

Argamassas mistas para alvenaria utilizando resíduo de caulim - Parte I: comportamento mecânico

(Masonry mortars using kaolin processing waste -
Part I: mechanical property)

Aretuza K. A. da Rocha

Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG. E-mail: aretuzakarla@terra.com.br

Romualdo Rodrigues Menezes

Pesquisador Dr., Unidade Acadêmica de Eng. de Materiais, UFCG

E-mail: romualdomenezes@dema.ufcg.edu.br

Gelmires de Araújo Neves

Prof. Dr. Unidade Acadêmica de Eng. de Materiais, UFCG. E-mail: gelmires@dema@ufcg.edu.br

Heber Carlos Ferreira

Prof. Dr. Unidade Acadêmica de Eng. de Materiais, UFCG. E-mail: heber@dema.ufcg.edu.br

Weyne Almeida de Melo

Mestranda em Engenharia de Materiais, UFCG. E-mail: weyne.melo@embasa.ba.gov.br

Resumo

O caulim é um material com vasta gama de aplicações nos mais diversos setores industriais, como a indústria de papel e a cerâmica. No entanto, sua extração e beneficiamento provocam a geração de enorme quantidade de resíduos. Assim, esse trabalho tem por objetivo analisar a utilização do resíduo do beneficiamento do caulim como matéria-prima alternativa em argamassas para a construção civil. O resíduo foi caracterizado através da determinação de sua composição química, difração de raios X e determinação da distribuição granulométrica. Foram formuladas argamassas substituindo parcialmente a cal hidratada por resíduo. Em seguida, foram confeccionados corpos-de-prova e determinada sua resistência à compressão simples e à tração indireta. A substituição da cal por adições de até 20% de resíduo de caulim possibilitou o aumento da resistência das argamassas estudadas em até 80%. Com base nos resultados, pode-se concluir que o resíduo de caulim pode ser utilizado para a produção de argamassas para construção civil com propriedades mecânicas de acordo com a normalização e que a adição do resíduo pode melhorar a resistência mecânica das argamassas convencionais.

Palavras-chave: Reciclagem, resíduo de caulim, argamassa.

Abstract

Kaolin is a material used in a wide range of applications in many industrial sectors, as the paper and the ceramic industry. However, the kaolin processing industry generates large amounts of waste. Thus, the aim of this work is to evaluate the kaolin processing waste suitability as an alternative raw material for the production of mortars. The waste was characterized by determining its chemical composition, particle size distribution, and X-ray diffraction. Mortars were prepared by partially substituting kaolin waste for hydrated lime. Test specimens were prepared and their compression and indirect tension strength determined. The substitution of the lime by additions of up to 20% of kaolin waste improved the mechanical strength of masonry mortars up to 80%. The mechanical properties of the alternative mortars are in accordance with standard values, which indicated that it is possible to use kaolin waste for the production of mortars. Moreover, the waste addition may improve the mechanical properties of the conventional mortars.

Keywords: Recycling, kaolin waste, mortar.

1. Introdução

Em todo o mundo, milhões de toneladas de resíduos inorgânicos são produzidos a cada dia nas atividades de mineração e beneficiamento mineral. Tradicionalmente esses resíduos são descartados em aterros e, muito comumente, são jogados diretamente no meio ambiente, sem qualquer processo de tratamento ou imobilização. Todavia alternativas de reciclagem e/ou reutilização devem ser investigadas e, sempre que possível, implementadas (Tulyaganov et alii, 2002, Raupp-Pereira et alii, 2006). A abordagem ambiental mais recente objetiva a conservação e o desenvolvimento sustentável, com a minimização do descarte dos materiais oriundos das atividades industriais (Souza & Mansur, 2004) e o posicionamento das considerações ecológicas como parte integrante das decisões políticas, sociais e econômicas (Silva et alii, 2001).

A indústria de extração e beneficiamento do caulim apresenta comportamento de manipulação e tratamento de resíduos semelhante ao observado em grande parte da indústria mundial, considerando seus resíduos apenas como materiais que precisam ser descartados, independentemente do modo de destinação final.

O caulim é um mineral com grande gama de aplicações, como, por exemplo, nas indústrias de papel, borracha, plásticos, tintas, inseticidas e pesticidas, alimentos e rações, cimentos, fertilizantes e fármacos. Entretanto, apesar da grande importância tecnológica do caulim, sua extração e beneficiamento produzem enorme quantidade de resíduos, em virtude do seu processamento ter rendimento de, aproximadamente, apenas 30% do total extraído.

Dois tipos de resíduos são gerados durante o processamento do caulim, um oriundo da etapa de separação do quartzo do minério caulim, que representa cerca de 70% do total produzido e é gerado pelas empresas mineradoras na etapa logo após a extração. O outro resíduo origina-se na segunda fase do beneficiamento, que compreende processos de

tratamento a úmido, que objetivam separar a fração fina do minério, purificando o caulim e gerando um resíduo na forma de lama (Menezes et alii, 2007a).

A maioria do rejeito gerado é, em geral, descartada em campo aberto e em várzeas de riachos e rios, o que causa agressão à fauna e à flora e à saúde da população. Essa postura por parte das empresas produtoras de caulim vem sendo alvo de severas fiscalizações dos órgãos de proteção ambiental, fazendo com que o resíduo gerado torne-se fonte de custos para as empresas e, por vezes, um limitante no aumento de suas produções (Menezes et alii, 2007a).

No entanto, considerável esforço vem sendo dedicado, nos últimos anos, em pesquisas para reutilização e aplicação segura dos resíduos das indústrias de mineração e beneficiamento mineral. A inserção dos resíduos num ciclo produtivo representa uma opção de recuperação alternativa, sendo interessante tanto no aspecto ambiental como no econômico (Andreola et alii, 2002). A reciclagem e a re-utilização estão entre as principais alternativas na busca pelo desenvolvimento sustentável, tanto pelos fatores econômicos, como pelos ambientais, possibilitando a economia das matérias-primas não renováveis e de energia e reduzindo os impactos ambientais dos resíduos na sociedade moderna.

Nesse sentido, a incorporação dos resíduos da extração e do beneficiamento mineral em produtos para construção civil tem-se mostrado uma ótima alternativa para diversificar a oferta de matérias-primas e para a economia de recursos naturais (Menezes et alii, 2002a, 2002b, 2005). Pesquisadores da Universidade Federal de Campina Grande, PB, desenvolveram trabalhos visando ao reaproveitamento dos resíduos do beneficiamento do caulim com sua incorporação em blocos e telhas cerâmicos (Menezes et alii, 2007a, 2007b).

Seguindo essa abordagem, observou-se recentemente (Gemelli et alii, 2004) que, dependendo da composição química e da distribuição do tamanho de partí-

culas, vários resíduos industriais podem ser usados em argamassas para a construção civil, seja em substituição parcial ao cimento ou ao agregado miúdo.

Esse trabalho tem por objetivo analisar a utilização do resíduo do beneficiamento do caulim como matéria-prima alternativa em argamassas para construção civil.

2. Materiais e métodos

Nessa pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais: resíduo do beneficiamento de caulim, proveniente da segunda etapa do beneficiamento (cedido pela empresa Caulisa Indústria S/A, Juazeirinho, PB); cimento Portland, CII-F-32 (ABNT 1991) (Cimpor, Cimentos do Brasil, João Pessoa, PB); cal hidratada cálcica, CH-I (ABNT 1992a) (Carbomil, Fortaleza, CE) e três tipos de areia (provenientes do rio Paraíba, localizado no município de Barra de Santana, PB), denominadas por grossa, média e fina (diâmetro máximo de 4,8 mm, 2,4 mm e 1,2 mm, respectivamente - ABNT, 1982a). As areias grossa, média e fina apresentaram teor de material pulverulento (ABNT, 2005a) de 0,16, 0,28 e 0,36%, respectivamente.

O resíduo de caulim foi caracterizado através da determinação da sua composição química, por fluorescência de raios X (Shimadzu EDX-900), difração de raios X (Siemens/Brucker, AXS D5005), análise granulométrica (ABNT, 1984a), determinação da massa específica (ABNT, 1984b) e determinação na massa unitária solta (ABNT, 1982b). Foram realizadas, também, a caracterização física (distribuição granulométrica, massa específica e massa unitária solta) das areias e cal utilizadas e a determinação da composição química da cal. As características do cimento utilizado estavam de acordo com a normalização (ABNT, 1991).

Os traços das argamassas convencionais e alternativas foram formulados com cimento, areia, cal hidratada e resíduo de caulim. Os traços, em volume (proporções das matérias-primas), estudados nessa pesquisa são apresentados na

Tabela 1. A confecção dos traços alternativos foi realizada a partir de traços convencionais substituindo parte da cal hidratada por resíduo. O teor de água (fator água/aglomerante) foi determinado adicionando-se a água à mistura de materiais de modo a se obter o índice de consistência-padrão proposto na normatização (ABNT, 2005b). Para se obter o índice de consistência, utilizou-se a mesa 270 mm \pm 10 mm, durante 10 minutos, conforme procedimento normatizado (ABNT, 2005b).

As matérias-primas foram processadas em misturador mecânico e, em seguida, foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos, com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura (em um total de 10 corpos-de-prova para cada série). Os corpos-de-prova foram curados por 7, 28 e 60 dias imersos em água em um tanque com 2% de cal (ABNT, 1996). Em seguida, foram determinados os valores de resistência à compressão simples e de resistência à tração indireta (tração por compressão diametral) (ABNT, 1995a,

1996), utilizando-se uma velocidade de carregamento de 100 N/s. Com base nos resultados obtidos, foram calculados os desvios-padrão.

3. Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta a composição química do resíduo de caulim e da cal utilizada. O resíduo contém SiO_2 e Al_2O_3 como principais constituintes. O potás-

Tabela 1 - Traços das argamassas convencionais e alternativas.

Finalidade	Traço	Resíduo (%)	$f_{a/aglo}^a$	Materiais
Chapisco	1:2:3	0% resíduo	0,76 \pm 0,02	cimento: cal: areia grossa
		5% resíduo	0,76 \pm 0,01	cimento: (cal + resíduo): areia grossa
		10% resíduo	0,79 \pm 0,02	
		15% resíduo	0,77 \pm 0,02	
		20% resíduo	0,75 \pm 0,01	
Assentamento	1:4:28	0% resíduo	0,76 \pm 0,02	cimento: cal: areia média
		5% resíduo	1,17 \pm 0,02	cimento: (cal + resíduo): areia média
		10% resíduo	1,17 \pm 0,01	
		15% resíduo	1,14 \pm 0,02	
		20% resíduo	1,18 \pm 0,02	
Emboço	1:2:11	0% resíduo	1,11 \pm 0,02	cimento: cal: areia média
		5% resíduo	0,86 \pm 0,01	cimento: (cal + resíduo): areia média
		10% resíduo	0,85 \pm 0,02	
		15% resíduo	0,87 \pm 0,01	
		20% resíduo	0,87 \pm 0,02	
Revestimento (Reboco)	1:2:9	0% resíduo	0,81 \pm 0,02	cimento: cal: areia fina
		5% resíduo	0,79 \pm 0,02	cimento: (cal + resíduo): areia fina
		10% resíduo	0,81 \pm 0,02	
		15% resíduo	0,79 \pm 0,02	
		20% resíduo	0,83 \pm 0,03	

^a Fator água/aglomerante \pm desvio-padrão.

Tabela 2 - Composição química do resíduo de caulim (% em massa).

Matéria-Prima	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	P.F. ^a
Resíduo de Caulim	52,68	33,57	0,93	5,72	0,12	-	-	-	6,75
Cal	0,78	-	-	-	-	72,8	2,31	-	23,62

^a Perda ao Fogo.

sio está presente em quantidade significativa, entretanto isso não é, necessariamente, uma limitação à sua utilização em argamassas (em virtude de problemas de eflorescência ou subeflorescências), o que dependerá da forma como o potássio está presente no material. Verifica-se que a cal utilizada trata-se realmente de uma cal cálcica com pequeno teor de MgO.

O padrão de difração de raios X do resíduo de caulim está apresentado na Figura 1. O resíduo é constituído por caulinita, mica e quartzo, o que indica que o potássio presente no material (Tabela 1) é oriundo da mica. Assim, o elevado teor de potássio do resíduo não interferirá na sua aplicação para a produção de argamassas, no sentido de desenvolvimento de eflorescências e/ou subeflorescências, já que o potássio está “fixado” nas regiões interlamelares da mica.

A Tabela 3 apresenta a distribuição granulométrica do resíduo do beneficiamento do caulim, dos agregados e da cal utilizados. O resíduo de caulim apresenta uma larga distribuição de tamanho de partículas, com 87% da massa composta por partículas com dimensão inferior a 4,8 mm e 64% com partículas menores que 2,4 mm. Comparando-se a granulometria do resíduo com a classificação da normalização para agregado miúdo (ABNT, 2005a), observa-se que o resíduo se enquadra na zona utilizável superior (zona com módulo de finura entre 2,90 a 3,50), por possuir módulo de finura de 3,19. Apesar da elevada quantidade

de de material acima de 2,4 mm, o resíduo possui significativa fração de material abaixo de 0,075 mm, relacionada à caulinita e mica presentes na sua constituição, o que indica que pode atuar tanto como agregado como fonte de finos.

Os agregados grosso, médio e fino apresentam módulos de finura (MF) de 1,75, 2,36 e 3,03, respectivamente, o que faz com que, de acordo com a normalização (ABNT, 2005a), se enquadrem na zona utilizável inferior (MF de 1,55 a 2,20), zona ótima (MF de 2,20 a 2,90) e zona utilizável superior (MF de 2,90 a 3,03), respectivamente. A cal, como esperado,

apresenta uma presença majoritária de finos (fração inferior a 0,075 mm).

O resíduo apresenta massa específica de 2,61 g/cm³, semelhante ao valor obtido para os agregados. As areias grossa, média e fina apresentam massa específica de 2,60 g/cm³. Esse valor está dentro da faixa (2,20 a 2,65 g/cm³) estabelecida em norma (ABNT, 1987) para agregados miúdos. A cal possui uma massa específica de 2,29 g/cm³. As massas unitárias em estado solto são de 1,28 e 0,70 g/cm³, para o resíduo e a cal, respectivamente, e de 1,38, 1,55 e 1,60 g/cm³, para os agregados fino, médio e grosso, respectivamente.

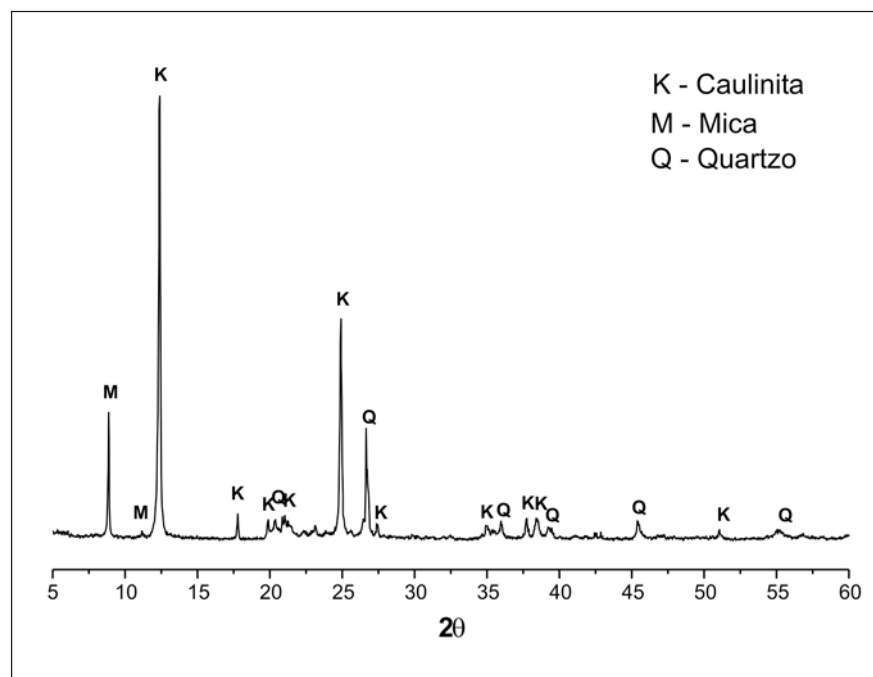


Figura 1 - Padrão de difração de raios X do resíduo de caulim.

Tabela 3 - Distribuição granulométrica acumulada do resíduo de caulim, cal e agregados (% em massa).

Dimensão (mm)	0,075	0,15	0,3	0,6	1,2	2,4	4,8	9,5
Resíduo de Caulim	13,84	17,86	25,00	35,41	49,96	64,20	87,14	100,00
Cal ^a	98,20	-	99,70	100,00	-	-	-	-
Areia Grossa	-	0,76	5,32	33,89	68,77	89,84	98,61	100,00
Areia Média	-	12,35	33,17	58,49	80,73	89,19	95,04	100,00
Areia Fina	-	16,61	41,36	70,97	94,95	99,77	99,95	100,00

^a Dados fornecidos pelo fabricante.

Com base na Tabela 1, observa-se que o fator água/aglomerante ($f_{a/aglo}$) não apresentou (considerando o desvio-padrão) variações nas argamassas para chapisco e revestimento, quando da adição do resíduo de caulim. Interessante observar que essas argamassas são as que apresentam menores teores de agregado. Na argamassa para assentamento, observa-se que o $f_{a/aglo}$ aumentou com a adição do resíduo, enquanto que, na argamassa para emboço, observa-se diminuição do $f_{a/aglo}$. Essas observações indicam que o resíduo pode atuar tanto aumentando como reduzindo o $f_{a/aglo}$, dependendo da argamassa, o que está possivelmente associado à distribuição granulométrica final do sistema (Cincotto et alii, 1995). No entanto, observa-se que o aumento na quantidade de resíduo de 5 para 20%, em substituição a cal, não altera o $f_{a/aglo}$ das argamassas estudadas.

As Figuras 2 a 5 contêm os gráficos de resistência à compressão simples e tração indireta das argamassas para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura. Analisando as curvas de resistência, pode-se observar que, de forma geral, há um aumento na resistência mecânica das argamassas com a introdução do resíduo nas formulações. Nas composições para chapisco, as argamassas com substitui-

ção da cal por teores de até 20% de resíduo apresentam comportamento mecânico significativamente superior ao da argamassa de referência (sem resíduo). Nas formulações para assentamento e emboço, as argamassas com teores de 5 a 15% de resíduo são as que apresentam melhor comportamento mecânico. Nas composições para revestimento, as argamassas alternativas apresentam menor resistência à compressão simples frente à argamassa convencional, entretanto as argamassas alternativas apresentam resistência à tração indireta superior.

Comparando-se os valores obtidos para a resistência das argamassas alternativas com as especificações da normalização (ABNT 1995b) (resistência superior a 0,10 MPa), observa-se que todas as argamassas alternativas desenvolvidas apresentam valores de acordo com as especificações.

A melhora do comportamento mecânico das argamassas alternativas em comparação com as argamassas convencionais poder-se-ia estar associada a dois fatores. Primeiro, a alguma atividade pozolânica do resíduo, porque, ao se analisar o comportamento pozolânico do resíduo de caulim com a cal e o cimento em outros estudos (Menezes et alii, no prelo), verificou-se que o resíduo no seu estado natural (sem passar por proces-

so de calcinação), apesar de não apresentar pozolanicidade com a cal, possui um pequeno grau de pozolanicidade com o cimento. O índice de atividade pozolânica com o cimento foi de 79,43%, superior aos 75% requeridos pela normalização (ABNT, 1992b) para indicar que o material tem características pozolânicas. Segundo, a uma melhora no fator de empacotamento da argamassa com a utilização do resíduo. Estudos (Castro, 2007) observaram, em argamassas de revestimento e assentamento contendo resíduo de caulim, que ocorreu uma diminuição da absorção de água com a adição do resíduo, indicando uma diminuição no índice de vazios. O resíduo apresenta uma larga distribuição de tamanho de partículas (Tabela 3) e, também, um elevado teor de partículas finas, cerca de 18% abaixo de 0,15 mm e mais de 13% abaixo de 0,075 mm, o que favorece o empacotamento do sistema. Nesse sentido, e pelas características físicas do resíduo, o aumento na resistência das argamassas contendo resíduo natural está muito associado a uma ação física dos resíduos, que possibilita um arranjo mais eficiente na interface agregado-pasta de cimento, densificando essa zona e, conseqüentemente, aumentando a resistência da argamassa, tal como observado em outros estudos (Baronio & Binda, 1997).

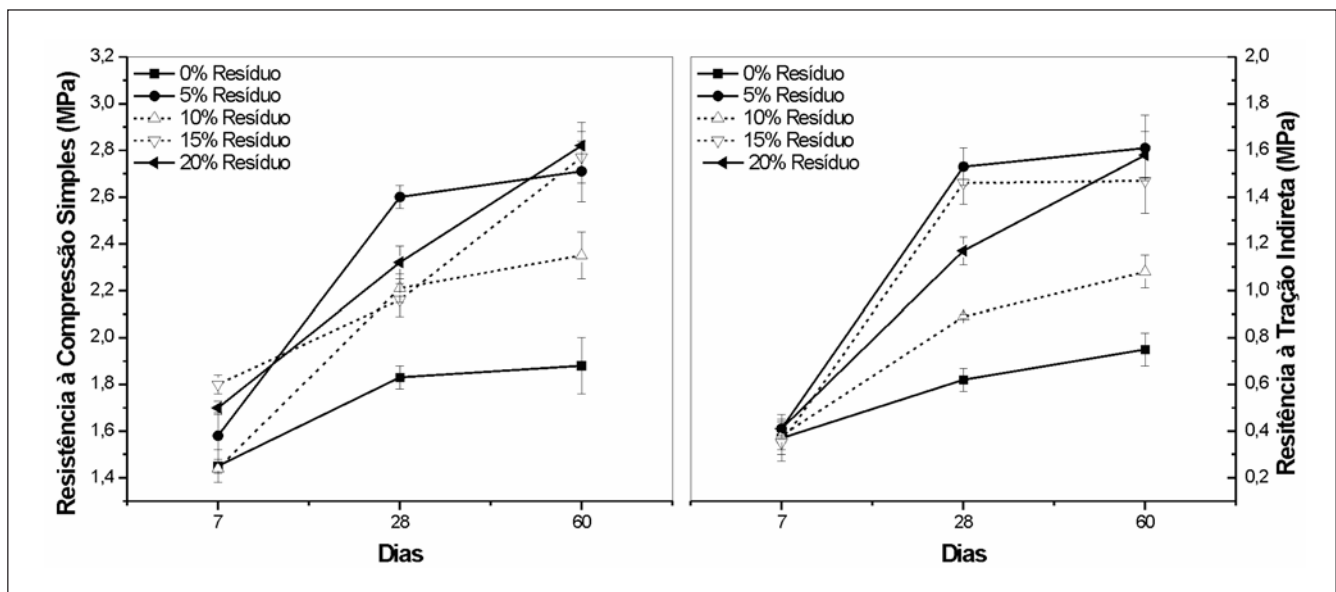


Figura 2 - Resistência à compressão simples e tração indireta das argamassas para chapisco.

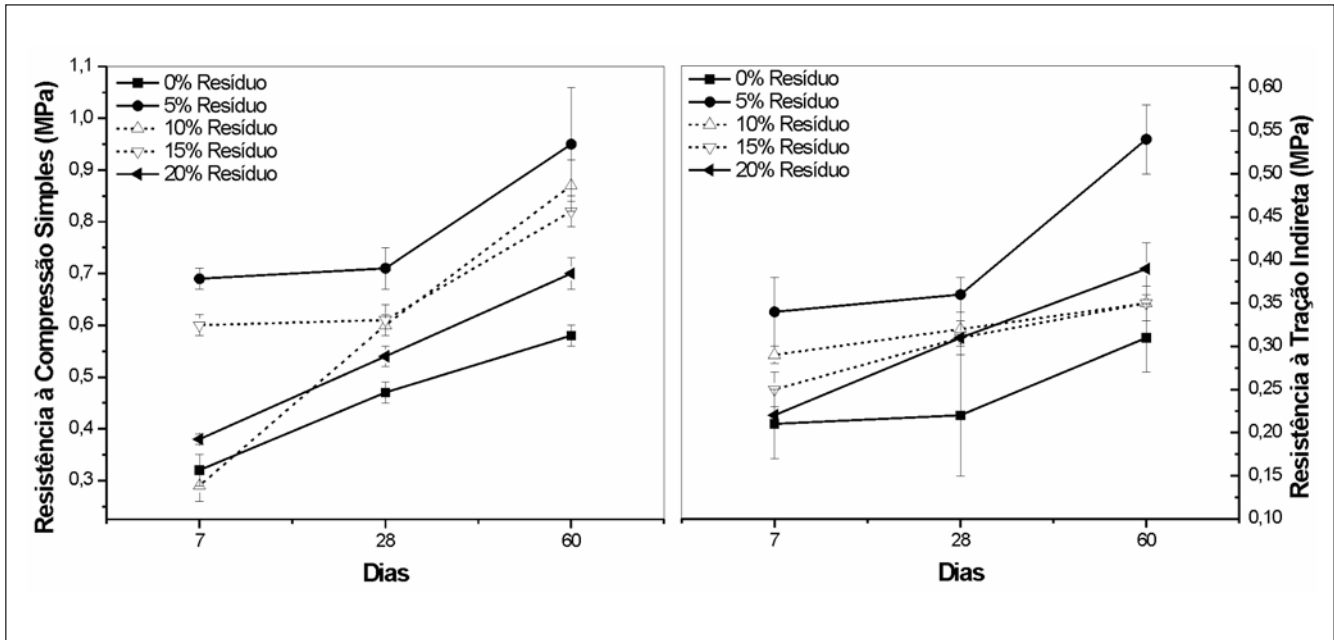


Figura 3 - Resistência à compressão simples e tração indireta das argamassas para assentamento de alvenaria.

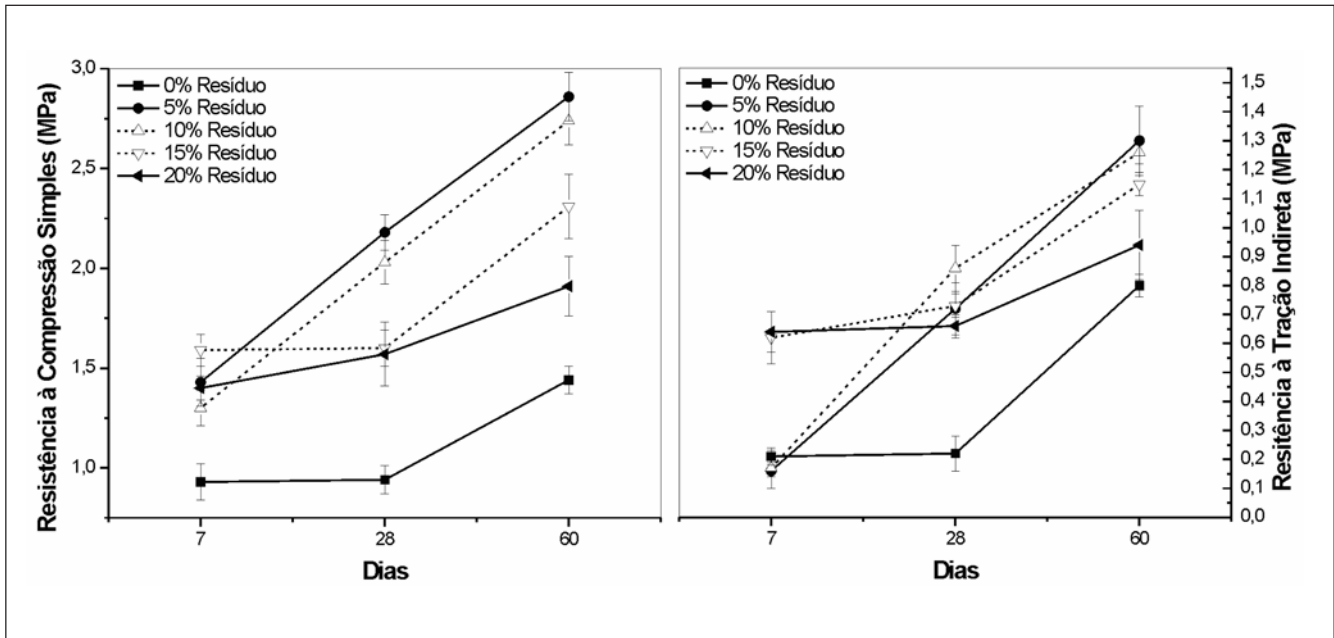


Figura 4 - Resistência à compressão simples e tração indireta das argamassas para emboço.

Monzo et alii (1999) e Corinaldesi et alii (2005), em suas pesquisas, incorporaram resíduos em argamassas de alvenaria observaram uma melhora no comportamento mecânico dos corpos-de-prova, quando de sua utilização com granulometria semelhante ao do resíduo de caulim estudado, atribuindo esse comportamento a uma melhora no empaco-

tamento dos sistemas estudados. Nessa faixa de granulometria, não se observou grau de pozolanicidade nesses resíduos que melhorasse o desempenho mecânico dos corpos-de-prova.

Com base nos dados presentes na literatura e na observação de que as resistências das argamassas convencionais e alternativas aumentaram com os

dias de cura de forma muito semelhante (em termo percentuais), o que indica que a evolução da resistência está relacionada ao desenvolvimento da microestrutura cal-cimento, acredita-se que o efeito de empacotamento tenha influência predominante na melhora da resistência dos sistemas estudados quando da adição do resíduo.

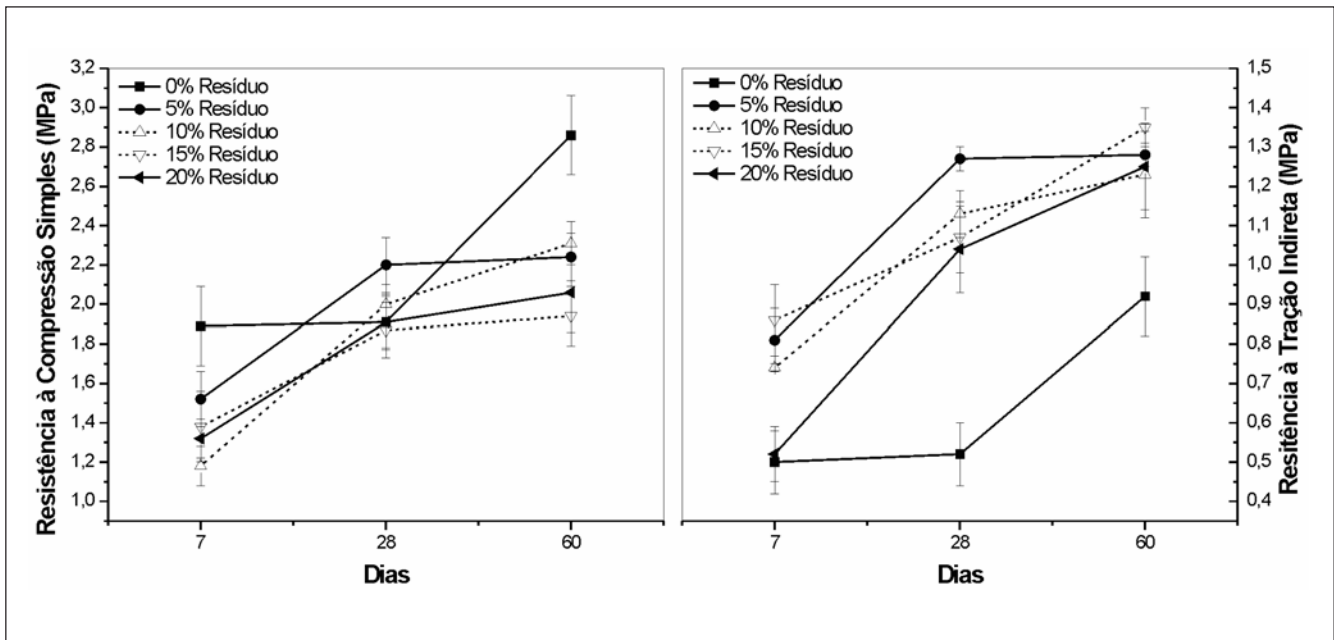


Figura 5 - Resistência à compressão simples e tração indireta das argamassas para revestimento.

4. Conclusões

O resíduo do beneficiamento de caulim apresenta características físicas e químicas semelhantes às dos agregados miúdos utilizados para a produção de argamassas e pode ser utilizado para a produção de argamassas para chapisco, assentamento, emboço e revestimento. O resíduo não degrada as propriedades mecânicas das argamassas produzidas, podendo ser utilizado em substituição parcial à cal hidratada, em proporções que atingem valores superiores a 15%. As propriedades mecânicas das argamassas contendo resíduo estão de acordo com as especificações da normalização e, na maioria dos casos, foram superiores aos valores obtidos para as argamassas convencionais. Isso representa uma fonte significativa de consumo e reaproveitamento desse resíduo, favorece a diminuição dos impactos ambientais provocados por seu descarte indiscriminado e agrega valor ao material, tal como advoga a abordagem ambiental mais recente do desenvolvimento sustentável.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (471414/04-9) e à FAPESQ/MCT/CNPq (003/03 e 004/06) pelo apoio financeiro.

6. Referências bibliográficas

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7200: Revestimento de paredes e tetos com argamassas - materiais, preparo, aplicação e manutenção - procedimento*. Rio de Janeiro, 1982a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7251: Agregados em estado solto - determinação de massa unitária*. Rio de Janeiro, 1982b.

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7181: Agregado em estado solto - peneiramento e sedimentação - método de ensaio*. Rio de Janeiro: 1984a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6474: Determinação da massa específica real - método de ensaio*. Rio de Janeiro: 1984b.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9776: Método de ensaio para determinação da massa específica do agregado miúdo - frasco de Chapman*. Rio de Janeiro: 1987.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11578: Cimento Portland Composto*. Rio de Janeiro, 1991.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 1715: Cal hidratada para argamassas*. Rio de Janeiro: 1992a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12653: Materiais pozolânicos - especificação*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992b.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13279: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro: 1995a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13281: Argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos*. Rio de Janeiro: 1995b.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7215: Cimento Portland - determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro: 1996.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7211: Agregado para Concreto - Especificação*. Rio de Janeiro: 2005a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13276: Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação de consistência*. Rio de Janeiro: 2005b.

- ANDREOLA, F. et alii. Utilisation of municipal incinerator grate slag for manufacturing porcelainized stoneware tiles manufacturing. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 22, p. 1457-1462, 2002.
- BARONIO, G., BINDA, L. Study of the pozzolanicity of some bricks and clays. *Construction and Building Materials*, v.11, n.1, p. 41-46, 1997.
- CASTRO, W. A. M. *Incorporação de resíduos de caulim em argamassas de assentamento e revestimento para uso em construção civil*. Campina Grande: CCT/UFCG, Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, 2007. 87p. (Dissertação de Mestrado).
- CINCOTTO, M. A., SILVA, M. A. C., CASCUDO, H. C. *Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. (Boletim Técnico n. 68).
- CORINALDESI, V. et alii. Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars. *Waste Management*, v. 25, n. 2, p. 197-201, 2005.
- GEMELLI, E. et alii. Assessment of industrial wastes in mortar layers deposited on stainless steel sheets of sinks. *Cerâmica*, v. 50, p. 336-344, 2004.
- MENEZES, R. R., NEVES, G. A., FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 2, p. 303-317, 2002a.
- MENEZES, R. R. et alii. Recycling of granite industry waste from the northeast region of Brazil. *Environmental Management and Health*, v. 13, p. 134-142, 2002b.
- MENEZES, R. R. et alii. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. *Journal of the European Ceramic Society*, v. 25, p. 1149-1163, 2005.
- MENEZES, R. R. et alii. Utilização do resíduo do beneficiamento do caulim na produção de blocos e telhas cerâmicos. *Revista Matéria*, v. 12, n. 1, p. 226-236, 2007a.
- MENEZES, R. R. et alii. Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. *Cerâmica*, v. 53, p. 192-199, 2007b.
- MENEZES, R. R. et alii. Atividade pozzolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Aceito, No Prelo.
- MONZÓ, J. et alii. Mechanical behavior of mortars containing sewage sludge ash (SSA) and Portland cements with different tricalcium aluminate content. *Cement and Concrete Research*, v. 29, n. 1, p. 87-94, 1999.
- RAUPP-PEREIRA, F. et alii. Ceramic formulations prepared with industrial wastes and natural sub-products. *Ceramics International*, v. 32, n. 2, p. 173-179, 2006.
- SILVA, A. C., VIDAL, M., PEREIRA, M. G. Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim. *Rem: Revista Escola de Minas*, v. 54, n. 2, p. 133-136, 2001.
- SOUZA, L. P. de F., MANSUR, H. S. Production and characterization of ceramic pieces obtained by slip casting using powder wastes. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 145, p. 14-20, 2004.
- TULYAGANOV, D. U. et alii. Mullite-alumina refractory ceramics obtained from mixtures of natural common materials and recycled al-rich anodizing sludge. *Journal of Materials Synthesis and Processing*, v. 10, n. 6, p. 311-318, 2002.

Artigo recebido em 31/07/2007 e aprovado em 10/07/2008.

A REM tem novo endereço:

**Rua Carlos Walter Marinho Campos, 57
Bairro: Vila Itacolomy
35400-000 Ouro Preto - MG**

www.rem.com.br