

REUTILIZAÇÃO DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO, A PARTIR DA SUA INTERAÇÃO COM AGENTE LIGANTE SILICATO DE SÓDIO.

SOUZA, J.C.*¹; CHINELATTO, A. S. A.¹, CHINELATTO, A. L.¹, OLIVEIRA, I.L.²

Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais
Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG ¹

1- Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - CEP 84.030-900 - Ponta Grossa - PR
Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR ²

2- Av. Monteiro Lobato, s/n - Km 04 CEP 84016-210 - Ponta Grossa - PR

*josi3souza@gmail.com

RESUMO

Moldes de areia a verde são utilizados no processo de fundição de metais. Porém, a bentonita ativada, presente na areia a verde, após o aquecimento perde suas propriedades aglomerantes, fazendo com que parte da areia de fundição tenha que ser descartada do processo. A norma da ABNT NBR 15.984/2011 estabelece o gerenciamento das areias descartadas de fundição (ADF) evitando sua destinação final em aterros. O objetivo desse trabalho foi verificar a possibilidade de reutilização da ADF, a partir do estudo da sua interação com agente ligante silicato de sódio. Estudos com areia silicosa e areia a verde nova foram realizados para comparar os resultados obtidos com ADF. A caracterização dos corpos-de-prova foi feita por medidas de resistência à compressão, difração de raios X, microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram que há interação do silicato de sódio com a ADF, tanto quanto com a areia silicosa e areia a verde.

Palavras-chave: areia descartada de fundição, silicato de sódio, bentonita.

INTRODUÇÃO

As indústrias de fundição estão buscando o atendimento às necessidades dos clientes na certificação ISO 14001, que busca um sistema de gestão ambiental tal que seja condizente com os aspectos ambientais gerados em suas atividades e, ao mesmo tempo, atenda os requisitos legais impostos pelos órgãos ambientais ⁽¹⁾.

A preocupação quanto ao meio ambiente ocorre porque para fabricar as peças metálicas, primeiramente cria-se um modelo que configure exatamente todos os detalhes desta peça e a partir deste modelo fabrica-se um molde de

areia de fundição, para a retirada da peça do molde, este molde tem que ser desfeito. Os materiais que constituem a areia de fundição podem ser reutilizados em moldes para confeccionar outras peças metálicas ⁽²⁾.

Estes processos geram em média mensal 231.000 t de areias de fundição para prover a demanda média nacional de produção de metais ⁽³⁾. Esta quantidade mensal poderia ser bem maior se a areia de fundição não fosse recuperada no processo. Porém, a bentonita ativada, presente na areia a verde, após o aquecimento perde suas propriedades aglomerantes, fazendo com que parte da areia de fundição tenha que ser descartada do processo, tornando-se um passivo ambiental.

Muitas indústrias de fundição estão utilizando os espaços físicos de suas instalações para a construção de aterros industriais no objetivo de acondicionar as areias descartadas de fundição. Atualmente, a ADF está sendo reconhecida como fonte não poluente pelo setor de fundição. Desde que a ADF seja devidamente gerenciada, administrando todas as suas características físicas e químicas, assim como, sua segregação, acondicionamento e custos, pode ser considerada como um resíduo potencialmente reciclável ⁽⁴⁾.

Um incentivo a reciclagem foi a elaboração da norma da ABNT NBR 15.984/2011 intitulada Areia descartada de fundição – Central de processamento, armazenamento e destinação (CPAD) que estabelece o gerenciamento da ADF para evitar que sua destinação final seja em aterros licenciados ⁽⁵⁾.

Os processos de moldagem também utilizam o sistema silicato/CO₂ para confeccionar machos, no entanto, este não possui "colapsibilidade", ou seja, não tem a capacidade de quebrar-se após a obtenção de peças fundidas solidificadas.

A solubilidade das soluções de silicato de sódio é dependente das relações de sílica e de óxido de sódio. Este composto químico pode ser sintetizado baseado nas relações de sílica e óxido de sódio, na intenção de formar compostos metaestáveis. Sua estrutura química pode ser Na₂SiO₃ ou Na₂O.SiO₂. Por isso, na forma sólida ou em solução aquosa, o silicato de sódio possui seus componentes inseparáveis e indistinguíveis por meios físicos ⁽⁶⁾.

Nesse trabalho estudou-se a interação do silicato de sódio/CO₂ com a ADF, para verificar a possibilidade de sua reutilização nos processos de

moldagem. Para comparação foi estudados também a interação do silicato de sódio com a areia silicosa e areia a verde.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para esse estudo foram utilizadas a ADF, areia a verde nova e areia silicosa. Essas areias foram cedidas por em empresa de Fundição da região dos Campos Gerais. A ADF é constituída de areia silicosa, bentonita, água e PCA (pó de carvão ativado) aditivo carbonáceo contendo hidrocarbonetos solúveis em água, além de uma parcela de pó de carvão mineral e outros aditivos e foi coletada após o processo de desmoldagem, antes de seu descarte. A areia silicosa contém somente a sílica e a areia a verde nova foi preparada a partir da areia silicosa em um misturador rotativo de marca Solotest® com adição de 8% de bentonita de marca Bentonisa® e a quantidade de água adicionada era de acordo com os resultados de compactabilidade obtidos entre 45 e 55% ⁽⁷⁾.

As areias estudadas foram caracterizadas por difração de raios X utilizando um difratômetro Shimadzu, modelo XRD-6000, com uma velocidade de varredura 2°/min e 2θ variando de 5 a 90°. A observação visual das areias de fundição foi realizada com auxílio de uma Lupa da marca LEICA, modelo M26, com placa de captura de imagem Vidicap, para a visualização das areias, estas foram colocadas sobre uma lâmina de vidro.

Para a observação das areias de fundição pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV), Shimadzu, modelo SS550, as areias de fundição foram recobertas por uma camada ultrafina de ouro.

Após a caracterização, foi verificada a interação do silicato de sódio com a ADF, areia silicosa e areia a verde nova. Para isso, foram produzidos corpos-de-prova com os três tipos de areia, variando-se a quantidade da solução de silicato de sódio 54% Perquim®, de 0 a 10% em peso, adicionada às areias.

As misturas das areias com o silicato de sódio 54% foram preparadas de acordo com a norma adaptada CEMP 066-Bentonitas para fundição. Determinação da resistência à compressão a seco da mistura padrão. Para isso, foram peneiradas, compactadas com um martetele e após foram medidas suas resistência à compressão a verde, por meio de uma máquina de ensaio de resistência mecânica de areias, de marca Solotest®. Após a realização da

resistência à compressão à verde, as amostras foram homogeneizadas novamente para serem submetidas à insuflação com CO₂.

Para a insuflação com o CO₂, foram confeccionados corpos-de-prova num molde metálico com 51mm de diâmetro e 100mm de altura. Para a compactação das areias no molde, foi utilizado um pistilo e foi feito um pequeno orifício no centro do corpo-de-prova. A insuflação do CO₂ foi feita por um canal adaptado na válvula do cilindro de gás carbônico. Os corpos-de-prova foram submetidos a 3L/min de CO₂ em uma pressão de 50bar, por um minuto.

Após a insuflação com CO₂, foram realizados os ensaios de resistência à compressão em uma máquina universal de ensaios mecânicos Shimadzu AG-I 10kN , com velocidade de carregamento de 0,5N.m/s. Os resultados obtidos destes ensaios foram expressos na unidade N/cm² porque é a unidade utilizada nas indústrias de fundição.

Posteriormente, foi retirada uma amostra dos corpos-de-prova e foi realizada uma análise por microscopia ótica, com auxílio da Lupa da marca LEICA, modelo M26, com placa de captura de imagem Vidicap, para verificar a morfologia das partículas de sílica e sua interação com o silicato de sódio/CO₂.

As amostras dos corpos-de-prova contendo 10% da solução de silicato de sódio também foram recobertas por uma camada muito fina de ouro para serem observadas no MEV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de difração de raios X, apresentadas na figura 1, mostram apenas a presença de quartzo- α na areia silicosa. Além do quartzo- α foram encontradas nas areias a verde e descartada a presença de bentonita, uma argila que contém grande quantidade de montmorilonita, de fórmula molecular NaO.₃(Al,Mg)₂Si₄O₁₀OH₂.6H₂O.

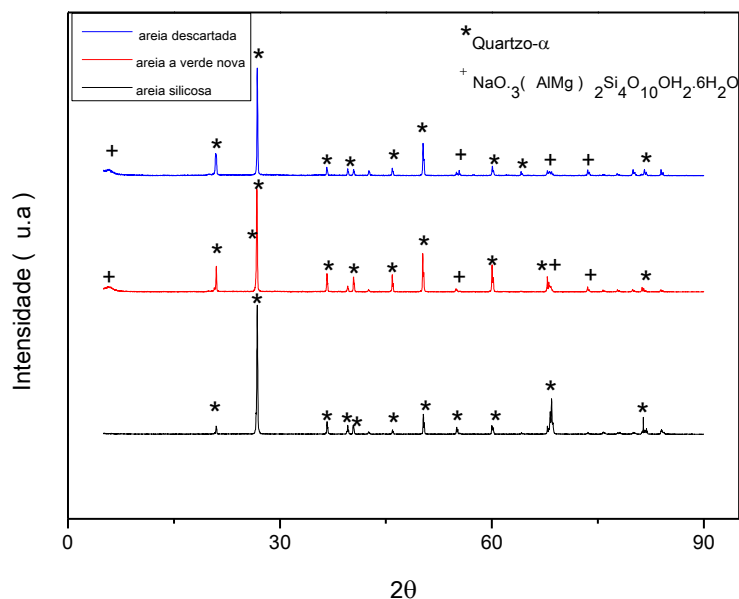


Figura 1- Difratomogramas das areias de fundição estudadas

As imagens apresentadas na figura 2 mostram as partículas das areias de fundição estudadas. Na figura 2 (a) observa-se os grãos de quartzo, caracterizando a areia silicosa. A figura 2 (b) mostra estes mesmos grãos de quartzo, no entanto, estes grãos estão recobertos, provavelmente com bentonita. Os grãos de areia silicosa (figura 2(a)) e de areia a verde (figura 2(b)) possuem formatos angulares, indicando que não foram submetidas aos processos de moldagem e desmoldagem. A espessura que esta argila recobre os grãos é muito delgada, não sendo possível ser vista em microscopia ótica porque possui partículas muito pequenas frente aos grãos de quartzo e também por provavelmente estar em pequenas quantidades na areia a verde nova, daí, a semelhança entre as imagens (a) e (b).

Os grãos de ADF, mostrados na figura 2 (c), são provenientes dos processos de moldagem de areia a verde. A coloração preta dos grãos de ADF é devido ao pó de carvão ativado que foi adicionado na mistura para a preparação de areia a verde.

As micrografias obtidas pelo MEV da areia silicosa, areia a verde e areia descartada apresentaram uma superfície regular de seus grãos, sendo este comportamento menos expressivo na ADF, conforme figura 3. A irregularidade superficial observada nos grãos de ADF, figura 3 (c) deve-se aos materiais que estão recobrindo os grãos desta areia, como a bentonita, pó de carvão, e possíveis impurezas do processo de fundição. Na figura 3 (a) observa-se que a

superfície dos grãos de areia silicosa possui certa regularidade, porque não havia materiais recobrindo seus grãos. A imagem da areia a verde, como mostra a figura 3 (b), mostra que a superfície tornou-se um pouco irregular devido ao recobrimento de seus grãos pela bentonita.

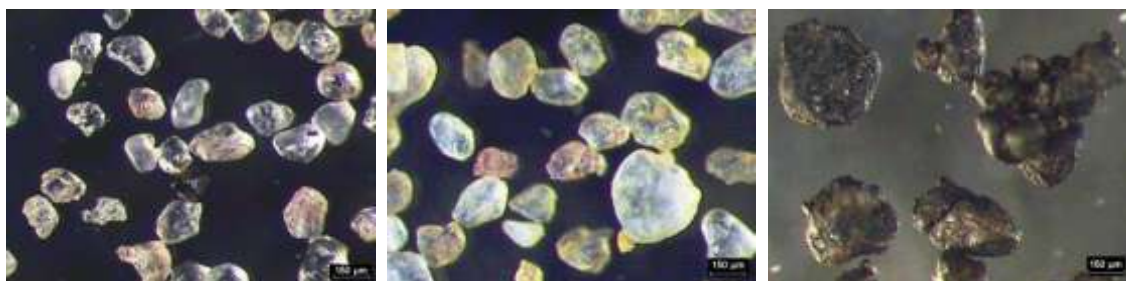


Figura 2- Imagens obtidas por microscopia ótica na: (a) areia silicosa; (b) areia a verde nova e (c) ADF.

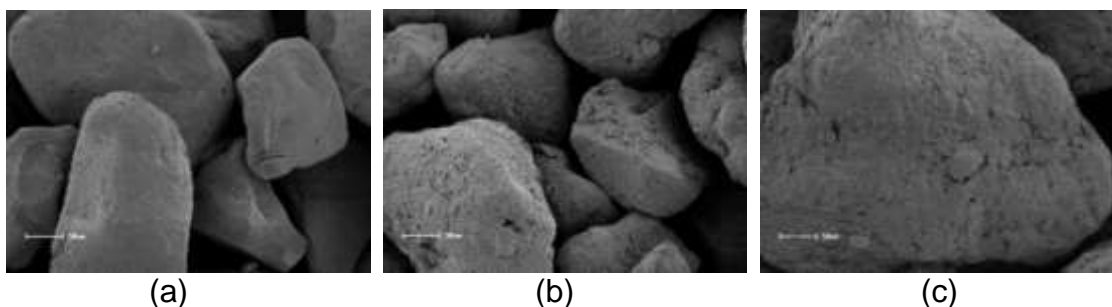


Figura 3- Micrografias obtidas pelo MEV na: (a) areia silicosa; (b) areia a verde nova e (c) ADF.

Pela figura 4, que compara a resistência mecânica a verde das areias estudadas neste trabalho com diferentes adições da solução de silicato de sódio 54%, verificou-se que a areia silicosa apresenta menor resistência a verde do que as outras areias de fundição e que a areia a verde apresenta resultados de resistência intermediários entre a areia silicosa e a ADF. Pode-se atribuir isso ao teor de umidade das areias de fundição (areia a verde é 2,17%, ADF é 2,67% e 0% na areia silicosa) e na própria solução de silicato de sódio, que é responsável pelo aumento da resistência nos corpos-de-prova.

A água proveniente da solução de silicato de sódio é somente a que influenciou na resistência a verde nos corpos-de-prova feitos a partir da areia silicosa. Esta água umidificou a areia silicosa e pode ter favorecido a dispersão do silicato de sódio entre os grãos de sílica, favorecendo o aumento da

resistência a verde nos corpos-de-prova à medida que é adicionado uma maior quantidade da solução de silicato de sódio.

Como a areia a verde e a ADF estavam úmidas, o excesso de água fez com que a resistência a verde fosse diminuída ao adicionar maiores quantidades da solução de silicato de sódio 54%.

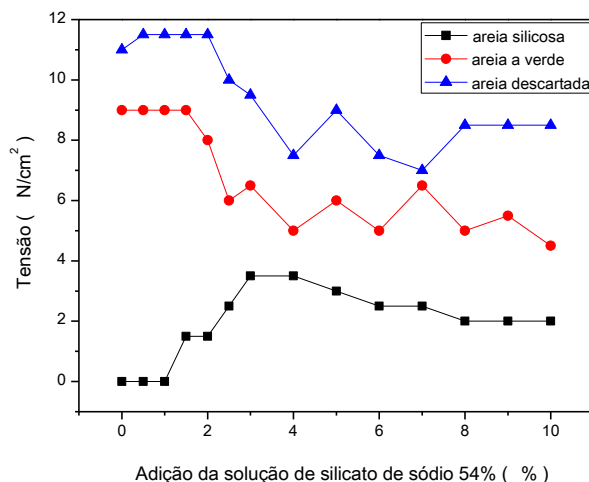
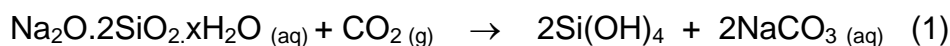


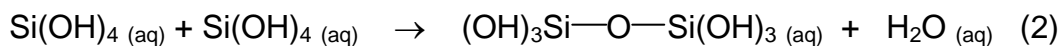
Figura 4-Resistência mecânica a verde para as areias estudadas

Ao adicionar a solução de silicato de sódio 54% nas areias de fundição verificou-se que a mistura tornou-se viscosa. Segundo OWUSU (1982), há a formação de um gel de sílica hidratada, também conhecido como ácido silícico, podendo ser escrita estruturalmente na forma $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{Si}(\text{OH})_4$, conforme a equação (1)



A equação (1) mostra que quando a solução de silicato de sódio entra em contato com CO_2 presente no ar, ocorrendo a formação de carbonato de sódio e da sílica gel hidratado, o qual é um monômero.

A insuflação de CO_2 nos corpos-de-prova favoreceu a formação do monômero sílica gel hidratada o qual se polimeriza perdendo uma molécula de água, como mostra a equação (2), segundo OWUSU (1982), o gás CO_2 permite a redução do pH e a formação de polímeros com ligação covalente (O-Si-O), denominado composto de siloxano ou sílica gel. PRADO e colaboradores ⁽⁸⁾, afirmam que a sílica gel é um polímero inorgânico pouco reativo, altamente poroso, resistente e não cristalino e possui propriedades coloidais.



Deste modo, quanto maior é o tempo de insuflação do gás CO₂ maior é a polimerização da sílica gel hidratada para formar polímeros de sílica gel. Estes, por possuírem a ligação (O-Si-O), são responsáveis pelo endurecimento dos corpos-de-prova.

A variação da resistência à compressão dos corpos-de-prova feitos a partir da areia silicosa com a quantidade de silicato de sódio adicionado, após a insuflação com CO₂ é apresentada na figura 5. O corpo-de-prova com 4% da solução de silicato de sódio 54% apresentou uma resistência à compressão de 22 N/cm² e ao acrescentar percentualmente esta solução na areia silicosa observou-se um aumento gradativo na resistência mecânica. O corpo-de-prova com 10% da solução de silicato de sódio na areia silicosa apresentou maior resistência à compressão com 90,5 N/cm².

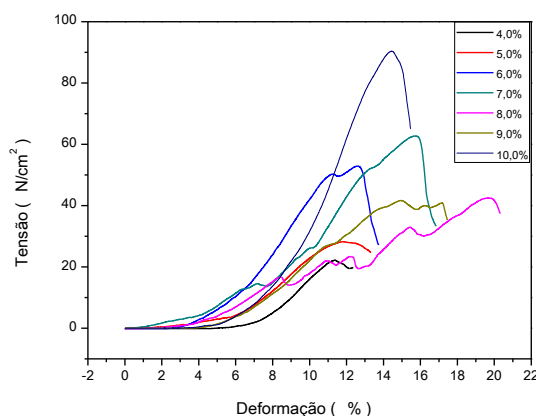


Figura 5- Variação da resistência mecânica com a quantidade da solução de silicato de sódio na areia silicosa

Os resultados de resistência mecânica para a areia a verde nova e da ADF são apresentados na figura 6 e 7, respectivamente. Observa-se que, tanto para a areia a verde quanto para a ADF, ocorre também um aumento da resistência mecânica com o aumento da quantidade de silicato de sódio. Esses resultados mostram que o aumento da concentração de silicato de sódio nas areias estudadas permite uma maior formação da sílica gel polimerizada.

Ao comparar os corpos-de-prova feitos com as diferentes areias, observa-se que os resultados de resistência à compressão foram decrescentes da areia silicosa > areia a verde nova > areia descartada de fundição. A ocorrência disso pode ser atribuída ao fato de que a areia silicosa não contém nenhum

aglomerante recobrando seus grãos por isso, a aderência da sílica gel fica mais facilitada. Já na areia a verde nova há um recobrimento de bentonita em seus grãos e por isso a aderência do silicato de sódio entre os grãos de areia fica um pouco limitada.

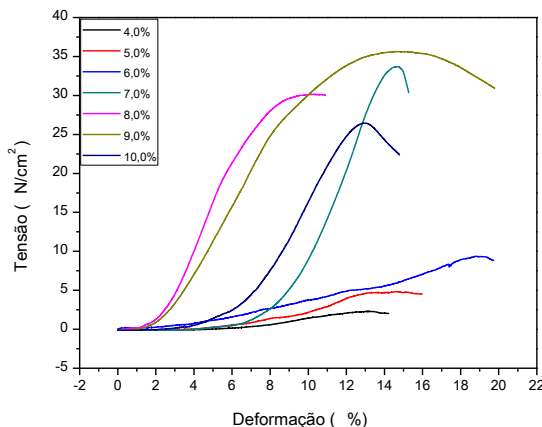


Figura 6- Variação da resistência mecânica com a quantidade de solução de silicato de sódio na areia a verde nova

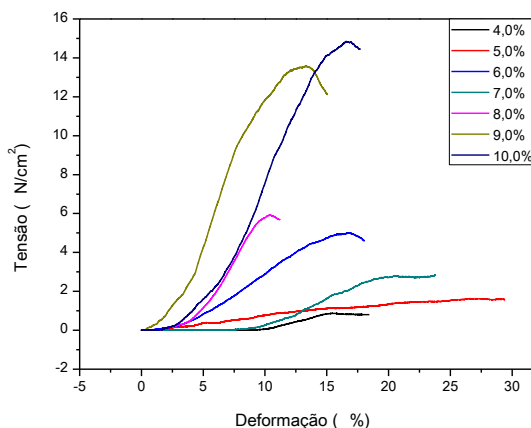


Figura 7- Variação da resistência mecânica com a quantidade de solução de silicato de sódio na ADF

A ADF apresentou menores resultados de resistência à compressão porque além da bentonita, os grãos dessa areia possuem o pó de carvão como aditivo e impurezas do processo de vazamento de metais recobrando seus grãos, o que dificulta a interação do silicato de sódio entre os grãos de ADF.

Os moldes de areia a verde apresentam normalmente resistências à compressão inferiores a 18 N/cm². Os resultados obtidos com as adições da solução de silicato de sódio possibilitaram aos corpos-de-prova provenientes da ADF atingir valores de 15N/cm², com 10% de silicato de sódio, a areia silicosa atingir valores de 90,5N/cm² e a areia verde valores de 26,8 N/cm².

Observa-se que, mesmo a ADF que apresentou os menores valores de resistência, apresenta uma resistência compatível com os moldes de areia de fundição, indicando que ela pode ser utilizada na confecção de moldes e machos, podendo substituir todos os canais de alimentação do molde ou macho. Sua ação é proteger as areias que preenchem os moldes/machos do contato direto com os metais vazados, evitando a desativação da bentonita e, por conseguinte, o descarte destas areias.

As imagens obtidas pela microscopia ótica, apresentadas na figura 8 (a), (b) e (c), mostram a areia silicosa, areia verde e ADF com a adição de 10% da solução de silicato de sódio 54% e insuflação de CO₂, respectivamente. Observa-se pela figura 8 (a), um visível recobrimento da sílica gel ao redor dos grãos de areia silicosa, favorecendo o endurecimento do corpo-de-prova. Na figura 8 (b), a areia a verde também apresenta a sílica gel envolvida totalmente ao redor e entre os grãos de sílica. Já na ADF, percebe-se que a interação do silicato de sódio com os grãos de sílica é prejudicada, devido provavelmente a ADF já estar recoberta com bentonita, aditivo e impurezas do processo de fundição.

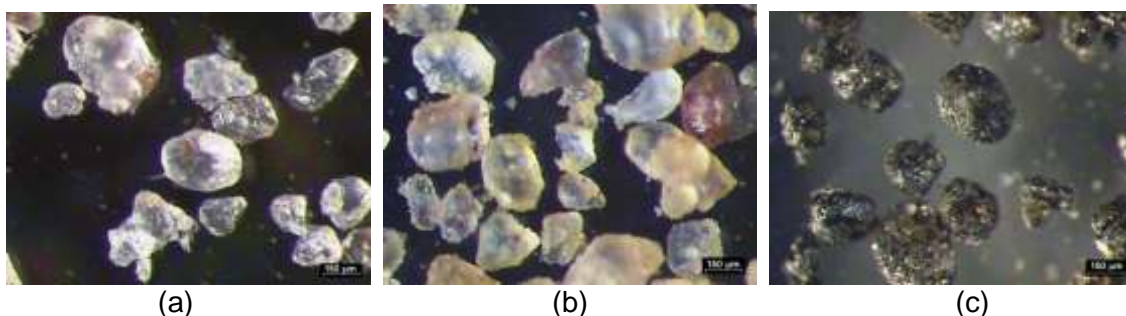


Figura 8- Imagens dos corpos-de-prova com adições de 10% da solução de silicato. Em (a) areia silicosa; em (b) areia a verde e em (c) ADF.

As micrografias das areias silicosa, areia a verde e ADF com adição de 10% da solução de silicato de sódio insuflação de CO₂ são apresentadas na figura 9 (a), (b) e (c). Observa-se que a areia silicosa (figura 9(a)) apresenta cristais provenientes do produto da reação entre o silicato de sódio e o CO₂. Estes cristais na interface dos grãos da areia silicosa podem ter auxiliado a sílica gel na união de seus grãos. Estes cristais foram vistos, em menor quantidade e tamanho, no corpo-de-prova feito a partir da areia a verde e ADF

(figura 9(b) e (c)). Já na figura 9(c), é possível observar a retirada das camadas aderidas sobre o grão de areia.

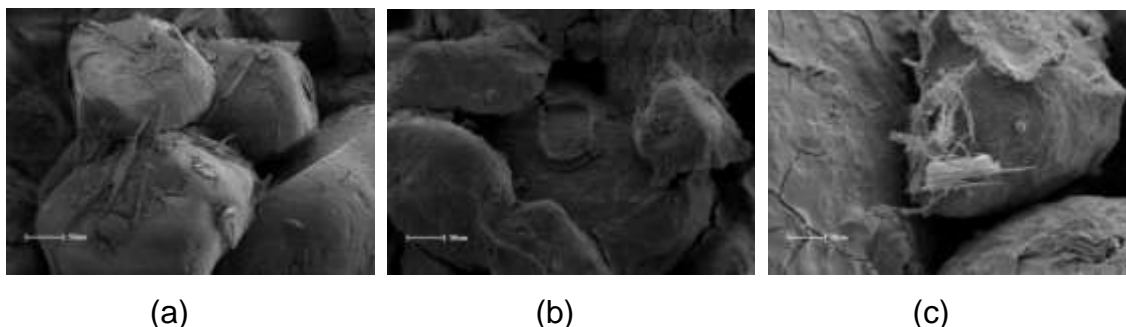


Figura 9- Micrografia obtida pelo MEV, corpos-de-prova com 10% da solução de silicato de sódio 54%. Em (a) areia silicosa; em (b) areia a verde e em (c) ADF

CONCLUSÕES

O estudo mostrou que é possível obter produtos com a ADF, como moldes e machos para indústria de fundição, com resistência mecânica adequada por meio do sistema silicato/ CO_2 .

O processo de endurecimento dos corpos-de-prova ocorre primeiramente pelo mecanismo físico, onde o CO_2 , sendo um gás seco, retira a água contida na umidade das areias e desidrata a solução de silicato de sódio. E também, pelo produto da reação de polimerização da solução de silicato de sódio e CO_2 .

A possibilidade de produzir moldes/machos a partir da ADF pode contribuir para a redução do descarte desta areia, bem como de sua reciclagem. Ao considerar que a indústria de fundição, geradora da ADF, reutilize-a como protetora dos sistemas de canais, evita-se a necessidade de realizar ensaios ambientais na ADF, explicitados nas normas NBR 10005/2004 e NBR 10006/2004, se a ADF for transportada para outro local.

REFERÊNCIAS

1. ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Classificação dos Resíduos Sólidos. ABNT, 2004.
2. FERREIRA, J.M.G de Carvalho. **Tecnologia da Fundição**. Lisboa:Fundação Calouste Gulbenkian, p.5-30, 1999.

3. FAGUNDES, A.B.; VAZ, C.R.; de OLIVEIRA, I.L. A logística reversa aplicada às areias de fundição. **ABIFA-Fundição & Matérias-Primas**, São Paulo, ano 14, ed. 131, abr. 2011.
4. ABIFA- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **ADF- Soluções para areias descartadas com o trabalho da ABIFA**. Disponível em: <http://solucoesadf.com.br/img_paginas/ARTIGO_SITUAÇÃO_ADF_REVISTA_JUNHO_2008.pdf> Acesso em: 02 de abril de 2012.
5. ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.984/2011**: Areia descartada de fundição – Central de processamento, armazenamento e destinação (CPAD).
6. OWUSU, Y.A. Physical-chemical study of sodium silicate as a foundry sand binder. **Advances in Colloid and Interface Science**, Amsterdam, v 18, p-57-91, 1982. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0001868682850318>> Acesso em: 03 de abril de 2012.
7. CAMPOS, R. Análise comparativa das propriedades entre os carvões Cardiff e PCA em areias a verde de fundição. 2011, 51p. Trabalho de Conclusão de Curso-Graduação em Tecnologia em Processos de Fabricação Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Coordenação do curso de Tecnologia em Processos de Fabricação Mecânica, Ponta Grossa.
8. PRADO, A.G.S.; FARIA, E.A.; PADILHA, P.M. Aplicação e modificação química da sílica gel obtida de areia. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p-544-547, 2005.

REUSE OF WASTE FOUNDRY SAND THROUGH INTERACTION WITH SODIUM SILICATE BINDER

ABSTRACT

Green sand molds are used in metal casting process. However, after heating, activated bentonite present in green sand lose the binding properties, and part of the foundry sand has to be discarded from the process. The ABNT NBR 15.984/2011 establishes the management of waste foundry sand (WFS) avoiding disposal in landfills. The objective of this work was to investigate the possibility of reusing the WFS from the study of their interaction with sodium silicate binder. Studies with silica sand and new green sand was performed to compare the results obtained with the WFS. The characterizations of the samples were performed by measures the compressive strength, X-ray diffraction, optical microscopy and scanning electron microscopy. The results showed that there is interaction of the sodium silicate with the WFS as well as with the silica sand and green sand.

Keywords: waste foundry sand, sodium silicate, bentonite.