

CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE BLOCOS CERÂMICOS DE ALTA POROSIDADE

Maria Celeste Ribeiro Ambrósio

PEMM–COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Caixa Postal – 68505, Ilha do Fundão CEP-21945-970 Rio de Janeiro-RJ, celeste@metalmat.ufrj.br/mariacra@int.gov.br

Flávio Teixeira da Silva

PEMM–COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Caixa Postal – 68505, Ilha do Fundão CEP-21945-970 Rio de Janeiro-RJ, flatesi@metalmat.ufrj.br

Jamil Duailibi Filho

Instituto Nacional de Tecnologia – INT, Av. Venezuela, 82, Praça Mauá, CEP-20081-310 Rio de Janeiro duailibi@int.gov.br

Resumo: *A aplicação de blocos cerâmicos de alta porosidade na construção civil, é uma alternativa para melhorar o conforto ambiental e reduzir o consumo de energia. Partindo de uma argila caulínica da região do Estado do Rio de Janeiro contendo aditivos orgânicos formadores de poros e conformando-a por extrusão seguida das operações de secagem e queima às temperaturas compreendidas entre 900°C e 1100°C, obteve-se blocos cerâmicos porosos, cuja morfologia e distribuição de poros variaram com o aditivo e com a temperatura de queima. O presente trabalho se propõe a avaliar a correlação entre as temperaturas de queima das diferentes composições testadas e as suas respectivas condutividades térmicas, utilizando o método da placa quente protegida (Guarded Hot-Plate Method). Com base nos resultados, sugerem-se composições adequadas à obtenção de blocos cerâmicos leves, de baixa condutividade térmica.*

Palavras-chaves: *blocos cerâmicos; formadores de poros; condutividade térmica*

1. INTRODUÇÃO

Nas décadas de 50 e 60, o isolamento térmico era visto como prevenção contra umidade e crescimento de mofo, sendo voltado exclusivamente para a higiene dos ambientes. Após a crise do petróleo na década de 70, o isolamento térmico passou a ter papel fundamental no conforto ambiental das residências.

Nos dias atuais com o mercado mais exigente em relação a indústria da construção civil, o conforto ambiental das edificações vem sendo exigido, no âmbito da Qualidade Total e Ambiental. Com o desenvolvimento de novos materiais, tornou-se indispensável a pesquisa e elaboração de novas técnicas para a determinação das propriedades termofísicas dos materiais, a saber condutividade térmica, calor específico, massa específica e difusividade térmica desses materiais. Dentre estas propriedades a condutividade térmica é uma das mais importante. O conhecimento da variação da condutividade térmica com a estrutura física dos materiais e suas variações, principalmente com a temperatura e pressão e com a composição dos materiais são da maior importância para o cálculo e análise da transferência de calor de um sistema.

Nos últimos sessenta anos foram desenvolvidos vários métodos para medição das propriedades termofísicas dos materiais, tais como: Método da Placa Quente Protegida (Guarded Hot-Plate Method), Fio Quente (Transient Hot-Wire Method), Faixa Quente (Transient Hot-Strip Method), Sonda Linear (Hot-Probe Method) dentre outros. O método que mais se destaca para medir a condutividade térmica de materiais é o Método da Placa Quente Protegida (Guarded Hot-Plate Method).

Nas últimas duas décadas, com o advento da crise mundial de energia, houve um grande estímulo às pesquisas na área de conservação de energia, tanto em aplicações industriais quanto residenciais. Como resultado, novos materiais foram desenvolvidos e geometrias otimizadas para a utilização como isolantes térmicos.

A condutividade térmica é a propriedade que relaciona o fluxo de calor em regime estacionário com a diferença de temperatura entre suas faces. Para a medição de valores de condutividade térmica inferiores a $3,5\text{W/mK}$, o sistema mais adequado é o método da Placa Quente Protegida.

Este método pode ser empregado em três diferentes categorias de materiais isolantes: quando o material é homogêneo e isotrópico, onde o calor é transportado somente por condução; quando o material é termicamente não homogêneo, e quando o material poroso é termicamente homogêneo, no qual o fluxo de calor é transmitido pelas fases sólidas e gasosas que constituem o material.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a correlação entre as estruturas porosas oriundas das diferentes composições testadas e as suas respectivas condutividades térmicas, utilizando o Método da Placa Quente Protegida.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram preparadas misturas de argilas cauliníticas com teores de diferentes agentes formadores de poros: serragem, celulose e poliestireno expandido. Para a definição desses teores, tomou-se por base dados indicativos reportadas na literatura ^(1,6,7,8). Testes utilizando uma extrusora de laboratório conformaram essas misturas, obtidas a partir de matérias-primas argilosas utilizadas na fabricação de blocos estruturais na Região do Médio Vale do Paraíba (RJ), a saber: 40% de argila de várzea de média plasticidade de cor cinza, 40% de argila amarela e 20% silte argiloso. Além dos aditivos formadores de poros, adicionou-se resíduo de granito, proveniente do corte de granito da Região de Cachoeiro do Itapemirim (ES), com o intuito de agregar mais fundentes de forma a compensar parte da perda da resistência mecânica ocasionada pelo aumento da porosidade das peças.

Inicialmente, foram coletadas amostras de diferentes pontos de cada pilha de argila do estoque da indústria cerâmica situada no Município de Barra do Piraí – RJ, afim de se obter uma amostra representativa. Após sucessivos quarteamentos, foram preparados 3,0 Kg de cada uma das argilas utilizadas para a caracterização das mesmas em termos da composição química e mineralógica, distribuição granulométrica e plasticidade. Também foram determinadas as composições químicas do resíduo de granito e do resíduo de celulose, utilizando-se a técnica de fluorescência de raios-X como mostra a Tabela (1).

Para a identificação dos minerais presentes nas matérias-primas, utilizou-se a difração de raios-X, difratômetro marca PHILLIPS, modelo PW 3710, associada à análise termo diferencial – DTA e termo gravimétrica – TG, em equipamento de análise térmica simultânea marca TA Instruments, modelo SDT 2960. As análises químicas das matérias-primas argilosas e dos insumos testados são fornecidas na Tab.(1), assim como dados referentes à determinação de outros parâmetros de caracterização, como distribuição granulométrica e limite de plasticidade.

Tabela (1). Características das Matérias-primas (% em peso)

	<i>Argila Cinza</i>	<i>Argila Amarela</i>	<i>Silte Arenoso</i>	<i>Resíduo Granito</i>	<i>Resíduo Celulose</i>
SiO₂	59.54	55.47	64.98	59.80	51.60
Al₂O₃	20.89	22.71	17.24	12.89	1.30
Fe₂O₃	5.88	7.60	5062	11.40	2.00
TiO₂	1.02	1.08	0.91	0.99	0.20
CaO	0.28	0.12	0.36	3.80	21.50
MgO	0.70	0.70	0.87	1.40	20.00
Na₂O	0.38	0.28	0.55	2.60	2.50
K₂O	2.22	2.06	2.62	4.00	0.70
P₂O₅	0.08	0.07	0.08	0.44	0.13
Mn₂O₃	0.05	0.05	0.07	0.17	0.07
ZnO	-	-	-	-	-
PbO	-	-	-	-	-
MnO₂	-	-	-	-	-
SO₃	-	-	-	-	-
PF (1000°C)	8.96	9.86	6.70	2.51	-
% > 63 µm	7.6	30.8	47.2	5.0	-
% < 2 µm	40.0	44.0	19.0	-	-
LP (%)	28	36	26	-	-

A distribuição granulométrica da serragem, foi a seguinte: 10% abaixo de 0,2 mm; 70% entre 0,2mm e 1,0mm, e 20% acima de 1,0mm. O resíduo de celulose, como recebido, continha cerca de 48% de umidade. O poliestireno apresentava uma granulometria média de 0,4mm.

A Figura (1) ilustra o fluxograma do processamento das misturas e determinação de suas propriedades tecnológicas. Após extrusão, os corpos-de-prova na forma prismática (12,0 x 6,0 x 3,0) foram secos à temperatura ambiente durante 7 dias e posteriormente secos em estufa. A queima dos corpos-de-prova foi feita em forno de laboratório MAITEC em três temperaturas: 900, 1000 e 1100°C, com taxa de aquecimento constante até a temperatura de queima, com patamar de 4 horas. Após testes em laboratório, algumas amostras foram queimadas em forno industrial do tipo túnel, na Cerâmica Argibem, com ciclo térmico utilizado na produção de blocos estruturais. Para todas as amostras sinterizadas, em laboratório e em forno industrial, foram determinadas a densidade, retração linear (ABNT – MB305)⁴, porosidade aparente, absorção de água (ASTM C 373-72)², perda ao fogo a 1000°C e módulo de ruptura à compressão (NBR 6461)⁽¹⁻⁵⁾.

A determinação da condutividade térmica dos corpos-de-prova, foi realizada em equipamento da marca Feutron. A técnica empregada no ensaio foi o Método da Placa Quente Protegida (Guarded Hot-Plate Method). Este método tem sido utilizado com sucesso ao longo dos anos, na caracterização de materiais de valores de condutividade térmica inferiores a 3,5W/mK, como especificado na norma (ASTM C177-97)⁽¹⁻³⁾.

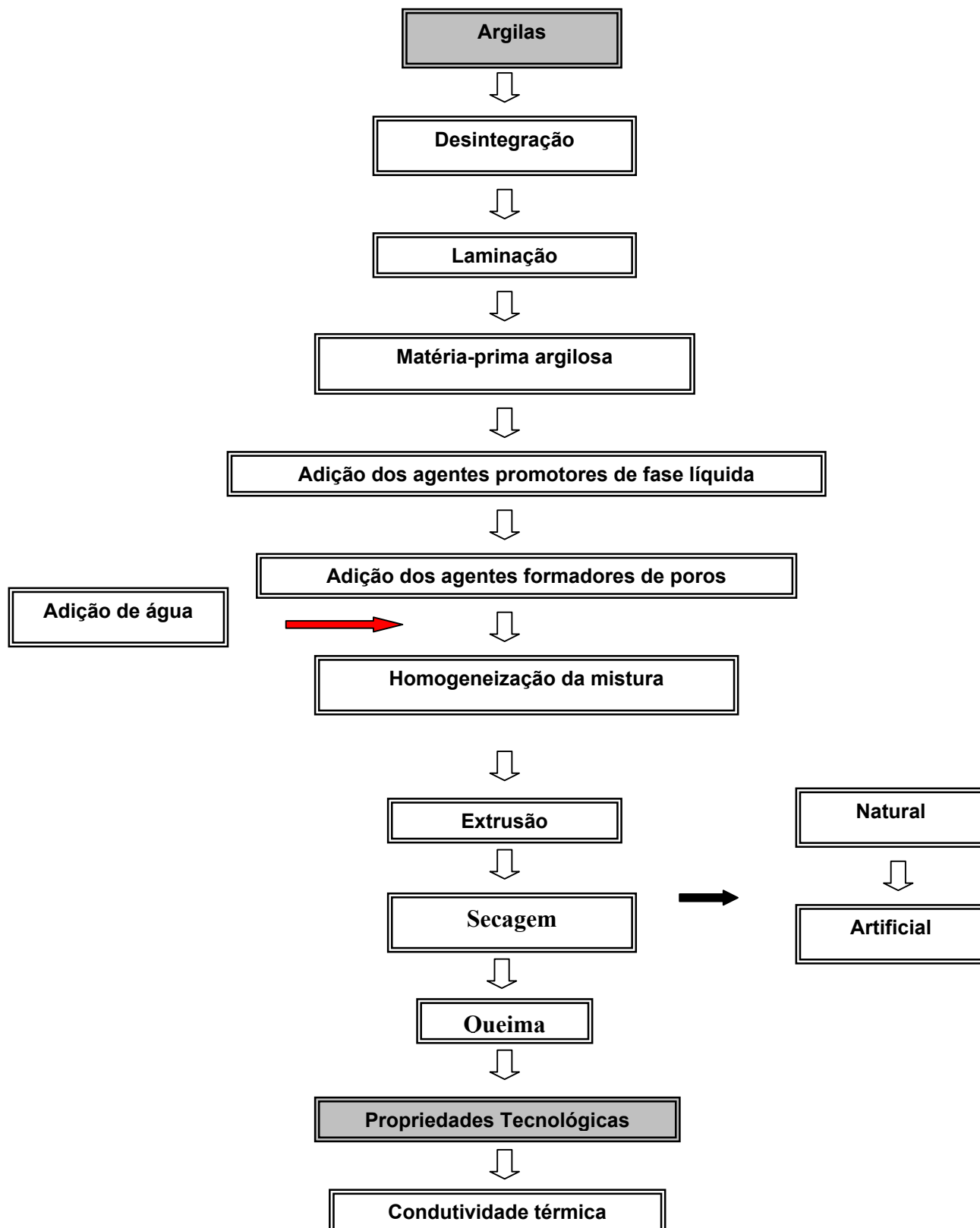


Figura (1). Metodologia Empregada no Processamento de Blocos Porosos (4)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo os ensaios de caracterização realizados, as argilas que compõem a mistura são predominantemente cauliníticas, de relativamente baixa fusibilidade, que quando misturadas de acordo com a formulação utilizada na Cerâmica e queimada, a temperaturas relativamente altas, levam à obtenção de blocos com características adequadas à utilização em alvenaria estrutural.

A Tabela (2) mostra os resultados dos ensaios tecnológicos realizados nos corpos-de-prova após queima a 900°C, 1000°C e 1100°C. Para melhor visualização, nas Figuras (2), (3) e (4) são mostradas as composições testadas e as regiões onde se situam a porosidade aparente (PA) e a resistência à compressão (MPa). Pode-se observar também na Tab.(2) e melhor visualizado na Fig. (2) que à temperatura de 900°C ocorrem os menores valores de resistência à compressão e os maiores valores de porosidade aparente para todas as misturas. Com o aumento da temperatura de queima, observa-se nas Fig. (3) e (4) que ocorre um acréscimo nos valores de resistência à compressão e um decréscimo na porosidade aparente devido ao fechamento de poros. Para a mistura ARG 100 observa-se um acréscimo de cerca de 60% à 1000°C e de cerca de 41% à 1100°C.

Tabela (2). Características Tecnológicas das Composições

Mistura	Densidade (g/cm ³)			P A (%)			R C (MPa)		
	900°C	1000°C	1100°C	900°C	1000°C	1100°C	900°C	1000°C	1100°C
Arg 100	1,48	1,58	1,77	43,20	42,40	32,00	12,22	19,41	27,91
EPS2 G8	0,79	0,83	0,97	65,30	63,20	60,20	1,58	2,94	5,23
S5 C10	1,09	1,16	1,30	57,60	55,70	48,70	3,47	6,68	11,65
S10 C5	1,04	1,09	1,24	60,73	58,80	52,20	3,69	6,09	11,27
S18 C6	0,82	0,86	0,98	68,96	68,50	63,20	1,50	1,94	3,62

Arg 100 – Misturas sem aditivos; EPS2 G8 – Mistura de argila + EPS; S5 C10, S10 C5 e S18 C6 - Mistura de argila + serragem + celulose, só muda o percentual de cada aditivo.

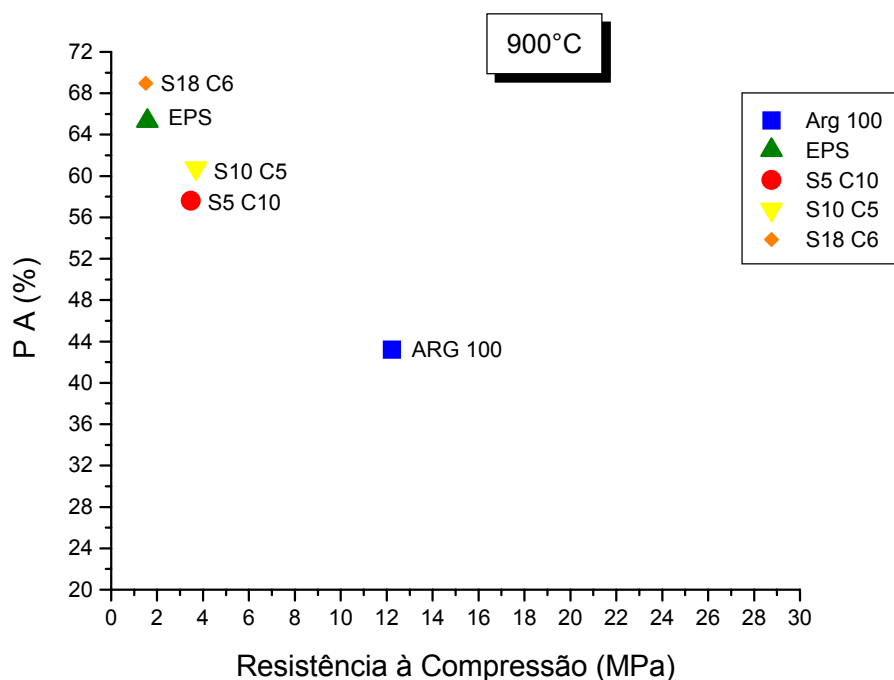


Figura (2). Porosidade Aparente – (PA) Vs. Resistência à Compressão (MPa) das Composições após Queima a 900°C

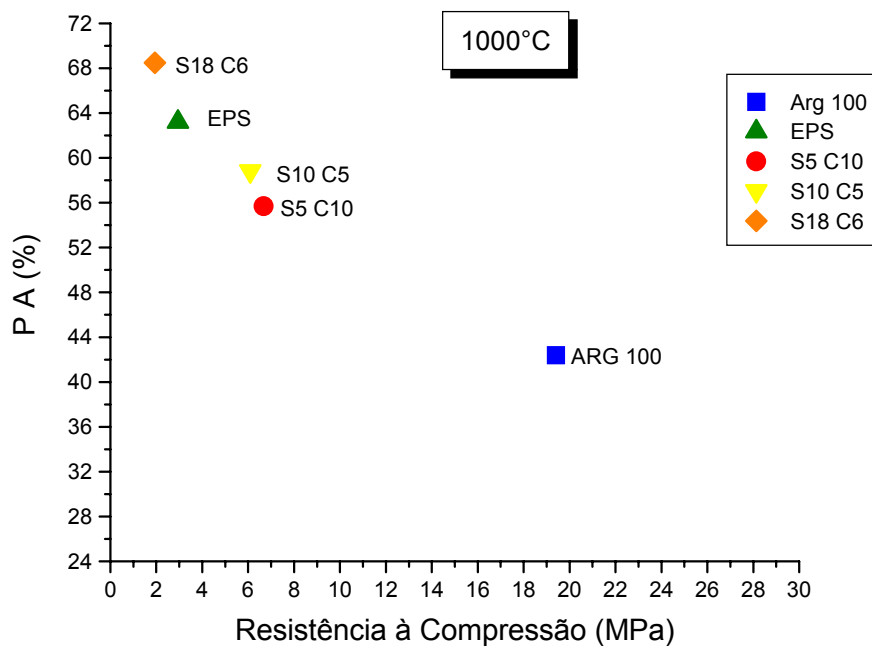


Figura (3). Porosidade Aparente – (PA) Vs. Resistência à Compressão (MPa) das Composições após Queima a 1000°C

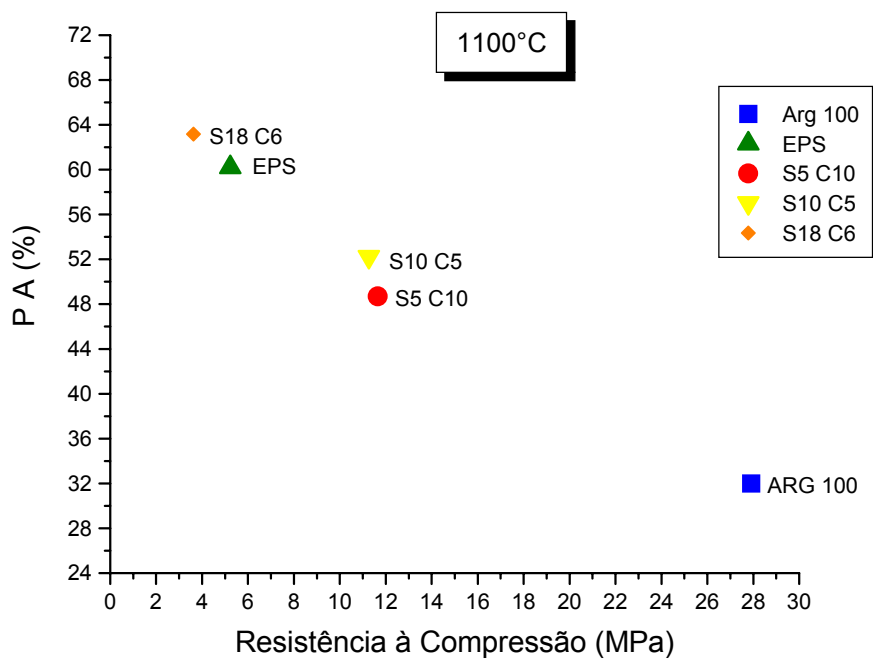


Figura (4). Porosidade Aparente – (PA) Vs. Resistência à Compressão (MPa) das Composições após Queima a 1100°C

Observa-se na Tab.(2) e melhor visualizado na Fig.(4), que à temperatura de 1100°C os valores de resistência mecânica localizam-se na faixa de 3,62 a 27,91 MPa e observa-se também uma diminuição da porosidade, devido a densificação do material e a temperatura de queima.

A densidade aparente do corpo cerâmico sem adição de agentes formadores de poros localiza-se na faixa de 1,58 a 1,77 g/cm³, dependendo da temperatura de queima. Para valores medianos de resistência à compressão em torno de 12 MPa, foram observadas reduções superiores a 25% na densidade do material a 1100°C como mostra a Fig. (5), para as composições S5 C10 e S10 C5, sinalizando para a possível utilização de materiais relativamente de baixo custo para a obtenção de componentes construtivos cerâmicos de baixa densidade e relativamente alta resistência mecânica. Ressalta-se que tais insumos são resíduos de outros processos industriais, e que necessitariam ser descartados o que poderia vir a causar prejuízos ao meio ambiente.

A Tabela (3) mostra os resultados dos ensaios de condutividade térmica, das composições estudadas. As medições duraram em média 16 horas, dependendo da composição. Considerou-se que o regime permanente foi alcançado quando nenhuma variação foi detectada no gradiente de temperatura das espécimes, a partir das três leituras sucessivas em um intervalo não inferior a duas horas.

Tabela (3). Medidas de Condutividade Térmica nas Temperaturas de 900°C, 1000°C e 1100°C

Misturas	Condutividade Térmica (W/m°C)		
	900°C	1000°C	1100°C
ARG 100	0.653	0.739	0.921
S5 C10	0.358	0.406	0.596
S10 C5	0.412	0.464	0.577
S18 C6	0.224	0.265	0.418
EPS2 G8	0.292	0.334	0.584

Pode-se observar na Tabela (3) e melhor visualizar na Fig. (5), que com o aumento da temperatura de queima, ocorre para todas as misturas um aumento da condutividade térmica. Isto se deve obviamente a densificação do material, levando a uma diminuição da porosidade e conseqüentemente maior capacidade térmica do corpo-de-prova. Pode-se observar que os mais baixos valores de condutividade térmica foram obtidos com a mistura S18 C6 nas três temperaturas de queima. Observa-se também que as misturas S5 C10 e S10 C5 apresentam resultados de condutividade térmica muito próximos para a temperatura de queima de 1100°C e uma redução na condutividade térmica, de cerca de 45%, em relação a mistura ARG (100). A mistura EPS2 G8, apresenta valor de condutividade térmica próximo ao da mistura S18 C6 para a temperatura 1000°C e valores de condutividade térmica entre as misturas S5 C10 e S10 C5 para a temperatura de 1100°C, apesar de conter percentual de agente formador de poros inferior as demais composições, mostrou ser um material poroso com razoável resistência mecânica, leveza e baixa condutividade térmica.

Como seria esperado, os resultados de condutividade térmica da mistura ARG (100) isto é, sem agentes formadores de poros, foram os mais elevados.

Como mostram os resultados da Tabela (3) e melhor visualizado na Figura (5), com o aumento da temperatura de queima, ocorreu para todas as misturas um aumento da condutividade térmica .

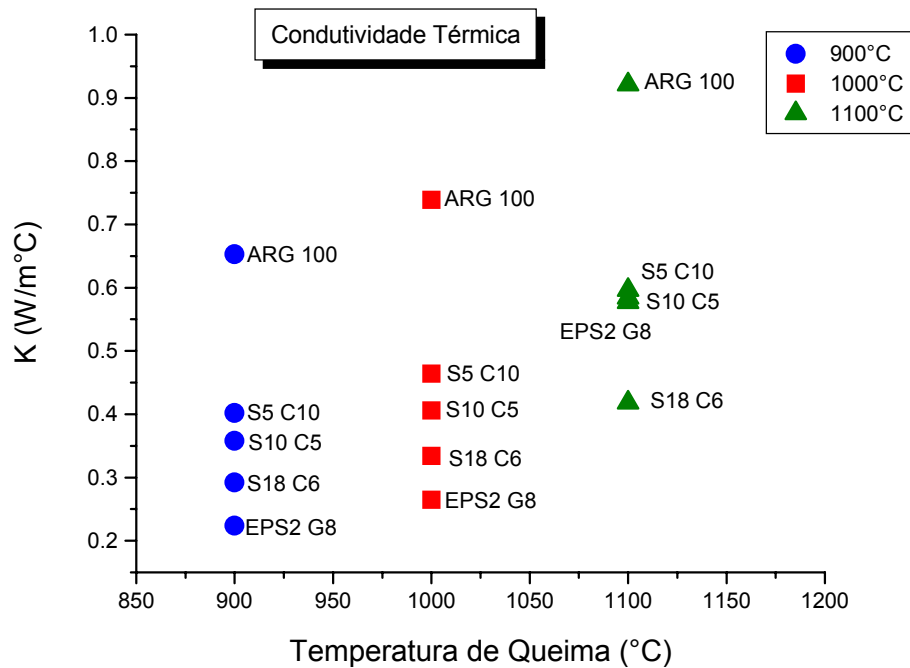


Figura (5). Condutividade Térmica das Misturas nas Temperaturas de Queima de 900°C, 1000°C e 1100°C

Correlacionando a condutividade térmica das misturas ensaiadas com os percentuais de agentes formadores de poros adicionados as referidas misturas, pode-se observar na Figura (6) a redução da condutividade térmica em relação a misturas ARG (100) nas três temperaturas de queima, e mostrando a influência do aumento do percentual do agente formador de poros incorporado as misturas, na condutividade térmica do corpo cerâmico.

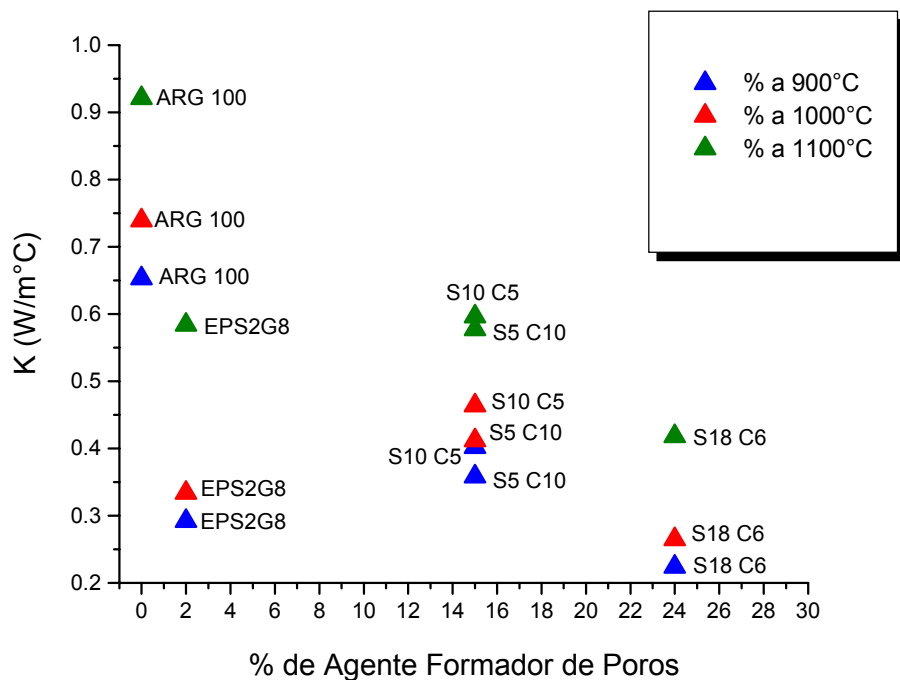


Figura (6). Comparação das Condutividades Térmicas das Misturas Vs % de Agente Formador De Poros nas Três Temperaturas de Queima

CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho sinalizam ser possível a obtenção de blocos cerâmicos porosos utilizando como agentes formadores de poros, a celulose, a serragem e o poliestireno, possuindo condutividade térmicas na faixa de 0,334 a 0,406 W/m°C, à temperatura de 1000°C. À temperatura de 900°C, pode-se observar na Tab. (3) e melhor visualizar na Fig.(5), que à esta temperatura, as condutividades térmicas situam-se na faixa de 0,292 a 0,358 W/m°C. Por outro lado, e pode-se observar na Tab. (2) e melhor visualizar na Fig. (2), que a resistência mecânica à compressão desses corpos cerâmicos decresceram cerca de 86%.

Para aplicações como isolante termo-acústico, recomenda-se a utilização de poliestireno (EPS) entre 1 e 2%, e serragem em percentuais superiores a 15%, combinados com agentes promotores de fase líquida, como por exemplo resíduo de corte de granito, para compensar a perda de resistência mecânica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo auxílio financeiro à realização deste estudo, ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e ao laboratório de Transmissão e Tecnologia de Calor (LTTC) pelo apoio na realização deste trabalho. Nossos agradecimentos a BASF, ARACRUZ CELULOSE, a Olaria São Sebastião pela doação das matérias-primas para a realização deste trabalho e a Cerâmica Argibem pela queima dos corpos cerâmicos em forno industrial.

REFERÊNCIAS

- Ambrósio, Maria Celeste Ribeiro, 2003, “Obtenção de Blocos Cerâmicos Leves Utilizando Argilas Cauliníticas do Estado do Rio de Janeiro com Adição de Agentes Formadores de Poros”, M.Sc, COPPE/UFRJ Engenharia Metalúrgica e de Materiais Rio de Janeiro, Brasil, pp 104.
- American Standard for Tasting Materials – Standard Test Method for Water Absorption, Book Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware 1988, 2p.
- Annual Book of ASTM, Standard Test Method for Steady-State, 1984, Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded Hot Plate ANSI/ASTM C177-76, America Society for Testing and Materials, Philadelphia .
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987, – Argila, Argamassa, Concreto e Cimento Refratário. Determinação da retração Linear após Secagem MB-305, RJ, 13p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983, – Bloco Cerâmico para Alvenaria Verificação da Resistência à Compressão, 3p.
- E. Rimpel, T, SCHMEDDERS, Industrial production of high-porosity brick materials, 1996, ZI – Annual for the Brick and Tile, Structural Ceramics and Clay Pipe Industries (Ed. C. Kokot), Wiesbaden, Alemanha, pp. 174 - 206.
- K. Jung, Porous lightweight clay bricks and blocks – A step towards a better environment, 1994, ZI – Brick and Tile Industry International, pp. 35 - 38.
- Ziegel, Jahrbuch Annual for the Brick and Tile, Structural Ceramics and Clay Pipe Industries Herausgeber, 1998, Editors – Bauverlaf GMBH – Wiesbaden und Berlin, Alemanha pp 570 612.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

THERMAL CONDUCTIVITY OF CERAMIC BLOCKS OF HIGH POROSITY

Maria Celeste Ribeiro Ambrósio

PEMM–COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Caixa Postal – 68505, Ilha do Fundão CEP-21945-970 Rio de Janeiro-RJ, celeste@metalmat.ufrj.br/mariacra@int.gov.br

Flávio Teixeira da Silva

PEMM–COPPE/UFRJ, Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Caixa Postal – 68505, Ilha do Fundão CEP-21945-970 Rio de Janeiro-RJ, flatesi@metalmat.ufrj.br

Jamil Duailibi Filho

Instituto Nacional de Tecnologia – INT, Av. Venezuela, 82, Praça Mauá, CEP-20081-310 Rio de Janeiro duailibi@int.gov.br

Abstract

The application of ceramic blocks of high porosity in civil construction is an effective way to improve the ambient comfort and to reduce the energy consumption. From a mixture of a caulinic clays from the Rio de Janeiro State and different porous forming agents, after conforming by extrusion followed by drawing and sintering between 900°C and 1100°C, porous ceramic blocks were produced with different morphologies and pore distributions, which depend on the type of the additive, its proportion and the sintering temperature. The present work correlates the different porous structures with the thermal conductivity of the blocks, using the Guarded Hot-Plate Method. Adequate lightweight ceramic blocks, with low thermal conductivity and a reasonable compression strength may be produced on this basis.

Key-words: Structural Blocks, porous forming agents, thermal conductivity