

Uma proposta para correlacionar a compactabilidade, umidade e dureza de moldes de areia de fundições

A proposal to correlate the compactability, humidity and hardness of foundry sand molds

RESUMO

Diego Teodoro de Souza
dteodorodesouza@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil.

Daniel Henrique Nardini Zitelli
danielzitelli@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Guilherme M. Yabushita Nakama
nakamitsuSC@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Odney Carlos Brondino
odneybrondino@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

A qualidade das peças fundidas em moldes de areia verde, tanto em metais ferrosos quanto em metais não ferrosos, é influenciada pelas propriedades dos moldes, dentre elas: compactabilidade, umidade, dureza, fluidez da areia, resistência ao cisalhamento e compressão, permeabilidade, além das condições dos materiais empregados na sua fabricação e da degradação durante seu uso. As argilas desempenham um papel fundamental nas propriedades destes moldes com vistas a melhorar as propriedades da areia e garantir a qualidade da peça. Esta proposta de estudo visa a ampliar a longevidade da areia empregada na fabricação dos moldes antes de seu descarte. Este descarte pode levar à desertificação do solo em grandes áreas, tornando-o inerte para a produção de alimentos. Neste trabalho, procura-se avaliar as relações existentes entre a compactabilidade, a umidade e a dureza dos moldes produzidos em laboratório. Para a produção dos corpos de prova e medição da compactabilidade da areia, foi empregado um martelo mecânico. Os resultados esperados desta proposta de correlação almejam um melhor controle destes parâmetros e os possíveis ganhos na longevidade da areia empregada, mitigando o seu descarte.

PALAVRAS-CHAVE: Fundição sustentável. Areia verde. Areia descartada de fundição.

ABSTRACT

The quality of the castings in green sand molds, both in ferrous and non-ferrous metals, is influenced by the properties of the molds, including: compactability, humidity, hardness, sand fluidity, shear and compression resistance, permeability, besides the conditions of the materials used in their manufacture and the degradation during their use. Clays play a fundamental role in the properties of these molds in order to improve the properties of the sand and guarantee the quality of the piece. This study proposal aims to increase the longevity of the sand used in the manufacture of the molds before its disposal. This disposal can lead to desertification of the soil in large areas, making it inert for food production. In this work, we seek to evaluate the existing relationships between compactability, humidity and hardness of the molds produced in the laboratory. For the production of specimens and measurement of sand compactability, a mechanical rammer was used. The expected results of this correlation proposal aim at a better control of these parameters and the possible gains in the longevity of the sand used, mitigating its disposal.

KEYWORDS: Sustainable foundry. Green sand. Foundry sand waste.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0Internacional.



INTRODUÇÃO

Segundo KIMINAMI *et al.* (2013, p.42) a maior parte da produção de peças fundidas é feita com moldagem em areia. Uma das razões para este fato é a abundância de areia de sílica e pela sua facilidade de extração.

Os moldes são constituídos pela mistura de vários materiais que se combinam, proporcionando características de perfeita trabalhabilidade, permeabilidade, coesão e resistência a esforços mecânicos, entre outros como tração e compressão, entre outros. (PATEL *et al.*, 2015, p.32).

Os moldes em areia são constituídos basicamente de areia base, aglomerantes e aditivos. Dependendo do aglomerante utilizado, as areias de moldagem são classificadas em: areia verde de fundição e areia ligada quimicamente. Os teores dos principais componentes empregados na preparação da areia verde, segundo Winkler e Bol'shakov (2000, p.21) são a sílica (85-95%), a bentonita (4-10%), os aditivos carbonáceos (2-10%) e a água (2-5%).

Para dimensionarmos o impacto deste tipo de produção no descarte dos materiais presentes em moldes de fundição, estima-se que para cada tonelada de metal fundido têm-se uma tonelada de areia de fundição descartada. Em 2018, a ABIFA (2020, p.14-15) publicou um *ranking* de produção mundial, em milhões de toneladas de fundidos, no qual a China (49,35), EUA (13,390) e Japão (10,76) são os principais geradores desse rejeito. O Brasil aparece no nono lugar, contribuindo com 2,28 milhões de toneladas, fazendo com que a indústria nacional, fabricante de componentes fundidos, reflita sobre o cenário atual desse mercado, com um viés de crescimento.

O processo de fundição é considerado uma atividade produtiva e geradora de grande quantidade de resíduos sólidos, sendo que grande parte da areia descartada é proveniente de fundições (BRONDINO *et al.* 2014). A reutilização está diretamente ligada com a aplicação dos materiais descartados como subproduto em aplicações externas à indústria de fundição, entre outros a fabricação de tijolos, na indústria da construção civil e na cobertura de aterros, entre outros (DAYTON *et al.*, 2009, p.27). Entretanto, não há uma determinação de quantas vezes é possível reutilizar a areia em um molde de fundição.

A caracterização e a degeneração dos grãos de areia e da bentonita, considerados os materiais mais importantes em função das quantidades maiores de utilização na fabricação dos moldes e, que estiveram em contato com o banho metálico no molde, demonstrará o número de vezes que o mesmo pode ser aquecido sem a clivagem dos grãos de sílica (areia), e também na ação da argila, já que esta deixa de ser ativa pela ação da elevada temperatura na interface molde/metal (cavidades do molde) durante a solidificação do fundido.

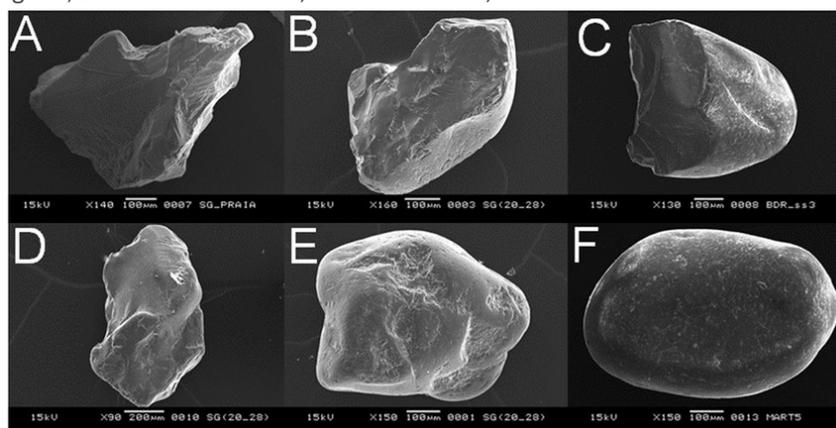
As micrografias apresentadas na Figura 1 ilustram as diferenças morfológicas entre os grãos de areia, neste caso, sendo os mais recomendados para o emprego em fundição são os representados pelas micrografias, E e F (mais arredondados). Os grãos representados pelas micrografias A, B, C e D são aqueles que sofreram algum tipo de degeneração, podendo a mesma ser oriunda da clivagem mecânica gerada por forças compressivas no grão ou, ainda, a clivagem gerada pela transformação polimórfica do quartzo ($\alpha \rightarrow \beta$), em virtude da elevada expansão

linear que o quartzo sofre a partir de 573 °C (ASKELAND, 2015, p.490). A clivagem dos grãos de sílica em moldes de fundição é função da temperatura de vazamento do metal e da pressão metalostática exercida nas paredes do molde desde do início de sua solidificação até temperaturas próximas a 573 °C.

Outra degeneração da areia de moldagem que pode ocorrer é a oolitização dos grãos de areia, devido à alta temperatura no interior do molde, o que propicia a sinterização dos aglomerantes, como a bentonita (ativada ou não) e aditivos. Estes grãos oolíticos possuem uma casca com elevada rugosidade, o que os diferencia dos grãos lisos das micrografias E e F mostradas na Figura 1, e essa característica dificulta a fluidez da areia de moldagem durante a compactação do molde, impactando na redução das propriedades mecânicas do mesmo.

A oolitização também ser atribuída ao excesso dos próprios grãos de areia muito pequenos, denominados de finos, resultado das sucessivas clivagens destes grãos, por se tratar de um processo produtivo de circuito fechado entre a moldagem e desmoldagem dos moldes em uma fundição. (ABIFA, 2016, p.14-23).

Figura 1 - Exemplos de grãos com angulações diferentes. A- Muito Angular; B- Angular; C- Sub angular; D- Sub arredondado; E- Arredondado; F- Muito arredondado.

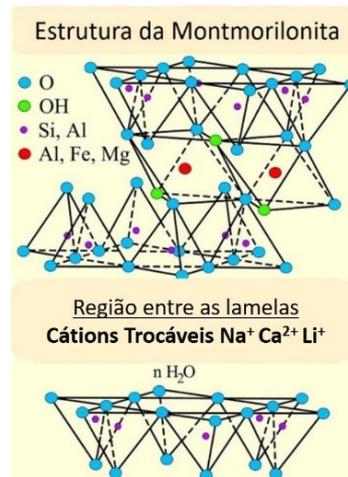


Fonte: Adaptada de COSTA *et al.* (2014)

Não menos importantes são os efeitos degenerativos da areia de moldagem, que são provocados pela desativação do poder de absorção da água pelas argilas (bentonitas) empregadas neste processo. Essas argilas podem ser cálcicas ou sódicas, dependendo da ativação da argila ou, ainda, naturais, tendo como principal constituinte o argilomineral montmorilonita, mostrado na Figura 2. O emprego destas argilas vai depender das características das peças fabricadas (KHAN *et al.*, 2020).

Na confecção dos moldes, a bentonita ativa é a desejável, onde a mesma proporciona um escorregamento entre as lamelas tornando-a moldável. Ela pode ficar inerte ou perder seu efeito aglomerante na areia quando entra em contato com o metal líquido nas superfícies das cavidades do molde. Isto faz com que a montmorilonita, principal constituinte da bentonita, perca seu efeito de absorção de água, o que dificulta o deslizamento entre as lamelas agindo negativamente na fluidez e resistência mecânica dos moldes produzidos. A Figura 2 ilustra a montmorilonita, onde a região entre as lamelas é indicada.

Figura 2 - Estrutura de argila montmorilonita sódica, principal constituinte da bentonita



Fonte: Adaptada de USCG (2020)

METODOLOGIA

A presente proposta constitui-se em uma fase exploratória, em que serão analisadas areias de moldagem a verde empregadas por fundições próximas de Londrina e que foram gentilmente cedidas para ensaios. Parte desta areia será utilizada para classificação de granulometria por peneiramento e também por difração de raios-X, o que irá detectar, além dos constituintes da sílica (quartzo), constituintes de outros materiais, tais como carbonáceos (pó de carvão mineral) e aglomerantes (argilas). Estes materiais são empregados neste tipo de areia em diferentes quantidades, conforme citado por WINKLER e BOL'SHAKOV (2000, p.21) e também observados nos difratogramas apresentados no trabalho de PALUDO e BRAGANÇA (2017, p.4-5).

O martelete mecânico empregado para a fabricação dos moldes padronizados (corpos de prova) por meio da compactação da areia é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Martelete mecânico compactador de areia



Fonte: Tecnofund (2020).

A areia de moldagem será submetida a aquecimentos em forno tipo mufla, em temperaturas estimadas na interface metal/molde para metais ferrosos (1000 °C) e metais não ferrosos (700 °C). Por diferença de massa, verificar-se-á a perda de voláteis durante o processo. A areia empregada neste aquecimento será reconstituída com a água, compactada, medida a dureza e submetida a ensaios de permeabilidade, o que mede a capacidade do molde extrair gases gerados durante o vazamento e solidificação do metal. A degradação da areia de moldagem, no que diz respeito à reconstituição de suas propriedades iniciais, poderá ser analisada com base nestes resultados, quando comparados com as propriedades iniciais da mesma.

Durante o aquecimento, dos corpos de prova compactados, os grãos de quartzo são afetados tanto pela temperatura quanto pela sinterização que ocorre na superfície dos grãos com os demais constituintes da areia, sinterização esta denominada de oolitização.

Através do Microestereoscópio verifica-se a morfologia dos grãos de sílica após aquecimento (mufla), seguido da classificação granulométrica por conjunto de peneiras. A compactabilidade da areia é obtida por um marteleto mecânico que confecciona corpos de prova (cps) padronizados. A partir do cps, a permeabilidade da areia é medida por um permeômetro (ABIFA-CEMP, 2015) e, na sequência, é medida a dureza na escala B, de acordo com normas ABIFA-CEMP (2015). A umidade da areia é obtida por diferença de massa antes e após aquecimento por luz infravermelha. Por meio de ensaios de azul de metileno, será possível mensurar o quanto de argila ficou inerte após o aquecimento e, portanto, a degeneração da bentonita (ABIFA-CEMP (2015). Estes equipamentos foram adquiridos da empresa TECNOFUND (2020).

CONCLUSÕES

Conclui-se que o tema proposto pela iniciação é de extrema importância nos dias atuais, principalmente quando se pensa nos conceitos de sustentabilidade e nos benefícios para a indústria de fundição. Cabe ressaltar que a presente pesquisa não pretende propor um método de descarte da areia em aterros apropriados, mas sim apresentar uma alternativa para aumentar a longevidade no uso desse material, a partir de sua reutilização na própria indústria de fundição.

Também é válido ressaltar o conhecimento que foi e será adquirido no retorno às atividades normais das universidades, em especial a UTFPR no campus de Londrina, momento em que esta pesquisa poderá ser retomada a partir da realização de ensaios e de análises concomitantes a outros estudos sobre o mesmo assunto, mas com outras ênfases e que auxiliarão no rumo da pesquisa. Os equipamentos para os ensaios relatados encontram-se disponíveis desde fevereiro de 2020.

Cabe aqui ressaltar que, até o momento, houve um aumento na curva de aprendizado em função deste trabalho, que indica ser promissor e que irá beneficiar o melhor aproveitamento dos descartes de areias de fundição (ADF) e também quando se pensa nos conceitos de sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela oportunidade de participação do acadêmico Diego Teodoro de Souza no Programa Institucional de Voluntariado em Iniciação Científica e Tecnológica – PIVICT 2019/2020.

REFERÊNCIAS

ABIFA. Produção de fundidos tem um novo incremento em 2019. P. 14-15. **FUNDIÇÃO & MATERIAS-PRIMAS**. Revista Oficial da Associação Brasileira de Fundição. Ano XXIII, n. 218 janeiro, 2020, 50p. Disponível em: <http://www.abifa.org.br/revista21/#p=1> acesso em: 02/09/2020.

ASKELAND, D. R., WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. Elaboração da versão SI –BHATTACHARYA, D. K.; tradução VISCONTI, S. A.; Revisão técnica LEIVA, D. R. -São Paulo: **Cengage Learning**, Terceira Edição 2015, 648p.

ABIFA – **CEMP – Comissão de estudos de matérias-primas**. Recomendação norma CEMP 80, Bentonita para fundição – determinação da adsorção de azul de metileno pelo método do pirofosfato de sódio. Novembro, 2015, 4p. Disponível em: <http://www.tecnofund.com.br/cemp/normas/080.pdf> Acesso em: 06/10/2020.

ABIFA – **CEMP – Comissão de estudos de matérias-primas**. Recomendação norma CEMP 63, Areia base para fundição – determinação da permeabilidade novembro, 2015, 5p. Disponível em: <http://www.tecnofund.com.br/cemp/normas/063.pdf> acesso em 06/10/2020
Acesso em: 06/10/2020.

ABIFA – **CEMP – Comissão de estudos de matérias-primas**. Recomendação norma CEMP 158, Resina cura a frio para fundição – determinação do tempo de desmoldagem pelo método do aparelho de dureza da mistura padrão. Novembro, 2015, 3p. Disponível em: <http://www.tecnofund.com.br/cemp/normas/158.pdf>
Acesso em: 06/10/2020.

BÖHNKE, S., PODOBED, O., BRUNE, J., EILHARD, M., **Regeneração, acumulação de pós e oolitização da areia de moldagem aglomerada com bentonita**. ABIFA. **FUNDIÇÃO e SERVIÇOS** - janeiro. 2016, p.14-23. Disponível em: <http://foundrygate.com/upload/artigos/zCfl6mdcjop30lcCizuMoGRo6nh1.pdf>
[acesso em 07/10/2020](http://foundrygate.com/upload/artigos/zCfl6mdcjop30lcCizuMoGRo6nh1.pdf) Acesso em: 06/10/2020.

BRONDINO, O. C.; SILVA, J. P. G.; BRONDINO, N. C. M. O problema do descarte da areia de fundição: ensino para o desenvolvimento sustentável. **Engenharia: Múltiplos saberes e atuações**. 16 a 19 de setembro. Juiz de Fora – MG. Cobenge 2014.

COSTA, P. J. M.; ANDRADE, C; FREITAS, M. C. **Análise microtextural: princípios, procedimentos e caracterização micromorfológica de grãos de quartzo**, p. 19-36, 2014. Disponível em:
<https://www.semanticscholar.org/paper/An%C3%A1lise-microtextural%3A-princ%C3%ADpios%2C-procedimentos-e-Costa-Andrade/41884fc77f4657d40cc908ba24e800a5664854ae> e em
https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/32061/1/2%20-%20Costa_et_al%20-%202001.pdf Acesso em: 05/08/2020.

DAYTON, E.A.; WHITACRE S.D.; DUNGAN, R. S.; BASTA N.T. **Characterization of physical and chemical properties of spent foundry sands pertinent to beneficial use in manufactured soils**. *Plant and Soil*. v.329, n 1-2, p.27-33, 2009.

KHAN, M.M.; SINGH, M.; JADHAV, G.N.; MAHAJANI, S.M.; MANDRE, S;. **Characterization of Waste and Reclaimed Green Sand Used in Foundry Processing**. *Silicon* **12**, p. 677–691, 2020.

KIMINAMI, C, S.; CASTRO, W. B.; OLIVEIRA, M. F. Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos; São Paulo: **Editora Edgard Blucher**, 2013, 235p.

PALUDO, H. L. e BRAGANÇA, S. R. Consumo de passivo ambiental de areia descartada de fundição em cerâmica vermelha, um estudo de caso no Rio Grande do Sul - **17º CONGRESSO ABIFA DE FUNDIÇÃO**, São Paulo, 2017. Disponível em:
<http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2017/10/29.09-09h00-CONSUMO-DE-PASSIVO-AMBIENTAL-DE-AREIA-PROCESSADA-DE-FUNDI%C3%87%C3%83O-EM-CER%C3%82MICA-VERMELHA.-UM-ESTUDO-DE-CASO-NO-RIO-GANDE-DO-SUL.pdf> Acesso em: 01/09/2020.

PATEL, D.; DESHPANDE, V.; JHA, E.; PATEL, V.; SNIKUNJ, D.; PATEL, J. Study of sand composition on mould properties and selection of taguchi orthogonal array for design of experiments. **International Journal Of Current Engineering And Scientific Reserch (Ijcesr)**. V2. 3. p. 31-34, 2015

TECNOFUND. Disponível em: <http://www.tecnofund.com.br/port/controlareia-verde/> Acesso em: 20/07/2020.

USCG – **Coastal and marine geology program** – U. S. Geological Survey – A laboratory manual for X-ray powder diffraction. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/clays/smc.htm> Acesso em: 07/10/2020.

WINKLER, E. S.; BOL'SHAKOV, A. A. Characterization of Foundry Sand Waste. Renewable Energy. **Chelsea center for recycling and economic development technical research program**. Technical Report n 31, October, 2000, 83p.