

# EFEITO DA TEMPERATURA DE SINTERIZAÇÃO DO CERMET COMPOSTO DE CINZAS DA QUEIMA DE CARVÃO MINERAL E FERRO<sup>1</sup>

Vinícius Martins<sup>2</sup>  
Paulo Ricardo Böesch Júnior<sup>3</sup>  
Andréia Brogni<sup>4</sup>  
Valquiria Victoria Burmann Schilling<sup>5</sup>  
Lírio Schaeffer<sup>6</sup>

## Resumo

O desenvolvimento do processo de reciclagem através da metalurgia do pó transformará as cinzas de carvão das termoelétricas em matéria prima atuando na redução e/ou tratamento da poluição e remediação ambiental deste material em uma aplicação industrial. Isto justifica o estudo e obtenção de cermets (compósito metal/cerâmica) a partir de cinzas de carvão produzidas em termoelétricas devido o comportamento refratário, resistência à corrosão da fase cerâmica que fica unido vantajosamente de forma proporcional com a ductilidade e condutividade térmica da fase metálica, e que alguns novos materiais de qualidade superior ficariam disponíveis para um grande número de aplicações em alta temperatura. O presente trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos cermets através da curva de compressibilidade para determinar a pressão de compactação bem como o efeito da temperatura de sinterização propiciando maior densificação do compósito. Os pós foram analisados por MEV, para a determinação do formato de partículas para verificar a dispersão granulométrica. Também foram medidas as contrações lineares, volumétricas, densidade a verde, densidade sinterizado e dureza.

**Palavras-chave:** Cinzas de carvão; Cermets; Temperatura de sinterização; Metalurgia do pó.

## EFFECT OF SINTERING TEMPERATURE OF A CERMET COMPOSED OF IRON AND BURNT COAL ASHES

### Abstract

The development of the recycling process via powder metallurgy process the coal ash of thermoelectric materials aimed at reducing and / or treatment of pollution and environmental remediation of this material in an industrial application. This justifies the study and obtaining cermets (composite metal / ceramic) from coal ash produced in the thermal behavior due refractory, corrosion resistance of the ceramic phase that is advantageously attached in proportion with the ductility and thermal conductivity of the metallic phase and that some new high-quality materials would be available for a large number of applications in high temperature. The present study aims to evaluate the physical and mechanical properties of cermets by the compressibility curve to determine the pressure and the effect compactação the sintering temperature of providing a higher densification of the composite. The powders were analyzed by SEM to determine the size of particles to determine the particle size dispersal. Were also measured linear shrinkage, volumetric, green density, sintered density and hardness.

**Key words:** Coal ash; Cermets; Sintering temperature; Powder metallurgy.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67<sup>o</sup> Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Doutorando do PPGEM. Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil Professor do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense - IFSul [viniciushiper@yahoo.com.br](mailto:viniciushiper@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Mestrando do PPGEM. LdTM, Depto. Metalurgia, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil [paulo.boesch@ufrgs.br](mailto:paulo.boesch@ufrgs.br)

<sup>4</sup> Mestranda do PPGEM. LdTM Depto. de Metalurgia, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil [andbrogni@hotmail.com](mailto:andbrogni@hotmail.com)

<sup>5</sup> Acadêmica. LdTM, Depto. de Metalurgia, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil [va\\_vbs@hotmail.com](mailto:va_vbs@hotmail.com)

<sup>6</sup> Prof. Dr. -Ing. Coordenador. LdTM, Depto. de Metalurgia, PPGEM, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil. [schaefer@ufrgs.br](mailto:schaefer@ufrgs.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Um amplo estudo tem sido realizado no sentido da viabilização da utilização de resíduos da queima de carvão mineral como materiais de engenharia. Destacam-se principalmente a utilização dessas cinzas nos processos de fabricação de cimento (produção de clínquer, utilizado para a fabricação do cimento *Portland*), de pavimentação<sup>[3]</sup> e ainda sua utilização em componentes de baixa densidade e relativamente alta resistência, como filtros cerâmicos utilizados para a separação de metais pesados de lamas e mananciais tendo como outro benefício a possibilidade de utilização em altas temperaturas.[1]

Os cermets são materiais compósitos de cerâmica e metal nos quais um determinado carboneto, de elevada dureza, é envolvido em uma matriz de um metal que exerce a função aglutinadora das partículas. Os cermets podem ser definidos como compostos de fase cerâmica e fase metálica numa microestrutura heterogênea. O mesmo foi projetado para ter as propriedades ideais tanto de um material cerâmico como resistência a altas temperaturas e dureza, e também as propriedades de um metal como capacidade de sofrer deformação plástica. Os cermets são obtidos pela metalurgia do pó. [2]

Durante os anos quarenta os cermets avançaram marginalmente com a adição de materiais, provavelmente adicionados de modo tentativa-e-erro, e com o aprimoramento da tecnologia de sinterização. Suas características são: baixa tendência a formação de gume postiço; boa resistência a corrosão; boa resistência ao desgaste; resistência a temperatura elevada; alta estabilidade química. [3]

As classes de cermet são usadas em aplicações propícias a abrasão, onde a aresta postiça é um problema. Seu padrão de desgaste autoafiante mantém as forças de corte baixas mesmo após longos períodos em corte. Em operações de acabamento, isto permite uma vida útil mais longa da ferramenta e tolerâncias estreitas, resultando em superfícies brilhantes. Aplicações típicas são acabamento em aços inoxidáveis, ferros fundidos nodulares, aços com baixo teor de carbono e aços ferríticos. Cermets podem também ser aplicados para solução de problemas em todos os materiais ferrosos. [4]

O objetivo deste trabalho é estudar as propriedades físicas e mecânicas, que as amostras compactadas de cinzas da queima de carvão mineral, a chamada cinza leve, e que sofreram sinterização em temperatura e atmosfera adequadas. Observou-se as variações no volume, densidade, massa, diâmetro e altura das amostras.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Compactação e Sinterização

Foram preparadas quatro amostras misturando-se homogeneamente a cinza leve obtida da queima do carvão mineral com 20% de pó de ferro puro. O pó elementar de ferro puro foi previamente processado em moinho atritor de alta energia em atmosfera de argônio, com rotação de 400 rpm por um tempo de 6h. A mistura obtida foi compactada uniaxialmente em uma matriz cilíndrica de 13 mm de diâmetro, utilizando-se a pressão de 300MPa, que foi a pressão na qual a mistura compactou melhor segundo a curva de compressibilidade como mostra a Figura 1. A densidade a verde dos corpos de prova foi determinada pela medição dimensional e determinação da massa em balança de precisão.

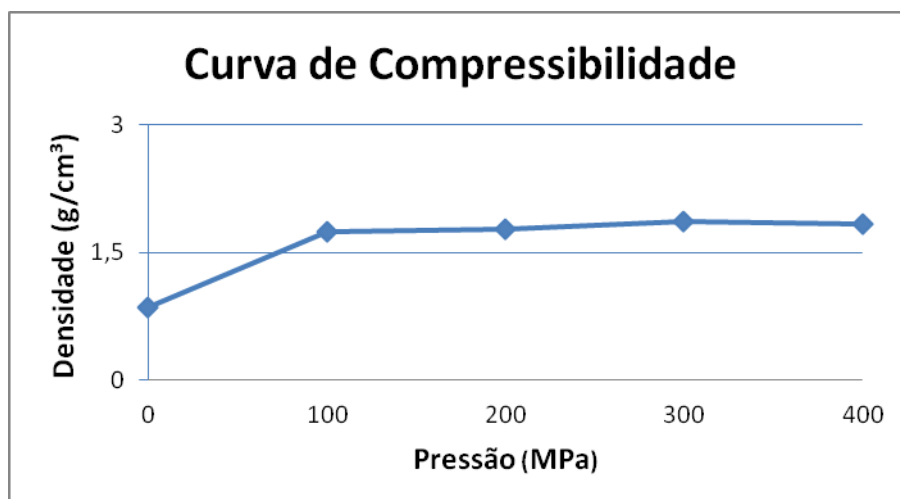


Figura 1: Curva de compressibilidade da cinza leve e 20% de ferro.

As quatro amostras foram sinterizadas em temperaturas diferentes, que foram 1150°, 1200°, 1250° e 1300°. Durante a sinterização foi utilizada uma atmosfera contendo 25% Hidrogênio e 75% Nitrogênio (gás marrom). As amostras foram resfriadas ao forno. As densidades dos corpos de prova sinterizados foram medidas utilizando-se o princípio de Arquimedes.

## 2.2 Ensaio de Dureza

A dureza Brinell dos corpos de prova sinterizados foi medida utilizando-se um duromêtro de bancada Wolpert com uma pré-carga de 10 Kgf e carga de 250 kg, empregando-se um indentador esférico de 2,5 mm de diâmetro.

## 2.3 Análise Microestrutural

A microestrutura e morfologia das amostras de óxidos no estado de pós e dos corpos de prova sinterizadas foram analisadas utilizando-se microscopia óptica e eletrônica de varredura, com as amostras previamente polidas e sem a utilização de ataque químico.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa do estudo, com base nos objetivos propostos, serão apresentados os seguintes resultados: densidade das amostras após sinterização, metalografia das amostras e microdureza.

### 3.1 Densidade do Sinterizado

A Tabela 1 apresenta todos os resultados medidos e calculados das amostras sinterizadas.

Tabela 1: Densidade das amostras sinterizadas

Amostras	MASSA (g)	VOL. DESLOCADO (cm <sup>3</sup> )	DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )	TEMPERATURA (°C)	PRESSÃO (Mpa)
1	4,58	2,09	2,19	1150	300
2	4,76	2,32	2,05	1200	300
3	4,59	2,40	1,91	1250	300
4	4,89	2,64	1,85	1300	300

Observa-se que quanto maior é a temperatura de sinterização menor é a densidade do sinterizado.

### 3.2 Microdureza

Na Tabela 2 pode-se ver os resultados obtidos das medições de microdureza das amostras sinterizadas. Foram feitas seis medições em cada amostra devido a sua superfície muito heterôgenea.

Tabela 2: Resultados da microdureza

MICRODUREZA CINZAS (HV)				
medições	1150°	1200°	1250°	1300°
1	138,42	156,69	881,95	1032,7
2	130,63	626,81	858,13	832,5
3	88,02	742,84	1048,2	840,92
4	127,57	281,86	632,3	447,79
5	110,3	942,74	270,14	757,12
6	160,88	717,66	1105,8	878,98
média	125,97	578,1	799,42	798,335

### 3.3 Análises Metalográficas

A heterogeneidade da dureza é refletida na metalografia conforme podemos observar nas Figuras 2 a 9. Na Figura 2 está exibido a estrutura da amostra sinterizada de cinza com 20%Fe com 1150°.



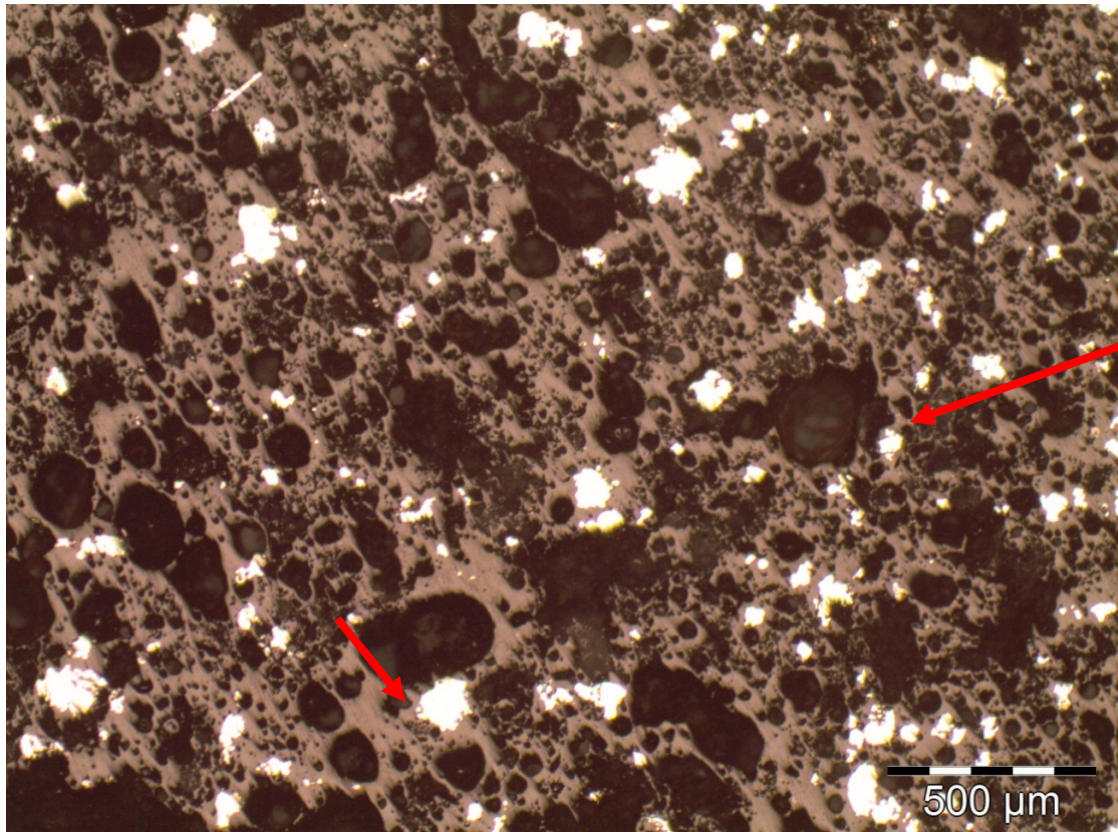


Figura 2: Metalografia do sinterizado a 1150° com aumento de 50x.

A Figura 2 mostra os pontos brancos sendo a alumina com tamanho de grão entre 50 e 100 $\mu$ m com formato arredondado. Nota-se que não há difusão visível entre a alumina e a sílica ou entre o metal cementado. Na seta maior pode-se observar a difusão entre a sílica e a matriz metálica de ferro. Pode-se observar que a distribuição dos materiais no cermets está homogênea sobre todas a área analisada. A Figura 3 apresenta a metalografia da amostra sinterizada a 1200°C.



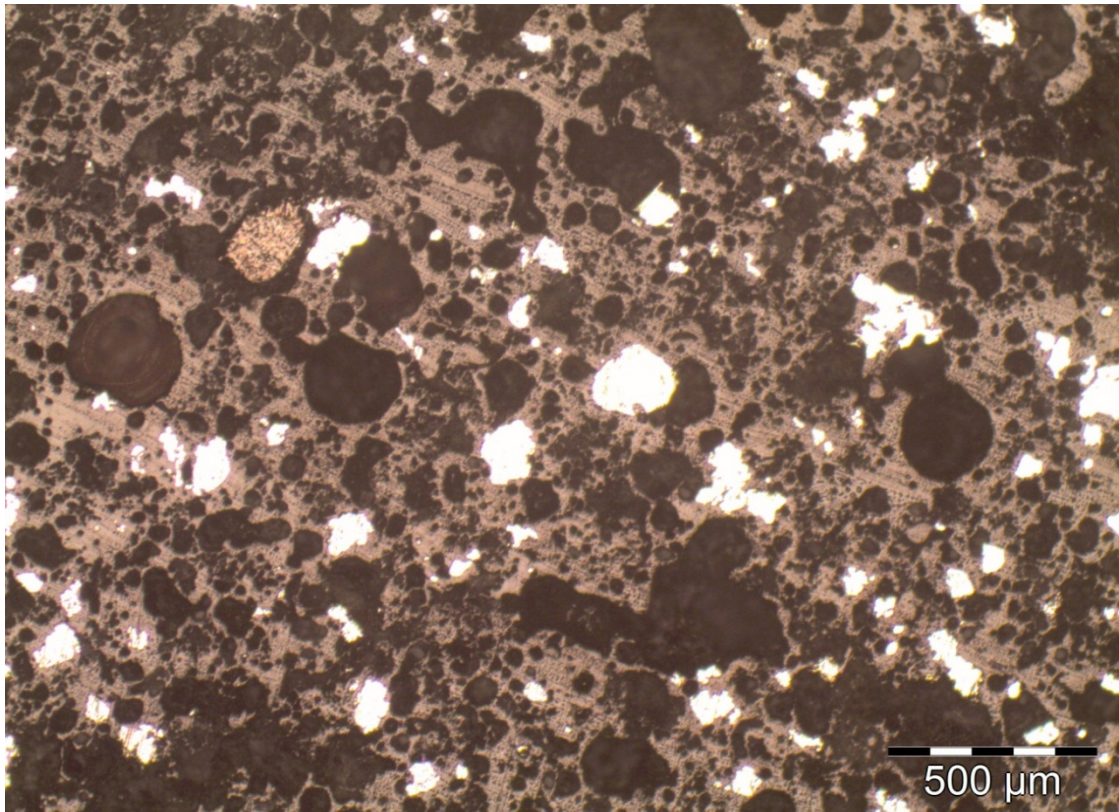


Figura 3: Metalografia do sinterizado a 1200° com aumento de 50x.

A Figura 3 exibe a metalografia do cermet onde mostra o crescimento dos grão de alumina em comparação com as amostra sinterizada em 1150°C. A Figura 4 apresenta a amostra de cinza 20% de ferro sinterizada a 1250°C

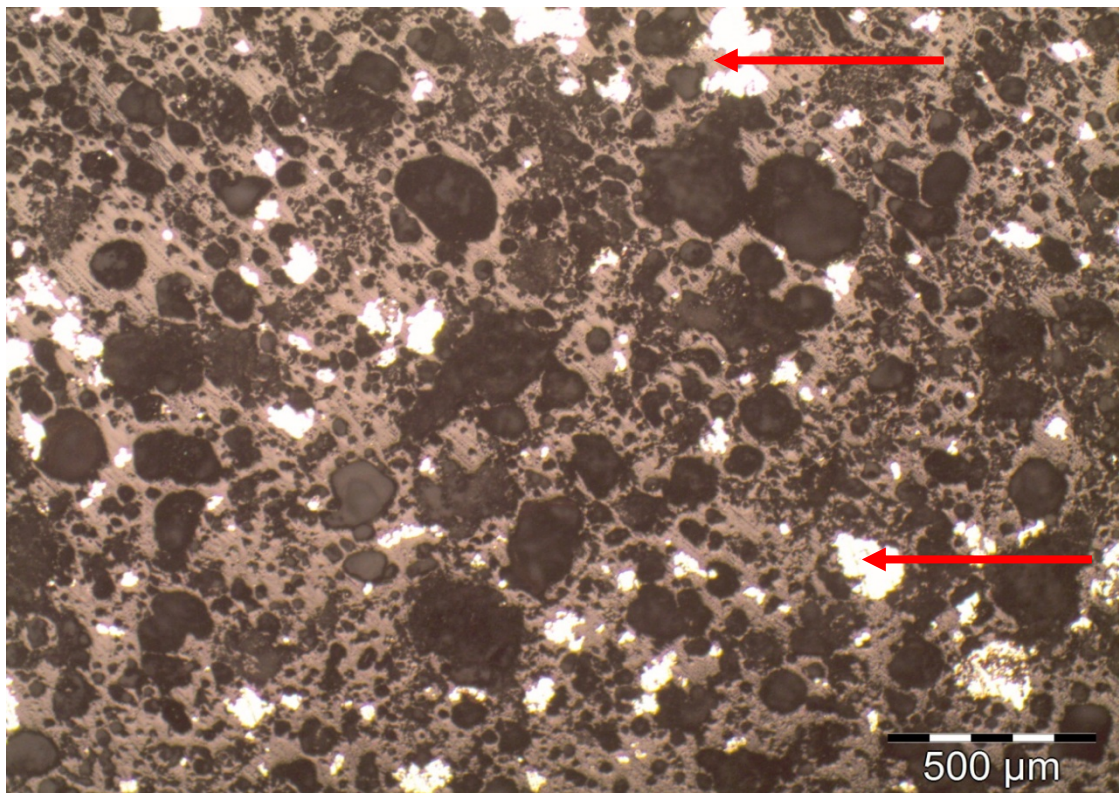
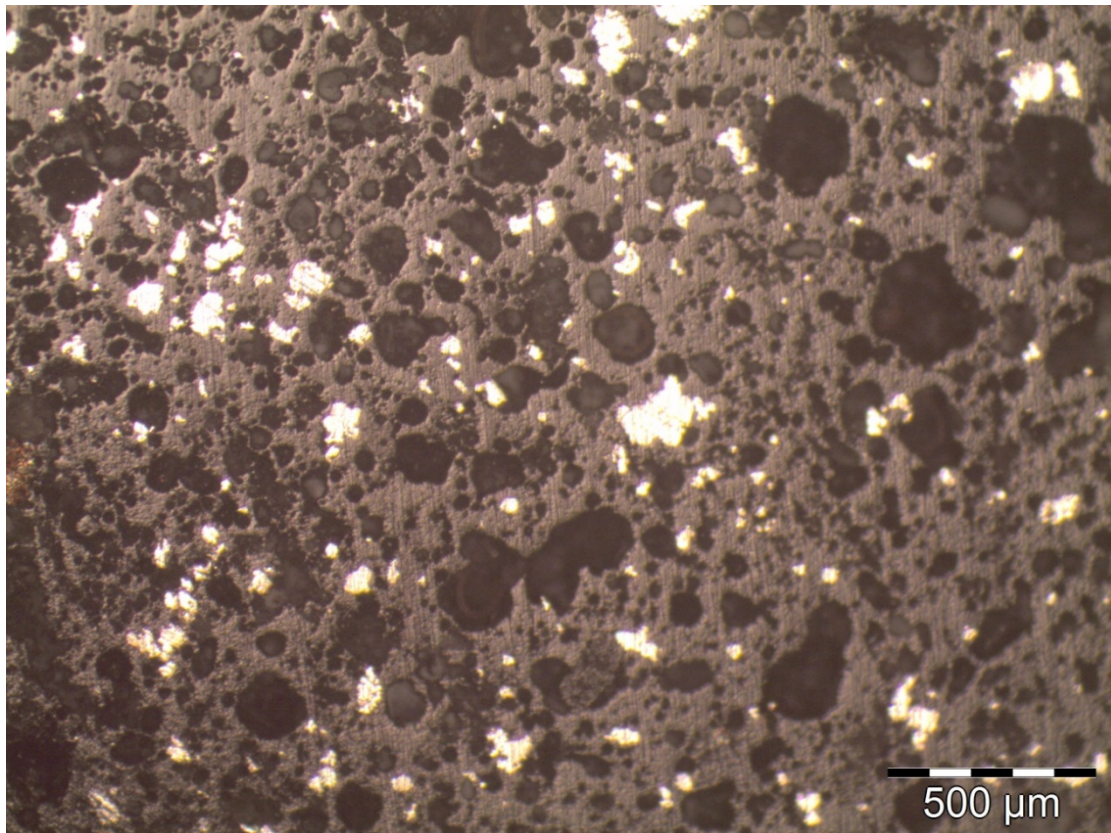


Figura 4: Metalografia do sinterizado a 1250° com aumento de 50x.



Na Figura 4 pode-se observar que o crescimento de grão da alumina, ficando com um tamanho entre 50 e 200 $\mu\text{m}$ , podendo observar maior difusão entre os grãos. Nota-se que o aumento da temperatura na sinterização aumentou o tamanho de grão de sílica e sua difusão sobre o ferro.



**Figura 5:** Metalografia do sinterizado a 1300<sup>o</sup> com aumento de 50x.

Pode-se observar que os grãos da sílica estão mais arredondados com a temperatura de 1300<sup>o</sup>C e menores pontes de difusão. A temperatura de sinterização influenciou diretamente na difusão da cerâmica sobre metal. A sinterização com a temperatura mencionada neste parágrafo apresentou pouquíssima distorção dimensional. Não foi realizada sinterização com a temperatura de 1350<sup>o</sup>C devido a instabilidade da geometria da peça.

#### 4.CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou que o aumento da temperatura de sinterização é fundamental para o aumento da difusão da alumina e da sílica dentro do metal. Havendo difusão da alumina a outro grão de mesma composição propiciando o crescimento de grão. Observa-se que o aumento da temperatura diminui a densidade do compósito, mas aumenta a microdureza indicando a difusão da matriz cerâmica no ferro. Necessita-se maior estudo das propriedades das cinzas, sendo muito importante conhecer o comportamento da alumina e da sílica durante a sinterização. O estudo mostrou que a instabilidade das propriedades das cinzas durante a sinterização é preocupante, pois não garante melhor propriedades físicas e mecânicas, devendo-se determinar a curva custo/benefício entre a relação das propriedade e o investimento de pesquisa e retorno do capital..

## REFERENCIAS

- 1 CHEESEMAN, C.R., VIRDI, G.S., Properties and Microstructure of LightweightAggregate Produced from Sintered Sewage Sludge Ash, Resources, Conservation and Recycling, 45, p. 18-30, Londres, 2005.
- 2 Cermets Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABTzcAJ/> ligas-cermet Acessado no dia 01/05/2012
- 3 Cermets Disponível em: [http://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/4817-cermet#.T6BwaqsQuSo](http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4817-cermet#.T6BwaqsQuSo) Acessado no dia 01/05/2012
- 4 Cermets Disponível em: [http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/technical\\_guide/materials/cutting\\_tool\\_materials/cermet/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/technical_guide/materials/cutting_tool_materials/cermet/pages/default.aspx) Acessado no dia 01/05/2012