

III-100 - UTILIZAÇÃO DE PÓ DE FUMO COMO AGREGADO EM MATERIAL CERÂMICO

Adriane Lawisch Rodríguez⁽¹⁾

Doutora em Engenharia/TU-Berlim-Alemanha, Mestre em Engenharia/ PPGM-UFRGS; Engenheira Química pela Escola de Engenharia da PUCRS; Professora do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

Diosnel Antonio Rodríguez Lopez

Doutor em Engenharia/TU-Berlim-Alemanha, Mestre em Engenharia/ PPGM-UFRGS; Engenheiro de Minas pela Universidade Federal de Ouro Preto; Professor do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

Cláudia Mendes Möhlmann

Doutoranda em Engenharia, PPGM-UFRGS, Professora do Departamento de Química e Física, Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC.

Daniela Villanova

Doutora em Engenharia/ PPGM-UFRGS; Engenheira Mecânica pela Escola de Engenharia da UFRGS; Professora do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC

Carlos Perez Bergmann

Doutor em Engenharia pela Rheinisch Westfallisch Technische Hochschule Aachen/Alemanha; Mestre em Engenharia pelo PPGEMM-UFRGS, Engenheiro Metalurgico pela UFRGS e Coordenador do LACER-UFRGS.

Endereço⁽¹⁾: Av. Independência 2293 – Bairro Universitário – Santa Cruz do Sul – RS – 96815-900– Brasil – Tel: (51)3717-7545 – e-mail: adriane@unisc.br

RESUMO

Com o crescimento da atividade industrial tem-se observado uma maior geração de resíduos. Grande parte destes resíduos, em função, principalmente, das suas características e da quantidade gerada, tem sido disposta em aterros e uma disposição inadequada pode gerar uma série de riscos de poluição ambiental e de saúde pública, acarretando problemas ao aterro e à empresa responsável. Um dos resíduos típicos da região de Santa Cruz do Sul/RS é o pó de fumo, proveniente das várias indústrias de beneficiamento de fumo. Este resíduo, segundo a NBR 10.004, é classificado como sendo do tipo sólido, pertencente à classe II - Não Inerte. O objetivo principal deste trabalho foi encontrar uma alternativa de uso para o resíduo pó de fumo como matéria-prima de produto cerâmico. Com as condições estudadas foi possível obter-se corpos cerâmicos a partir da adição de pó de fumo. Isto foi válido tanto para o pó de fumo *in natura* quanto calcinado. A adição de teores de 10% em peso de pó de fumo calcinado queimado em 1150°C proporcionou uma diminuição da absorção de água e um aumento da resistência mecânica. Como a adição de pó de fumo resultou também numa redução da retração linear, em um aumento da absorção de água e em uma diminuição da resistência mecânica para as demais formulações, o teor crescente de resíduo diminuiu a densificação do corpo cerâmico. Nos ensaios de lixiviação nenhum elemento perigoso excedeu os limites estabelecidos pela NBR 10.004.

PALAVRAS-CHAVE: Pó de fumo, Resíduo; Material Cerâmico.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento da atividade industrial tem-se observado uma maior geração de resíduos [1]. Grande parte destes resíduos, em função, principalmente, das suas características e da quantidade gerada, tem sido disposta em aterros e uma disposição inadequada pode gerar uma série de riscos de poluição ambiental e de saúde pública, acarretando problemas ao aterro e à empresa responsável.

Uma alternativa de tratamento que vem sendo pesquisada é a incorporação de resíduos em materiais cerâmicos. Esta filosofia se baseia na possibilidade de máxima utilização destes e, atualmente, muitas empresas têm buscado a utilização racional de seus rejeitos, já que podem resolver um problema de ordem técnico/econômica e ambiental [2]. A reciclagem apresenta inúmeras vantagens em relação à utilização de



recursos naturais, como redução do volume de extração de matérias-primas e a redução do consumo de energia. A incorporação de resíduos em material cerâmico tem sido utilizada como uma alternativa viável de não somente para a solução de problemas ambientais como também como forma de reduzir custos de produção.

Dentre os diversos segmentos da indústria cerâmica, o setor de produtos para a construção civil possui elevado volume de produção podendo demandar grandes quantidades de rejeitos, sendo assim, uma das grandes opções para a reciclagem de resíduos sólidos. Devido ao elevado consumo desta matéria-prima, observa-se que há um potencial a ser explorado, no que tange a reutilização de resíduos com características semelhantes; isto pode promover uma redução no consumo destas argilas, sem haver perda de propriedades nos produtos finais (ou mesmo algum ganho), levando novamente ao conceito de redução do volume de extração de matérias-primas. [3]

O pó de fumo é um material predominantemente orgânico e rico em fibras, originado na degradação das partículas do tabaco, com índice de granulometria aquém das especificações de aceitação do mercado. Conforme PORTARIA Nº 016, de 19 de janeiro de 1982, é definido como o resíduo final proveniente da destala mecânica do tabaco e que compreende o pó e resíduos de tamanho ínfimo [4].

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi empregado um pó de fumo e uma argila vermelha proveniente da região de abrangência da universidade. O pó de fumo, segundo a NBR 10.004, é classificado como sendo do tipo sólido, pertencente à classe II - Não Inerte. É gerado constantemente nas indústrias de tabaco, devido a degradações e atritos que a folha de fumo recebe ao longo do processo de beneficiamento [4]. A composição química das matérias-primas foi obtida por fluorescência de raios-X e, após o beneficiamento, foi realizada a avaliação da distribuição granulométrica por difração à *laser*.

A argila e o pó de fumo foram secos em estufa e depois cominuídos em moinho planetário até 100% da massa ser passante na peneira ABNT 80. Foram desenvolvidas formulações com a adição de 2, 5 e 10% em peso de pó de fumo *in natura*. As formulações foram repetidas com a adição do pó de fumo calcinado – 1000° - posteriormente moído e peneirado, segundo as mesmas condições. As misturas foram umidificadas com 6% em peso de água e os corpos-de-prova foram obtidos por prensagem uniaxial com pressão de compactação de 40MPa. A seguir, foram secos ao ar por 48h e em estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24h. A queima foi realizada em forno elétrico nas temperaturas de 950°C, 1050°C e 1150°C, com 2h de patamar e taxa de aquecimento de 150°C/h. Os corpos-de-prova foram caracterizados quanto à retração linear, absorção de água e resistência mecânica à flexão. A compatibilidade ambiental foi avaliada através dos ensaios de lixiviação e solubilização, de acordo com as Normas Técnicas NBR 10.004, 10.005 e 10.006 e pelas emissões gasosas durante calcinação do pó de fumo. A Figura 1 apresenta um fluxograma da metodologia seguida neste estudo.

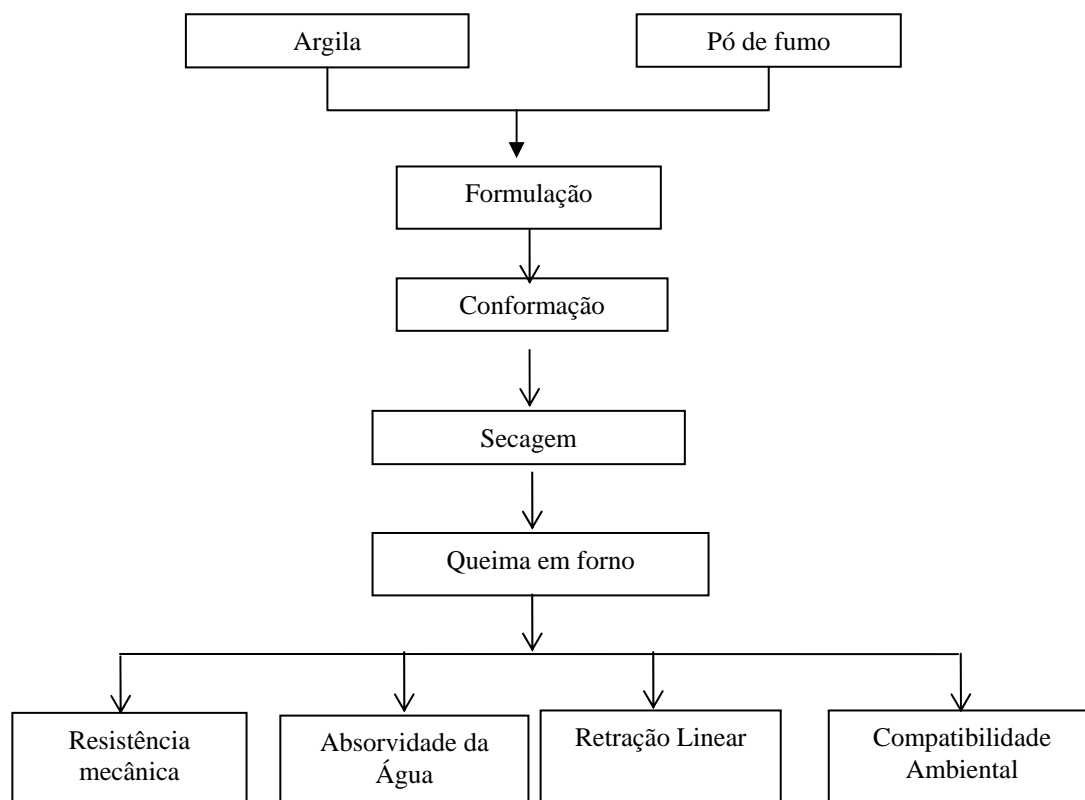


Figura 1 - Fluxograma da Metodologia

Os corpos-de-prova foram inicialmente caracterizados quanto à retração linear; absorção de água e resistência mecânica bem como a compatibilidade ambiental avaliada através dos ensaios de lixiviação e solubilização, de acordo com as Normas Técnicas NBR 10.004, 10.005 e 10.006.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química e a distribuição da granulometria das matérias-primas utilizadas podem ser observadas nas Tabela I e II.

Tabela 1: Composição química por fluorescência de raios-X das matérias-primas empregadas.

Compostos (%)	Argila	Pó de fumo
SiO ₂	64,27	42,7
Al ₂ O ₃	18,03	8,12
Fe ₂ O ₃	5,52	5,13
K ₂ O	1,87	8,05
Na ₂ O	0,11	0,21
CaO	0,75	18,20
MgO	1,35	2,24
P ₂ O ₅	0,07	0,06
TiO ₂	0,87	-
MnO	-	0,47
PbO	-	0,03
CdO	-	0,001
Cr ₂ O ₃	-	0,006
ZnO	-	0,05
NiO	-	0,002
CuO	-	0,02
SO ₃	-	0,2
N	-	1,8
Perda ao fogo	7,15	12,7
TOTAL	99,99	99,98

Tabela 2: Distribuição granulométrica das matérias-primas obtida por difração à laser.

Material	D ₁₀ (μm)	D ₅₀ (μm)	D ₉₀ (μm)	D _{médio} (μm)
Argila	1,64	11,33	68,47	22,77
Pó de fumo <i>in natura</i>	10,34	58,75	203,7	85,57
Pó de fumo calcinado	3,57	30,10	83,21	39,94

As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados de retração linear em função da temperatura de queima para os corpos cerâmicos com adição de pó de fumo *in natura*.

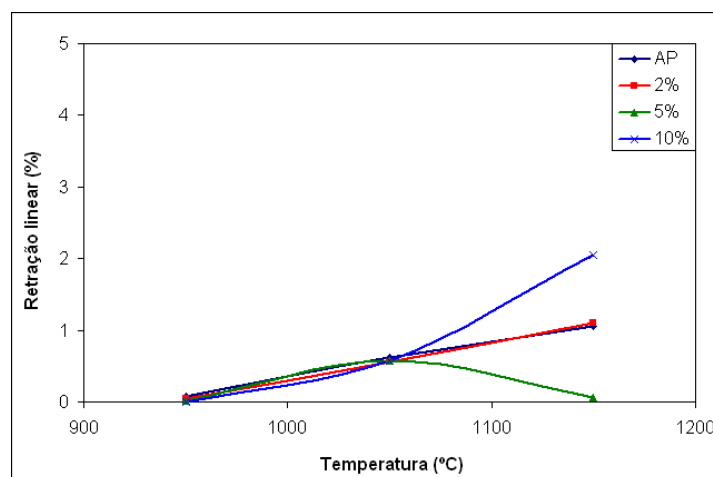


Figura 2 - Retração linear em função da temperatura de queima para os corpos cerâmicos com adição de pó de fumo *in natura*.

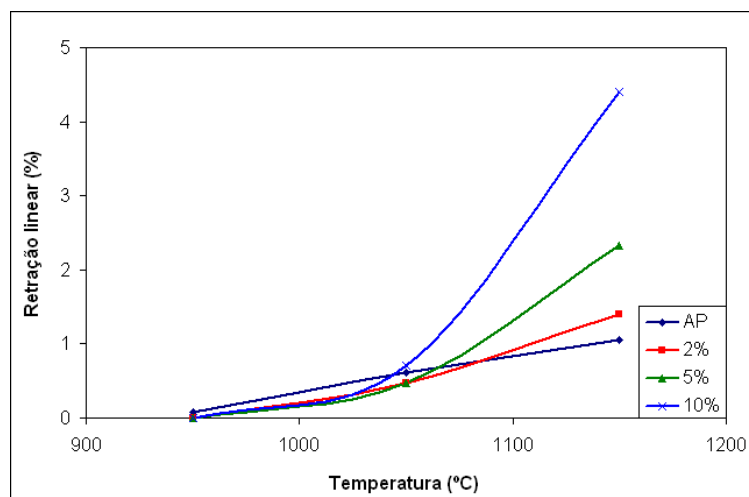


Figura 3 - Retração linear em função da temperatura de queima para os corpos cerâmicos com adição de pó de fumo calcinado.

Observou-se um aumento da retração linear em função do aumento da temperatura, embora esta variação não tenha sido significativa com a adição do pó de fumo *in natura*.

Comparando-se os resultados, verificou-se que os corpos cerâmicos retraíram mais quando se adicionou este resíduo em sua versão calcinada. Esta diferença de resultados deve-se, muito provavelmente, à diferença de granulometria existente entre ambos. Como o pó de fumo calcinado apresenta uma granulometria mais fina e mais próxima à da argila, espera-se um aumento da cinética de reações entre os constituintes da massa cerâmica durante a queima, inclusive por esta ser motivada pela redução de área interfacial partícula-meio. Além disso, se percebe que na temperatura de queima mais elevada, 1150°C, a retração linear do corpo cerâmico com 10% em peso foi mais evidente, podendo indicar que, de fato, houve um início dessas reações. Os corpos cerâmicos com 2% em peso de pó de fumo *in natura* ou mesmo calcinado apresentaram resultados de retração bastante próximos ao da argila pura.

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados de absorção de água em função da temperatura de queima para os corpos cerâmicos com adição de pó de fumo *in natura* e calcinado, respectivamente. A temperatura de queima contribuiu para um aumento da absorção de água, além do aumento observado em função da elevação da quantidade de resíduo incorporado aos corpos cerâmicos. Estes apresentaram, tanto com a adição do resíduo *in natura* quanto com o resíduo calcinado, valores de absorção de água superiores aos da argila pura. Uma exceção a este comportamento foi verificado para o corpo cerâmico com 10% em peso de pó de fumo calcinado e queimado a 1150°C, que apresentou o melhor resultado de absorção de água. Provavelmente, nesta temperatura de queima, tenha se iniciado a formação de uma massa vítrea, contribuindo para o fechamento da porosidade inerente a este tipo de processamento, e respondendo pela menor absorção de água.

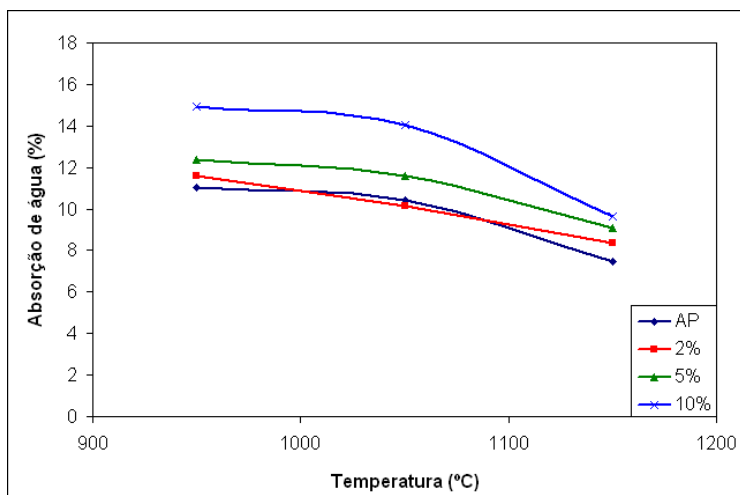


Figura 4 - Absorção de água em função da temperatura de queima para os corpos cerâmicos com adição de pó de fumo *in natura*.

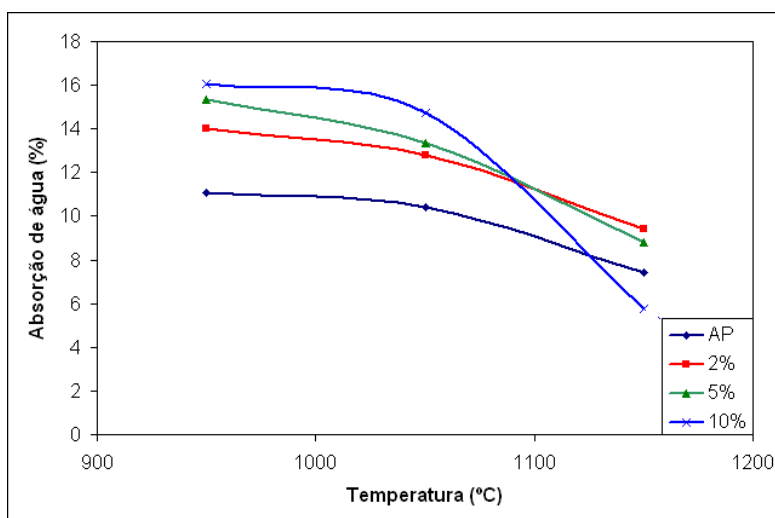


Figura 5 - Absorção de água em função da temperatura de queima para os corpos cerâmicos com adição de pó de fumo calcinado.

De acordo com a composição química, foram identificados como elementos perigosos o chumbo, o cádmio e o cromo. Para verificar se estes elementos ultrapassaram os limites estabelecidos pela Norma Técnica NBR 10004, foram realizados ensaios de lixiviação e solubilização. Estes ensaios foram realizados na massa com 2% de adição de pó de fumo *in natura*, cujas características e propriedades se apresentaram muito próximas à massa referencial de argila pura – AP, e com 2% de adição de pó de fumo calcinado.

Os resultados estão apresentados na Tabela 3. Pode-se observar que no extrato do lixiviado (NBR 10.005) nenhuma formulação excedeu os limites de Pb, Cd e Cr estabelecidos pela NBR 10.004.



Tabela 3 - Ensaio de lixiviação e solubilização: corpos cerâmicos formulados com 2% em peso de pó de fumo *in natura* - IN - e calcinado - CA.

Formulação	Lixiviação			Solubilização		
	Pb <1,0mg/L*	Cd <0,5mg/L*	Cr <5mg/L*	Pb <0,01mg/L*	Cd <0,005mg/L*	Cr <0,05mg/L*
AP - 950°C	0,02	< 0,002**	< 0,004**	0,02	< 0,002**	< 0,004**
IN 950°C	0,02	0,004	0,004	0,02	0,004	< 0,004**
IN 1050°C	0,02	0,005	< 0,004**	0,02	0,01	< 0,004**
IN 1150°C	< 0,02**	< 0,002**	< 0,004**	< 0,02**	0,01	< 0,004**
CA 950°C	< 0,02	< 0,002	< 0,004	< 0,02**	0,004	< 0,004**
CA 1050°C	< 0,02	0,003	< 0,004**	< 0,02**	0,01	< 0,004**
CA 1150°C	< 0,02**	< 0,002**	< 0,004**	< 0,02**	< 0,002**	< 0,004**

* Limites definidos pela NBR 10004

** Limite de detecção

Entretanto, no extrato do solubilizado (NBR 10.006), o Cd ultrapassou o limite estabelecido para aquelas formulações queimadas em 1050°C e 1150°C. Já para o pó de fumo calcinado, o Cd ficou abaixo do limite imposto pela norma quando queimado na temperatura de 1150°C. A leitura do Pb ficou limitada pela capacidade de detecção do equipamento empregado. A avaliação as emissões gasosas mostrou que nenhum dos elementos perigosos ultrapassou os limites estabelecidos pela norma.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os ensaios iniciais foi possível obter-se corpos cerâmicos a partir da adição de pó de fumo. Isto foi válido tanto para o pó de fumo *in natura* quanto calcinado.

A partir dos resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho, pode-se inferir as seguintes conclusões:

- foi possível obter-se corpos cerâmicos a partir da adição de pó de fumo. Isto foi válido tanto para o pó de fumo *in natura* quanto calcinado;
- a adição de teores de 10% em peso de pó de fumo calcinado queimado em 1150°C proporcionou uma diminuição da absorção de água e um aumento da resistência mecânica;
- a adição de pó de fumo resultou numa redução da retração linear, em um aumento da absorção de água e em uma diminuição da resistência mecânica para as demais formulações. Assim, o teor crescente de resíduo diminuiu a densificação do corpo cerâmico;

Nos ensaios de lixiviação nenhum elemento perigoso excedeu os limites estabelecidos pela NBR 10.004; no ensaio de solubilização, o cádmio excedeu este limite para as temperaturas de queima acima de 1050°C para o pó de fumo *in natura*, no entanto, para o pó de fumo calcinado, este limite se manteve abaixo do estabelecido pela norma na queima em 1150°.

AGRADECIMENTOS

Fundação de Amparo à Pesquisa no Rio Grande do Sul (FAPERGS) através do Programa de Apoio a Pós Graduação – Edital Casadinho; CAPES, PMT-VRP, LACER-UFRGS, PPGTA, UNISC.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NASCIMENTO, T.C.F.; MOTHÉ, C.G. Gerenciamento de resíduos sólidos industriais, **Revista Analytica**, 27, Fev/Mar, 2007.
2. MONTEDO, O.R.K.; REITZA, G.M.; BERTANA, F.M.; PICCOLIA, R.; HOTZA, D.; NOVAES DE OLIVEIRA, A.P. Utilização de Pó de Aciaria em Massa de Cerâmica Vermelha **Cerâmica Industrial**, 8 (5/6), Set/Dez, 2003.
3. PUREZA, J. C. C.; VICENZI, J.; BERGMANN, C. P. Utilização de Resíduos de Baixa Granulometria como Matéria-prima na Produção de Cerâmica Vermelha: Considerações quanto aos Mecanismos de Sinterização. **Cerâmica Industrial**, 12 (3) Maio/Junho, 2007.
4. MACEDO, R. *Estudo da viabilidade da utilização da biomassa do pó-de-fumo como fonte de energia*. 2007, 83p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Universidade de Santa Cruz do Sul, UNISC, Santa Cruz do Sul, 2007.