



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

AVALIAÇÃO DA REUTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE ARGAMASSA NA PRODUÇÃO DE EMBOÇO

SERRA, J. H. F. (1); SANTANA, L.B. (2); CABRAL, A. E. B. (3)

(1) UFC, jordana-ferraz@hotmail.com (2) UFC, lianadesantana@yahoo.com.br (3) UFC, eduardo.cabral@ufc.br

RESUMO

Existe uma grande preocupação com o impacto ambiental causado pela geração de entulhos, principalmente na indústria da construção civil, já que existe um grande índice de desperdício. Alguns estudos mostram que a maior parte do entulho gerado pela construção civil é de argamassa. Isso remete à ideia de sustentabilidade na construção civil e se busque estudos para reciclá-la. O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho da argamassa de emboço produzida com substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado de resíduos de argamassa. Para isso, foram desenvolvidos três traços de argamassa, substituindo o agregado natural pelo reciclado nas proporções de 25%, 50% e 75%, além da argamassa de referência. Ensaios para avaliar as propriedades no estado fresco e no estado endurecido foram executados de acordo com suas respectivas normas. Os ensaios executados no estado fresco foram o índice de consistência, a densidade de massa e o teor de ar incorporado. No estado endurecido avaliou-se a densidade de massa, a absorção de água por capilaridade, o coeficiente de capilaridade, a resistência potencial de aderência à tração e a resistência à tração na flexão. Os resultados apontam que o teor ideal de substituição de agregado natural por agregado reciclado é de 25%.

Palavras-chave: Construção civil, Areia reciclada, Argamassa, Resíduos, Sustentabilidade

ABSTRACT

There is great concern about the environmental impact caused by the generation of debris, mainly in the construction industry, as there is a high rate of wastage. Some studies show that most of the debris generated by construction is mortar. This point to the idea of sustainability in civil construction and seek studies to recycle it. The aim of this paper is evaluate the performance of cover mortar produced with partial replacement of natural aggregate by recycled waste of mortar aggregate. For this, we developed three mortar mixes, replacing natural aggregate by recycled aggregate in the proportions of 25%, 50% and 75%, beyond the reference mortar. Tests to evaluate the properties of the fresh and hardened state were performed according their respective standards. Fresh state tests were consistency index, bulk density and air content. In the hardened state it were evaluated bulk density, water absorption by capillarity, capillarity coefficient, potential grip traction strength and tensile strength in bending. Results point that the optimal replacement content of natural aggregate by recycled aggregate is 25%.

Keywords: Civil Construction, Recycled sand, Mortar, Waste, Sustainability

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é responsável por impactos ambientais, sociais e econômicos consideráveis, em razão de possuir uma posição de destaque na economia brasileira (KARPINSKI et al, 2009). Os principais pontos negativos da Construção Civil são o elevado desperdício de matéria-prima, o grande impacto ambiental provocado pelo volume de resíduos gerados e pela grande quantidade de matéria-prima consumida, sendo

estes motivo de diversas discussões quanto à necessidade de se buscar o desenvolvimento sustentável na construção civil (MARINHO; SILVA, 2012).

Estima-se que o setor da Construção Civil seja responsável por aproximadamente 40% da matéria-prima consumida em toda economia, por 75% de todo o resíduo sólido gerado, por consumir 2/3 da madeira natural extraída, entre outros (PIOVEZAN JUNIOR; SILVA, 2007).

Todavia, a construção civil é a única indústria capaz de absorver quase que totalmente os resíduos que produz. Enquanto vários setores industriais diminuem a utilização de suas matérias-primas, a engenharia civil não pode reduzir a quantidade dos materiais necessários para edificar uma obra sem comprometer a qualidade e a durabilidade da construção. Em razão disso, é necessário encontrar alternativas para o destino dos resíduos, com formas práticas de reciclagem na própria obra ou em usinas implantadas para esse fim (CAMARGO, 1995).

A criação e manutenção de parâmetros e procedimentos em obra, para a gestão diferenciada dos resíduos de construção e demolição, são fundamentais para assegurar o descarte adequado desses materiais. Essas ações, quando executadas amplamente por empresas do setor, promovem a minimização substancial dos impactos ambientais que a disposição inadequada dos resíduos gera e contribuem para evitar a necessidade de soluções emergenciais (KARPINSKI et al, 2009).

Portanto, o objetivo do presente artigo é analisar a reutilização de resíduos de argamassa como areia reciclada em substituição parcial da areia natural na produção de traços de argamassa de revestimento.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

O cimento utilizado foi o CP II-Z 32, o qual possui massa específica de $2,97 \text{ g/cm}^3$, enquanto que a cal foi do tipo CH-I de massa específica de $2,7 \text{ g/cm}^3$, ambos atendendo a todos os requisitos das suas respectivas normas. A areia utilizada foi do tipo natural de rio, com módulo de finura igual a 3,5, dimensão máxima característica igual a 4,8 mm, massa específica de $2,6 \text{ g/cm}^3$ e massa unitária de $1,33 \text{ g/cm}^3$. A água utilizada foi fornecida pela rede pública de distribuição. Os blocos cerâmicos utilizados tinham 8 furos de tamanho $9\text{cm} \times 19\text{cm} \times 19\text{cm}$ (largura x altura x espessura). A areia reciclada foi fabricada em laboratório, sendo provinda de resíduos de argamassa moídos após 24 horas da sua fabricação.

2.2 Métodos de pesquisa

Para a realização do estudo do comportamento das argamassas de emboço propostas nesse trabalho foi necessário executar uma parede de alvenaria composta de bloco cerâmico e chapisco com traço de 1:3, para que depois os traços de argamassa em estudo fossem aplicados separadamente na alvenaria, sendo esta dividida em painéis para diferenciação das argamassas.

O primeiro traço de argamassa aplicado foi o de referência, o qual é usualmente utilizado em obras na cidade de Fortaleza. O traço é composto de cimento, cal, areia e água. Para se determinar a influência da areia reciclada nas propriedades da argamassa foram executados mais quatro traços adicionais, os quais tiveram a areia natural substituída de

forma parcial por areia reciclada, nas proporções de 25%, 50% e 75%. A substituição foi em volume. Os traços em volume estão apresentados na Tabela 2.

Para dosagem em laboratório os traços foram convertidos de volume para massa, uma vez que se desejava medir em massa todos os materiais. A conversão foi feita através da utilização da massa unitária de cada material.

Tabela 2– Traços executados em volume

TRAÇO	CIMENTO	CAL	AREIA	AREIA REICLADA	ÁGUA (L)
REFERÊNCIA	1	2	9	-	25
Subst. 25%	1	2	6,75	2,25	37,38
Subst. 50%	1	2	4,5	4,5	28,00
Subst. 75%	1	2	2,25	6,75	31,16

Os traços foram misturados em betoneira de eixo vertical e para a obtenção do volume necessário para a moldagem dos corpos de prova e revestimento da alvenaria foram necessárias duas amassadas de cada traço.

A quantidade de água utilizada nos traços foi obtida utilizando-se o ensaio para a determinação do índice de consistência na mesa de abatimento (NBR 13276), uma vez que considerou-se o valor de 200 ± 10 mm para que os índices de consistência atendessem ao que foi considerado boa trabalhabilidade. Assim, para cada mistura ia-se adicionando água até atingir a consistência desejada.

A fabricação da areia reciclada para a execução dos traços de argamassa que tiveram a areia natural substituída seguiu os seguintes procedimentos: fabricação da argamassa de referência; armazenagem em recipientes plásticos; descanso de 24 horas; britagem da argamassa em um britador de mandíbula (figura 1-a); apiloamento da argamassa moída (figura 1-b); e peneiramento da argamassa moída em uma peneira com abertura de diâmetro igual a 4,8mm (figura 1-c).

Figura 1 – a) Argamassa sendo moída. b) Apiloamento da argamassa moída. c) Peneiramento da areia reciclada em abertura 4,8mm.



2.3 Ensaio

Os ensaios foram divididos em ensaios executados para avaliar propriedades no estado fresco e no estado endurecido. Os ensaios realizados no estado fresco foram: índice de consistência, conforme NBR 13276; densidade de massa e teor de ar incorporado, conforme NBR 13278.

Para a execução dos ensaios no estado endurecido foi necessário a moldagem de três corpos de prova (CP) prismáticos 4cm x 4cm x 16cm para cada traço de argamassa. As propriedades no estado endurecido foram determinadas aos 28 dias da data de moldagem dos corpos de prova. Os ensaios foram densidade de massa, de acordo com a NBR 13280; determinação da absorção de água por capilaridade (Figura 2-a) e coeficiente de capilaridade, de acordo com a NBR 15259; resistência potencial de aderência à tração (Figura 2-b), de acordo com a NBR 15258; e determinação da resistência à tração na flexão, de acordo com a NBR 13279.

Figura 2 – a) Corpos de prova imersos em 5 mm de água. b) Ensaio de resistência de aderência à tração.

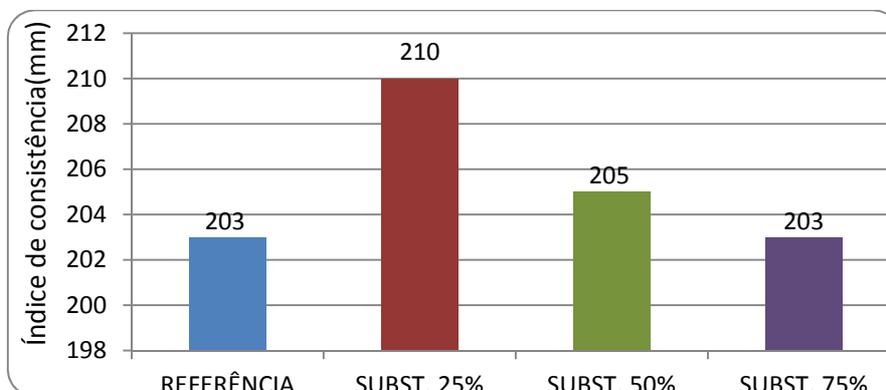


3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Índice de consistência

De acordo com o gráfico 1, todos os resultados do ensaio de índice de consistência atenderam à trabalhabilidade exigida pelo pedreiro. Contudo observou-se que atingir a consistência desejada, a quantidade de água incorporada à mistura aumentava à medida que se aumentava o teor de agregado reciclado na mistura.

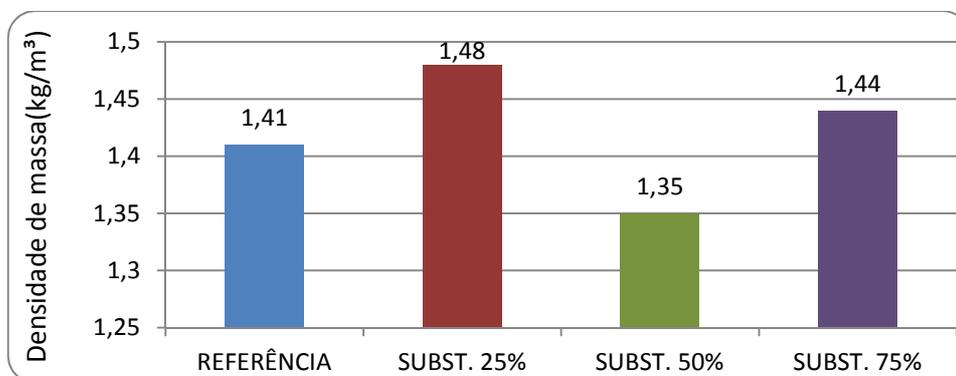
Gráfico 1- Resultados do ensaio de consistência.



3.2 Densidade de massa no estado fresco

Os resultados do ensaio de densidade de massa no estado fresco estão no Gráfico 2. Não foi possível observar a relação entre a densidade de massa e a quantidade de areia reciclada utilizada nos traços, já que os resultados variaram e não seguiram nenhuma tendência clara. De acordo com o Gráfico 2, pode-se observar que a argamassa com substituição de 25% de areia natural pela areia reciclada aumentou a densidade de massa em 4,96% comparada com a de referência. Contudo, para 50% de agregados reciclados na mistura, a densidade cai -4,26% em relação à da argamassa natural, subindo 2,12% quando é feita a substituição de 75%. Uma vez que as variações são percentualmente pequenas (todas menos de 5%), pode-se afirmar que o agregado reciclado não tem grande influência na densidade de massa das argamassas no estado fresco.

Gráfico 2 - Resultados do ensaio de densidade de massa no estado fresco.



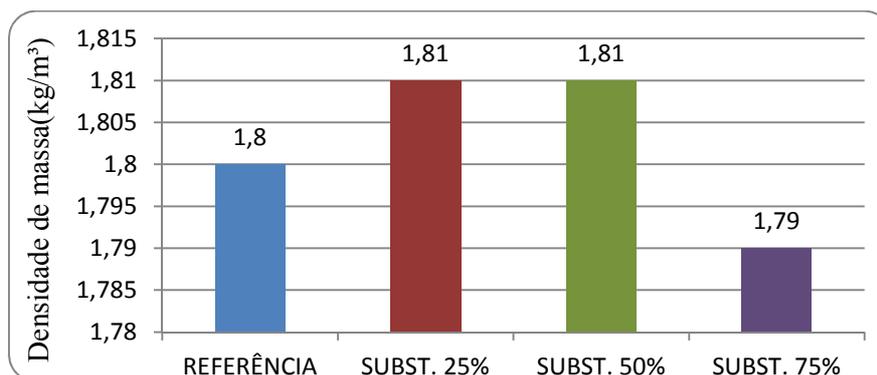
3.3 Teor de ar incorporado

Os resultados do ensaio de teor de ar incorporado não variaram, tendo os traços de referência e os com 25% e 50% de substituição um teor de ar incorporado de 3,6% e o traço com 75% um resultado 5,5% acima dos outros, ou seja, 3,8%. Mais uma vez observa-se a não influência do agregado reciclado no teor de ar incorporado das argamassas produzidas.

3.4 Densidade de massa no estado endurecido

Pode-se observar no Gráfico 3 que a densidade de massa no estado endurecido, assim como no estado fresco, não se modificou com a presença do agregado reciclado.

Gráfico 3- Densidade de massa no estado endurecido.



3.5 Determinação da absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

De acordo com os Gráficos 4 e 5, observa-se que a absorção de água não se modifica com a incorporação da areia reciclada no traço, tanto para 10 minutos quanto para 90 minutos. Quanto ao coeficiente de capilaridade, observa-se que o mesmo manteve-se praticamente constante, exceto para o teor de 75%, quando apresentou um grande acréscimo.

Gráfico 4- Absorção de água por capilaridade aos 10 minutos e 90 minutos.

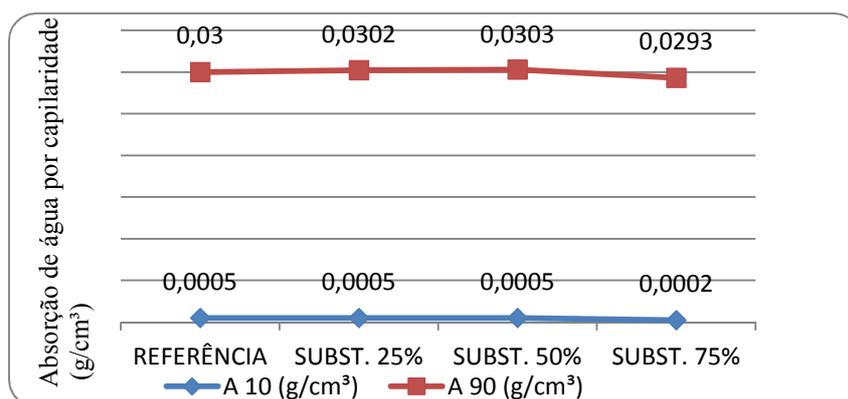
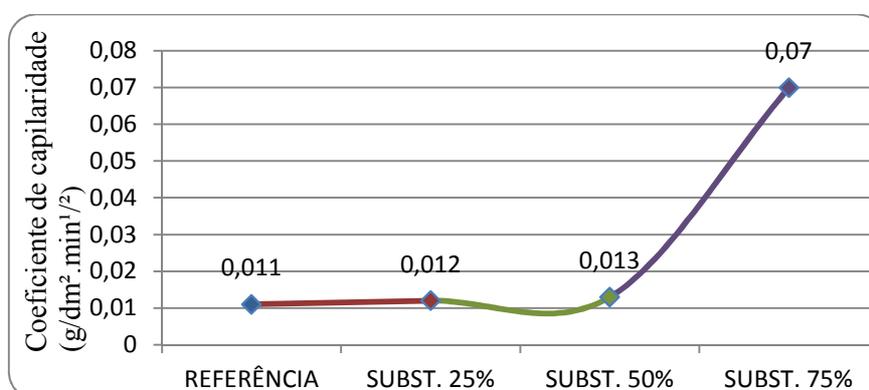


Gráfico 5 – Coeficiente de capilaridade.



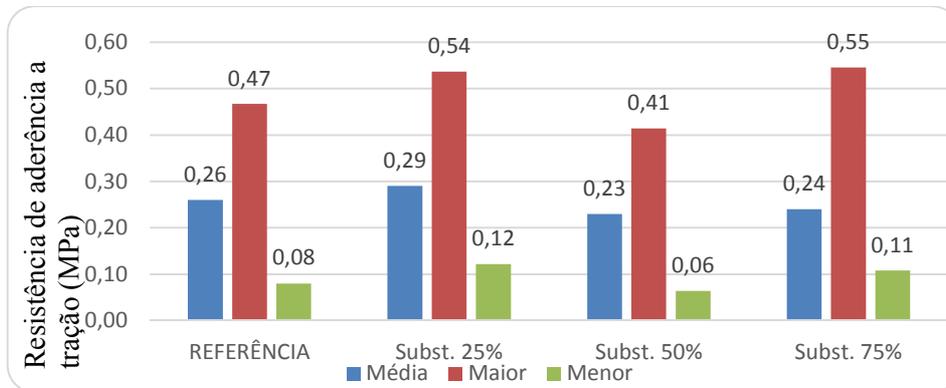
3.6 Resistência potencial de aderência a tração

Foram realizados dez testes de resistência de aderência em cada painel. No painel onde foi aplicado o traço de referência quatro resultados de resistência foram descartados, pois ultrapassaram 30% do valor da média. No mínimo cinco amostras devem ter resultado adequado para que o ensaio seja válido, portanto esse ensaio pode ser considerado válido.

Dos dez resultados de resistência provindos do painel de traço de 25 % de substituição quatro foram adequados e seis inadequados, ou seja, o ensaio foi descartado. Três resultados do painel com traço de 50% foram adequados e sete inadequados, sendo este resultado também descartado. Os resultados das amostras do painel com traço de substituição de 75% tiveram seis resultados adequados e quatro não adequados, sendo então o ensaio considerado válido. Embora tivesse que se repetir os ensaios nos painéis com 25% e 50%, considerou-se ainda os resultados válidos para a produção do gráfico 6 onde se apresenta o maior, o menor e o valor médio da resistência obtida para cada traço

produzido. Os ensaios não foram repetidos porque não havia mais espaço nos painéis para realizar os furos necessários ao ensaio.

Gráfico 6 - Resultados da resistência potencial de aderência a tração.



Observa-se que o traço com 25% de substituição obteve média 11% maior que a do traço de referência, entretanto as médias dos traços de 50% e 75% de substituição foram 11% e 9% inferiores à média do traço de referência. Ou seja, de acordo com a média dos resultados do ensaio de resistência potencial de aderência à tração, a quantidade ideal de agregado reciclado para obter uma argamassa mais resistente seria de 25 %.

Segundo Oliveira (2011), o incremento na resistência de aderência possivelmente ocorre devido à maior absorção de água dos agregados reciclados, fazendo com que as argamassas produzidas com estes retenham mais água, propiciando uma melhor hidratação dos grãos de cimento e a formação de uma quantidade superior de cristais hidratados que penetram no substrato, fortalecendo assim a aderência.

No traço de referência cinco amostras foram rompidas entre o emboço e o chapisco, sendo o percentual de chapisco variável entre 5% e 15%. Ocorreu erro no rompimento de uma amostra, pois essa rompeu na cola. Duas romperam entre argamassa e substrato; uma rompeu entre o emboço, chapisco e substrato, com percentuais e a última rompeu no emboço. Já no painel onde foi aplicado o traço de 25% de substituição seis amostras romperam entre o emboço e o chapisco; duas entre o emboço, chapisco e substrato; uma entre a cola e o emboço e uma no emboço. No painel onde foi aplicado o traço de 50% de substituição cinco amostras romperam entre o emboço e o chapisco; duas entre cola e emboço e três no emboço. Por fim, no painel onde foi aplicado o traço de 75% de substituição, sete amostras romperam entre o emboço e o chapisco; duas entre cola e emboço e uma entre o emboço, chapisco e substrato. A figura 3 exemplifica o rompimento de uma amostra entre o emboço e o chapisco do traço com 25% de substituição.



Figura 3 - Substrato e amostra após o rompimento.

3.7 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão

O Gráfico 7 apresenta as resistências médias à tração na flexão das argamassas aos 28 dias de idade onde pode-se observar que a substituição da agregado natural pelo reciclado propiciou um aumento na resistência à tração na flexão das argamassas. O aumento na resistência foi crescente com a quantidade de areia reciclada utilizada. O Gráfico 8 apresenta os resultados médios de resistência a compressão aos 28 dias, onde se percebe que o acréscimo não foi semelhante ao observado para a flexão.

Gráfico 7- Resultados da resistência à tração na flexão.

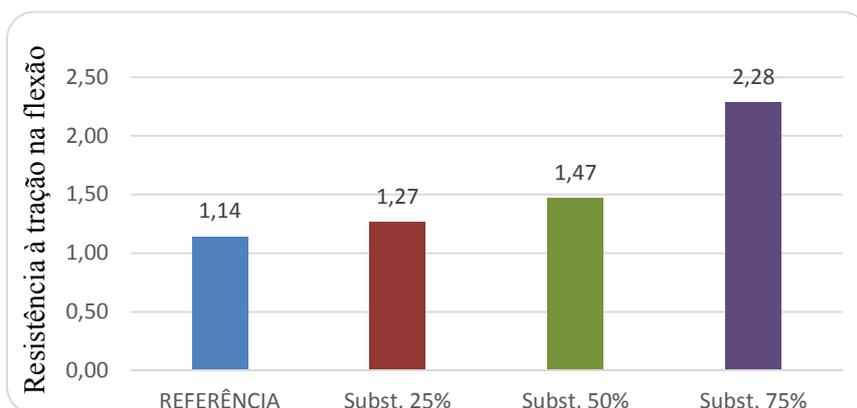
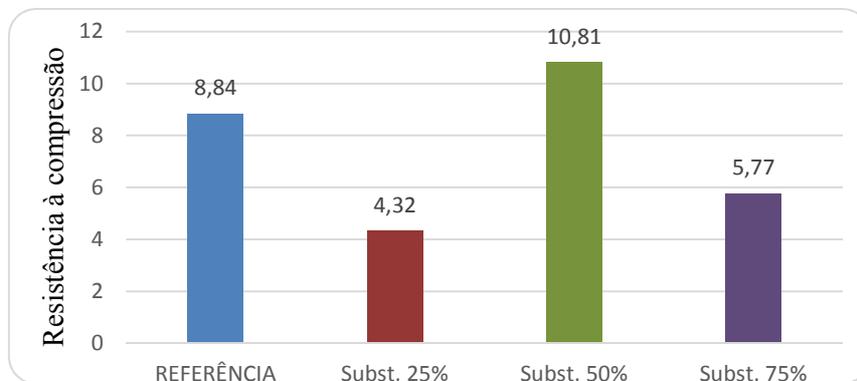


Gráfico 8- Resultados à compressão.



Pode-se observar no Gráfico 8 que a resistência à compressão dos traços de substituição de 25% e 75% tiveram valores menores que o de referência, enquanto que o resultado do traço de substituição de 50% obteve um valor acima do de referência. Segundo Silva e Campiteli (2006), a resistência à compressão nas argamassas com cal aumenta com o aumento do teor de finos na idade de 7 dias, porém com a hidratação do cimento ao longo do tempo, não mais apresenta correlação entre o teor de finos e a resistência à compressão e, também, não apresenta correlação entre densidade de massa e resistência à compressão. No trabalho executado pelos autores referenciados acima, a menor resistência à compressão aos 28 dias de idade nas argamassas com cal foi com 23,5% de teor de finos, o que entra em consonância com o presente estudo, já que a argamassa que apresentou menor resistência a compressão foi a de 25% de substituição da areia natural por areia reciclada, a qual possui menor teor de finos. Entretanto, o alto valor resultando do traço de 50% de substituição não foi o esperado, pois se esperava que os resultados fossem proporcionais a quantidade de agregado reciclado utilizado.

3.8 Fissuras

Dos quatro painéis executados dois apresentaram fissuras, o painel com aplicação de argamassa com 50% e 75% de substituição do agregado natural pelo reciclado (figura 7). As causas da fissuração indicam ser pela quantidade de finos, todavia seria preciso um estudo mais aprofundado.

Figura10 - Fissura em painéis com traço de substituição de 50% e 75%.



Segundo Campiteli (2005), a ocorrência de fissuras em argamassas de cal e areia não depende linearmente do teor de finos totais, pois é função da granulometria da areia e da qualidade da cal hidratada. Para argamassas de cal e areia, a ocorrência de fissuração poderá ocorrer para teores de finos totais acima de um certo teor mínimo. As areias muito finas são mais propensas à fissuração do que as areias finas para argamassas de mesmo traço e mesma consistência. A influência da cal hidratada em pasta na formação de fissuras em argamassas de mesmo traço e mesma consistência depende das características da hidratação da cal, havendo uma relação ótima entre a quantidade de água inicial e a quantidade de cal hidratada.

4 CONCLUSÃO

Os resultados dos ensaios feitos para cada traço proposto neste trabalho demonstraram que a quantidade ótima de substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado é de 25%, pois a resistência a tração na flexão aumentou quando comparado ao traço de referência, obteve maior resultado no ensaio de aderência a tração e o coeficiente de capilaridade aumentou pouco em comparação ao do traço de referência. Não surgiram fissuras no painel com o traço de substituição de 25%, enquanto surgiram várias fissuras nos outros dois painéis, onde foram aplicados os traços de 50% e 75% de substituição. O teor ótimo de substituição encontrado é de 25%, o qual aproximou-se do resultado encontrado por Oliveira (2011), onde os teores de substituição ótimos encontram-se entre 30% e 40%. Todavia, o estudo deve ser complementado, pois o resultado do ensaio de resistência à compressão do traço de 25% de substituição foi abaixo do resultado encontrado para o traço de referência e também abaixo dos dois outros traços com areia reciclada. Entretanto, vale ressaltar que o resultado do ensaio de resistência à aderência do traço de 25% obteve melhor resultado. Para que o uso da argamassa seja adequado, a resistência à aderência da mesma também precisa ser adequada.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: terminologia**: NBR 13529/1995. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos; determinação da resistência à tração na flexão e a compressão** - NBR 13279/2005. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos; preparo para mistura e determinação do índice de consistência** - NBR 13276/2005. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Revestimentos de parede e tetos em argamassas inorgânicas: procedimento** - NBR 13749/2005. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado** - NBR 13278/2005. Rio de Janeiro, 2005.

CAMARGO, Antonio. **Minas de Entulho**. Técnica, no15, Ed. Pini, São Paulo, mar/abr 1995.

CAMPITELI, V.C; PRESTES, E. **Formação de fissuras visíveis devidas a retração por secagem em argamassas de revestimento de cal e areia**. Ponta Grossa, 2005.

CINCOTTO, M.A. et al. **Argamassa de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: IPT, 1995.

KARPINSKI, L. A.; PANDOLFO, A.; REINELLER, R.; GUIMARÃES, J.C.B.; PANDOLFO, L.M.; KUREK, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2009.

MARINHO, J. L. A.; SILVA, J. D. **Gerenciamento dos resíduos da construção e demolição: diretrizes para o crescimento sustentável da construção civil na região metropolitana do Cariri Cearense**. E-Tech: Tecnologia para Competitividade Industrial, Florianópolis, v.5,n.1, p.102-119, Santa Catarina, Brasil, 2012.

OLIVEIRA, M.E.D; CABRAL, A.E.B. **Argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados de Fortaleza/CE, Brasil**. Fortaleza, 2011.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Reciclagem de Resíduos de Construção e Possibilidades de Uso de Resíduos Reciclados em Obras Públicas**. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA CONSTRUÇÃO HABITACIONAL, jul. 1994, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, 1994.

PIOVEZAN JUNIOR, G. T. A.; SILVA, C. E. **Investigação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria-RS: um passo importante para a gestão sustentável**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental. , 2007. v.1. p.1 – 8.

SILVA, N.G.; CAMPITELI, V.C. **Influência os finos e da cal nas propriedades da argamassa**. Ponta Grossa, 2006.