

Entre os principais desafios encontrados estão: as características dos agregados reciclados de RCD, como a forma e a textura desses materiais; o teor de finos, muitas vezes associado a manifestações patológicas como a fissuração; a heterogeneidade do material e a dificuldade de separação dos resíduos. Além disso, a carência de uma interpretação dos parâmetros de classificação das argamassas segundo as suas condições de uso, determinando limites mínimos a serem alcançados em cada propriedade das argamassas, dificulta a utilização de novos materiais.

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de contribuir para o avanço do estudo das características dos agregados reciclados e do comportamento das argamassas, quando incorporados estes materiais.

2. RELEVÂNCIA DO ESTUDO

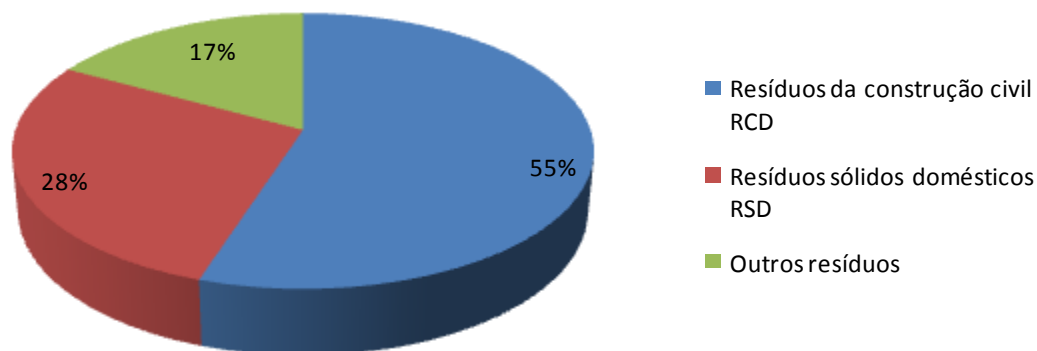
No Brasil, o sistema construtivo mais utilizado continua a ser a estrutura de concreto e a vedação em alvenaria. Esse sistema é caracterizado por gerar grandes impactos ambientais.

Nascimento e Selmo (2007) destacam que a cadeia da construção civil apresenta como impactos ambientais mais significativos a extração contínua de matérias primas naturais, a produção de insumos e a geração de resíduos nas construções e demolições de obras.

Para dimensionar a realidade dos resíduos de construção e demolição no país são apresentados dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil referente ao ano de 2013, divulgados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2013). Foram coletadas pelo poder público a quarenta e dois milhões de toneladas, o que equivale a 55% dos resíduos totais coletados (figura 1).

No que diz respeito aos Resíduos de Construção e Demolição a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 e sua regulamentação, por meio de Decreto Presidencial nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010, responsabiliza os geradores pela disposição. Apenas os resíduos depositados em áreas públicas e oriundos de obras públicas apresentam dados estatísticos compilados a seu respeito. Então, estima-se que esse valor seja muito superior aos números divulgados.

Figura 1 - Resíduos sólidos no Brasil em 2013



Fonte: adaptado de dados da ABRELPE

Entre os benefícios advindos da utilização do agregado reciclado, proveniente de RCD, em argamassas, pode-se citar a economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais pelo resíduo, a redução da poluição originada pelo RCD, geralmente enviado a aterros ou áreas clandestinas (causando o assoreamento de rios, córregos e lagos, o entupimento da drenagem urbana, acarretando em enchentes e outros problemas) e a preservação das reservas naturais de matéria-prima.

Neste trabalho optou-se por utilizar o material misto na composição que ele apresentar, apenas com controle granulométrico, pois a separação dos resíduos por tipo de material implica maior custo, podendo até inviabilizar a reciclagem em larga escala.

Muitos autores atribuem aos finos presentes nos agregados reciclados, principalmente quando há presença de material cerâmico, o surgimento de manifestações patológicas como a fissuração. Nascimento e Selmo (2007) sugerem separação dos finos por lavagem. Nesta pesquisa optou-se por realizar o peneiramento a seco da fração menor que 0,075mm, evitando o desperdício de água e lodo produzido quando se realiza a lavagem do material.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais utilizados

As argamassas foram compostas pelos seguintes materiais: cimento Portland do tipo CP II-E-32, areia natural, de rio, areia reciclada da reciclagem de RCD, proveniente de tijolos, blocos cerâmicos, telhas, argamassas endurecidas, resíduos de concreto, rochas e piso cerâmico, cal hidratada especial CH II. A água utilizada na moldagem dos corpos de prova foi proveniente da rede de abastecimento, fornecida pela CORSAN.

3.2. Preparo dos materiais

Neste trabalho, buscou-se utilizar o material apenas com transformação física. Muitos estudos são feitos com percentuais definidos de RCD provenientes de argamassa ou cerâmica, no entanto entende-se que materiais vindos de demolições são heterogêneos e provenientes de várias etapas da obra, sendo compostos de concreto, argamassas, cerâmica vermelha e, muitas vezes, esses materiais estão associados, sendo impossível dissociá-los, como é o caso de cerâmicas vermelhas unidas por argamassa de assentamento, ou com argamassas de revestimento.

Então, optou-se por usar o material com os percentuais que ele possuísse naturalmente, desde que, em uma mesma carga, não houvesse muita variabilidade.

O material utilizado foi proveniente de uma mesma carga de 3m³ de resíduos, fornecida pela usina de reciclagem de Santa Maria, RS. Após passar pelo processo de reciclagem e separação manual do material não caracterizado como RCD, a carga foi levada à Universidade Federal de Santa Maria. Os resíduos de construção e demolição são mistos, tendo em vista que a empresa não possui equipamentos de separação, tampouco separação manual, apresentando, como materiais principais, cerâmica, argamassas e concretos.

Para a caracterização do material a ser utilizado nesta pesquisa, foram selecionadas duas amostras retiradas de diferentes locais da carga total, e determinada a sua composição gravimétrica, metodologia semelhante à adotada por Lima e Cabral (2013).

Cada amostra, após ser lavada e seca em estufa, foi pesada, contendo 25 kg e passou por um processo de triagem, que consistia na simples averiguação visual e retirada de materiais provenientes de classe B, tais como madeira, vidro, metais e plásticos, além de gesso e materiais não caracterizados como RCD. Foi então realizada a separação manual dos materiais (figura 2), em que foram pesadas as frações constituintes e determinada a composição em percentuais (tabela 1).

Figura 2 - (a) amostra 1; (b) amostra 2 - após a separação manual



Na análise gravimétrica, percebe-se que o material dessa carga é bastante homogêneo, visto que, ao selecionar duas amostras de locais diferentes do todo, obteve-se resultados com percentuais bastante semelhantes.

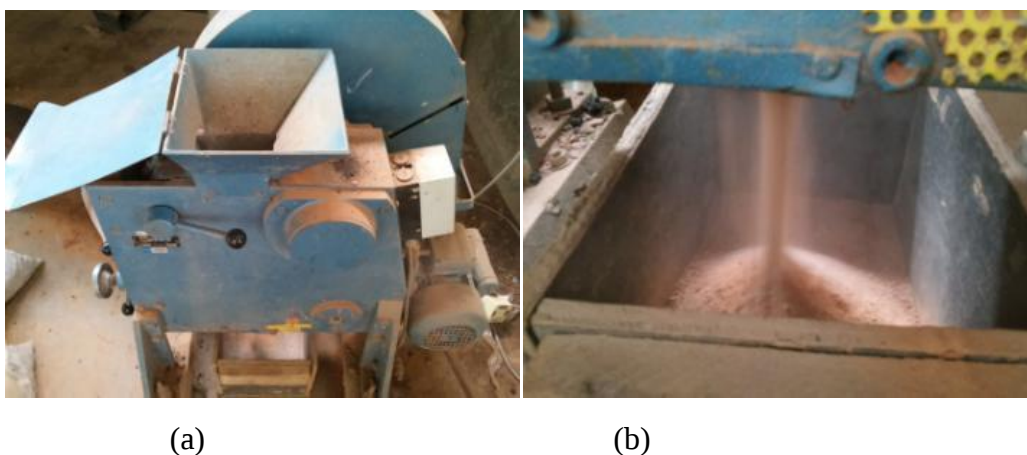
Devido ao fato de a usina ainda não possuir peneiras, os resíduos vêm com grande quantidade de solo e presença de alguns materiais não caracterizados como RCD. O material utilizado, neste estudo, foi inicialmente peneirado em peneira 4,75mm, - para a retirada do solo que pode ser usado para aterros - depois lavado (materiais ainda inteiros), foram retirados gesso e materiais não classificados como resíduos classe A e, finalmente, foi seco em estufa. A areia também foi lavada e seca em estufa. Os RCD foram cominuídos em britador tipo mandíbula, (figura 3), com abertura pré-definida, através de testes, fixada em meia volta, aproximando ao máximo à granulometria da areia,

depois, homogeneizados, a fim de obter-se um material com características uniformes para a realização dos ensaios.

Tabela 1 - Composição gravimétrica do RCD

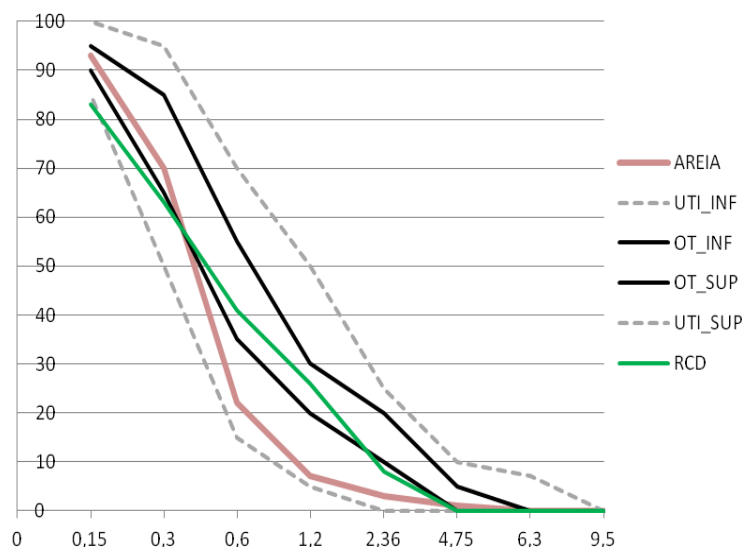
Material	Amostra 1		Amostra 2		Média
	kg	%	kg	%	
Tijolo/bloco cerâmico/ telha	10,26 kg	41%	10,28kg	41,1%	41,1%
Argamassas endurecidas	7,44 kg	29,7%	6,85kg	27,4%	28,5%
Concretos rochas e britas	5,14kg	20,56%	5,5kg	22%	21,28%
Outros	2,16kg	8,74%	2,37kg	9,5%	9,12%
Total	25kg		25kg		100%

Figura 3 – (a) britador tipo mandíbula utilizado; (b) material resultante do processo



Realizou-se o ensaio de composição granulométrica de acordo com a NM 248 (ABNT, 2003) e o RCD ficou dentro do teor aceitável da areia (figura 4). Conforme o esperado e já constatado por outros autores, como Miranda (2000) e Ângulo (2005), notou-se que o RCD possui um teor elevado de finos, quando comparado ao agregado natural.

Figura 4 – Curvas granulométricas da areia e do RCD britado



3.3. Ensaios de propriedades das argamassas

Para que os revestimentos de argamassas possam cumprir suas funções adequadamente, eles precisam apresentar um conjunto de propriedades específicas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Para avaliar a influência dos finos dos agregados reciclados provenientes de RCD e do teor de substituição de agregado natural por agregado reciclado, foram preparadas misturas com 20%, 30%, 40%, e 50% de substituição de agregado natural por agregado reciclado britado e peneirado (sem finos), que tiveram seu desempenho comparado ao das misturas contendo agregado reciclado britado não peneirado (com finos) e à mistura de referência, contendo como agregado areia natural. Os ensaios para determinação das propriedades das argamassas foram executados, segundo as normas vigentes e a argamassa denominada 30%SF (30% de substituição de agregado reciclado sem finos) apresentou melhor conjunto de propriedades. Sendo assim, foi realizado um ensaio complementar para análise da influência do teor de finos na argamassa, compondo um sistema de revestimento para verificar sua aplicabilidade.

3.4. Ensaio na argamassa compondo um sistema de revestimento

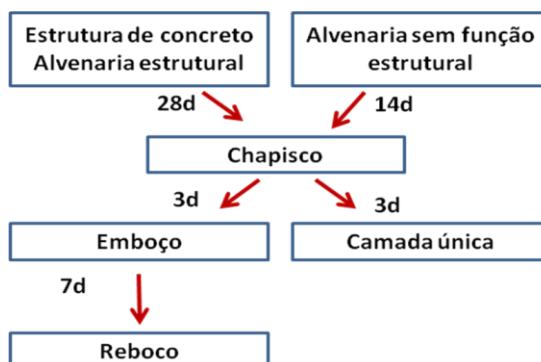
Para o ensaio em um sistema de revestimento foi construída uma parede de alvenaria no LMCC, medindo 300 cm de largura por 200 cm de altura, utilizando tijolos cerâmicos seis furos, por ser um material comumente usado nas cidades do interior do Rio Grande do Sul, executada em área interna, abrigada de chuva, ventos e de insolação direta. Para a execução do revestimento, seguiu-se o cronograma (em dias, apresentado na figura 5) indicado pela NBR 7200 (ABNT, 1998).

Após 14 dias, a parede foi chapiscada com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 (cimento: areia grossa), em volume. O chapisco foi curado por três dias antes da execução das camadas de revestimento, para a hidratação dos grãos de cimento.

Optou-se pela realização do chapisco devido aos resultados encontrados por pesquisadores como Miranda (2000), que constataram ter o chapisco assegurado um melhor desempenho do revestimento, diminuindo o número de fissuras, possivelmente por propiciar uma maior área de

contato e uma melhor distribuição das tensões internas, atuantes no revestimento, desde a sua aplicação.

Figura 5 – Cronograma de execução das camadas de revestimento em dias



Foram escolhidas três argamassas e revestidos três painéis. Um com a argamassa de referência, um com a argamassa 30%SF (por ter obtido melhor conjunto de propriedades, entre as argamassas pesquisadas) e um com a argamassa 30%CF (para comparação entre as argamassas SF e CF). Cada argamassa foi preparada em betoneira, da mesma forma que as argamassas produzidas na argamassadeira para os ensaios anteriores. Os agregados e a cal hidratada foram misturados com parte da água 24 horas antes da sua utilização. A aplicação da argamassa foi realizada após a limpeza da superfície. A parede foi molhada meia hora antes da execução do revestimento e foram revestidos os painéis de 90x110 e espessura de 2,5 cm, por um pedreiro experiente (Figura 6). O lançamento foi feito de baixo para cima, logo após, fez-se o sarrafeamento e esperou-se 30 minutos para a execução do desempeno.

Figura 6 – Execução das argamassas - (a) painéis chapiscados; (b) lançamento; (c) sarrafeamento; (d) desempeno



Decorridos 28 dias, o ensaio foi realizado em conformidade com a NBR 13528 (2010). Os revestimentos foram avaliados quanto ao potencial de aderência à tração e quanto à fissuração. O ensaio foi realizado em 12 corpos de prova, distribuídos aleatoriamente, espaçados entre si, contemplando arrancamentos em juntas e tijolos.

4. AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS COMPONDO UM SISTEMA DE REVESTIMENTO

Com base na revisão da literatura, pode concluir-se que a incorporação de agregados reciclados em argamassas para substituir agregados convencionais (areia) em pequenas proporções (entre 10% e 30%) pode melhorar as suas propriedades. Já para índices de mais de 50%, a incorporação pode influir negativamente nas propriedades das argamassas.

Neno et al., (2013), com base nos resultados de seu estudo, recomendam usar agregado reciclado substituindo parcialmente a areia, desde que a substituição não seja superior a 20% do volume total da argamassa.

Silva et al. (2010) recomendam a substituição de até 15% do agregado natural por agregado reciclado de cerâmica vermelha.

Moriconi et al., (2005), utilizando 30% de substituição de agregado natural por agregado reciclado de tijolo cerâmico, constataram que as argamassas em geral apresentaram propriedades satisfatórias.

Sendo assim, optou-se por revestir três painéis: um com a argamassa de referência; um com a argamassa 30% SF; e um com a argamassa 30% CF, (para comparação entre argamassas iguais, com e sem finos), para a análise do comportamento quando utilizadas em um sistema de revestimento. (Figura 7)

Segundo Carasek (1997), o tipo de substrato, o tipo de argamassa e o teor de umidade do substrato exercem influência na resistência de aderência, contudo o fator individual de maior influência é o tipo de argamassa.

Miranda (2000) observou, em seu estudo, que a influência do tempo de sarrafeamento na fissuração foi secundária em argamassas que, por sua composição, tipo de substrato e/ou condições atmosféricas, desenvolveram tensões internas suficientes para fissurar, mas com o sarrafeamento em tempo ótimo, estimado pelo autor em 10 minutos, a tendência de fissuração pode aumentar. E observou menor fissuração quando a argamassa foi aplicada com chapisco que quando aplicado sobre o substrato sem chapisco.

Figura 7 – Argamassa referência, 30% SF e 30% CF com um dia



Sendo assim, neste trabalho, optou-se pela aplicação de chapisco, pela molhagem do substrato com trincha 30 minutos antes da aplicação, por se tratar de um substrato poroso (alvenaria de tijolo de seis furos). Vale ressaltar que se optou pelo sarrafeamento precoce com o intuito de evitar a fissuração. O desempenho foi realizado após 30 minutos do sarrafeamento.

Pela análise empírica do pedreiro, a melhor argamassa para o lançamento na parede foi a de 30% SF, seguida da argamassa referência e, por último, a 30% CF. Na sua percepção, a argamassa 30% SF se parece com a argamassa referência, enquanto a 30% CF possui mais finos e uma cor mais

avermelhada. Ainda, segundo ele, todas as argamassas apresentaram um bom teor de água, sendo facilmente trabalháveis e tiveram uma boa aderência porque, ao serem lançadas, não aderiram a colher e distribuíram-se facilmente, preenchendo todas as reentrâncias da base, sem descolamento.

Resultado semelhante foi encontrado por Miranda (2000), que relatou, em seu trabalho, que o teor total de finos igual a 19% forneceu uma trabalhabilidade considerada de média a boa pelos pedreiros.

Quanto ao potencial de aderência à tração, o ensaio foi realizado de acordo com a NBR 13528 (2010) e as argamassas apresentaram os valores e tipos de ruptura predominante apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados de potencial de aderência à tração.

Potencial de aderência à tração (MPa)						
CP	REF		30% SF		30% CF	
	Valor	Forma de Ruptura	Valor	Forma de Ruptura	Valor	Forma de Ruptura
1	0,22*	40A 60D	0,43	D	>0,37	A
2	0,68	D	0,45	20B 80D	0,49	20D 80E
3	>0,45	A	0,41	B	0,16*	D
4	0,85	40A 60D	0,33	30B 70D	0,46	D
5	0,25*	D	>0,51	A	0,71	B
6	>0,44	A	0,31	D	0,39	D
7	>0,40	A	0,32	D	>0,53	A
8	0,54	80A 20D	0,33	70A 30D	0,91	40B 60D
9	0,32	50A 50D	0,18*	D	0,62	D
10	0,38	80A 20D	0,78	D	0,41	D
11	>0,42	A	0,43	D	0,76	D
12	0,44	D	0,29*	D	0,73	30B 70D

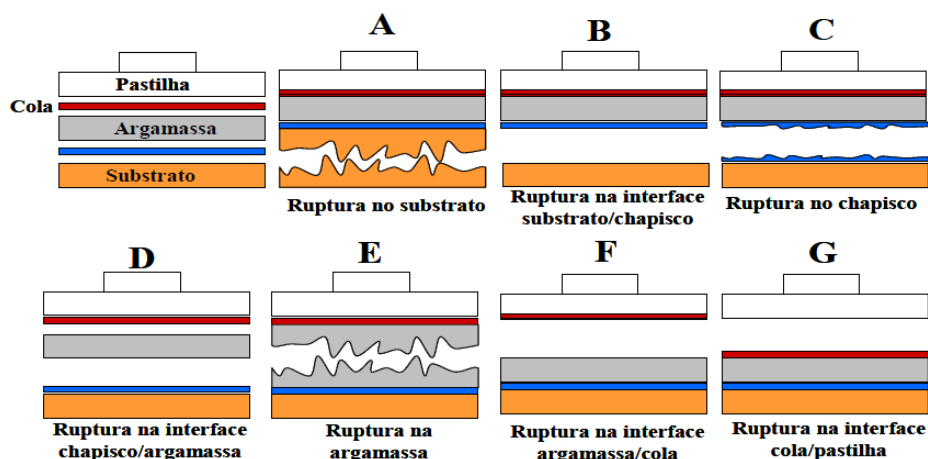
*Valores inferiores ao limite de 0,30MPa, estabelecido pela NBR 13749 (ABNT, 2013) para argamassas de revestimento externo.

A NBR 13749 (ABNT, 2013) apresenta algumas exigências em relação aos revestimentos de argamassas. Em relação ao aspecto, determina que o revestimento deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições tais como cavidades, fissuras, manchas e eflorescência. Analisando a figura 7, percebe-se que a argamassa com 30%CF apresentou algumas manchas, no entanto acredita-se que pode ter sido devido ao excesso de desempenho.

Pela análise da tabela 2, constata-se que, quanto à resistência de aderência à tração (Ra), todas as argamassas poderiam ser usadas para revestimento interno e externo, pois os limites mínimos, segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013), são de 0,2 MPa para revestimento interno e 0,30 MPa para revestimento externo. A norma estabelece que o revestimento é aceito se pelo menos 8 valores forem iguais ou superiores aos limites indicados.

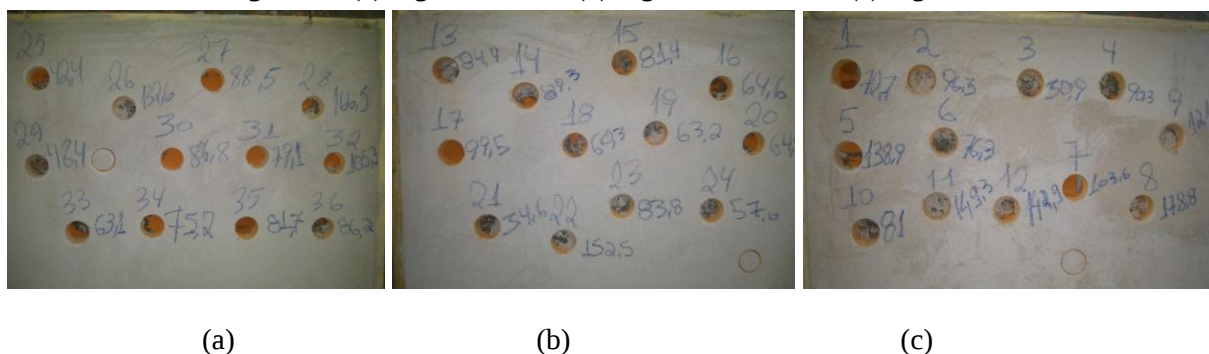
Na figura 8, são apresentados os tipos de ruptura quando o sistema é composto por argamassa + chapisco + substrato, conforme a NBR 13528 (ABNT, 2010).

Figura 8 – Formas de ruptura no ensaio de potencial de aderência à tração



Quanto à forma de ruptura, a NBR 13528 (ABNT, 2010) determina que quando a ruptura é na interface substrato/chapisco (B) e chapisco/argamassa (D) o valor da resistência de aderência é o valor obtido no ensaio. No caso das demais rupturas o valor de aderência não é determinado e é maior que o valor obtido no ensaio. Na figura 9 apresentam-se as argamassas após o arrancamento.

Figura 9 – (a) argamassa ref.; (b) argamassa 30%SF; (c) argamassa 30%CF



Quanto à fissuração, no primeiro dia a argamassa 30% CF apresentou três pequenas fissuras, finas e superficiais, distantes entre si, enquanto as outras não apresentaram. Na figura 10, pode-se observar uma dessas fissuras.

Figura 10 - Fissura na argamassa 30%CF com 1dia



São muitos os fatores intervenientes na fissuração das argamassas quando aplicados a paredes, a começar pelas condições climáticas do local, insolação, incidência de ventos. Outros fatores como preparo da base (com ou sem chapisco), molhagem prévia ou aplicação da argamassa no substrato seco, forma de execução, lançamento, tempo de sarrafeamento e desempenho também podem ser apontados como causas de fissuração dos revestimentos.

Por ter sido molhado meia hora antes, o conjunto substrato + chapisco pode ter absorvido parte da água da argamassa e, como a argamassa com finos necessita mais água para envolver a superfície específica do material fino, isso pode ter gerado pequenas fissuras. Outros motivos poderiam ser a maior variação dimensional (retração), maior módulo de elasticidade dinâmico, indicando uma argamassa mais rígida e maior absorção de água por capilaridade, quando comparada às outras duas argamassas.

A NBR 13749 (ABNT, 2013) relata que quando superficial, a fissura pode ser preenchida com o material de acabamento do revestimento ou preenchimento com a própria argamassa.

Foi desenvolvido pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, (CSTB, 1982), um método para avaliar a susceptibilidade à fissuração de revestimentos de argamassa. Esse método baseia-se no princípio de que a tendência à fissuração aumenta com o aumento da retração de secagem e, também, quanto maior for a resistência de tração na flexão desenvolvida na argamassa devido à retração restringida. Ou seja, quanto maior for a retração e o módulo de elasticidade, maior será a resistência de tração induzida e haverá maior propensão do revestimento fissurar. Na tabela 3, são apresentados os critérios de classificação quanto à susceptibilidade à fissuração do revestimento de argamassa, de acordo com o CSTB.

Tabela 3 - Classificação do revestimento quanto à susceptibilidade à fissuração

Características (aos 28 dias)	Critérios de classificação quanto à fissuração		
	Baixa susceptibilidade	Média susceptibilidade	Alta susceptibilidade
Retração por secagem $\Delta l/l$ (mm/m)	$\Delta l/l \leq 0,7$	$0,7 < \Delta l/l < 1,2$	$\Delta l/l \geq 1,2$
Módulo de elasticidade dinâmico E (MPa)	$E \leq 7000$	$7000 < E < 12000$	$E \geq 12000$
Módulo de elasticidade/ resistência à tração na flexão E/R_t	$E/R_t \leq 2500$	$2500 < E/R_t < 3500$	$E/R_t \geq 3500$

Fonte: CSTB, 1982

Segundo Silva (2011), o método desenvolvido pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, (CSTB, 1982), que utiliza a medida de retração por secagem, módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão, não se mostrou eficiente para os resultados dos ensaios apresentados na sua pesquisa. Em contrapartida, substituindo a retração por secagem por retração livre linear, os critérios do método do CSTB podem ser utilizados com grande confiabilidade para avaliar a tendência à fissuração dos revestimentos nas primeiras idades. Na tab. 4 estão os dados das 3 argamassas.

Tabela 4 – Características das argamassas produzidas

Argamassas produzidas	Resistência à tração na flexão (Mpa)	Variação dimensional (mm/m)		Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	Teor de finos total (%)	Teor de finos dos agregados (%)
		0 a 1 d	0 a 28 d			
REF.	1,3	-0,28	-0,81	8404	18	< 1
30% SF	1,3	-0,28	-1,06	5644	18	< 1
30% CF	1,2	-0,36	-1,37	7844	24	6



Analisando a tabela 4 e considerando a observação de Silva, nota-se que, quanto à retração, as argamassas REF e 30% SF se enquadram em média susceptibilidade à fissuração e a 30% CF, em alta susceptibilidade, considerando a retração livre linear. Quanto ao módulo de elasticidade dinâmico, as argamassas REF e 30% CF se enquadram em média susceptibilidade à fissuração, enquanto a 30% SF está na faixa de baixa susceptibilidade. Já para a terceira classificação, que é a razão entre o módulo de elasticidade e a resistência à tração na flexão, todas as argamassas se enquadram em alta susceptibilidade à fissuração.

Quanto ao teor de finos, a argamassa com 30% CF excede o limite de 5% de finos do agregado estabelecido EN 13139 (2002), para argamassas de revestimento.

Na pesquisa de Miranda (2000), de todos os revestimentos realizados, no traço 1:9(cimento: agregado), somente a argamassa T4 com 32% de finos e a argamassa mista de cimento, cal e areia, apresentaram fissuras visíveis desde a sua execução, sendo que a argamassa T4 sofreu maior fissuração que a mista. Miranda concluiu que a razão para tal fato é o maior teor de finos da argamassa T4. Em ambas, as fissuras surgiram com idades entre 1 hora de aplicação e 5 dias.

O autor notou ainda que a influência do tempo de sarrafeamento na fissuração foi secundária nas argamassas que, por sua composição, tipo de substrato e condições atmosféricas desenvolveram tensões internas suficientes para fissurar. Para ele, o sarrafeamento em tempo precoce, estimado em 10 minutos, pode evitar fissuras, pois quando se espera um tempo maior para executar o sarrafeamento, as tensões internas devidas à perda de água já podem ter começado a se desenvolver, por uma maior ancoragem da argamassa ao substrato. Assim, possivelmente, os movimentos de sarrafeamento e desempenamento gerem um desequilíbrio no estado de tensões internas do revestimento fresco, fragilizando pontos da microestrutura e interferindo na resistência à tração nas primeiras idades, gerando maior número de fissuras.

Neste trabalho, o sarrafeamento foi realizado em tempo precoce e, assim mesmo, percebeu-se uma pequena fissuração na argamassa com 30% CF nas primeiras horas. Considerando que essa argamassa tem a mesma dosagem, mesmo teor de cimento, quase a mesma relação água cimento, mesmo percentual de agregado reciclado que a argamassa 30% SF, acredita-se que o teor total de finos possa ter sido a principal causa das fissuras. No mês de junho de 2016 foi realizado um novo ensaio de resistência de aderência, após um ano de execução e a argamassa com 30% SF continua com as mesmas características e não fissurou, além disso a argamassa 30%CF não apresentou novas fissuras.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho permitiu avaliar a influência dos finos provenientes exclusivamente dos agregados reciclados mistos, nas propriedades das argamassas. As conclusões deste trabalho são referentes ao agregado reciclado produzido e utilizado nesta pesquisa.

A incorporação de agregados reciclados mistos nas argamassas demonstrou ser uma possível solução para a minimização de impactos ambientais, com grande potencial para uso na indústria da construção. Em especial a argamassa com substituição de 30% de agregado natural por agregado peneirado pode ser uma possível alternativa às argamassas convencionais.

Ao analisar argamassas compostas por agregado reciclado com a mesma distribuição granulométrica dos materiais maiores que 0,075 mm, com o mesmo traço, relação água/cimento muito semelhantes e teor de finos diferentes, é possível perceber a influência exclusiva dos finos do agregado nas propriedades das argamassas.

Quando aplicadas em paredes, as argamassas estão sujeitas a esforços e, nesse caso, o teor de finos mostrou ter influência na fissuração dos revestimentos, porquanto, comparando-se as argamassas com 30% SF e 30% CF, observa-se que não existe diferença significativa na distribuição granulométrica dos materiais maiores que 0,075 mm e as relações água /cimento são muito semelhantes, sendo o teor de finos praticamente a única diferença entre as duas argamassas. A



argamassa com 30% SF apresentou um teor total de finos de 18% (igual à argamassa referência), enquanto que a com 30% CF apresentou 24% de finos e somente a argamassa 30% CF fissurou.

O peneiramento a seco se mostrou uma alternativa sustentável em relação às técnicas já empregadas, como a lavagem, para retirada dos finos do agregado reciclado.

Cabe salientar que este estudo utilizou, como parâmetros, algumas normas estrangeiras, que estabelecem limites mínimos a serem alcançados em cada propriedade para a utilização das argamassas em revestimentos e outros trabalhos já realizados, devido à carência de normas brasileiras que disponham essas informações. Partindo desse pressuposto, sugere-se a complementação da NBR 13.281 (ABNT, 2005) com intervalos de valores a serem alcançados nas principais propriedades para determinada utilização das argamassas.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005f.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração, 2010.

_____. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Norma do Mercosul. Rio de Janeiro, 2001.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 167 p., Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1997, 2, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, p. 133-146, 1997.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB). **Note d'information sur les caractéristiques et le comportement des enduits extérieurs d'imperméabilisation de murs à base de liants hydrauliques**. Cahiers du CSTB, Paris, Livraison 230, n. 1778, juin, 1982.



DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, A. B.; LOVATO, P.; CABRAL, A. E. B. Componentes com agregado reciclado para habitação de interesse social. In: BARBOSA, A. S.; SAVASTANO, H. (Org.). **Tecnologias construtivas inovadoras e gestão produtiva**. Porto Alegre: ANTAC, 2009, Coletânea Habitare, v. 8, p. 26-59.

EN 13139: Aggregates for mortar. 2002.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.18, n. 2, p. 169-176, abr./jun., 2013.

MIRANDA, L. F. R. **Fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com agregado reciclado**. 2000. 172 p. Dissertação – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MIRANDA, L.; SELMO, S. *Argamassa com areia de entulho reciclado*. **Revista Técnica**. São Paulo, v. 74, p. 68-71, maio, 2003.

MORICONI, G.; MONOSI, S.; CORINALDESI, V. **Recycled aggregate mortars**. VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2005.

NASCIMENTO, R. A.; SELMO, S. M. de S. **Produção de areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil**: contribuição ao desenvolvimento de processo via úmida na usina de Socorro/SP, São Paulo 2007. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 2007.

NENO C.; BRITO J.; VEIGA R. **Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production**. Materials Research. Vol 17, nº1, p. 168-177, 2014.

NETO, J. C. M.. **Gestão de resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Paulo: RIMA, 2005, 162 p.

PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL. 2013 Abrelpe 114p.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas**. 1986. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

SILVA J.; DE BRITO J.; VEIGA MR. **Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production**. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2010; 22(3):236-244.

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica**. 2001. 329 p. Tese – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.