

III-221 – CARACTERIZAÇÃO DOS FINOS CAPTADOS PELO SISTEMA DE EXAUSTÃO DE UMA FUNDIÇÃO E SUA INCORPORAÇÃO EM ARGAMASSA

Débora Ferreira de Oliveira⁽¹⁾

Tecnóloga em Mecânica pela Faculdade de Tecnologia de Sorocaba. Especialista em Sistemas Integrados de Gestão pela Universidade de Sorocaba. Aluna de mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental na Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP).

Gabriel Marques Rodella⁽¹⁾

Estudante de Graduação do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP/Sorocaba)

Maria Lúcia Antunes Pereira⁽¹⁾

Física pelo Instituto de Física da USP – S.P. Mestre em Física Nuclear pelo Instituto de Física da USP/SP. Doutora em Ciências pelo Instituto de Física da USP. Professora Assistente Doutora do curso de graduação em Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UNESP.

Gabriel Augusto Ruivo

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP/Sorocaba)

Endereço⁽¹⁾: Av. Três de Março, 511– Alto da Boa Vista - Sorocaba – SP - CEP: 18087-180 - Brasil - Tel: (15) 3238-3409 ramal 3460 - e-mail: dannaferreira@gmail.com

RESUMO

A indústria de fundição no Brasil possui uma grande representatividade na produção mundial, estando entre os dez países com maior produção de fundidos. Em decorrência disso, a geração de resíduos neste tipo de indústria também é expressiva, destacando-se as Areias Descartadas de Fundição (ADF), resíduo de maior volume no mundo. Uma das origens das ADF são os finos oriundos do sistema de exaustão de areia, captados durante os processos de moldagem. Devido ao fato deste resíduo ser gerado em considerável quantidade, ocupando grandes espaços em aterros e onerando os custos de operação das fundições, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos para o seu reaproveitamento, sendo uma alternativa positiva a sua incorporação em matriz de cimento Portland. Esta prática, além de reduzir custos com a sua disposição em aterros, também contribui com a redução de insumos e custos na indústria da construção civil. Sendo assim, com o objetivo de estudar este reaproveitamento, o presente trabalho caracteriza o material particulado através da técnica de espectrometria por fluorescência de raios-X (FRX) e avalia através de ensaios de resistência à compressão e de absorção de água, sua incorporação em cimento. Na análise química do material notou-se a predominância de óxidos de ferro e cromo, concluindo-se que trata-se de uma areia de cromita. Ao incorporar este resíduo em argamassa observa-se que o material resultante é hidrofílico e que possui uma alta resistência à compressão, não apresentando diferenças significativas entre as porcentagens de resíduo incorporado à argamassa, sendo que, a utilização de 20% do resíduo é mais vantajosa por manter a mesma resistência das outras porcentagens utilizando-se maior quantidade de finos de areia. Concluindo-se que sua reutilização em argamassa é uma boa alternativa para sua destinação.

PALAVRAS-CHAVE: Cimento Portland, Resíduos sólidos, Argamassa, Concreto.

INTRODUÇÃO

Fundição é o processo de fabricação onde um metal ou liga metálica é fundida e vazada em um molde com formato e medidas similares aos da peça a ser produzida. Este material fundido solidifica-se e é extraído do molde, originando-se assim, a peça⁽¹⁾.

Nas fundições, o método mais empregado para obtenção das peças fundidas é a utilização de moldes em areia, como quartzo, cromita e zirconita⁽²⁾. Assim, estima-se que mais de 80% dos fundidos são fabricados através de moldes de areia aglomerada⁽³⁾.

Após a solidificação do metal líquido, os moldes de areia são destruídos na desmoldagem da peça fundida e a areia do molde é reaproveitada, contudo, após várias regenerações, ela vai se contaminando e perdendo suas propriedades físicas, acumulando finos de areia na preparação dos moldes. Desta maneira, estes finos

convertem-se também em resíduos, que são descartados juntamente com as areias perdidas por fugas no sistema de preparação de areia, moldagem e desmoldagem⁽⁴⁾.

Por consequência, as indústrias de fundição utilizam toneladas de areia por ano para realização desse processo. Calcula-se que para cada tonelada de metal fundido se tenha em torno de uma tonelada de areia descartada⁽⁵⁾.

Devido ao grande impacto ambiental decorrente do descarte deste resíduo em virtude do volume de areia e finos dispostos nos aterros sanitários, dos altos custos envolvidos nesta operação, bem como das pressões legais e da sociedade, as indústrias de fundição vem buscando desenvolver técnicas que visam o reaproveitamento deste material.

Neste sentido, muitos estudos mostram resultados positivos na utilização destes resíduos como substituto de parte do agregado miúdo em argamassa⁽⁶⁾; na confecção de concreto, tijolos cerâmicos e solo-cimento^(7, 8, 9, 10).

Assim, o trabalho em questão aborda a caracterização dos finos captados no sistema de areia de uma fundição e sua utilização para confecção de argamassas, substituindo parte do agregado miúdo empregado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do resíduo de fundição - para realização desta etapa deste trabalho foram coletadas amostras dos finos de areia da moldagem em um dos pontos de descarte dos sistemas de areia de uma fundição. Essas amostras, após coleta, foram caracterizadas quanto à sua composição química no Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Esta caracterização foi determinada por análise semiquantitativa sem padrões, com análise de elementos químicos de flúor a urânio, em espectrômetro por fluorescência de raios-X Axios Advanced, da marca Panalytical.

Esta técnica permite detectar o percentual dos óxidos: Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, SO₃, Cl, K₂O, CaO, TiO₂, V₂O₅, Cr₂O₃, MnO, Fe₂O₃, NiO, CuO, ZnO, Ga₂O₃, SrO, ZrO₂ e PbO presentes na amostra.

Para avaliação da incorporação do resíduo em argamassa foram confeccionados corpos de prova com base na norma ABNT-NBR 5738/2008⁽¹¹⁾, sendo desmoldados 24 horas após sua fabricação e imersos em água por 28 dias para o processo de cura.

Os materiais utilizados para confecção da argamassa foram: areia comum, cimento Portland CPII-E 32, água potável e dos finos de areia que substituíram parte da areia comum.

Na moldagem dos corpos de prova utilizou-se o traço 3:1, areia e cimento, em relação à massa dos componentes. Entretanto, houve a substituição de uma fração da areia pelo resíduo nas proporções de 5%, 10% e 20%, sendo moldados três corpos de prova para cada porcentagem e mais três corpos de prova sem o resíduo, que serviram de referência.

Para esses corpos de prova foram realizados ensaios de compressão conforme ABNT-NBR 7215/1996⁽¹²⁾, utilizando-se uma prensa hidráulica EMIC® do laboratório da empresa Supermix Concreto S/A, em Sorocaba, SP.

Para tanto, cada corpo de prova foi posicionado sobre o prato inferior da máquina e centralizado, em seguida, o mesmo foi submetido a uma carga de compressão cuja velocidade de carregamento foi de 0,25 MPa/s.

A leitura do equipamento de compressão utilizado é feita em tonelada-força (tf), sendo necessário o cálculo da resistência à compressão, feito através da equação 1:

$$P = F/A \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

P – Pressão (Kgf/cm²)

F – Força (Kgf)

A – Área do topo do corpo de prova (cm²)

Para os resultados obtidos, calculou-se a média das resistências à compressão dos corpos de prova para cada porcentagem de resíduo incorporado e para os corpos de prova sem resíduo.

De acordo com a norma ABNT-NBR 9778/2005⁽¹³⁾, foram realizados os ensaios de absorção de água, índice de vazios e massas específicas, utilizando-se equipamentos do laboratório do grupo Natel da UNESP Sorocaba. Os resultados foram obtidos através da média dos três corpos de prova de cada porcentagem de agregado utilizado.

Desta forma, os corpos de prova foram secados à 100°C durante 72 horas, em uma estufa Quimis®, após este período, foram retirados e pesados na balança semi-analítica Martel®, sendo obtidos os resultados de massa do corpo de prova seco em estufa (M_s).

Após a pesagem, estes corpos de prova foram mantidos imersos em água por 72 horas. Passado esse período, eles foram retirados da água, sendo o excesso de água secado com papel absorvente. Assim, foram novamente pesados obtendo-se os resultados de massa do corpo de prova saturado (M_{sat}).

Com os valores de massa do corpo de prova seco e massa do corpo de prova saturado foi possível calcular a absorção de água, através da equação 2:

$$\text{Absorção de água} = [(M_{\text{sat}} - M_s)/M_s].100 \quad \text{equação (2)}$$

Para determinar o índice de vazios e as massas específicas da amostra seca e saturada, foi necessário obter a massa do corpo de prova saturado, imerso em água (M_i). Esta medida foi realizada com o auxílio de um dinamômetro que mediu a força de empuxo dos corpos de prova imersos em água.

Os resultados das forças (N) medidas pelo dinamômetro e transformadas em massa através da equação 3.

$$M_i = (N/9,8).1000 \quad \text{equação (3)}$$

As equações 4, 5 e 6 mostram como foram calculados os índices de vazios, a massa específica da amostra seca e a massa específica da amostra saturada, respectivamente.

$$\text{Índice de vazios} = [(M_{\text{sat}} - M_s)/(M_{\text{sat}} - M_i)].100 \quad \text{equação (4)}$$

$$\text{Massa específica da amostra seca} = M_s/(M_{\text{sat}} - M_i) \quad \text{equação (5)}$$

$$\text{Massa específica da amostra saturada} = M_{\text{sat}}/(M_{\text{sat}} - M_i) \quad \text{equação (6)}$$

RESULTADOS

Os resultados da caracterização química por fluorescência de raios X realizada na amostra estão apresentados na tabela 1, onde observar-se a predominância dos óxidos de ferro, cromo, silício e alumínio. Estes elementos correspondem a mais de 80% da composição da amostra.

Avaliando estes resultados com as areias geralmente utilizadas para fundição, como areia de sílica, areia de cromita e areia de bentonita, nota-se que se trata de um resíduo oriundo de uma areia de cromita, em virtude, principalmente, do alto teor de óxido de cromo em relação ao óxido de silício e da presença superior a 10% do óxido de ferro^(2, 9, 14, 15, 16).

Comparando-se ainda os valores de óxido de cromo dos finos com a matéria-prima original de areia de cromita⁽²⁾, tem-se uma redução de até 50% da presença deste elemento. Fato este ocorrido devido sua perda durante o processo de fundição, seja por abrasão dos grãos ou por contato com o metal líquido, durante a solidificação deste nos moldes de areia.

Em relação ao alto teor de óxido de ferro, pode-se avaliar que isso deve ocorrer devido o contato do molde (da areia) com o metal líquido vazado em seu interior, reagindo com a areia e aumentando os teores de ferro que a mesma já possui.

Tabela 1: Resultado da análise química dos finos de areia.

Parâmetro	%	Parâmetro	%
Na ₂ O	0,39	Cr ₂ O ₃	21,20
MgO	8,18	MnO	1,03
Al ₂ O ₃	16,00	Fe ₂ O ₃	32,20
SiO ₂	17,00	NiO	0,20
P ₂ O ₅	0,09	CuO	0,17
SO ₃	0,61	ZnO	0,29
Cl	0,37	Ga ₂ O ₃	Nd
K ₂ O	0,56	SrO	0,01
CaO	0,82	ZrO ₂	0,27
TiO ₂	0,40	PbO	0,04
V ₂ O ₅	0,10	-	-

A figura 1 mostra alguns corpos de prova fabricados com suas respectivas porcentagens de resíduo incorporado. É possível verificar que os corpos de prova com o resíduo possuem uma coloração mais escura, em decorrência da cor do próprio resíduo utilizado e que, quanto maior a quantidade de resíduo, mais escuro o corpo de prova.

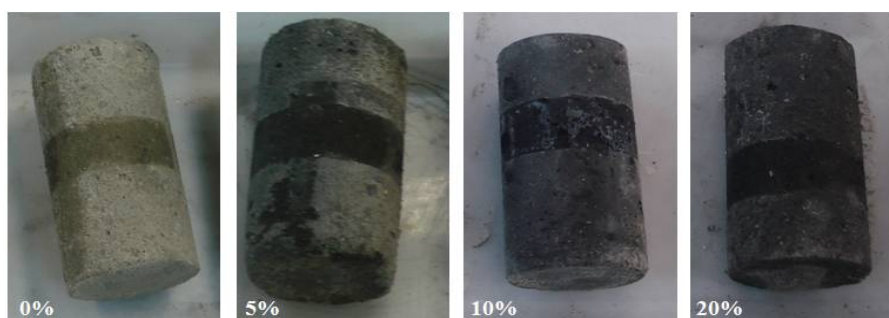


Figura 1: Corpos de prova.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão são apresentados na figura 2:

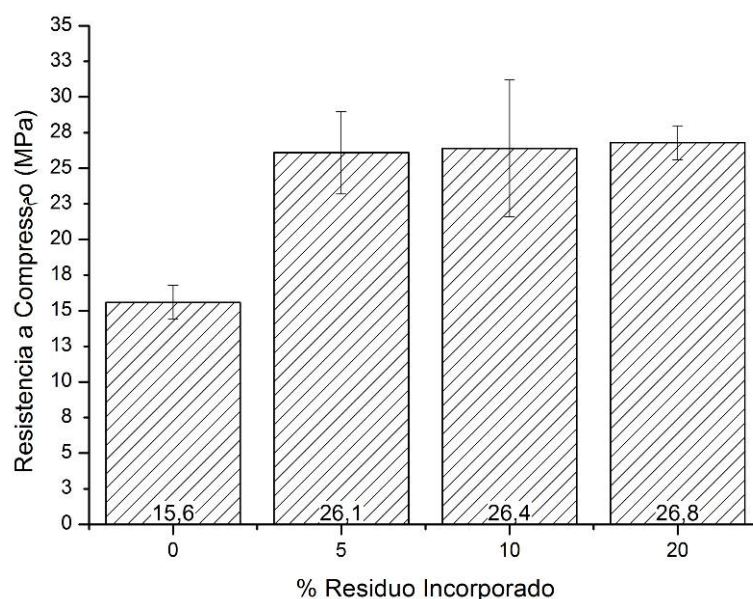


Figura 2: Gráfico com os resultados de resistência à compressão.

Verifica-se que para os corpos de prova com incorporação de resíduo, a resistência à compressão apresenta um aumento superior a 67% em relação ao corpo de prova sem resíduo, e que não há uma variação significativa das resistências entre as porcentagens incorporadas.

Vale destacar que, de acordo com a norma ABNT-NBR 13281:2005⁽¹⁷⁾, os valores medidos para os corpos de prova com incorporação de resíduo superam o valor exigido para resistência a compressão para argamassa utilizada para assentamento e revestimentos de paredes e tetos, que variam de 0,1 MPa até 8,0 MPa.

Também foi analisado que as argamassas obtidas com a incorporação desse resíduo acabam gerando um produto que atende a resistência a compressão exigida para o concreto (ABNT-NBR 11578:1997⁽¹⁸⁾) superior a 25 MPa. Constata-se então, que a simples incorporação dos finos de areia em argamassa acaba produzindo um material de alta resistência à compressão.

Em relação aos valores de absorção de água, índice de vazios e massas específicas da amostra seca e da amostra saturada, os resultados são apresentados na tabela 2 e figura 3.

Tabela 2: Resultado da determinação de absorção de água, índice de vazios e massas específicas.

CPs com Resíduo	Absorção de água (%)	Índice de Vazios (%)	Massa específica seca	Massa específica saturada
0%	6,6	12,5	1,9	2,0
5%	7,2	14,0	2,0	2,1
10%	9,7	19,0	2,0	2,1
20%	9,1	17,5	1,9	2,1

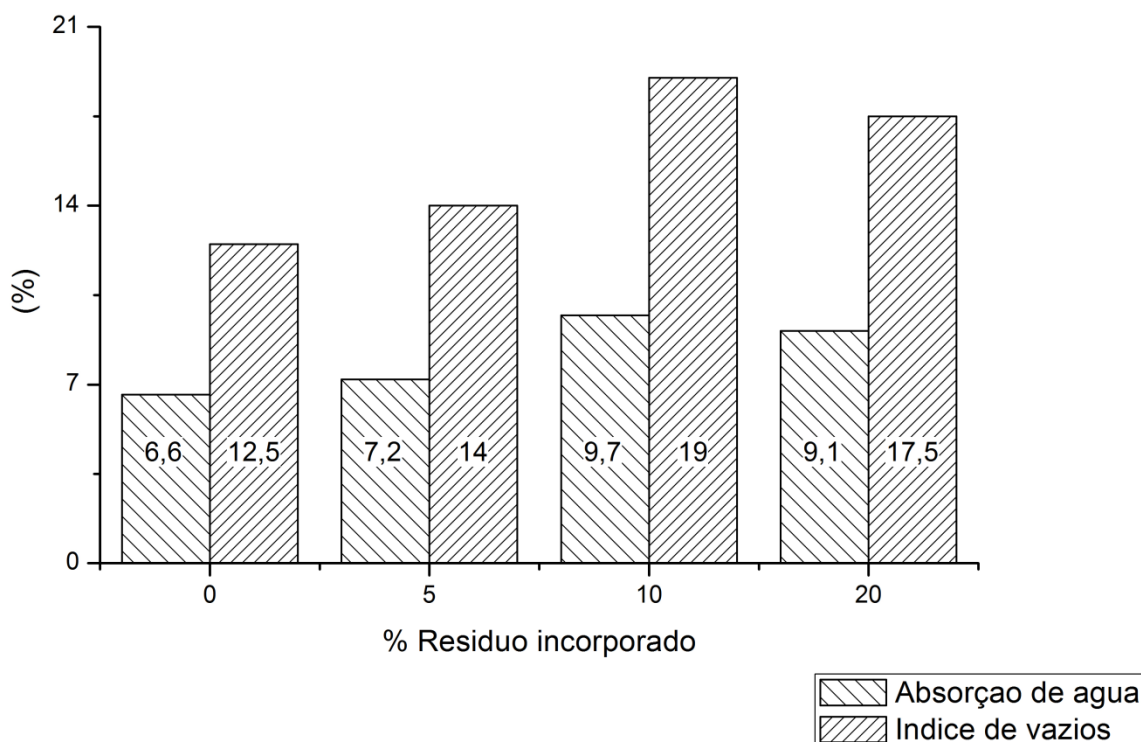


Figura 3: Gráfico da porcentagem de absorção de água e índice de vazios.

Os corpos de prova apresentaram-se hidrofílicos devido o aumento de absorção de água com a incorporação do resíduo na argamassa de até 52% em relação ao corpo de prova sem resíduo.

Situação similar é observada nos valores dos índices de vazio, indicando que a porosidade é maior nos corpos de prova com resíduo.

Assim, a incorporação do resíduo produz um material com maior capacidade de absorção de água, mas que atende perfeitamente os critérios estabelecidos pela NBR 13281⁽¹⁷⁾ o que possibilita a utilização desta argamassa em aplicações que exijam esta propriedade.

CONCLUSÕES

A caracterização química do resíduo de areia demonstrou que o mesmo compõe-se principalmente de óxidos de ferro, cromo, silício e alumínio, características também presentes na matéria-prima que deu origem a este resíduo.

Através dos ensaios de resistência à compressão observou-se a alta resistência dos corpos de prova com incorporação do resíduo, sendo o de 20% com o menor desvio padrão, ou seja, mais homogêneo.

Os ensaios de absorção de água também demonstraram que com a incorporação do resíduo ocorre uma maior absorção de água, o que torna este novo material mais poroso, podendo ser, por exemplo, aplicado na fabricação de blocos.

Conclui-se que a incorporação dos finos de areia em argamassa produz um material de alta resistência à compressão (26MPa), compatível com o valor exigido para concreto classe 25, produzindo uma nova argamassa, sem a necessidade de se utilizar outros materiais aditivos.

Sendo que, a proporção de 20% de finos de areia apresentou-se mais vantajosa por manter estas propriedades e incorporar maior quantidade de resíduo, possibilitando a diminuição do volume descartado em aterros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. MACHADO, I. Introdução à Manufatura Mecânica – Processos de Fundição e Sinterização (Metalurgia do Pó), 2006. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/Notasdeaula.html>>. Acesso em: 28 mai. 2012.
2. SAMPAIO, J.A.; ANDRADE, M.C.; PAIVA, P.R. Cromita. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Rochas Minerais Industriais: Usos e Especificações - Parte 2 - Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações, Cap. 18, p. 403 - 425, Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008.
3. MARIOTTO, C.L. Regeneração de areias de Fundição. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de resíduos sólidos industriais – SMA/SP, 2000.
4. MACIEL, C. B. Avaliação da Geração do Resíduo Sólido Areia de Fundição Visando sua Minimização na Empresa Metalcorte Metalurgia-Fundição. 119 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2005.
5. KLINSKY, L. M. G. Proposta de Reaproveitamento de Areia Fundição em Sub-bases e Bases de Pavimentos Flexíveis Através da sua Incorporação a Solos Argilosos. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
6. ARMANGE, L.C.; NEPPEL, L.F.; GEMELLI, E.; CAMARGO, N.H.A. Utilização de Areia de Fundição Residual para uso em Argamassa. Revista Matéria, v. 10, n. 1, p. 51-62, mar.2005. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10631>>. Acesso em: 18 abr. 2012.
7. BANDA NORIEGA, R.B.; MIGUEL, R.E.; SOTA, J.D.; MARCOZZI, R.G. Arenas Descartadas de Fundición como Subproducto Utilizado en la Fabricación de Materiales de Construcción – Estudio de Caso. In: 15º Congresso de Fundição da Associação Brasileira de Fundição, 2011, São Paulo. 1 CD-ROM.
8. SIDDIQUE, R.; SINGH, G. Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. Resources, Conservation and Recycling, v. 55, p. 885-892, mai. 2011.
9. SINGH, G.; SIDDIQUE, R. Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS). Construction and Building Materials, v. 28, p. 421-426, mar. 2012.
10. ROSSETTO, T.S.; GONÇALVES, M.K.; BURAS, M.; SILVEIRA, R.M.; CHEGATTI, S. Metodologia de Análise do Coeficiente de Condutividade Hidráulica e Obenção de Percolado de Areias Descartadas de Fundição com Diferentes Teores de Bentonita. In: 15º Congresso de Fundição da Associação Brasileira de Fundição, 2011, São Paulo. 1 CD-ROM.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008). NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1996). NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro.
13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro.
14. American Foundrymen's Society. Alternative Utilization of Foundry Waste Sand. Final Report (Phase I) prepared by American Foundrymen's Society Inc. for Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Des Plaines, Illinois, July, 1991.
15. BROWN, J. R., Fosco ferrous foundryman's handbook. 11ª ed. Butterworth-Heinemann, Woburn, MA, 2000.
16. SANTOS, C. P. F.; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F.; SOBRINHO, E. V. Caracterização e usos de argilas bentonitas e vermiculitas para adsorção de cobre (II) em solução. Cerâmica, v. 48, n. 308, p 178-182, 2010.
17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimentos de paredes e concretos - Requisitos. Rio de Janeiro.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 11578: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro.