

Compósitos de cinza pesada e ferro como meio suporte de biofilme em filtro biológico percolador em pós-tratamento de efluentes**Composites of heavy ash and iron as biofilm support medium in percolating biological filter after effluent treatment**

DOI:10.34117/bjdv5n6-198

Recebimento dos originais: 27/04/2019

Aceitação para publicação: 23/05/2019

Geraldo Tadeu da Silva Thiesen

Engenheiro Mecânico, Doutorando do Depto. de Metalurgia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Instituição: Comusa - Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo

Endereço: Rua Coronel Travassos, 287 - Bairro Rondônia - Novo Hamburgo - RS - Brasil
CEP: 93415-000.

E-mail: gsilva@comusa.rs.gov.br

Lirio Schaeffer

Engenheiro Mecânico. Prof. Dr.-Ing., Coordenador do LdTM, PPGEM, Depto. de Metalurgia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS),;

Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500 - Bairro Agronomia - Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 91501-970

E-mail: schaeffer@ufrgs.br

Vinicius Martins

Tecnólogo em Fabricação Mecânica. Prof. Dr. IFSul, Campus Sapucaia do Sul; Pró-reitor de pesquisa, inovação e pós-graduação IFSUL

Endereço: Praça Vinte de Setembro, 455- Bairro Centro - Pelotas- RS - Brasil
CEP 96015-360

E-mail: viniushiper@yahoo.com.br

RESUMO

A pesquisa avaliou a utilização da cinza pesada oriunda da queima de carvão mineral na fabricação de um Compósito Cerâmica Metal (CCM), com 10% de ferro puro sinterizado (Cz-10Fe), obtido por metalurgia do pó e testou seu potencial de aplicação como meio suporte para biofilme em filtro biológico percolador, no pós tratamento de efluentes. Foi utilizada cinza pesada com 2 horas de moagem. A microestrutura dos corpos de prova e a homogeneidade da cinza foram avaliadas utilizando-se Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Foi realizada a curva de compressibilidade para determinar a melhor pressão de compactação e também determinadas as densidades aparente e à verde. Realizou-se a sinterização e foi verificada a densidade das amostras sinterizadas. Foram realizados os ensaios de MEV e EDS da amostra sinterizada para uma estimativa de composição e difusão do ferro na matriz cerâmica. Foi utilizado protótipo construído com materiais recicláveis para aplicação dos CCMs utilizando efluente de Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da COMUSA (Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo), município da região

metropolitana de Porto Alegre. Os melhores resultados para a aplicação do compósito Cz-10Fe remoção de DQO foram conseguidos com 200% de taxa de recirculação.

Palavras-chave: cinza pesada; metalurgia do pó; filtro biológico percolador; meio suporte;

ABSTRACT

The research evaluated the use of heavy ash from the burning of mineral coal in the manufacture of a Metal Ceramic Composite (CCM) with 10% pure sintered iron (Cz-10Fe) obtained by powder metallurgy and tested its potential for application as medium support for biofilm in percolating biological filter, after effluent treatment. Heavy ash was used with 2 hours milling. The microstructure of the test specimens and the homogeneity of the ash were evaluated using Scanning Electron Microscope (SEM). The compressibility curve was performed to determine the best compaction pressure and the apparent and green densities were also determined. The sintering was performed and the density of the sintered samples was checked. The SEM and EDS tests of the sintered sample were performed for an estimation of iron composition and diffusion in the ceramic matrix. It was used a prototype constructed with recyclable materials for the application of the CCMs using effluent from the Sewage Treatment Plant (ETE) of COMUSA (Water and Sewage Services of Novo Hamburgo), municipality of the metropolitan region of Porto Alegre. The best results for the application of the COD-removal compound COD-10Fe were achieved with a 200% recirculation rate.

Keywords: heavy ash; powder metallurgy; percolating biological filter; half support

1 INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

O aproveitamento das cinzas oriundas da queima do carvão mineral na região sul brasileira tem estimulado a realização de estudos que viabilizem sua utilização em aplicações e em operações que agreguem valor a este material gerado em grande escala (Weber, 2010). As cinzas geradas em usinas termelétricas se dividem em cinza pesada e leve

Atualmente, as cinzas pesada geradas no Complexo de Charqueadas, no Rio Grande do Sul, têm sido empregadas em recomposição das áreas de mineração a céu aberto na região carbonífera do Baixo Jacuí (RS) (TRACTEBEL ENERGIA, 2016). Com isso, o objetivo do trabalho é utilizar a cinza pesada de termoelétrica na fabricação de um filtro do compósito de cinza-ferro sinterizado obtido por metalurgia do pó, como meio suporte em filtro biológico percolador para pós-tratamento de esgotos domésticos.

O tratamento dos esgotos tem por objetivo a remoção de impurezas de diversificadas composições nas águas de uso doméstico, como por exemplo, poluentes e organismos patogênicos. É subdividido em tratamento preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento primário destina-se à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes. No secundário, predominam os mecanismos biológicos e os objetivos são principalmente a remoção da matéria orgânica e de nutrientes (nitrogênio e fósforo). O

tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos, usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis (VON SPERLING, 2005; ALMEIDA, 2012).

A Figura 1 apresenta de forma ilustrativa o princípio de funcionamento de um Filtro Biológico Percolador (FBP). Após a percolação há a formação de uma matriz biológica ativa que contém fungos, bactérias facultativas, aeróbias e anaeróbias, algas e protozoários, que promovem a oxidação biológica da matéria, após retê-la por tempo suficiente para a sua estabilização. Essa camada é denominada biofilme. (VON SPERLING, 2005; ALMEIDA, 2012, PARKER *ET AL.*, 1995; METCALF & EDDY, 2003; WIJEYEKOON *ET AL.*, 2004).

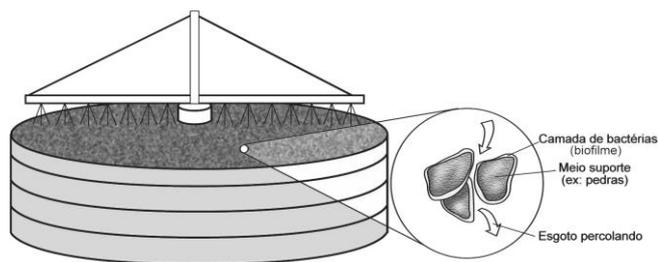


Figura 1 – Princípio de funcionamento de um FBP (ALMEIDA, 2012)

Composta principalmente por sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e outros óxidos, a cinza pesada é um material que pode ser aproveitado como meio suporte de biofilme em filtros biológicos percoladores (FBPs), devido à sua elevada área superficial e estrutura altamente porosa (IZIDORO, 2012), na forma de compósito sinterizado com ferro obtidos por metalurgia do pó (M/P) convencional.

A metalurgia do pó é o ramo da indústria metalúrgica que se dedica à produção de peças a partir de pós metálicos e não metálicos e tem como etapas a preparação dos pós a compactação e a sinterização (CHIAVERINI, 2001). A Figura 2 apresenta as etapas do processo de metalurgia do pó, desde o recebimento da matéria prima, passando pelas etapas de mistura, compactação, sinterização até chegar ao processo final (que pode incluir processos complementares) para depois seguir para a embalagem ou até mesmo o processo de calibragem se necessário (QUALISINTER, 2015).

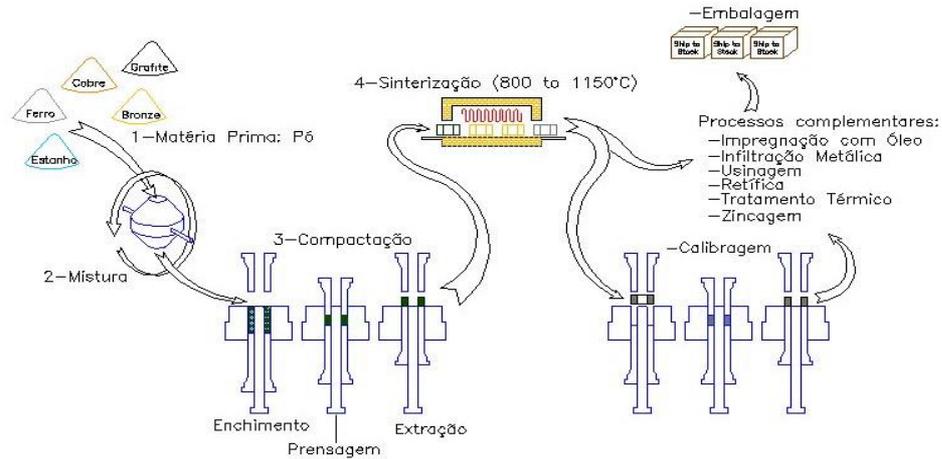


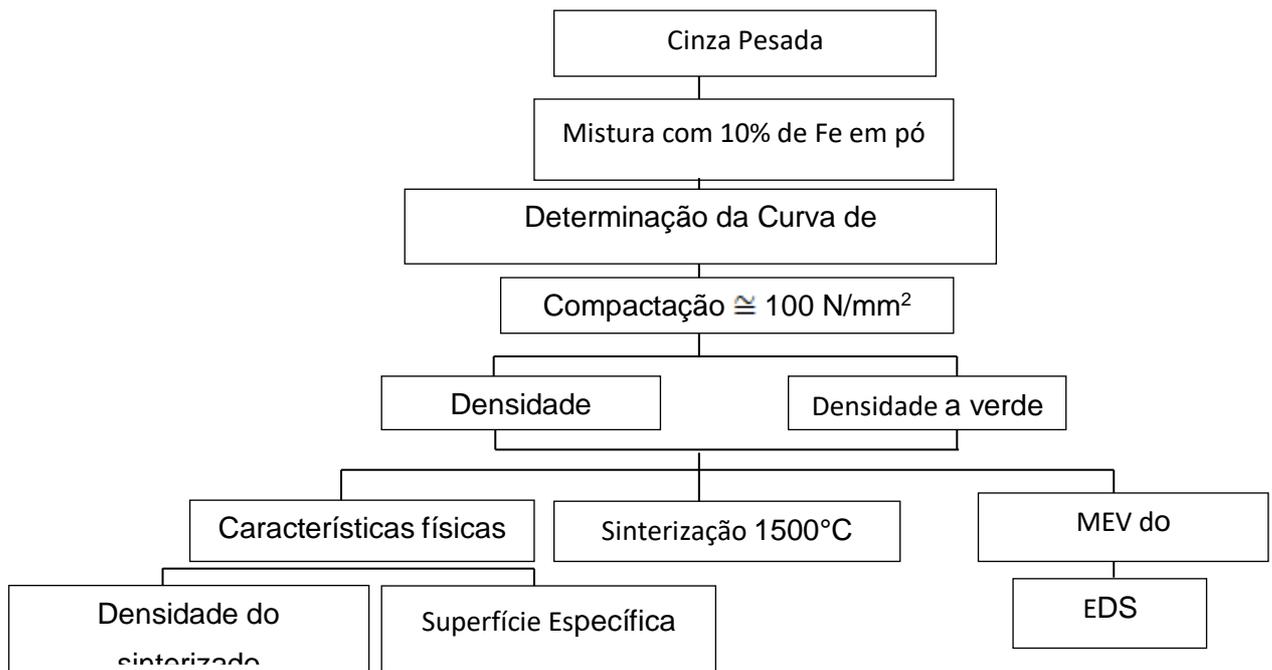
Figura 2 – Fluxograma da rota da metalurgia do pó (Qualisinter, 2015)

A avaliação da eficiência do compósito será determinada através da análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO), que mede o consumo de oxigênio que ocorre durante a oxidação química de compostos orgânicos presentes na água. Seu princípio é a oxidação dos compostos orgânicos (biodegradáveis e não biodegradáveis), em condições ácidas e sob ação de calor (METCALF & EDDY, 2003; VON SPERLING, 2005). A escolha desse parâmetro para avaliação se deu pelo fato que o filtro biológico tem por objetivo a estabilização da matéria orgânica presente no esgoto doméstico e pela rapidez de análise.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O procedimento experimental relativo à fabricação do compósito em estudo, Cz-10Fe, tem como base as técnicas convencionais da metalurgia do pó e utiliza cinzas pesadas provenientes do processo de combustão de carvão mineral da Usina Termelétrica Tractebel Energia S.A e pó de Ferro da empresa Hoganas. A Figura 3 apresenta um fluxograma resumo do procedimento experimental adotado para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 3 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho



Foi utilizada uma cinza pesada com duas horas de moagem de alta energia, utilizada em trabalho anterior (CISESKI, 2013). Para determinação do tamanho de partícula do aglomerado, as amostras foram analisadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) do centro de microscopia da UFRGS, de marca JEOL modelo 5800 com EDS acoplado.

A mistura foi pesada utilizando uma balança de precisão, utilizando 90% de cinza pesada moída e 10% de ferro puro em pó, além de 3% de parafina, como lubrificante. Os pós foram misturados e as amostras compactadas utilizando pressões de compactação variando entre 100 e 800 MPa, e suas massas e dimensões foram medidas para calcular as densidades a verde, possibilitando construir a curva de compressibilidade dos corpos de prova conforme norma ASTM B331 (ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2010).

Determinou-se a densidade aparente da mistura, a relação da massa (g) para o volume (cm³), em g/cm³. Foi determinada também a densidade a verde do compactado. A sinterização foi realizada em forno tubular elétrico de resistência de carboneto de silício, precisão de +/- 1°C, na temperatura de trabalho. O ciclo de sinterização proposto constituiu de aquecimento até 580° constante durante 20 minutos. Aquecimento até o patamar de sinterização 1500°C (com uma taxa de 10°C/min) e temperatura de sinterização constante

durante 120 minutos. Resfriamento com uma taxa média de 6,0°C/min. Como atmosfera de controle foi utilizado argônio a uma vazão de 0,5 L/min. Foram realizados ensaios de densidade do sinterizado pelo método de Arquimedes, além da contração volumétrica após sinterização.

Foi determinada a superfície específica, com as dimensões definidas com um paquímetro para coleta de medidas de definição de área e volume. A microestrutura, a porosidade e morfologia dos corpos de prova sinterizados foram analisadas utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo Jeol JMS 6060. As análises de EDS serão realizadas no microscópio eletrônico de varredura da marca JEOL modelo 5800. Foi desenvolvido um protótipo de filtro biológico percolador, para aplicação dos corpos de prova com efluente da ETE Novo Nações Unidas da Autarquia COMUSA. A Tabela 1 mostra os detalhes construtivos do protótipo do filtro biológico percolador.

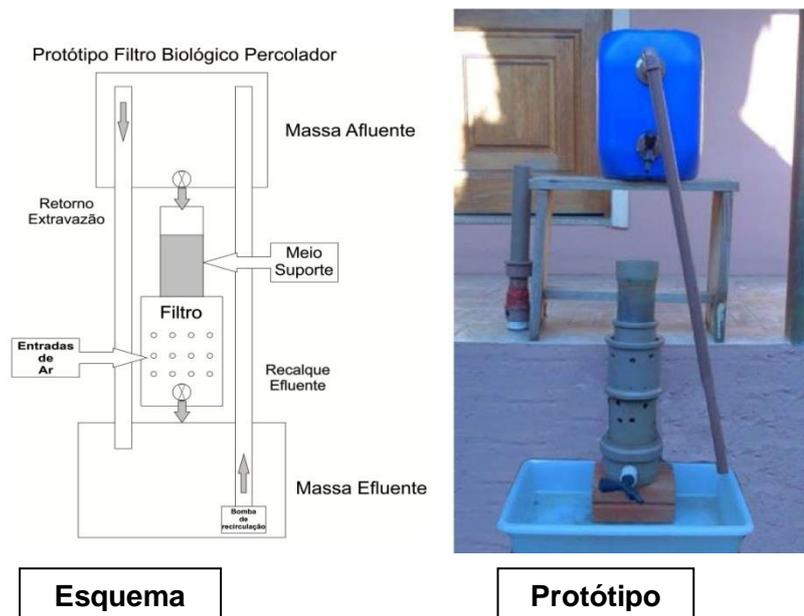
Tabela 1 – Dimensões do Protótipo do Filto Biológico Percolador

Parâmetro	Dimensão
Altura Total	0,40 m
DIâmetro	0,050 m
Área Superficial	0,0020 m ²
Profundidade do Enchimento	0,20 m
Volume do Enchimento	0,0004 m ³
Altura do Sistema de Distribuição	0,08 m
Profundidade do Sistema de Drenagem e Ventilação	0,12 m

A Figura 4 mostra o esquema de funcionamento do protótipo do FBP e o modelo construído com materiais reciclados. O efluente a ser tratado inicialmente encontra-se no tanque de massa afluyente com um volume de 20 litros desce por gravidade e percola pelo filtro biológico, promovendo o contato entre a massa líquida e o biofilme aderido ao meio suporte. Abaixo do meio suporte, há entradas de ar, onde ocorre a oxigenação, o que garante a sobrevivência dos microorganismos que farão a oxidação da matéria orgânica. Após

passagem pelo filtro, o efluente entra no tanque de massa efluente, onde retorna para recirculação.

Figura 1 - Esquema de funcionamento e Protótipo de Filtro Biológico Percolador

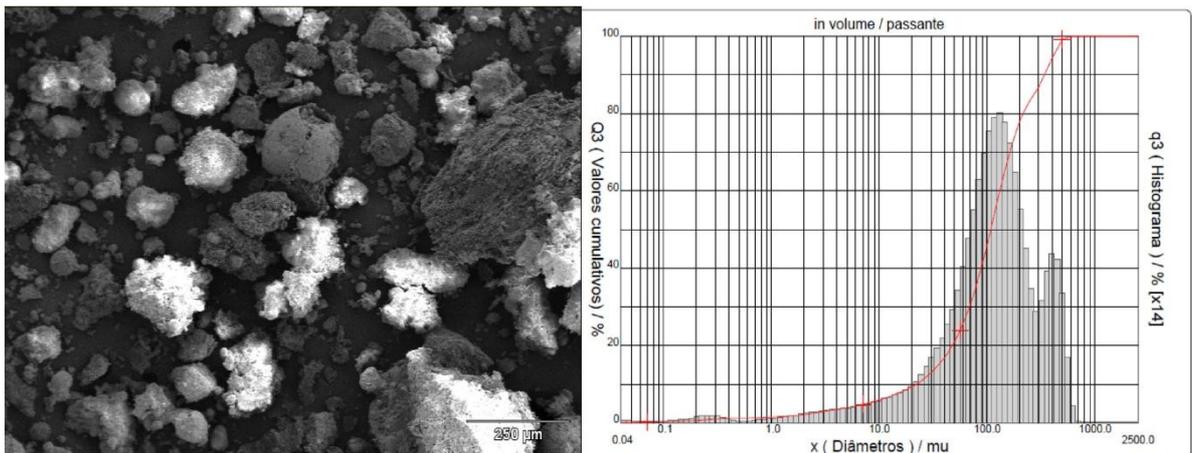


Para determinação da eficiência do Compósito Cerâmica Metal (CCM) em polimento de efluentes, foram analisados os parâmetros de DQO (Demanda Química de Oxigênio) para remoção da matéria orgânica carbonácea. Para análise de DQO foi utilizado o método com refluxo fechado com dicromato de potássio. (*STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 2012*).

4 RESULTADOS/DISCUSSÃO

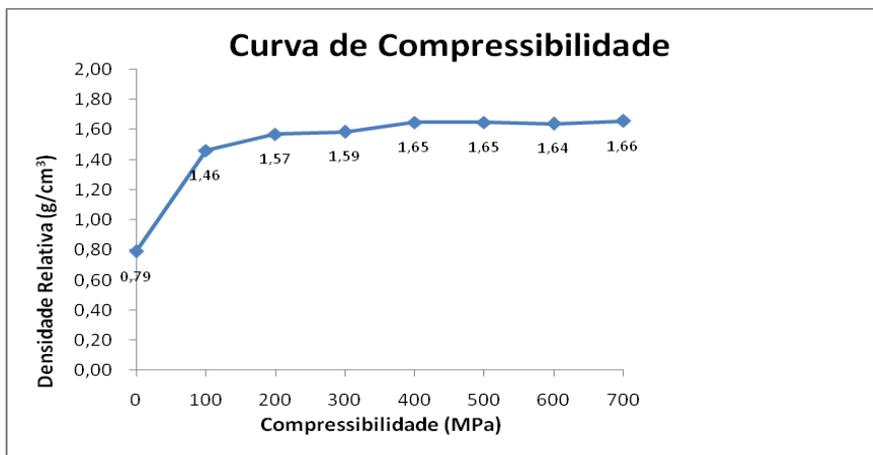
A cinza pesada de carvão serviu como matéria prima. A Figura 5 apresenta a morfologia da cinza com partículas próximas a 80 a 200 μm , determinada por granulometria a laser. Elas apresentam morfologia predominantemente esférica e tamanho irregular, devido à composição da cinza, formada por óxidos de diferentes composições (CISESKI, 2013). As partículas frágeis sofrem fraturas, as quais tendem a refiná-las com o aumento do tempo de moagem, que pode aumentar a quantidade de finos.

Figura 5 – Micrografia da cinza com 2 h de moagem



Os materiais foram misturados, a densidade aparente foi medida, tendo-se encontrado o valor de $0,789 \text{ g/cm}^3$. Para a determinação a pressão de compactação adequada foi traçada uma curva de compressibilidade. Para tal, a mistura foi compactada em pressões variando de 100 a 700 MPa, uma vez que a 800 MPa houve a fratura da amostra. Com os dados obtidos foi traçado a curva de compressibilidade como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Curva de Compressibilidade da mistura Cinza-10Fe



Nota-se aumento da densidade a verde com o aumento da pressão de compactação. Compostos com estruturas de menores graus de empacotamento e partículas maiores resultam em compactados com alta permeabilidade (ORTEGA, 1997). No compósito para utilização como meio suporte, porosidade é desejável, para obtenção de permeabilidade no material. Assim sendo, a amostra de trabalho escolhida foi a compactada com 100 MPa, com menor densidade a verde.

A sinterização é responsável pela difusão dos átomos solutos na matriz solvente, bem como por difundir a matriz solvente nos átomos das partículas ricas em soluto (CHIAVERINI, 2001). É possível avaliar de forma qualitativa e indicada pela seta vermelha uma partícula de ferro em difusão na matriz cerâmica, na micrografia obtida no MEV da amostra do CCM de Cz-Fe10, com aumento de 100x, indicada pela Figura 7. As marcas escuras na imagem representam as porosidades oriundas da baixa pressão de compactação utilizada e ao maior tamanho de grão. Trabalhos anteriores (BROGNI, 2013) sugerem ainda que porosidades irregulares podem ser oriundas de evolução de gases resultantes da decomposição dos carbonatos presentes nas cinzas. A interação das partículas de ferro difundido na matriz cerâmica de cinza apresentada justifica o uso do ferro como carga de reforço para aumento da resistência mecânica deste compósito.

Figura 2 - Micrografia do CCM com magnitude de 100X

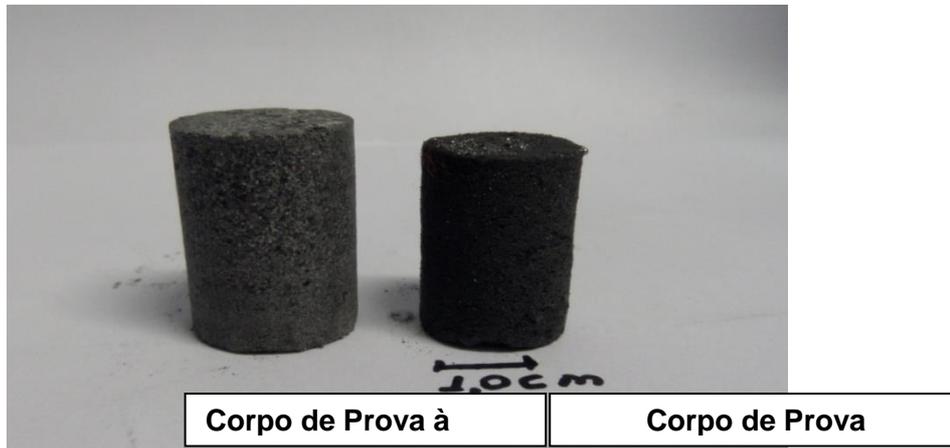


Os dados de densidades à verde e densidade do sinterizado podem ser visualizados na Tabela 2. De acordo com o estado da arte, a densidade aumenta de acordo com o aumento da pressão de compactação (CISESKI, 2013). A contração pode ser verificada na Figura 8 onde são apresentados o corpo de prova à verde e a peça sinterizada. O aumento na densidade se deve à presença e formação de fase líquida do ferro, devido ao seu alto peso molecular.

Tabela 1 - Dados da compactação e sinterização – Contração

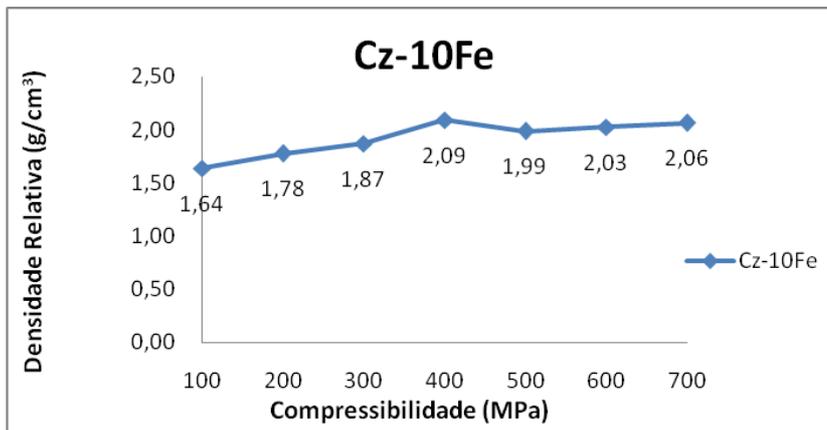
Amostra	Pressão (MPa)	Densidade a Verde (g/cm ³)	Densidade Sinterizado (g/cm ³)	Contração Volumétrica (%)
1	100	1,46	1,64	12,6

Figura 3 - Comparativo entre amostra à verde e sinterizada



A Figura 9 ilustra as análises de densidade do sinterizado através do método de Arquimedes.

Figura 4 - Densidade do sinterizado do compósito Cz-10Fe



É possível notar que a densidade tende a estabilizar-se em aproximadamente 500 MPa, o que sugere a densificação do material nessa pressão de compactação. Com os valores dimensionais mensurados, confeccionou-se a Tabela 3. Relacionando o volume e a área dos corpos de prova, compactados a 100 MPa, obteve-se as superfícies específicas dos mesmos.

Tabela 2 - Dados para determinação da superfície específica

Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Volume (mm³)	Área total (mm²)	Superfície Específica (m²/m³)
16,20	22,71	47,06	1366,02	290,413

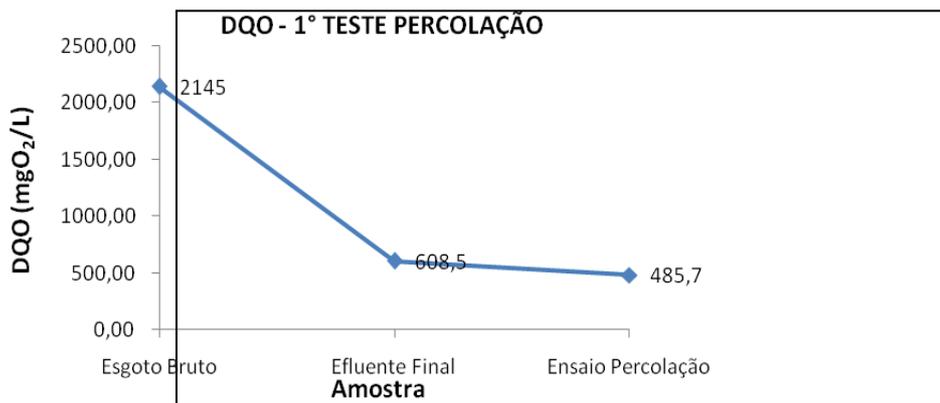
De acordo com a literatura, o valor de superfície específica para um meio suporte deve ser superior a 100 m²/m³, o que situa o CCM com um bom índice, já que praticamente a superfície específica atinge três vezes o valor recomendado (MELLER, 2009). Os corpos de prova dos CCMs ficaram em contato com o efluente durante 45 dias até a formação de biofilme aderido aos corpos de prova. A Figura 10 apresenta a comparação entre as peças sem exposição ao efluente e peça que ficou exposta ao efluente durante o período mencionado. Nela é possível constatar a coloração escura conferida ao corpo de prova exposto ao efluente, que indica o biofilme aderido.

Figura 5 - Corpos de prova sem deposição e com deposição de biofilme.



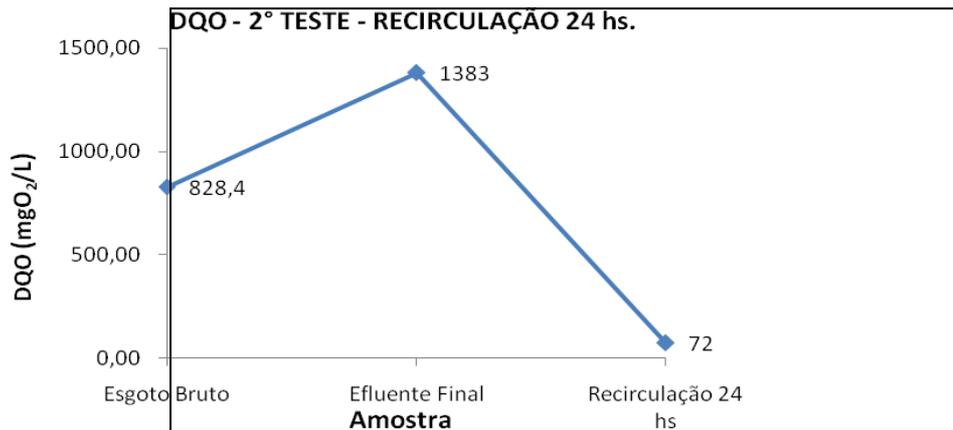
Foram coletados 20 litros de efluente final na saída do decantador secundário da ETE para aplicação no protótipo com o meio suporte do projeto. A simulação ocorreu com uma percolação do efluente a uma vazão aproximada de 0,005 L/s e com tempo de detenção hidráulica de 30 minutos do efluente com o meio suporte. Os resultados apresentaram uma pequena redução na DQO do efluente final e indicaram uma redução de aproximadamente 21% na DQO do efluente final para a amostra aplicada no protótipo. A Figura 11 apresenta os resultados de DQO obtidos no 1º teste.

Figura 6 - Resultados DQO 1º teste – Percolação



Uma das hipóteses para uma redução baixa da DQO é que a carga orgânica aplicada foi elevada, pois a DQO inicial de 2145 mgO₂/L é muito alta para a capacidade do protótipo, de diâmetro reduzido e pelo pequeno volume ocupado pelo meio suporte. O valor normalmente estabelecido para esgotos domésticos é em torno de 600 mgO₂/L (VON SPERLING, 2005). Somado a isso, o tempo de retenção aplicado pode ter sido muito baixo. Nesse caso estabeleceu-se a necessidade de recirculação para que se pudesse aumentar a eficiência do processo. A recirculação do efluente final é difundida como uma importante estratégia para melhoria de desempenho na remoção de DQO em filtros biológicos percoladores (VON SPERLING, 2005). A segunda amostra (coletada na semana seguinte) passou por um processo de recirculação de 24 horas, correspondente a uma taxa extrema de recirculação de 2300% da vazão da carga afluente. A Figura 12 apresenta os resultados do polimento após 24 horas de recirculação.

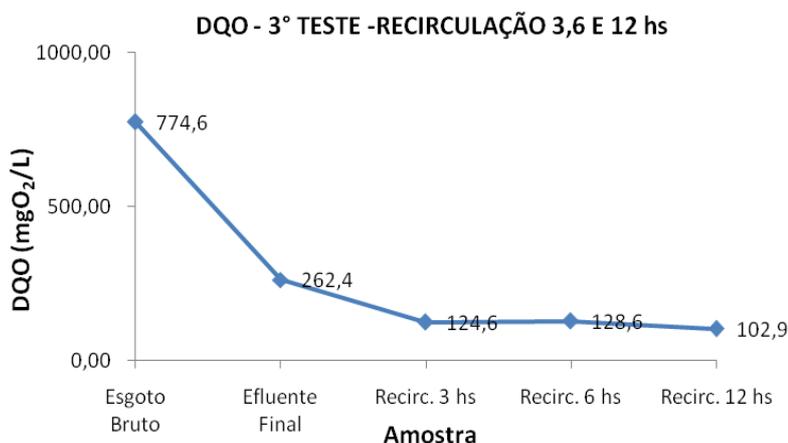
Figura 7 - Resultados DQO 2º teste – Recirculação 24 hs



A redução de 95% de DQO, de 1383 mgO₂/L para 72 mgO₂/L, estabelece excelentes condições de lançamento para o efluente, mas inviabiliza o processo no que tange ao custo, que não será explorado nesse projeto de pesquisa, pois exige uma condição de bombeamento contínuo, requerendo alta demanda em energia elétrica. Outros trabalhos (KREUTZ, 2012) obtiveram eficiência de remoção de DQO bruta e filtrada em sistemas de pós-tratamento de efluentes e sugere que seus resultados sejam decorrentes do aumento da velocidade de transferência de massa líquido-sólido promovido pela recirculação do efluente.

A terceira amostra coletada passou pelo processo de recirculação, com coletas após 3, 6 e 12 horas, com taxas de recirculação de 200, 500 e 1100% respectivamente. A redução de DQO foi bastante satisfatória nesse ensaio, promovendo reduções maiores do que 50%. A Figura 13 apresenta os resultados desse ensaio. A recirculação pode provocar um aumento no oxigênio dissolvido (OD) no afluente, devido à sua exposição ao ar, visto que pode provocar alterações nos resultados da oxidação da matéria orgânica (NUVOLARI, 2003).

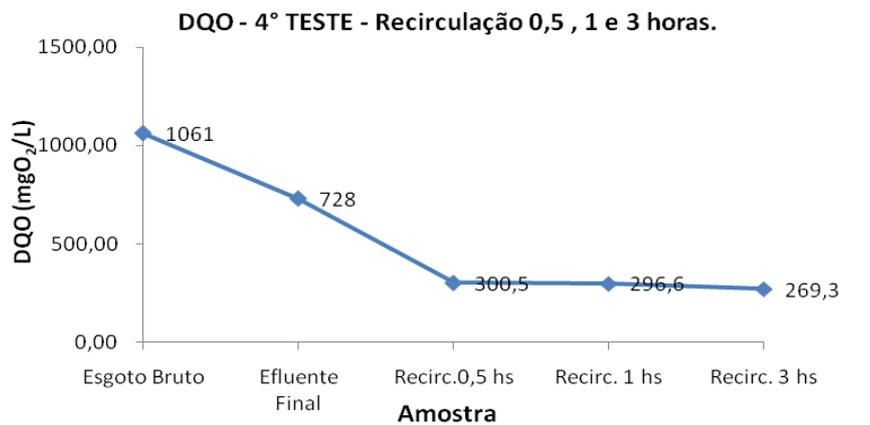
Figura 8 - Resultados DQO 3º teste – Recirculação 3,6 e 12 hs



Nota-se que há pequena diferença entre as amostras coletadas entre 3, 6 e 12 horas de recirculação. O foco de análise passou a ser o período de recirculação de 3 horas, com uma taxa de 200% de recirculação, menos oneroso e com eficiência similar aos períodos maiores de recirculação de efluente. A literatura ressalta utilização de taxas de recirculação de 200% obtendo remoções de DQO na faixa de 83% em tratamentos de águas residuárias de suinocultura, utilizando uma associação de reatores anaeróbios com filtros biológicos percoladores (DUDA *et al.*, 2011).

Foi realizada uma nova seqüência de processamento, desta vez, utilizando tempos menores de recirculação e conseqüentes menores taxas de recirculação. Foram adotados os tempos de processamento de 1/2, 1 e 3 horas de recirculação, com taxas de 25%, 50% e 200%, respectivamente. Nota-se pouca divergência de valores entre as taxas variadas, sendo que após uma recirculação de 200%, obteve-se uma eficiência de remoção de DQO em 63% a partir da carga afluente. Resultados esses que podem ser observados na Figura 14.

Figura 9 - Resultados DQO 4° teste – Recirculação 0,5, 1 e 3 hs



Comparando os testes na taxa de recirculação de 200%, foram obtidos resultados de reduções de DQO similares. Nota-se maior facilidade na remoção de matéria orgânica, no efluente onde há maior disponibilidade de biomassa. Uma das prováveis hipóteses da diminuição na eficiência é que se há o decréscimo da biomassa, e conseqüente baixa disponibilidade de alimentos, os microrganismos promovem um fenômeno chamado metabolismo endógeno, onde consomem seu próprio material celular, diminuindo a espessura do biofilme e também sua capacidade de oxidação da matéria orgânica (Von Sperling, 2005). Outro provável fato é que em função da alta taxa de aplicação hidráulica, possivelmente ocorreu o efeito denominado de lavagem, que arrastou grande quantidade de

biofilme, (através de cisalhamento), com o efluente final, prejudicando sua eficiência de depuração.

5 CONCLUSÃO

Para os parâmetros utilizados neste trabalho, o compósito Cz-10Fe atingiu o propósito de uma superfície porosa. A porosidade permite a formação de pequenos reatores para oxidação da matéria orgânica, possibilitando o desenvolvimento de biofilme na superfície rugosa dos corpos de prova, e habilitando o CCM para ser aplicado ao protótipo do projeto de pesquisa.

Apesar de uma grande superfície específica, o formato da peça deveria ser repensado para a aplicação, visando possibilitar maior área de contato entre o efluente e o meio suporte. A pequena quantidade de peças diminuiu a eficiência do protótipo, necessitando uma grande recirculação de efluente para possibilitar maiores reduções de DQO, assim como uma alta taxa orgânica aplicada em um baixo TDH.

Os corpos de prova de CCM apresentaram ao final do processo oxidação do ferro presente na estrutura, podendo liberar resíduos do metal no efluente. Entretanto, o monitoramento das concentrações de ferro no esgoto afluente e no efluente do filtro deve ser realizado para testar esta hipótese. A partir dos resultados obtidos nas condições experimentais deste estudo, percebe-se que o compósito Cz-10Fe pode ser desenvolvido e aperfeiçoado com um meio suporte para biofilme na remoção de DQO.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P.G.S. (2012). Remoção de matéria orgânica e nitrogênio em filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB. Belo Horizonte, MG. Tese de Doutorado. UFMG, 221 p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION & WATER ENVIRONMENT FEDERATION. 2012. Standard Methods for the examination of water and wastewater. Washington (USA): 22^o edition,

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2010). Standard Test Method for Compressibility of Metal Powders in Uniaxial Compaction (ASTM B331). In: 2010 annual book of ASTM standards.

- BROGNI A. (2013). Obtenção de cermet por metalurgia do pó convencional a partir da utilização da cinza leve proveniente da queima do carvão mineral em termoelétrica. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, RS. UFRGS, 87 p.
- CALLISTER, W. D. Jr. (2008). **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. Rio de Janeiro, LTC Editora, Sétima Edição 724p.
- CHIAVERINI, V. (2001). **Metalurgia do pó**. 4ª Ed. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM. São Paulo, 326 p.
- CISESKI T. M. B.(2013). Influência da moagem de alta energia da cinza pesada obtida da queima em termoelétrica no compósito Cinza-20Fe. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, RS. UFRGS, 84 p.
- DANIEL, I. M. ; ISHAI, O. (1994). **Engineering mechanics of composite materials**. 4th ed. New York: Oxford University Press, 385p.
- DEPOI, F.S.; POZEBON, D.; KALKREUTH, W.D. (2008). Chemical characterization of feed coals and combustion-by-products from Brazilian power plants. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COAL GEOLOGY*. V. 76; 227-236.
- DUDA R. M.; OLIVEIRA R. A. (2011). Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtro anaeróbio em série seguidos de filtro biológico percolador. *REVISTA ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL*. 16 no.1; 91-100.
- HEWITT, S. A.; LAOUI, T. e KIBBLE, K. K. (2009). Effect of Milling Temperature on the Synthesis and Consolidation of Nanocomposite WC-10Co Powders. *Internacional. JOURNAL OF REFRACTORY METALS AND HARD MATERIALS*, Vol.. 27; 66-73.
- IZIDORO J. C. (2012). Estudos sobre a remoção de íons metálicos em água usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão. Dissertação de Mestrado. São Paulo, SP. USP, 94p.
- KREUTZ C., 2012. Comportamento de reator anaeróbio-aeróbio no tratamento de efluente bovino. Tese de Doutorado. Cascavel, PR. UNIOESTE, 116 p.
- MELLER H. S. (2009) Avaliação de um filtro biológico percolado com meio de suporte plástico corrugado. *TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO*. Criciúma, SC. UNESC, 86 p.
- METCALF & EDDY, (2003). **Wastewater engineering – treatment, disposal and reuse**. 4th ed. New York .McGraw-Hill, 1823 p.
- NUVOLARI, A. (2003). **ESGOTO SANITÁRIO : Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola**. 2º Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 520 p.

ORTEGA, F. S.; PILEGGI, R. G.; SEPULVEDA, P.; PANDOLFELLI, V. C. (1997). Influência dos modelos de alfred e de andreasen sobre a microestrutura e densidade a verde de compactos cerâmicos obtidos por colagem ou prensagem. CERÂMICA. V.43, p.183 – 189

PARKER, D.; LUTZ, M.; BENSGT, A.; ASPERGREN. (1995). Effect of operating variables on nitrification rates in trickling filters. WATER ENVIRONMENT RESEARCH. 67, nº7, 1111-1118

QUALISINTER, 2015. Disponível em: <http://www.qualisinter.com.br/Processo.html>
Acesso em: 04/5/2017.

TRACTEBEL ENERGIA. Sustentabilidade Disponível em: <
<http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/sustentabilidade/meio-ambiente/gestao-ambiental/usinas-termeletricas>> Acesso em: 15/04/2016

TRUDEL, Y. (1998). **Introduction to Metal Powder. Production and Characterization.** ASM Metals Handbook. Vol. 7 - POWDER METAL TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS. 9ª Ed. ASM International, p. 83-88.

VON SPERLING, M. (2005). **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos- princípio de tratamento biológico de águas residuárias.** 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 452 p.

WEBER R. C. (2010). Cinzas pesadas geradas na região carbonífera do rio grande do sul: uso em misturas asfálticas a quente. Trabalho de Conclusão de Curso. Porto Alegre, RS. UFRGS, 79 p.