

ESTUDO DA PERMEABILIDADE DE ESTRUTURAS POROSAS OBTIDAS A PARTIR DE FINOS DE CARVÃO E FIBRAS POLIMÉRICAS – UM ESTUDO PRELIMINAR

E. S. Gislou^{1,2*}, P. C. Milak^{2,3}, K. Coelho², F. D. Minatto^{2,3}, N. M. Fortes⁴, M. D. M. Innocentini⁴, O. R. K. Montedo^{1,2,3}

¹ Grupo de Pesquisa Valora

² Laboratório de Cerâmica Técnica - CerTec

³ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PPGCEM

⁴ Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC

Av. Universitária, 1105 – 88.806-000, Criciúma (SC), Brasil

*edi_velton@hotmail.com

RESUMO

A extração de carvão mineral gera grandes quantidades de finos de carvão que podem ser empregados na produção de cerâmicas, sendo tratados na forma de pó e compactados com pressão e ligante adequados. Este trabalho tem como objetivo o estudo da permeabilidade de estruturas cerâmicas obtidas a partir de finos de carvão e fibras poliméricas. As composições foram homogeneizadas, compactadas e tratadas termicamente a 1050 °C. Corpos de prova foram caracterizados para determinação da porosidade, da permeabilidade e dos aspectos microestruturais. Os resultados mostraram que a permeabilidade aumentou com o teor de fibra usado. Entretanto, a composição contendo 5% em peso de fibras de polipropileno mostrou permeabilidade inferior às composições contendo 1% de fibras de celulose e 0,5% de fibras de nylon, sendo adequadas para aplicação na filtração de aerossóis.

Palavras-chave: Finos de carvão, permeabilidade, fibras poliméricas, porosidade.

INTRODUÇÃO

O carvão mineral é formado a partir do soterramento e decomposição de restos materiais de origem vegetal. Gradualmente, estes materiais ao sofrerem soterramento e compactação em bacias de deposição, apresentam enriquecimento no teor de carbono. Fatores externos, tais como pressão, temperatura e tempo de exposição determinam o grau de carbonificação destes combustíveis.^(1,2) A extração e beneficiamento do carvão gera grande quantidade de água residual, a qual contém grande quantidade de finos de carvão que, se tratados de maneira correta, podem se tornar pó, possibilitando sua utilização em diversas aplicações.⁽¹⁾

Finos de carvão tem grande potencial nas formulações de novas composições de coque, se combinados de forma correta podem ser acrescidos em até 10% a uma composição de coque padrão, sem que suas características físico-químicas sejam alteradas significativamente.⁽³⁾ Diante das propriedades dos finos de carvão o mesmo também apresenta ótimas características quando aplicados em composição no desenvolvimento de cerâmica porosa.

Quando tratados termicamente, combinados com fibras e agentes para compactação de maneira adequada, podem se mostrar muito eficientes na produção de cerâmica porosa de para utilização em baixa temperatura e baixo custo, com composição de até 90% de resíduos apresentando bom desempenho mecânico, devido ao alto teor de cinzas presente no mesmo. Composições que agregam fibras poliméricas em sua formulação apresentam um grande aumento em sua permeabilidade. Innocentini^(4,5) mostrou o aumento da permeabilidade de concretos refratários em função da utilização de fibras em sua composição.

Dimensões, tipo da fibra e percentual agregado são os principais fatores dentro da formulação. Através de ensaios de permeamtria em alta temperatura, pode-se avaliar aumento de 360% da permeabilidade de concretos refratários em função da utilização de 0,18 vol% das fibras em sua composição.⁽⁴⁻⁷⁾

Assim, o objetivo deste trabalho é o estudo da permeabilidade de estruturas cerâmicas desenvolvidas a partir de finos de carvão e fibra polimérica para a aplicação como agente para microfiltração em diversas áreas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Secagem e moagem

Os finos de carvão foram submetidos à secagem por 24 h em estufa, para que toda umidade do material fosse liberada. Para que o material chegasse a granulometria ideal, foi então moído em moinho rápido do tipo planetário por 15 min e, após, peneiramento em peneira de abertura 35 mesh para padronização de sua granulometria.

Preparação das amostras

Como o trabalho envolve o acréscimo de fibras poliméricas em sua composição, fez-se a homogeneização inicialmente dos finos de carvão com as fibras em homogeneizador tipo Y por 15 min. Após, executou-se a adição de 6% em peso de água e 3% em peso de glicerina para melhor empacotamento durante a prensagem. A Tabela 1 mostra as fibras utilizadas e os teores empregados em cada formulação.

Tabela 1: Tipo e teor de fibra utilizado.

Tipo de Fibra	Percentual de Fibra (%)		
Poliéster (PE)	0,05	0,1	0,5
Polipropileno (PP)	0,05	0,1	0,5
Nylon (NY)	0,05	0,1	0,5
Celulose (CE)	0,05	0,1	0,5
Jute (J)	0,05	0,1	0,5

As fibras utilizadas possuíam características que os diferenciavam, cada uma delas possui um tamanho e diâmetro diferenciado, formando canais de permeabilidade de diferentes diâmetros e formatos.

Compactação

Para o estudo da permeabilidade, utilizou-se pressão específica de 150 kgf/cm² baseada em trabalho anterior.⁽³⁾ Os corpos de prova foram preparados em formato cilíndrico prensa (Gabbrielli, GT0785), como mostra a Figura 1.

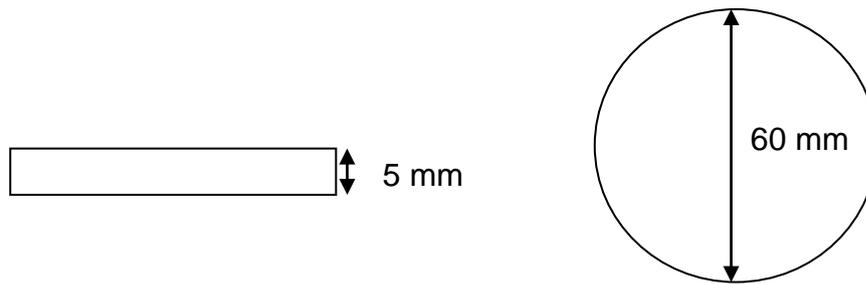


Figura 1: Dimensões dos corpos de prova.

Degaseificação e Sinterização

O estudo do comportamento térmico dos finos de carvão foi analisado através do ensaio de dilatométrica óptica (Expert System Solutions, MISURA HSM ODHT 1600, Modena, Itália; taxa de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ao ar), sendo então definidas a temperatura de sinterização do material e a temperatura de degaseificação das fibras e do ligante, esta última definidas a partir de trabalhos anteriores.^(3,4,5) O plano de tratamento térmico usado é apresentado na Figura 2.

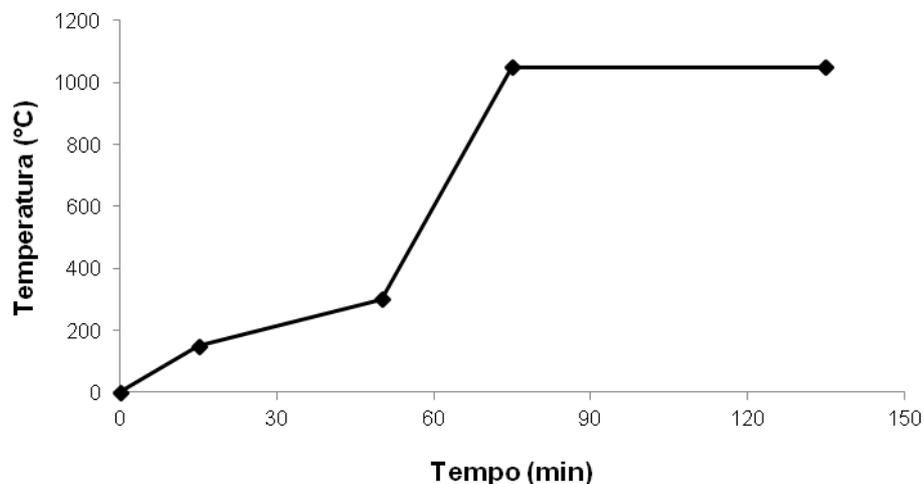


Figura 2: Plano de tratamento térmico empregado.

Determinação da porosidade

A porosidade foi determinada por meio da relação entre a densidade aparente, obtida por meio dimensional (paquímetro Mitutoyo de $150,00\text{ mm} \pm 0,05\text{ mm}$), e a

densidade real de sólidos, determinada por meio de picnometria (ULTRAPYC, 1200e, Quantachome, em hélio), com pó passante em malha 150 mesh.

Permeabilidade

Ensaio de permeabilidade ao ar das amostras cerâmicas foram realizados pelo método de escoamento em regime estacionário, no qual pelo menos 10 conjuntos de valores de pressão do ar na entrada da amostra (P_e), pressão do ar na saída da amostra (P_s) e de velocidade superficial do ar (v_s) foram coletados. A equação de Forchheimer para escoamento compressível foi utilizada para ajuste das constantes de permeabilidade (k_1 e k_2) pelo método dos mínimos quadrados:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu}{k_1} v_s + \frac{\rho}{k_2} v_s^2 \quad (1)$$

onde L é a espessura da amostra na direção do escoamento e μ e ρ são a viscosidade absoluta e a densidade do fluido permeante, respectivamente. Os parâmetros k_1 e k_2 representam as propriedades do meio poroso e não dependem do tipo de fluido ou da velocidade de escoamento.

Sendo ΔP obtido por:

$$\Delta P = \frac{P_e^2 - P_s^2}{2P_s} \quad (2)$$

As condições típicas dos ensaios de permeabilidade estão descritas na Tabela 2, enquanto o equipamento usado nos ensaios é esquematizado na Figura 3.

Tabela 2. Parâmetros de ensaio de permeabilidade.

Fluido	ar seco
Temperatura (T)	~ 26°C
Pressão atmosférica (P_s)	~ 715 mmHg
Densidade do ar (ρ)	~ 1,11 kg/m ³
Viscosidade do ar (μ)	~ 1,86x10 ⁻⁵ Pa.s
Pressão aplicada	0 a 1 bar
Velocidade superficial do ar (v_s)	0 a 0,18 m/s
Diâmetro útil de escoamento (D)	1,5 cm
Área útil de escoamento (A)	1,77 cm ²
Número de pontos coletados	10

Procedimento de ensaio

Para o ensaio, a amostra é fixada entre dois anéis de borracha flexível e comprimida no interior de um porta-amostras cilíndrico. O diâmetro útil de escoamento no ensaio é de 1,5 cm, correspondente a uma área de escoamento de 1,77 cm². Após a vedação, ar proveniente de um compressor e previamente seco em um cilindro de sílica-gel é forçado a passar através da amostra. A vazão volumétrica resultante é controlada por válvula e medida em um rotômetro após a passagem pela amostra. A queda de pressão do ar é medida por um micromanômetro digital com tomadas antes e depois da amostra. Para cada vazão fixada, há a leitura da queda de pressão resultante. São coletados 10 pares de dados de vazão e pressão. A vazão (Q) é convertida para velocidade superficial do ar (v_s) por divisão pela área de escoamento (A) ($v_s = Q/A$).

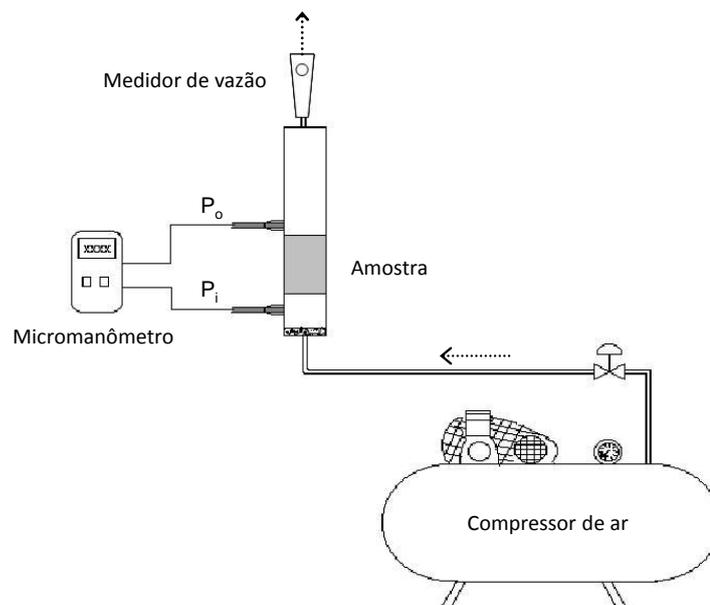


Figura 3. Esquema do permeâmetro utilizado nos ensaios.

Os dados de vazão e queda de pressão são tratados segundo a equação de Forchheimer (Equação 1) para escoamento compressível. Através do ajuste da Equação 1, são obtidos os valores das constantes de permeabilidade k_1 e k_2 , que são propriedades do meio poroso e não dependem do tipo de fluido ou da velocidade de escoamento.

Análise microestrutural

A microestrutura do material obtido foi caracterizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV ZEISS, EVO MA10).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Porosidade

Apesar dos diferentes teores de fibras poliméricas adicionadas às formulações estudadas, os valores de densidade e de porosidade não tiveram mudanças muito significativas, como mostra a Tabela 3, variando por volta de 0,1 g/cm³ para os valores de densidade aparente, refletindo na variação na porosidade em torno 3%, sendo pouco significativa em relação ao padrão P.

Tabela 3: Tabela de densidades e porosidade das amostras.

Amostra	Densidade aparente (g/cm³)	Densidade real (g/cm³)	Densidade relativa (%)	Porosidade (%)
P	1,28	2,55	50,12	49,88
CE05	1,29	2,55	50,58	49,42
CE1	1,34	2,55	52,62	47,38
CE5	1,40	2,55	54,72	45,28
PP05	1,41	2,55	55,39	44,61
PP1	1,36	2,55	53,50	46,50
PP5	1,36	2,55	53,27	46,73
NY05	1,35	2,55	53,00	47,00
NY1	1,35	2,55	52,87	47,13
NY5	1,33	2,55	52,30	47,70
J05	1,41	2,55	55,27	44,73
J1	1,32	2,55	51,78	48,22
J5	1,36	2,55	53,19	46,81
PE05	1,31	2,55	51,50	48,50
PE1	1,38	2,55	54,09	45,91
PE5	1,35	2,55	52,79	47,21

Análise microestrutural

A Figura 4 mostra as micrografias das microestruturas obtidas. Pode se observar nestas micrografias, apesar de todas as amostras apresentarem estrutura porosa semelhante, a quantidade de poros nas composições que continham maior teor de fibras foi visivelmente perceptível. Entretanto, apesar da amostra PP5, contendo 5% de fibras de polipropileno, sua permeabilidade foi menor em relação às

demais composições testadas e contendo menor teor de fibras, como pode ser visto na Figura 5.

Permeabilidade

A Figura 5 mostra os resultados de permeabilidade realizados nas amostras PP5, NY05 e CE1, contendo respectivamente, em peso, 5% de fibras de polipropileno, 0,5% de fibras de nylon e 1% de fibras de celulose. Esta figura mostra que as amostras contendo 5% de fibras de polipropileno apresentaram maior perda de carga em função da velocidade do ar. As amostras contendo 0,5% de fibras de nylon e 1% de fibras de celulose, por outro lado, apresentaram maior permeabilidade ao ar, podendo ser empregadas como filtros de aerossóis (Figura 6).

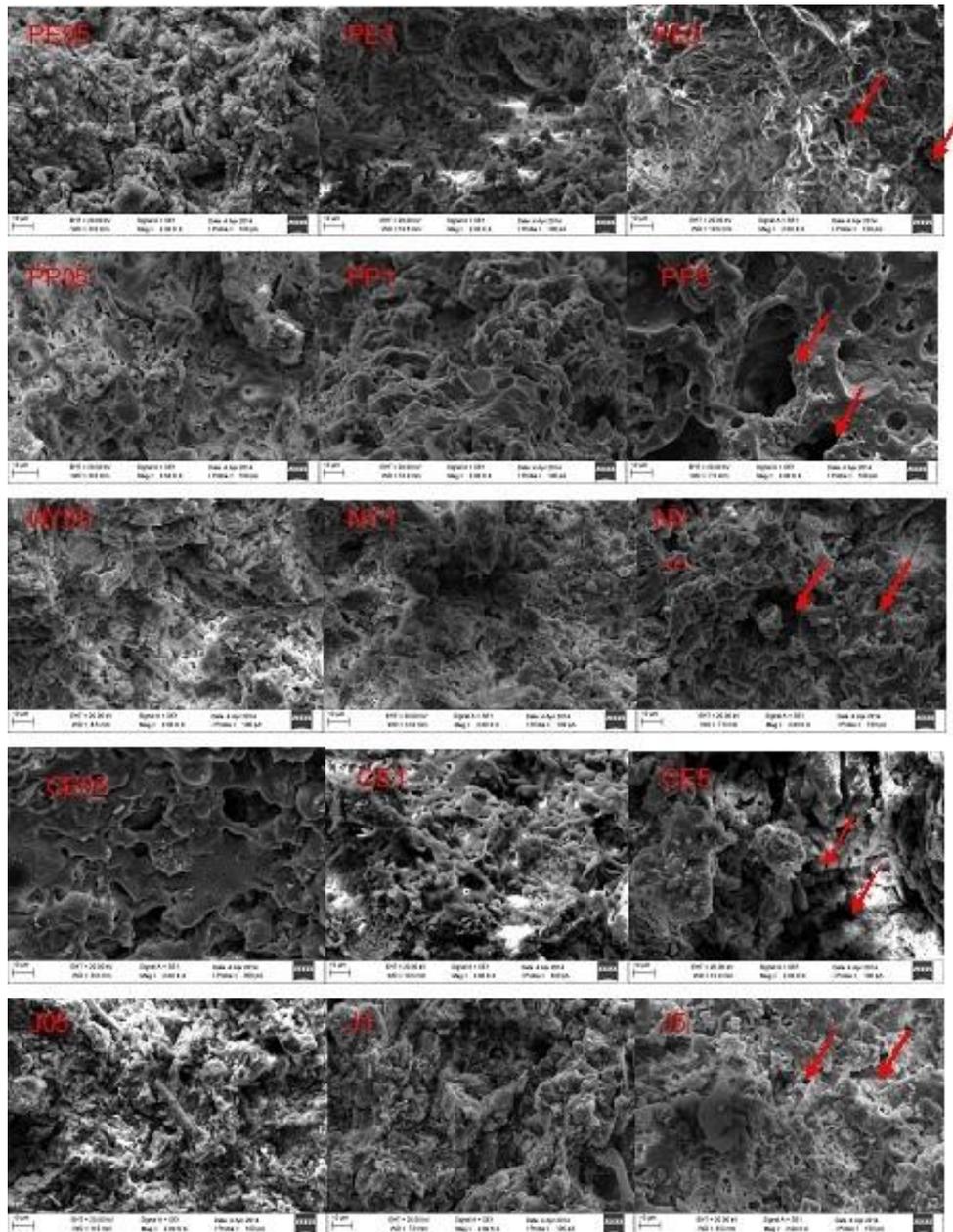


Figura 4: Microestruturas das composições estudadas.

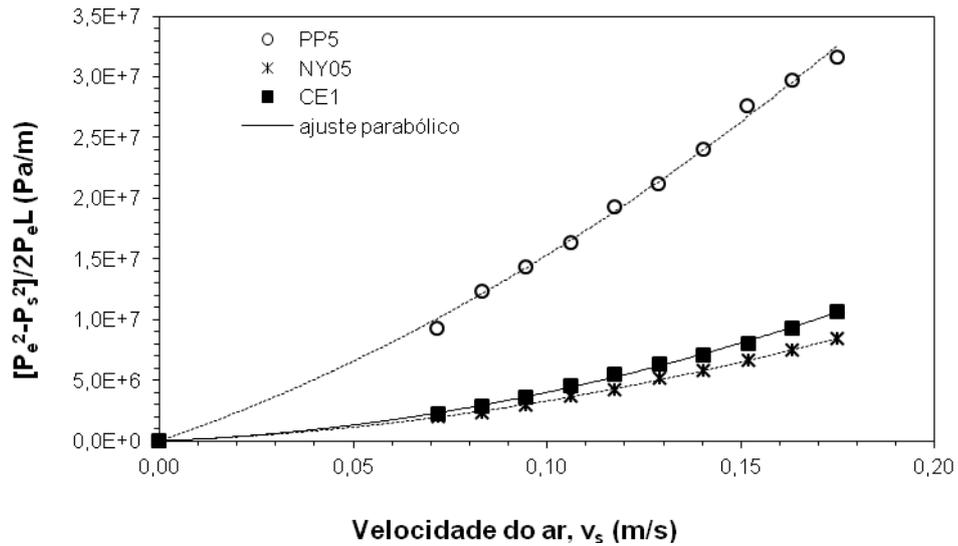


Figura 5: Permeação ao ar das composições PP5, NY05 e CE1.

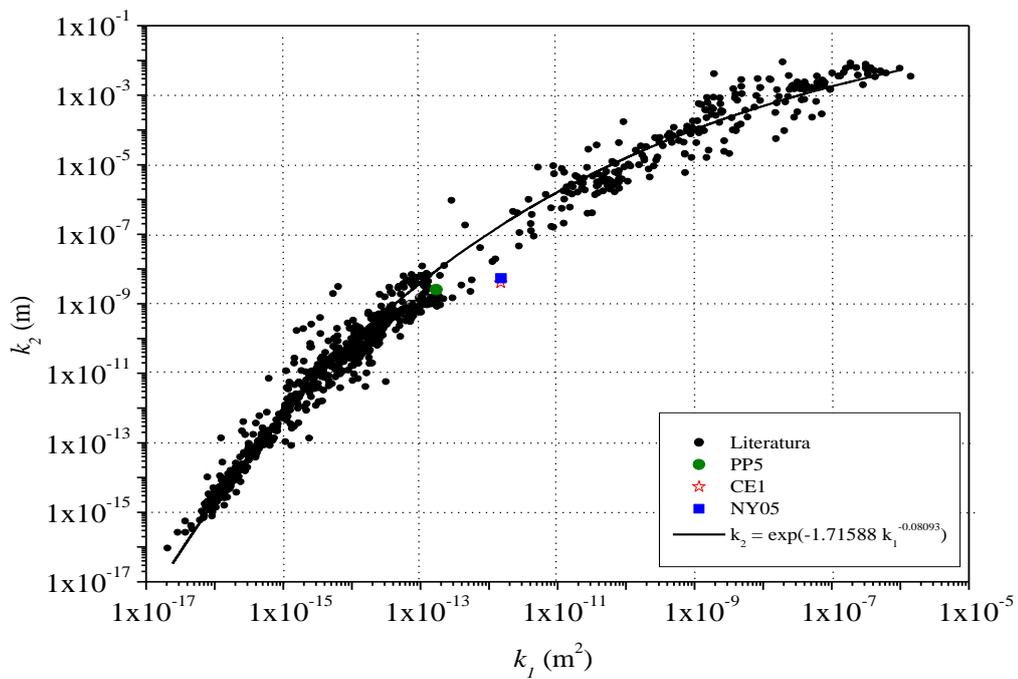


Figura 6: Localização dos coeficientes de permeabilidade obtidos neste trabalho em comparação com aqueles obtidos em outras estruturas.⁽²¹⁾

CONCLUSÃO

O efeito do tipo e teor de fibra polimérica na obtenção de uma estrutura cerâmica porosa a partir de resíduos finos de carvão foi avaliado. Os resultados mostraram que o aumento do teor de fibra adicionada aumentou a porosidade das

estruturas cerâmicas obtidas. Entretanto, a composição PP5, contendo 5% em peso de fibras de polipropileno, apresentou a pior permeabilidade dentre as composições testadas. Por outro lado, as composições CE1 e NY05, contendo respectivamente 1% de fibras de celulose e 0,5% de fibras de nylon, mostraram permeabilidades adequadas para aplicação na filtração de aerossóis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo suporte para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- (1) ULHÔA, M.B. Carvão aplicado à fabricação de coque de alto-forno. In: ULHÔA, M. B. Carvão aplicado à fabricação de coque de alto-forno. São Paulo: ABM, 2003.
- (2) SILVA, G.L.R.D. Otimização da mistura de carvões na produção de coque metalurgico. REDEMAT. Ouro Preto, p.35-37, 2011.
- (3) GISLON, E.S.; LUZA, A.L.; FABRIS, D.C.N.; MACHADO, M.M; MONTEDO, O.R.K. Tecnologia de produção de coque em fono túnel a partir de pó de carvão compactado. Mater. Sci. Forum, p.01-09, 2012.
- (4) INNOCENTINI, M.D.M.; SALOMÃO, R.; RIBEIRO, C.; CARDOSO, F.A; DANDOLFELLI, V.C.; RETTORE, R.P.; BITTENCOURT, L.R.M. Permeability of fiber-containing refractory castables Part-I. American Ceramic Society Bulletin, v.81, n.7, p.34-38, 2002.
- (5) INNOCENTINI, M.D.M.; SALOMÃO, R.; RIBEIRO, C.; CARDOSO, F.A; DANDOLFELLI, V.C.; RETTORE, R.P.; BITTENCOURT, L.R.M. Permeability of fiber-containing refractory castables Part II. American Ceramic Society Bulletin, v.81, n.8, p.65-68, 2002.
- (6) SALOMÃO, R.; CARDOSO, F.A.; INNOCENTINI, M.D.M.; PANDOLFELLI, V.C.; BITTENCOURT, L.R.M. Effect of polymeric fibers on refractory castable permeability. American Ceramic Society Bulletin, v.82, n.4, p.51-56, 2003.
- (7) SALOMÃO, R.; ISAAC, C.S.; CARDOSO, F.A.; INNOCENTINI, M.D.M.; PANDOLFELLI, V.C. PSD, polymeric fibers and the permeability of refractory castables. American Ceramic Society Bulletin, p.931-935, 2003.
- (8) SCHEIDEGGER, A.E. The Physics of Flow Through Porous Media. 3rd ed. Toronto: University of Toronto Press, 1974.

STUDY OF PERMEABILITY POROUS STRUCTURES OBTAINED FROM THIN CARBON FIBER AND POLYMER – A PRELIMINARY STUDY

ABSTRACT

The coal extraction generates large quantities of coal waste which may be employed in the production of ceramics, which powders may be pressed with appropriate pressures and binder amounts. This work aims to study the permeability of ceramic structures composed of coal waste and different amounts of polymeric fibers. The compositions were homogenized, thermally treated and pressed at 1050 °C. Samples were characterized in relation to porosity determination, permeability and microstructural features. The results showed that the permeability increased with fiber content used. However, the composition containing 5 wt% of polypropylene fibers was lower than the compositions containing 1 wt% of cellulose fiber and 0.5 wt% of nylon fibers being suitable for use in aerosol filtration permeability.

Key-words: Coal waste, permeability, polymeric fibers, porosity.