

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: REAPROVEITAMENTO DE REJEITOS ARGILO-MINERAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS

R. N. F. M. de Carvalho, K. F. Castro, S. G. e Gonçalves, B.T.
Bessa, J. A. S. Souza, D. S. Quaresma
Universidade Federal do Pará – UFPA
keyllaftcastro@yahoo.com.br

Resumo

O presente artigo trata do reaproveitamento dos rejeitos argilominerais da construção civil na produção de argamassas. Considerada uma das principais atividades geradoras de desenvolvimento econômico e social, o setor da construção civil é também o responsável por uma série de impactos ambientais, entre eles a geração de resíduos/entulho constituído principalmente por silico-aluminatos com características de elevado teor de sílica e alumina, isolados. Neste trabalho, o rejeito da construção civil foi utilizado como matriz em mistura com cinza volátil (resíduo de carvão mineral) e cimento Portland, para a produção de argamassas de assentamento e revestimento. O resíduo da construção civil foi submetido à caracterização através da análise de difração de raios-x. Após a cura dos corpos de prova, foram realizados ensaios de absorção, porosidade, densidade e resistência à compressão. Os resultados revelaram uma mistura muito interessante e de baixo custo para a utilização como argamassa na construção civil.

Palavras-chave: Construção civil; Rejeito; Compósito argilo-mineral; Argamassa.

INTRODUÇÃO

A construção civil é considerada uma das principais atividades geradoras de emprego, renda e desenvolvimento social. No entanto, é responsável por uma série de impactos ambientais, desde o alto consumo de recursos naturais e a modificação da paisagem, até a geração de resíduos (PINTO, 2005, p. 6). Com o desenvolvimento da consciência do setor da construção civil com relação aos problemas ambientais, ha uma grande procura em desenvolver materiais e processos construtivos menos onerosos ao homem e ao meio ambiente (ROCHA & JOHN, 2003, p. 73).

A construção civil gera a maior parte dos resíduos sólidos urbanos produzidos nas cidades. A falta de efetividade das políticas públicas, capazes de ordenar os fluxos da destinação desses resíduos provocam uma série de impactos, entre os quais destacamos a degradação de áreas de mananciais, a proliferação de agentes transmissores de enfermidades, a obstrução de sistemas de drenagem e a ocupação de vias públicas, degradando a paisagem urbana (PINTO, 2005, p. 8).

Usualmente, as formas de aproveitamento desses resíduos baseiam-se em aspectos qualitativos – textura, forma, granulometria, cor, capacidade de aglutinação – sem embasamento com relação às características que avaliem o comportamento do material à longo prazo. Com o intuito de avaliar o potencial real de aproveitamento do resíduo, é necessário identificar parâmetros não só estruturais, mas ainda geométricos e ambientais dos resíduos (ROCHA & JOHN, 2003, p. 76).

A forma mais simples de aproveitamento é na forma de agregados, gerando uma economia de 80% em relação aos agregados convencionais. Ao atingir uma granulometria semelhante à da areia, com a utilização de moinhos na própria obra, o resíduo pode ser utilizado como agregado para a argamassa de assentamento e revestimento, eliminando compras de material e custos de transporte, reduzindo o consumo de cimento e cal, e, ainda, aumentando a resistência à compressão da argamassa (MATOS, 2009, p. 25-26).

A reciclagem de rejeitos de construção civil é de fundamental importância para minimizar os impactos gerados pelo grande volume de rejeitos que são produzidos todos os dias em construções em todo o Brasil.

MATERIAIS

O rejeito da construção civil é a matriz do compósito argilo-mineral a ser analisado neste artigo. Porém, outros dois materiais são também usados no compósito: o Cimento Portland Comum (CP I) e a Cinza mineral.

Rejeito da construção civil

A matriz do compósito, o rejeito argilo-mineral da construção civil foi coletado bruto nas construções localizadas na Cidade Universitária João Silveira Netto.

Cimento

O cimento utilizado foi o cimento Portland Comum (CP I). Essa denominação é dada ao cimento obtido pela mistura em proporções apropriadas de materiais calcários e argilosos, ou outros materiais contendo sílica, alumina e óxido de ferro aquecida à temperatura de clínquerização, moendo-se em seguida o clínquer resultante (NEVILLE, 1997). De acordo com a NBR 5732:1991, o Cimento Portland Comum (CP I) é um “[...] aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.” Os teores dos componentes do CP I, suas exigências químicas, físicas e mecânicas seguem os valores determinados na NBR citada.

As matérias primas utilizadas na fabricação do cimento Portland consistem principalmente de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro, que reagem no interior do forno de produção de cimento dando origem ao clínquer, cujos compostos principais são os seguintes: silicato tricálcio, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, ferro aluminato tetracálcico.

Estes compostos se formam no interior do forno quando a temperatura se eleva a ponto de transformar a “mistura crua” num líquido pastoso que, ao resfriar-se, dá origem a substâncias cristalinas, como ocorrem com os três produtos acima citados, e a um material intersticial amorfo, o C_4AF , e a outros óxidos, compostos alcalinos e sulfatos conforme a tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Principais compostos do cimento Portland.

CIMENTO PORTLAND - COMPOSTOS	
Compostos	Abreviações
CaO	C
SiO₂	S
Al₂O₃	A
Fe₂O₃	F
MgO	M
SO₃	S
H₂O	H
3 CaO.SiO₂	C₃S
2 CaO.Si O₂	C₂S
3 CaO.Al₂O₃	C₃A
4 CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃	C₄AF
4 CaO.Al₂O₃.SO₃	C₄A₃S
3 CaO.2SiO₂.3H₂O	C₃S₂H₃
CaSO₄.2H₂O	CSH₂

Fonte: METHA E MONTEIRO, 1994.

Cinza

A cinza utilizada é proveniente da queima de carvão mineral. O carvão é uma rocha sedimentar composta de matéria orgânica e inorgânica. São gerados após a queima de carvão mineral nos processos de geração de energia em usinas termelétricas do mundo todo, em países como a China, E.U.A, Índia, Austrália, África do Sul, Rússia, Indonésia, Polônia, Espanha, Brasil, entre outros. Pode ser utilizado para diversos fins, como indústria petroquímica, farmacêutica, de cimento, geração de energia, entre outros.

A formação das cinzas se dá pela combustão direta do carvão fóssil, que é uma matéria-prima sólida, construídas por duas frações intimamente misturadas, uma orgânica (matéria volátil mais carbono fixo) e uma fração mineral (argila, quartzo, pirita, carbonatos, etc.). Pela ação do calor, a fração orgânica gera voláteis e coque, enquanto a fração mineral se transforma em cinza com uma mineralogia modificada, tendo em vista, a perda das águas das argilas, decomposição dos carbonatos, oxidação dos sulfetos, etc. (ROHDE *et al.*, 2006). No processo da queima, são gerados os seguintes tipos de cinzas:

- **Escórias:** são resultantes da queima de carvão granulado em equipamentos de pequeno porte, apresentam granulometria mais grosseira e blocos sinterizados com altos teores de carbono incombusto, variando de 5 a 20%;
- **Cinzas de fundo (pesadas):** material que fica segregado no fundo das fornalhas de combustão pulverizada ou fluidizada, portanto de granulometria maior. Apresenta teores de carbono incombusto variando de 1 a 5%;
- **Cinzas volantes (leves):** resultam da combustão de carvão pulverizado ou em leito fluidizado. É o material de menor granulometria, constituído, em grande parte, por partículas esféricas com dimensões que variam entre 0.5 µm e 100 µm.

As cinzas brasileiras não possuem legislação específica, sendo classificadas, em sua maioria como “resíduo Classe II – A – não inerte”, devendo ser encaminhadas para aterro sanitário quando a alternativa de reciclagem tenha sido descartada (ROHDE *et al.*, 2006).

Os elementos predominantes das cinzas são Al, Si, O, Fe, Ca, K e Na. Elementos traços como As, B, Ca, Mo, S, e Se podem ser encontrados nas partículas menores. O pH das cinzas varia de 4,5 a 12 dependendo das

características geoquímicas do carvão precursor (FERRET, 2004). As cinzas utilizadas no compósito são as cinzas volantes.

A composição química da cinza é determinada pelo tipo de carvão utilizado e pela quantidade de material incombustível presente no mesmo (METHA e MONTEIRO, 1994).

A composição química típica da cinza volante é apresentada na tabela 2.

Tabela 2: Composição química da cinza volante

CINZA VOLANTE - COMPOSIÇÃO	
Elementos Químicos	Cinza Volante (%)
SiO₂	58
Al₂O₃	27,48
Fe₂O₃	5,66
MnO	0,03
MgO	0,88
CaO	1,68
Na₂O	0,3
K₂O	2,74
TiO₂	1,41
P₂O₅	0,28
P.F	1,15
CO₂ total	2,3
C orgânico	0,63
S total	0,1
Cl	0

Fonte: Cheira e Rocha, 1997

MÉTODOS

Preparação da matéria-prima

O rejeito foi submetido ao processo de trituração em Britador de Mandíbula Briterpa (Modelo 1020 – Série 08), e peneirado em peneiras ABNT $\frac{3}{4}$ (19,1 mm). Em seguida, o rejeito foi moído em Moinho de Disco Marconi (Modelo MA700 – Série 10 0690037) com a finalidade de atingir uma granulometria adequada.

Após esse processo, com o rejeito moído, foi utilizado um equipamento de peneiramento para que o material usado na fundição dos corpos de prova se constituísse apenas de grãos passantes em peneira de malha #100, cuja abertura é de 150 μm , sendo este o produto final necessário para o compósito.

Fundição dos corpos de prova

Com os materiais no estado granulométrico desejado, passou-se para a confecção das formas onde serão fundidos os corpos de prova.

A partir da forma-modelo em aço, foram confeccionadas formas em PVC.

Foram estabelecidos os traços dos corpos de prova que seriam testados através dos ensaios. Sendo os traços segundo a tabela 3.

Tabela 3: Traços utilizados nos corpos de prova

Material/ Traço	Rejeito	Cimento	Cinza
1	70%	0%	30%
2	70%	10%	20%
3	70%	30%	0%

Fonte: Os autores

Para cada traço, foram feitos 4 corpos de prova, submetendo-os a uma cura de 28 dias.

Difração de raios-x

As análises de DRX foram realizadas no difratômetro de raios-X do modelo X'Pert Pro MPD (PW 3040/60) PANalytical, com goniômetro PW3050/60(θ - θ) e com tubo de raios-X cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha_1 = 1,540598 \text{ \AA}$) modelo PW3373/00, foco fino longo, filtro $K\beta$ de Ni, detector X'Celerator RTMS (*Real Time Multiple Scanning*) no modo *scanning* e com *active length* 2,122°. Foram usadas as seguintes condições instrumentais: Varredura 4° a 75° 2 θ , 40 kV, 30 mA, passo 0,02° em 2 θ e tempo/passo de 20 s, fenda fixa 1/4° e anti-espalhamento 1/2°, máscara 10 mm, movimento da amostra spinning, com 1 rps.

Absorção de água (Aa), porosidade aparente (PA) e massa específica aparente (MEA)

Para avaliar as propriedades cerâmicas e verificar como as argamassas se comportavam em diferentes composições de mistura, submeteu-se os corpos de prova das argamassas aos seguintes ensaios: absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente. Estes ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 6220.

Resistência à compressão

Para aferir a resistência à compressão dos traços propostos, utilizou-se o método exposto na ABNT NBR 7215:1996 – “Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão”. O ensaio foi executado no Laboratório de Materiais de Engenharia Civil-UFGA, com o equipamento da marca Amsler, que mede a compressão em kgf/cm³.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Difração de Raios-X: Caracterização dos Resíduos da Construção Civil

A figura 1 representa a caracterização da amostra por difração de raio-x. Esta análise foi utilizada para identificar as fases químicas dos principais compostos do resíduo de construção civil apresentando os resultados listados na Tabela 4.

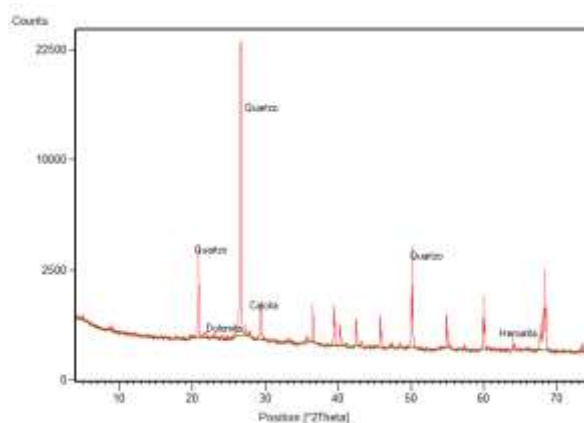


Figura 1: Difração de raio-x do resíduo de construção civil

Tabela 4: Composição química do resíduo de construção civil.

COMPOSIÇÃO	FÓRMULA
Quartzo	SiO ₂
Calcita	CaCO ₃
Dolomita	CaMg(CO ₃)
Hematita	Fe ₂ O ₃

Fonte: Os autores

Absorção de água (Aa), porosidade aparente (PA) e massa específica aparente (MEA)

A tabela 5 mostra os resultados de porosidade aparente, massa específica aparente e absorção de água, aos 28 dias de cura das argamassas produzidas.

Tabela 5: Ensaios de Absorção de água, porosidade aparente e densidade de massa aparente.

Ensaios			
	Absorção de Água (%)	Porosidade Aparente (%)	Massa específica Aparente (g/cm³)
Tr 2	31,86 ± 0,33	38,54 ± 1,37	1,04 ± 0,13
Tr 3	16,91 ± 1,08	21,11 ± 1,62	0,80 ± 0,01

Fonte: Os autores

Os ensaios referentes ao traço 1 não estão presentes na tabela 5, pois os corpos de prova ao entrarem em contato com a água solubilizaram. Isso ocorreu devido os mesmos apresentarem em sua composição apenas rejeito e cinza. Observa-se com isso que a cinza volante apesar de apresentar atividade pozolânica não pode ser utilizada como substituinte total do cimento.

A partir dos valores obtidos nos ensaios de Absorção de água, Porosidade Aparente e Massa Específica Aparente conclui-se que o traço 2 apresentou maior porosidade aparente, conseqüentemente os resultados para a absorção de água e a massa específica aparente também foram maiores em relação ao traço 3. Isso ocorreu devido a traço 2 apresentar em sua composição menor quantidade de cimento apenas 10%, enquanto que o traço 3 apresentava 30% de cimento, condicionando o corpo de prova a uma maior compactação estrutural, haja visto que o cimento é um material aglomerante. Os resultados foram dados em média ± desvio padrão.

Resistência à compressão

Foram executados os ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova, no Laboratório de Materiais de Engenharia Civil-UFPA, após cura de 28 dias.

Os valores obtidos seguem na tabela 6.

Tabela 6: Ensaio de resistência à compressão.

Nº Corpo de Prova	Traço 1		Traço 2		Traço 3	
Unidade	Kgf/cm²	MPa	Kgf/cm²	MPa	Kgf/cm²	MPa
CP1	20	1,9	140	13,7	1700	166,7

CP2	20	1,96	290	28,4	1770	173,5
CP3	-	-	240	23,5	-	-

Fonte: Os autores

Observou-se que nos corpos de prova de Traço 1, constituído de cinza e rejeito, mostrou-se o menos resistente à compressão. À medida que foi adicionado cimento ao traço e diminuída a quantidade de cinza, a resistência do corpo de prova aumentou, atingindo seu ápice nos corpos de prova de traço 3, como verifica-se na figura 2.

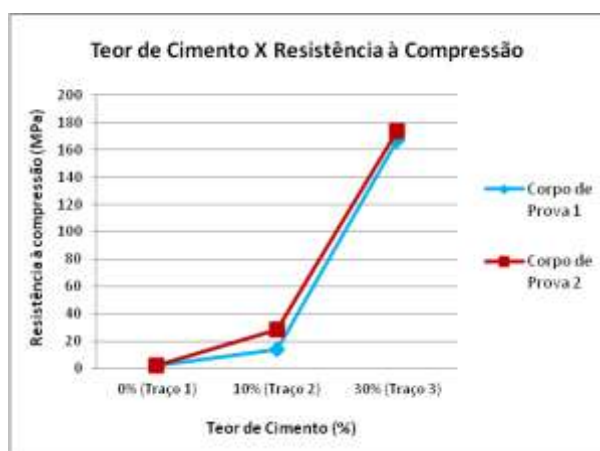


Figura 2: Gráfico da relação Teor de Cimento e Resistência à compressão.

Com os valores obtidos no ensaio de Resistência à Compressão são possíveis desenvolver algumas hipóteses. Assim é provável que o Corpo de Prova (CP1), com cura mais prolongada, torne-se mais resistente. Já o traço 3, ficou evidente que para uso na parede ou piso poderá haver uma mistura variada com redução do cimento, uma vez que nestas proporções, a resistência é maior que o requerido de uma argamassa que, de acordo com a NBR 13281 “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos”, apresenta seus limites de resistência à compressão aos 28 dias de acordo com a tabela 7, sendo a identificação da argamassa I – normal - a.

Tabela 7: Requisitos de resistência à compressão de argamassas para revestimento.

Características	Identificação	Limites
Resistência à compressão	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$

aos 28 dias (MPa)	II	$\geq 4,0$ e $\leq 8,0$
	III	$> 8,0$

Fonte: NBR 13281:2001, p. 2

CONCLUSÃO

Observa-se com o estudo que a utilização de resíduo da construção civil se configura como uma alternativa promissora de reaproveitamento de rejeitos argilo-minerais para produção de argamassas, visto que a partir da ótica da sustentabilidade, a reutilização desses rejeitos são fundamentais no contexto atual.

REFERÊNCIAS

ADRIANO, D. C.; PAGE, A. L.; ELSEEWI, A. A.; CHANG, A. C.; STRAUGHAN, I. Utilization and disposal of fly ash and other coal residues in terrestrial ecosystems: a review. J. Environm. Qual., v. 9, n. 3, p. 333-334, 1980.

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, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13280: Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13281: Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5732: Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro, 1991.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6220: Materiais refratários densos conformados — Determinação do volume aparente, densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida. Rio de Janeiro, 2011.

BELÉM, Prefeitura Municipal. Lei Ordinária nº 8014, de 28 de junho de 2000. Disponível em: < <http://www.belem.pa.gov.br/semaj>>. Acesso em: 19 de setembro de 2012.

BELÉM, Prefeitura Municipal. Decreto Municipal nº 38323, de 9 de abril de 2001. Disponível em: <<http://www.belem.pa.gov.br/semaj>>. Acesso em: 19 de setembro de 2012.

FERRET, L. S. Zeólitas de cinzas de carvão: síntese e uso. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre.

MARTINS, J. L.. Aproveitamento de cinza de carvão mineral na agricultura. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre.

MATOS, E. L. S. Reaproveitamento de resíduos da construção civil. Trabalho de conclusão em Engenharia Civil. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade de Amazônia – UNAMA. Belém, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. São Paulo : Pini, 1997.

PINTO, T. P. Gestão ambiental de resíduos da construção civil: experiência da SindusCon-SP. São Paulo: Obra limpa, I&T, SindusCon-SP, 2005.

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. Utilização de resíduos na construção habitacional. Coletânea Habitare, vol. 4, 2003.

Universidade Federal do Pará de transforma em canteiro de obras. Disponível em: <<http://www.portal.ufpa.br/imprensa/noticia.>>. Acesso em: 18 de setembro de 2012.

ROHDE, G. M.; ZWONOK, O.; CHIES, F.; SILVA, N. I. W. Cinzas de carvão fóssil no Brasil – Aspectos técnicos e ambientais. Porto Alegre: CIENTEC. V. 1 (202 p), 2006.

SUSTAINABILITY IN CIVIL CONSTRUCTION: RECLAIMING OF THE CLAY MINERALS REJECTS OF CIVIL CONSTRUCTION FOR MORTAR PRODUCTION

Abstract

This article deals with the reuse of waste clay minerals production in construction grout. Considered one of the main activities that generate economic and social development, the construction industry is also responsible for a number of environmental impacts, including the generation of waste/debris. However, the development of consciousness in the industry with respect to environmental issues, fosters research in order to develop materials and construction processes less costly to man and the environment. A set of laws and public policies, as well as some technical standards, regulating the management of waste and reuse some criteria, such as use in paving and preparing non-structural concrete. In this article, the waste of construction acts as a matrix of clay-mineral composite constituted also by the volatile and gray cement. Characterization of

the materials occurs through X-ray diffractometry. After melting the samples are made tests of absorption, porosity, density and compressive strength. Thus the potential of the field is set up this way enabling its reuse in construction.

Key-words: Construction industry; Waste; Grout; Clay-mineral composite.