

Argamassa de Alvenaria Usando Agregado Reciclado da Indústria de Piso Cerâmico

Juzélia Santos da Costa^a, Celso Aparecido Martins^b, João Baptista Baldo^{b*}

^aCEFET-MT

^bDEMa, Universidade Federal de São Carlos

*e-mail: baldo@power.ufscar.br

Resumo: Neste trabalho foi investigada a utilização de rejeitos virgens da indústria de pisos, como agregado reciclado em argamassas para revestimento ou assentamento. Os agregados foram preparados por britagem e separação em granulometria similar à da areia de rio utilizada em argamassas convencionais. Diversos traços de argamassas mistas à base de: cimento:cal:agregado reciclado, foram comparativamente avaliados com argamassas convencionais contendo areia de rio como agregado, estas últimas produzidas em obra e em laboratório. As propriedades alvo analisadas foram, a resistência à compressão e a aderência em substrato de bloco de cimento. Os resultados indicam que as composições contendo agregado reciclado apresentaram maiores níveis de resistência mecânica e aderência, quando comparados à composição similar feita com areia de rio. A disponibilidade dos resíduos, as boas propriedades apresentadas e os ganhos decorrentes (pela redução de resíduos e do aterro sanitário), além do gerenciamento ambiental, indicam a viabilidade do processo de reciclagem dos rejeitos de pisos cerâmicos (virgens) em argamassa de assentamento ou de revestimento.

Palavras-chave: reciclagem, piso cerâmico, argamassa

1. Introdução

Considerando a elevada produção nacional de pisos cerâmicos (450 milhões de m²/ano), embora as perdas médias de produção sejam de pequena monta (2 a 3%), o volume total de rejeitos gerados pela indústria de pisos cerâmicos é considerável. Em adição, os problemas ambientais decorrentes do seu descarte não podem passar despercebidos, mesmo que tais resíduos sejam considerados inertes. De uma maneira geral a reciclagem de resíduos cerâmicos como agregados em construção civil, enfoca mais diretamente o entulho. Aparentemente não existem relatos específicos tratando da reutilização como material construtivo, do rejeito virgem, o qual por uma razão ou outra foi considerado impróprio para venda ao sair do forno na indústria. Esse foi o objeto do presente trabalho.

A reciclagem dos rejeitos virgens é mais fácil e econômica em ser implementada, pois não envolve a separação qualitativa e nem é acompanhada de contaminações difíceis de serem eliminadas. Assim o agregado gerado é uniforme química e mineralógicamente, sendo praticamente isento de materiais estranhos. Em adição, estimativas do custo de reciclagem neste caso específico, resultaram em custo global inferior ou igual (dependendo da logística) ao preço de mercado da areia de rio.

Neste trabalho são apresentados os efeitos nas propriedades relevantes de argamassas de assentamento ou revestimento, ao se utilizar rejeitos (virgens) de pisos cerâmicos esmaltados como agregado, em substituição à areia de rio. Os rejeitos de pisos esmaltados utilizados nesta investigação, foram do tipo semi-gres esmaltado de base vermelha, provenientes do descarte de uma indústria da região de Cordeirópolis - SP, pertencente ao pólo cerâmico de Santa Gertrudes. Tal material foi devidamente transformado por britagem e moagem num agregado cujas dimensões simularam as de uma areia de rio normalmente utilizada em argamassas. Uma vez que as areias naturais são reconhecidas como agregados inertes, não desenvolvendo reação química com os constituintes da argamassa, dúvidas foram levantadas sobre a possível baixa aderência de interface ou mesmo a reação entre o agregado reciclado contendo esmalte com o cimento e a cal, similar à reação álcali/agregado nos concretos.

As faces vidradas, que se incorporam ao resíduo após a preparação, têm sido consideradas como um aspecto negativo, quando presentes em agregados graúdos utilizados na confecção de concretos com entulho reciclado¹. Por outro lado, existem relatos de que este efeito não é significativo² em concretos contendo agregados reciclados de rejeitos virgens de sanitários. Em argamassas, aparentemente esse efeito não foi estudado. O que se pode dizer com certeza é que uma vez que a porcentagem em massa do vidrado cerâmico num piso é da ordem de 5%, a moagem do material abaixo do diâmetro médio de 4,8 mm, vai gerar uma superfície muito pequena de faces vidradas em relação às faces não vidradas. Assim, não é de se esperar nenhum efeito deletério significativo desse material nas propriedades globais da argamassa^{3,6}. O que é demonstrado neste trabalho.

2. Materiais e Métodos

2.1. Caracterização dos materiais

O cimento e a cal utilizadas neste estudo apresentaram as características mostradas na Tabela 1.

2.2. Os agregados

O rejeito industrial utilizado neste estudo, consistiu de Pisos Cerâmicos Esmaltados de corpo vermelho (PCV), com absorção de água menor do que 6%, produzidos por uma indústria da região de Cordeirópolis - SP. Tais pisos, por uma ou outra razão, foram considerados impróprios para venda após terem passado pelo ciclo completo de produção.

As peças foram inicialmente fragmentadas com o uso de um britador de mandíbulas, e posteriormente moídas por moinho de martelos.

Para a preparação da argamassa o material obtido foi separado em peneiramento, sendo constituído de material passante pela peneira ABNT n° 4 (4,8 mm) e 98% retido na peneira ABNT n° 200 (0,075 mm) (NBR 7211)⁹. O agregado para as argamassas convencionais de referência; uma produzida em obra e a outra de mesmo traço,

produzida em laboratório, foi a areia natural quartzosa (areia de rio), proveniente da região da cidade de São Carlos - SP. Os ensaios de granulometria em ambos os casos foi feito segundo a NBR 7217¹⁰, e encontram-se apresentados nas Figuras 1 e 2.

2.3. Produção das argamassas

2.3.1. Dosagem

O proporcionamento dos materiais nas argamassas contendo agregado reciclado, seguiu os seguintes traços em massa; 1 : 2 : 6 (cimento : cal : agregado) denominado (PCV 6), 1 : 2 : 9 denominado (PCV 9), 1 : 2 : 12 denominado (PCV 12) e 1 : 2 : 14 denominado (PCV 14). Variou-se assim a proporção de cimento, cal e agregado reciclado de forma a possibilitar uma ampla faixa de resistência mecânica da argamassa.

A argamassa de referência P1 produzida em laboratório e a argamassa C1 retirada de um canteiro de obra, foram produzidas com traço 1:2:9 (cimento : cal : areia de rio).

Os ensaios das argamassas foram executados no estado fresco e nas idades de 7, 14, 28 e 91 dias, para se obter subsídios sobre a evolução da resistência mecânica das argamassas pesquisadas e da sua microestrutura.

2.3.2. Mistura

As argamassas feitas em laboratório foram misturadas em argamassadeira, com capacidade nominal de 20l a uma temperatura de $26\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de 68%, por um período de 3 minutos, seguido de repouso de 10 minutos. Após este repouso, cada argamassa foi misturada por mais 1 minuto e em seguida descarregada da argamassadeira.

2.3.3. Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Corpos de prova cilíndricos de dimensões; 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, foram moldados conforme a NBR 7215¹¹.

Os corpos de provas foram curados ao ar durante as várias idades, à temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, umidade relativa $\pm 72\%$.

3. Resultados e Discussão

3.1. Resultados dos ensaios da argamassa no estado fresco

Os resultados de ensaios realizados no estado fresco e endurecido, nas diversas argamassas, estão mostrados na Tabela 2 e 3.

Tabela 1. Características do cimento e cal.

Característica	Cimento NBR 11578 ⁷	Cal NBR 7175 ⁸
Tipo	CP II-F-32	CH III
Finura (%)	3	13
Massa unitária (g/cm ³)	1,15	0,70

Tabela 2. Índices físicos no estado fresco de argamassas contendo agregados reciclados de piso cerâmico esmaltado ou areia ou frio.

Tipo PCV Traço:1:2:X	Consistência NBR 13276 ¹²	Densidade de Massa (g/cm ³)NBR 13278 ¹³	(a/c) Fator Água/Cimento	Massa Unitária NBR 7251 ¹⁴
PCV 6	249 mm	2,03	2,20	1,40 (g/m ³)
PCV 9	263 mm	2,00	2,73	1,40 (g/m ³)
PCV 12	271 mm	1,99	4,15	1,40 (g/m ³)
PCV 14	247 mm	1,87	4,90	1,40 (g/m ³)
P1	249 mm	2,08	2,91	1,46 (g/cm ³)
C1	265 mm	2,03	3,61	1,46 (g/cm ³)

3.2. Resultados do ensaio de resistência à compressão (MPa) feitos nas argamassas no estado endurecido

Os resultados de resistência à compressão dos materiais realizados no estado endurecido, nas diversas argamassas, estão mostrados na Tabela 4 e na Figura 3, de acordo com NBR 13279¹⁶.

3.3. Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração (MPa) feitos nas argamassas no estado endurecido PCV e P1

Os resultados dos ensaios de aderência à tração (NBR - 13528/95), das argamassas assentadas sobre bloco de concreto não estrutural estão apresentados na Tabela 5 e nas Figuras 4 e 5.

Este ensaio foi realizado, aos 28 dias, usando um equipamento mecânico, adaptado das recomendações da RILEM, e construído no laboratório de materiais avançados à Base de cimento-SET/EESC/USP, que funciona pelo princípio de alavanca.

Pelos resultados obtidos, conforme a Figura 5, a exigência da norma NBR 13749/96, que especifica uma resistência de aderência à tração mínima de 0,30 MPa para argamassa de alvenaria externa,

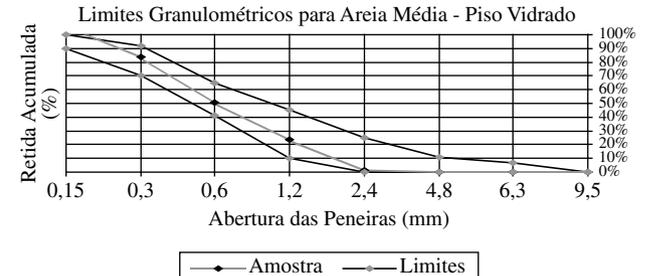


Figura 1. Curva granulométrica de agregado miúdo de piso cerâmico vidrado (Pcv) reciclados.

PCV - Diâmetro máximo característico = 2,4 mm; PCV - módulo de finura = 2,67 mm.

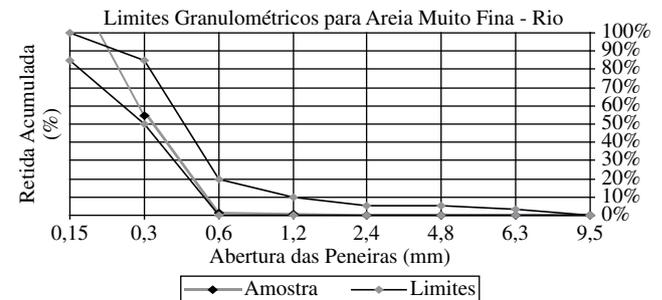


Figura 2. Curva granulométrica de agregado areia de rio.

Areia de rio - Diâmetro máximo característico = 0,6 mm; módulo de finura = 1,85.

Tabela 3. Índices físicos no estado endurecido das argamassas contendo agregados reciclados de piso cerâmico esmaltado (PCV) e das argamassas de referência P1 e C1.

Traço NBR 9778 ¹⁵	Massa Específica (kg/m ³) aos 28 dias		Índice de Vazios (%)	Absorção por Imersão (%) aos 28 e 63 dias	
	Seca	Saturada		28	63
PCV 6	1600	1900	30,40	19,01	18,89
PCV 9	1563	1870	30,58	19,13	18,73
PCV 12	1560	1850	29,83	19,26	18,68
PCV 14	1610	1792	30,50	38,51	21,09
P1	1680	1930	25,00	14,84	14,80
C1	1620	1845	29,12	17,33	15,95

Tabela 4. Resistência à compressão simples (MPa) das argamassas em estudo aos 7, 14, 28, 63 e 91 dias de idade.

Traço	7	14	28	63	91
PCV 6	5,14	6,90	8,69	9,66	11,36
PCV 9	2,76	2,78	3,26	3,58	3,60
PCV 12	1,97	2,63	3,10	3,14	3,54
PCV 14	1,05	1,44	1,84	1,91	1,92
P1	1,23	1,30	1,66	1,71	1,74
C1	0,92	1,34	1,53	1,55	1,57

Tabela 5. Resistência de aderência à tração (MPa) das argamassas em estudo aos 28 dias de idade.

Traço	Resistência a Aderência à Tração em MPa aos 28 dias NBR - 13528
PCV6	0,7 - ocorreu na interface revestimento /substrato
PCV9	> 0,6 ruptura da argamassa de revestimento
PCV 12	> 0,4 ruptura da argamassa de revestimento
PCV 14	> 0,3 ruptura da argamassa de revestimento
P1	> 0,4 ruptura da argamassa de revestimento

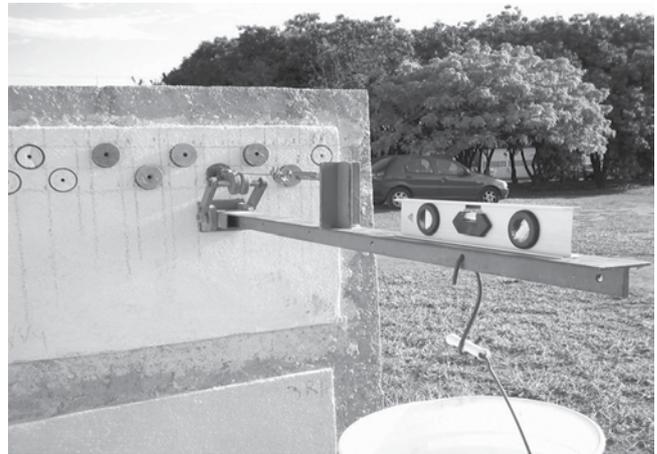


Figura 4. Equipamento mecânico para ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas deste estudo aplicadas em painéis cujo substrato foi o bloco de cimento.

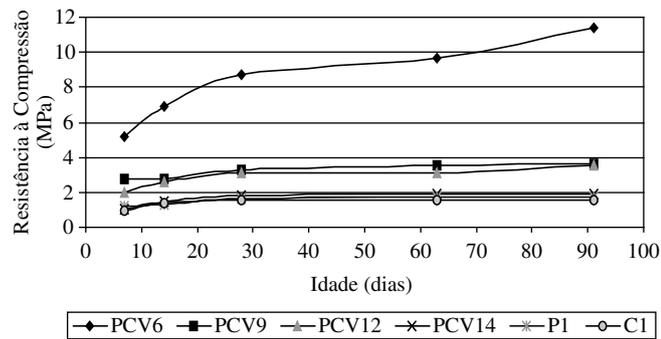


Figura 3. Resistência à compressão, das argamassas em estudo aos 7,14, 28, 63 e 91 dias de idade.

está plenamente satisfeita pelas argamassa contendo agregados reciclados. Pode-se perceber que a argamassa PCV9 de mesmo traço da argamassa de referência P1, apresenta uma aderência 50% superior a esta última. Nota-se também que mesmo a PCV14 cujo traço contém o menor teor de cimento, o nível de aderência apresentado foi satisfatório. Estes fatos são indicativos da viabilidade da utilização do agregado reciclado de piso cerâmico em substituição total ou parcial da areia de rio, em argamassas de assentamento e revestimento. Estudos estão sendo efetuados sobre a aderência com outros substratos, tais como tijolo comum e tijolo de 12 furos.

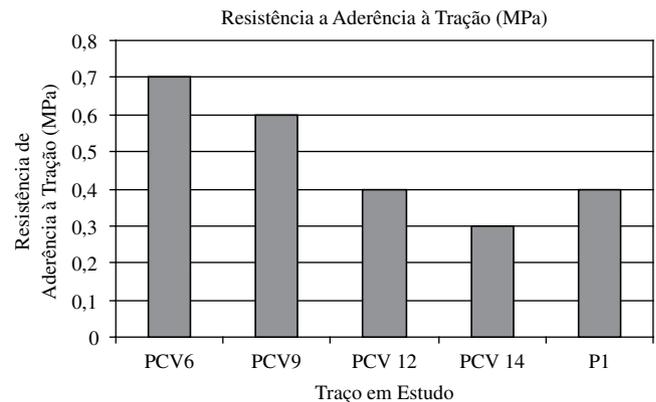


Figura 5. Resistência de aderência à tração das argamassas em estudo aos 28 dias de idade.

3.4. Discussão

Inicialmente vamos nos fixar nas argamassas de mesmo traço (PCV9, P1 e C1). Pelos resultados apresentados na Tabela 2, nota-se que comparativamente as argamassas de referência P1 e C1, a argamassa PCV9, dosada com o mesmo traço, apresentou maior índice de consistência para uma relação água cimento menor. Nota-se também que a PCV9 apresenta menores densidades, o que é devido à menor densidade real do agregado reciclado relativamente à areia quartzosa. O seu nível de absorção é maior bem como o índice de

vazios. Aparentemente estes dois últimos parâmetros poderiam indicar uma deficiência, porém, quando a resistência à compressão e a aderência são comparadas, podemos ver a superioridade evidente das argamassas contendo o agregado reciclado, mesmo aquelas com traços mais pobres em cimento (PCV12 e PCV14). Uma outra observação importante é que o fato dos agregados conterem o esmalte cerâmico em uma ou outra face, não impediu a funcionalidade do agregado como formador de esqueleto na argamassa. Em adição, reações adversas do tipo álcali agregado e/ou baixa adesão de interface esmaltada/pasta, aparentemente não ocorreram.

Conforme mostra a Figura 4, painéis expostos ao ambiente feitos com argamassas aplicadas em bloco de cimento confeccionados. A argamassa PCV9, segundo relato do profissional que aplicou, se comportou muito bem com relação a aplicação (boa aderência ao lançamento e sem rebote) e desempenho posterior, não apresentando fissuras ou lascamentos mantendo-se íntegra, passados 360 dias da sua aplicação.

Para concluir fica evidente que a resistência de aderência apresentada pelas argamassas contendo o agregado reciclado foram excelentes comparativamente às argamassa de referência de mesmo traço.

4. Conclusões

Pelos resultados obtidos nesta investigação pode-se concluir que:

- A utilização de agregados reciclados de piso cerâmico em substituição à areia de rio, em argamassa de assentamento e revestimento é altamente viável em vista das propriedades compatíveis para as aplicações normais das argamassas feitas com areia de rio. Sem contar com baixo custo envolvido na reciclagem.
- Embora a questão da durabilidade não tenha sido especificamente investigada, o que ocorrerá numa próxima etapa, os resultados de boa resistência mecânica indicam que não houve nenhuma reação adversa provocada pelas faces esmaltadas do agregado reciclado, que promovesse dano microestrutural durante o envelhecimento, pelo menos até a idade de 360 dias.
- Estes fatos são indicativos da viabilidade da utilização do agregado reciclado de piso cerâmico em substituição total ou parcial da areia de rio, em argamassas de assentamento e revestimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ à FAPESP/CEPID/CMDMC e ao Laboratório de Engenharia Civil (DECiv) da UFSCar e ao Professor Jefferson Libório Libardi do Depto de Estruturas da ESSC-USP São Carlos pelo equipamento para avaliação da aderência.

Referências

1. Ferreira, H. C. et al. Utilização dos resíduos da construção civil para uso como agregados em argamassas de assentamento e revestimento.

- In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 42., 1998, Poços de Caldas. **Anais...**Poços de Caldas: ABC, 1998, p. 752-755.
2. Costa, J. S.; Martins, C.A.; Baldo, J. B. Reciclagem de louça sanitária no desenvolvimento de concreto não estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 46., agosto, 2004. **Anais...** Curitiba - PR. CD-ROM.
3. Costa, J. S.; Martins, C. A.; Baldo, J. B. Reciclagem de louça sanitária no desenvolvimento de argamassas, in: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 46., agosto, 2004. **Anais...** Curitiba - PR. CD-ROM.
4. Costa, J. S.; Martins, C.A.; Baldo, J. B. Reciclagem de rejeitos da indústria de tijolos e telhas utilizados como agregado em argamassas, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 47., julho 2003. **Anais...** João Pessoa - PB. CD-ROM.
5. Silva Jr, J. E. S.; Baldo, J. B.; Martins, C. A.; Sordi, V. L. Reciclagem de Cerâmica Vermelha para uso na Indústria da Construção Civil. In: CIC UFSCar, IX, 2001, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2001. Trab. 356, 1 CD. 2001.
6. Miranda, L. F. R. **Estudos de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** 2000. 190 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578:** Cimento Portland Para Argamassas. Rio de Janeiro. ABNT, 1987.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro. ABNT, 1992.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto-especificação. Rio de Janeiro. ABNT 1983.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217:** Agregados. determinação de composição granulométrica. Rio de Janeiro. ABNT, 1987.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:** Cimento Portland. Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. ABNT, 1991.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Determinação do teor e água para obtenção do índice de consistência padrão. Rio de Janeiro. ABNT, 1995.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro. ABNT, 1995.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251:** Agregado no estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro. ABNT, 1995.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão. Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. ABNT, 1987.
16. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. ABNT. 1994.