

A INFLUÊNCIA DA SEGREGAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO NO GERENCIAMENTO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS¹

Carlos Alberto Mendes Moraes²

Amanda Gonçalves Kieling³

Diego Panazzolo⁴

Feliciane Andrade Brehm⁵

Marlova Kulakowski⁶

Resumo

A segregação e caracterização de resíduos sólidos tornam-se atualmente não somente uma etapa para reduzir impacto ambiental de um resíduo considerando seu gerenciamento de fim de tubo, ou seja, disposição em aterro industrial, mas cresce em importância do ponto de vista de otimização de processo que o gerou originalmente para sua minimização e na sua valorização como co-produto, onde uma etapa é dependente do outra. Três resíduos industriais foram estudados: cinza de casca de arroz, areia usada de fundição e pó de aciaria. O trabalho compreendeu analisar estes resíduos a partir da segregação dos mesmos e da presença ou não de contaminantes, utilizando algumas técnicas de caracterização (classificação granulométrica, difração de raios-x, MEV, lixiviação e solubilização, perda ao fogo, entre outras) para avaliar a situação técnica e ambiental de cada um, e como a etapa de segregação pode influenciar na forma de gerenciamento dos mesmos. Uma análise crítica mostra que a segregação e caracterização de resíduos sólidos industriais trazem ganhos econômicos e ambientais no gerenciamento destes resíduos. Considera-se ainda que mesmo havendo a redução na fonte, excedentes destes resíduos sempre serão gerados a partir dos processos de origem em uso atualmente, o que aumenta a importância destas etapas no gerenciamento dos resíduos sólidos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; Segregação; Caracterização; Gerenciamento.

SEGREGATION AND CHARACTERIZATION INFLUENCE ON MANAGEMENT AND VALORIZAÇÃO OF INDUSTRIAL SOLID WASTES

Abstract

The segregation and characterization of industrial solid wastes have become not only preliminary steps to their disposal management considering the end of pipe technology, but it has grown the importance of this steps in the process optimization, specifically, in the solid wastes minimization, and specially in their use as by-products for other industrial areas, where one step depends each other. Three solid wastes were evaluated: rice husk ash, foundry used sand and arc electric dust. The paper intended to analyze such wastes from their segregation step and the presence of contaminants, using several characterization techniques (granulometric classification, x ray diffraction, scanning electronic microscopy, fire loss, etc). to evaluate their technical and environmental situation, and how such steps may influence their environmental management. A critical analysis shows that both segregation and characterization of wastes may bring economical and environmental benefits to their management. It is considered that even with the reduction of waste generation during the industrial processes, several solid wastes, which is the case of these ones studied in this paper, usually wastes continue to be generated. As a result of that, the importance of such steps increases a lot.

Key words: Solid wastes; Segregation; Characterization; Environmental management.

¹ Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

² Membro da ABM, Prof. Dr. – Eng. Metalúrgico – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Núcleo de Caracterização de Materiais, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/Unisinos. e-mail: cmoraes@unisinos.br

³ Eng. Alimentos, Mestranda – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos. e-mail: amandakieling@hotmail.com

⁴ Eng. Civil – Unisinos. e-mail: diegopanazzolo@terra.com.br

⁵ Profa. Dra. - Engenharia Mecânica - Núcleo de Caracterização de Materiais - Universidade do Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS. Av. Unisinos, 950 São Leopoldo – RS, Brasil, CEP 93022-000. e-mail: felicianeb@unisinos.br

⁶ Profa. Dra. – Eng. Civil - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Núcleo de Caracterização de Materiais, Universidade do Vale do Rio dos Sinos/Unisinos. e-mail: marlovak@unisinos.br

1 INTRODUÇÃO

A indústria metal-mecânica vem sendo cada vez mais pressionada, seja do ponto de vista de atender as exigências da legislação ambiental quanto a seu desempenho ambiental, no sentido de controlar a geração de resíduos e dar destinação adequada para os mesmos. Além disso, o mercado tem obrigado as empresas a tornarem a gestão ambiental como uma área cada vez mais envolvida e se transformando num parâmetro de melhoria de qualidade de seus produtos comercializados. Neste sentido, além de minimizarem a geração de seus resíduos buscando melhorias no seu processo produtivo, a reciclagem externa de seus resíduos deve ser considerada antes da decisão convencional de enclausurá-los em aterros industriais.

A necessidade de pesquisas no campo da valorização de resíduos sólidos industriais é uma realidade no contexto brasileiro e mundial. A crescente demanda de sistemas seguros de destino final dos mesmos tem estimulado o estudo de alternativas tecnológicas e econômicas para que resíduos possam ser introduzidos como matéria-prima, carga e agregados a outros ciclos de produção. Desta forma, é possível diminuir os custos de tratamento e disposição final e oferecer matéria-prima secundária ao mercado.⁽¹⁻³⁾

Contudo, a utilização de resíduos sólidos requer pesquisas bem estruturadas que garantam: conhecimento aprofundado da composição do resíduo, avaliação da viabilidade técnica e econômica, avaliação ambiental ao longo do uso e pós-uso do produto, responsabilidade técnica e logística operacional.^(1,4,5)

O presente trabalho apresenta algumas situações onde a falta ou presença de segregação e caracterização adequada de resíduos sólidos industriais implica num melhor gerenciamento destes resíduos sólidos seja para seu descarte, mas principalmente para sua valorização em termos de reciclagem seja interna ou externa à empresa geradora.

Para tanto, apresentam-se resultados obtidos a partir da caracterização de Cinza de Casca de Arroz (CCA), Areia de Fundição e Pó de Aciaria Elétrica (PAE). Os estudos apresentados neste trabalho são partes integrantes de trabalhos em desenvolvimento e de trabalhos concluídos desenvolvidos pelos próprios autores, cujos produtos finais são monografia, dissertação e tese, cujo objetivo comum é a reciclagem destes resíduos essencialmente na construção civil.

2 MÉTODOS PARA SEGREGAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

A segregação dos resíduos é uma técnica amplamente aplicada com resíduos sólidos industriais, pois tem como finalidade evitar a mistura de materiais, que pode provocar desde incêndios, ao aumento da periculosidade do resíduo, onde pequenas quantidades de um determinado resíduo sólido considerado perigoso pela NBR 10004⁽⁶⁾ misturado a grandes quantidades de um resíduo considerado inerte ou não-inerte pode transformar este em perigoso. Além disso, e talvez o mais importante, está no fato de possibilitar a oportunidade de os resíduos segregados total ou parcialmente serem reciclados internamente ou externamente à empresa geradora. Mais recentemente, com o crescimento da implementação de programas de produção mais limpa nas indústrias, tanto a segregação como a caracterização evidencia possibilidades no

sentido de redução, minimização e eliminação de determinados resíduos gerados no processo produtivo.

A caracterização química, física e de fases de um resíduo sólido mais completa possível é etapa fundamental para avaliar a viabilidade de reciclagem. Além disso, os resultados devem contribuir para possibilitar um melhor controle na sua geração durante os processos produtivos que o geram e para avaliar sua homogeneidade, no sentido de valorizá-lo como possível co-produto em aplicações externas.

3 RESÍDUO SÓLIDO INDUSTRIAL CINZA DE CASCA DE ARROZ (CCA)

Muitos resíduos industriais apresentam características praticamente inertes, carentes de qualquer periculosidade, que tornam potencialmente segura a sua utilização como matéria-prima para determinadas indústrias. Como é o caso das cinzas resultantes do processo de queima da casca de arroz para o aproveitamento energético. No entanto, a aplicabilidade das cinzas depende de suas propriedades físico-químicas e estas são influenciadas basicamente pelas condições do processo de queima ao qual a casca de arroz é submetida.

Segundo Santos,⁽⁷⁾ existem vários processos geradores de cinza de casca de arroz. Neste trabalho foram utilizados dois tipos de CCA para uma melhor comparação dos resultados. A CCA₁ foi produzida em laboratório via leito fluidizado, sob condições controladas. A temperatura de queima foi de 700°C e o tempo de residência foi de 24 horas. Já a CCA₂ é resultante do processo de combustão em caldeira da empresa AMBEV de Viamão (RS). Neste sistema contínuo a cinza atravessa a fornalha que está a 900°C durante 9 minutos.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da segregação das cinzas, que correspondem à média de 3 ensaios para cada amostra.

Tabela 1: Segregação das CCA

Abertura da Peneira (mm)	% Retida CCA ₁	Nome da Fração	% Retida CCA ₂	Nome da Fração
1,2	3	1-A	3	2-A
0,6	1	1-B	21	2-B
Fundo (<0,15)	96	1-C	76	2-C

Para a amostra CCA₁, observou-se que a fração contida na peneira de abertura de 1,2 mm (Fração 1-A) tratava-se de um material contaminante (carepas de ferro, pedras, provavelmente do forno no qual a casca foi queimada). A fração acumulada na peneira de abertura 0,6mm (Fração 1-B) tratava-se de areia (fluido de queima) e casca mal queimada. A fração retida no fundo (fração 1-C) era composta por cinzas de casca de arroz com coloração homogênea. Na Figura 1 são apresentadas as frações resultantes da CCA₁.

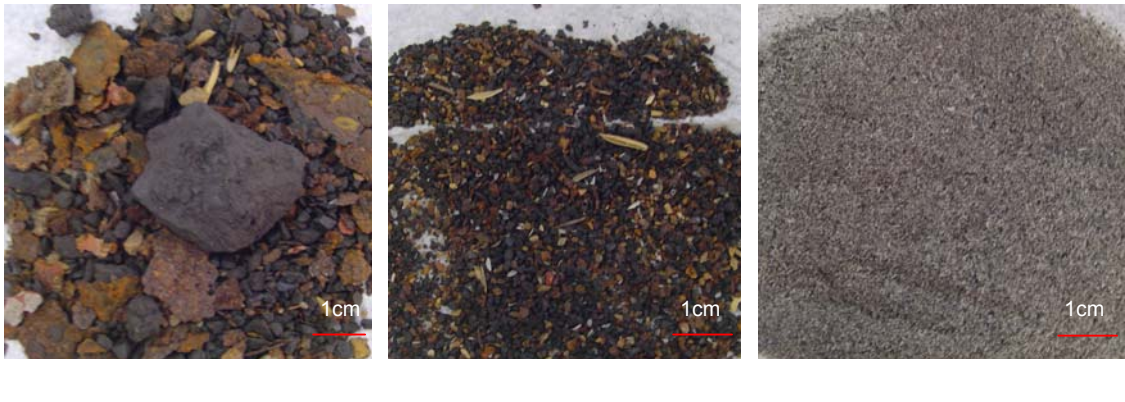


Figura 1: Frações resultantes da segregação da CCA₁

Para a amostra CCA₂, observou-se que a fração contida na peneira de abertura de 1,2 mm (Fração 2-A) apresentava-se bastante heterogênea com pontos pretos e brancos e com cascas de arroz mal queimadas. A fração acumulada da peneira de abertura 0,6mm (Fração 2-B) apresentou uma coloração homogênea e uma estrutura longitudinal semelhante à estrutura original da casca de arroz. A fração retida no fundo (Fração 2-C) também apresentou uma coloração homogênea, porém com uma estrutura mais granular. Na Figura 2 são apresentadas as frações resultantes da CCA₂.



Figura 2: Frações resultantes da segregação da CCA₂

Observa-se que o processo de segregação para a amostra CCA₂ resultou em frações de cinzas diferentes, já para a amostra CCA₁ o processo eliminou contaminantes, resultando em apenas uma fração de cinza com possibilidade de reciclagem. Utilizando ainda técnicas como análise química qualitativa via espectrometria de fluorescência de raios-x, difração de raios-x e microscopia eletrônica de varredura com EDS acoplado foi possível confirmar as diferenças de composição elementar e de fases nas amostras e frações estudadas resultante da contaminação (CCA₁) ou pela combustão incompleta (CCA₂), conforme apresentado por Kieling et al.⁽⁷⁾ Salienta-se que estas diferenças encontradas nas CCA e suas frações poderão fornecer indicativos da potencialidade de uma aplicação específica para o resíduo.

4 RESÍDUO SÓLIDO INDUSTRIAL AREIA USADA DE FUNDIÇÃO (PROCESSO DE MOLDAGEM EM AREIA VERDE)

A areia usada de fundição utilizada é resultado da produção de peças fundidas em empresa situada no Rio Grande do Sul, a qual utiliza moldes fabricados pelo processo de moldagem em areia verde de fundição. A mistura original é composta basicamente por areia nova, areia de retorno do próprio processo e aditivos orgânicos e minerais, o que confere aos moldes suas propriedades de resistência à tração e compressão.

Na empresa, cujo resíduo foi estudado por Panazzolo,⁽⁸⁾ após a produção e desmoldagem das peças, grande parte da areia, cerca de 97%, é recuperada e retorna ao sistema de produção de moldes, e a outra parte, cerca de 3%, é descartada e destinada a aterros industriais com controle de lixiviados, o que representa mais de 100 toneladas/mês.

De acordo com os processos tecnológicos adotados para a produção de fundidos pela empresa em estudo, a areia de fundição, utilizada na produção de peças de grandes formatos e em pequenas quantidades, tem como composição areia, bentonita, amido de milho e pó de carvão. Há também uma pequena parcela de areia utilizada em moldes de macharia, caracterizado pela maior resistência e pela presença de pequenas quantidades de fenol em sua composição.

A areia de fundição, cuja caracterização objetivava o seu emprego como agregado em blocos de concreto para pavimentação, passou por dois processos de segregação diferentes. No primeiro, o material passou por um peneiramento manual em peneira de abertura de 1,68 mm (ABNT n° 12), através da qual foram retidos diversos tipos de materiais presentes na amostra. No segundo processo, depois da amostra ter sido peneirada, devido a grande quantidade de materiais metálicos ainda presentes na amostra, fez-se necessário a remoção do mesmo através de um ímã. Os resultados desta segregação são apresentados na Tabela 2.

Esta separação é necessária, pois o material metálico é considerado um contaminante na produção de concreto para blocos de pavimentação, pois este material oxida no interior do bloco, origina manchas e, por ser expansivo, causa a desagregação das peças levando à degradação prematura das mesmas. Além disso, outros materiais segregados da areia também podem ser contaminantes para este emprego.

Conforme já descrito no programa experimental, a amostra de areia de fundição necessitou de dois processos de segregação para que fosse possível utilizá-la na produção de concretos para blocos de pavimentação. O primeiro, caracterizado pelo peneiramento da amostra através de peneira de 1,68 mm (ABNT n°12) tem seu resultado demonstrado através da tabela 2. E o segundo, demonstrado pela Tabela 3, caracterizado pela remoção de metais passantes na peneira referida, removidos por um ímã.

Tabela 2 – Caracterização da areia de fundição segregada por peneiramento

Forma de Segregação	Material Segregado	Porcentagem
Peneira	Material Metálico Maciço	8,44
	Material Metálico com Escória	0,70
	Areia Verde de Fundição em pelotas	3,30
	Areia de macharia em pelotas	0,65
	Material Refratário	0,14
	Outros (madeira, papel, cerâmica)	0,07
Imã	Material Metálico	5,81
	TOTAL MATERIAL SEGREGADO	19,11
	TOTAL AREIA DE FUNDIÇÃO BENEFICIADA	80,89%

Os dados apresentados na Tabela 2 demonstram a grande quantidade de material que não pode ser empregado como agregado na produção de concretos para blocos. Entre eles, ressalta-se a grande quantidade de metais maciços e de produtos com escória contidos na amostra, que poderiam servir novamente como matéria-prima à fundição. Também deve ser observado a quantidade de areia de fundição em torrões, em especial a proveniente de macharia (rico em resina fenólica), considerada o principal contaminante da areia verde, por conter pequenas quantidades de fenol em sua constituição e cuja presença vai definir a classe ambiental do resíduo. Além disso, na Tabela 2 foi destacado o material metálico por imã.

Através dos dados, percebe-se que, além da grande quantidade de metal removido por peneiramento, ainda havia material metálico na amostra, removido então por imã. Percebe-se assim que quase 15% da amostra de resíduo em massa é composta de metais ferrosos, o que representa um grande desperdício para a empresa de fundição. Pode-se, a partir deste dado, inferir que o processo necessita ser revisto para minimizar estas perdas de material metálico, ou então a empresa deve estabelecer a segregação do resíduo na origem a fim de reaproveitar esta fração metálica como matéria prima.

O resíduo também foi caracterizado por microscopia eletrônica de varredura, onde foi detectada a presença de grãos claros cuja origem possivelmente é material refratário. Ou seja, apesar dos processos de segregação por peneiramento e imã, ainda permaneceram contaminantes junto a areia beneficiada. Somente com os ensaios utilizados para avaliar a potencialidade de sua utilização como substituto de areia no concreto será possível avaliar se estes contaminantes terão efeitos deletérios ou não nas propriedades do concreto.

Depois de feita a triagem, o material resultante, composto essencialmente de areia usada, passou a ser chamado de “areia de fundição beneficiada” e foi caracterizado fisicamente seguindo a caracterização padrão realizada em agregados miúdos empregados em concreto. Esta caracterização mostrou que a curva granulométrica da areia de fundição beneficiada se apresenta totalmente excluída da zona utilizável proposta pela NBR 7211,⁽⁹⁾ uma vez que majoritariamente é constituída por partículas muito finas. No entanto, esta areia oriunda pode compor uma composição granulométrica com outros agregados miúdos, como correção de algumas curvas, ou até mesmo para compoendo a porção fina no estudo de dosagem de concreto para blocos de pavimentação.

5 RESÍDUO SÓLIDO INDUSTRIAL PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA (PAE)

Dentre os resíduos sólidos industriais siderúrgicos, escória de aciaria, pó de aciaria podem ser colocados como aqueles resíduos mais estudados no sentido de avaliar suas características no que tange seu descarte e especialmente sua reciclagem interna e externa. Neste trabalho será apresentado alguns fatores relacionados ao estudo de segregação e caracterização do PAE, resíduo considerado perigoso pela norma ABNT 10004,⁽⁶⁾ por conter cromo e chumbo acima dos limites permitidos.

Como o PAE estudado por Brehm⁽¹⁰⁾ veio de empresa siderúrgica que produz aço ao carbono, baixa e média liga, e aço inoxidável; a amostragem foi realizada durante vários dias num período de 6 meses, para se certificar se o pó gerado na produção de aço inoxidável deveria ser segregado do pó gerado na produção dos outros aços, devido o primeiro possuir teores de cromo na ordem de 18%, o que poderia resultar num pó mais concentrado neste elemento.

Brehm⁽¹⁰⁾ coloca que os resultados analíticos (composição química), para os mesmos elementos químicos, são expressos de formas diferentes nos diversos trabalhos publicados nos últimas décadas. Como exemplo, é possível citar o elemento Fe. Para este elemento, os resultados são expressos de três formas diferentes: Fe (elementar), Fe_2O_3 e FeO. Nos laboratórios analíticos da indústria siderúrgica, os resultados normalmente são expressos na forma dos óxidos mais estáveis do elemento analisado, sendo que normalmente as técnicas utilizadas para análise fornecem resultados elementares. Essa prática, no caso da análise de PAE, leva à expressão errônea dos resultados em termos da forma como os elementos analisados se encontram combinados na amostra. Além de desenvolver um método adequado para caracterizar quimicamente o PAE, Brehm⁽¹⁰⁾ utilizou uma série de técnicas de caracterização como difração de raios-x, microscopia eletrônica de varredura, massa específica e granulometria, para avaliar seus compostos no sentido de determinar sua potencialidade como adição em cimento.

Após o término da etapa de amostragem, segregação e caracterização do pó de aciaria, Brehm⁽¹⁰⁾ conseguiu concluir que:

- A digestão das amostras de PAE, para posterior análise química, só foi completa quando um fundente alcalino foi utilizado.
- As amostras de PAE estudadas são heterogêneas em relação a sua composição química elementar.
- A partir dos resultados obtidos na análise química para o elemento Cr, o PAE gerado durante a produção de aço inoxidável deixou de ser separado do PAE gerado na produção das demais qualidades de aço.
- O tamanho médio das partículas de PAE coletadas em ponto único (amostragem atual) é de 0,83 μm . Em relação ao tamanho de partícula é possível adicionar o PAE na produção de artefatos de cimento, que possui uma granulometria em torno de 10 μm .
- A caracterização das fases cristalinas via DRX confirmou a necessidade de expressar os resultados analíticos na forma elementar.
- As fases cristalinas que compõem as amostras de PAE coletadas atualmente são: ZnFe_2O_4 , Fe_3O_4 , FeCr_2O_4 , $\text{Ca}_{0,15}\text{Fe}_{2,85}\text{O}_4$, SiO_2 e ZnO .
- Os elementos que conferem periculosidade ao PAE são Cd e Pb.

- A caracterização química, física e estrutural de um resíduo é uma etapa importante não só para a reciclagem (interna ou externa) do mesmo, garantindo sua valorização como possível subproduto, mas serve também como variável de controle para o processo produtivo.

Além disso, a caracterização via MEV possibilitou determinar a presença de uma nuvem de pó sobre as partículas de PAE, ricas em molibdênio, incomum de aparecer nas caracterizações de PAE presentes na literatura. Esta descoberta levou o setor de aciaria a modificar a forma como o molibdênio era adicionado no forno elétrico, de pó para briquete, pois antes da instalação da coifa para a captação do pó gerado durante o processo de fabricação do aço, este elemento fazia parte da composição final do aço produzido. Ao ser instalada a coifa, o pó de molibdênio era sugado antes mesmo de fazer parte da composição química do aço, desperdiçando o mesmo. Este resultado coloca a caracterização de resíduos também como uma ferramenta fundamental no sentido de possibilitar a minimização da sua geração e desperdício de matéria-prima, conceito este incluído no programa de produção mais limpa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em termos de segregação de resíduos sólidos, os estudos envolvendo cinza de casca de arroz e areia usada de fundição demonstram a necessidade da utilização de processos de peneiramento para separação de contaminantes no caso dos dois resíduos. A segregação da CCA₂, onde pode-se observar a presença de casca que não teve combustão completa quando de sua queima para geração de energia, também pode indicar uma falha neste processo. Porém, enquanto no caso do CCA isto ocorre em função de características dos dois processos de queima estudados, com relação à areia esta necessidade se deve ao não gerenciamento adequado dos resíduos na empresa quando do seu descarte. Muito importante neste estudo é que, em torno de 15% em massa de material metálico estaria sendo perdido, levando a empresa a ter prejuízos em termos de perda de matéria-prima e aumento no custo de disposição. Além disso, a presença destes contaminantes (nos dois resíduos), matéria orgânica na CCA e fase metálica na areia podem vir a comprometer as propriedades dos materiais de construção civil a serem obtidos. Já com relação ao pó de aciaria, a segregação deste mostrou que os teores de cromo não foram significativamente diferentes entre os PAE's gerados na produção dos diferentes aços, o que levou o gerenciamento deste resíduo para descarte facilitado, em especial na questão econômica. Além disso, a presença de molibdênio na caracterização do PAE levou a empresa a modificar a forma de adição deste material, ou seja, a caracterização do resíduo auxiliou no controle do processo.

As etapas de caracterização e segregação têm se tornado cada vez mais importantes para a definição da melhor forma de gerenciamento destes resíduos envolvendo sua disposição final em aterros, reciclagem interna e externa.

REFERÊNCIAS

- 1 TEIXEIRA, C. E. Évolution biochimique des résidus de désencrage dans un contexte de valorisation comme barrière de recouvrement. (Tese de doutorado). Département de génie civil, Université de Sherbrooke, Québec, 2001. 195 p.
- 2 LEIDEL, D.S. Sand reuse: user requirements, modern casting. *Ontário*, v.83, July, 1993, p. 38-39.
- 3 PAULI, G. Pollution-zéro, les nouvelles grappes industrielles. *Écodécision*, printemps, p.26-30. 1995
- 4 BONET, I. I. Valorização do resíduo de areia de fundição (R.A.F.) incorporação nas massas asfálticas do tipo concreto betuminoso usinado a quente. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. 131 p.
- 5 BREHM, F. A.; MORAES, C. A. M.; DAL MOLIN, D.; VILELA, A. C. F. Estudo dos fenômenos físico-químicos relacionados à adição de óxido de zinco (ZnO) em pastas de cimento como contribuição ao estudo de reciclagem de pós de aciaria elétrica (PAE) na construção civil. ENTAC 2006.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos – Classificação: NBR 10004. ABNT, Rio de Janeiro, 2004.
- 7 KIELING, A. G. ; MORAES, C.A.M.; KULAKOWSKI, M. P.; KAZMIERCZAK, C. S. Influência da segregação nas características físico-químicas e atividade pozolânica de cinzas de casca de arroz. ENTAC, 2008.
- 8 PANAZZOLO, D. F. Estudo da viabilidade de utilização de agregados artificiais e areia verde de fundição na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Trabalho de conclusão do curso de Graduação em Engenharia Civil da UNISINOS. 2007. 117 p.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados para Concreto – especificação: NBR 7211,. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.
- 10 BREHM, F. A. Adição de óxido de zinco (ZnO) em pastas de cimento visando viabilizar a reciclagem de pós de aciaria elétrica (PAE) na construção civil. Tese defendida no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Materiais – PPGEM/UFRGS, Porto Alegre, 2004. 105 p.