



## NECESSIDADES E POSSIBILIDADES DE SE UTILIZAREM RESÍDUOS INDUSTRIAIS EM MATERIAIS E COMPONENTES CONSTRUTIVOS NO BRASIL

Gerusa C. Salado <sup>1</sup> e Eduvaldo P. Sichieri <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo (Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro – São Carlos – SP – Brasil – cep:13566-590 – gesalado@sc.usp.br)

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo (Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro – São Carlos – SP – Brasil – cep:13566-590 – sichieri@sc.usp.br)

**Palavras-chave:** Materiais de construção sustentáveis; Resíduos industriais; Encapsulação de resíduos industriais; Incorporação de resíduos industriais na construção civil; Classificação de resíduos industriais.

**Sumário:** O volume de resíduos sólidos gerado no mundo é maior a cada dia. Dentro deste contexto, os resíduos industriais geram maior preocupação e merecem atenção especial, pois podem ser contaminantes e perigosos à saúde dos seres vivos e ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho é discutir as necessidades e as possibilidades de incorporação de resíduos industriais em materiais e componentes construtivos no Brasil de maneira adequada, de forma que estes materiais não representem ameaça ao meio ambiente após a sua utilização e eventual descarte.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a produção de bens é cada vez maior para suprir a grande demanda ocasionada pelo crescimento populacional acelerado e pelos hábitos de consumo também em crescimento vertiginoso. Isso faz com que a extração de matérias-primas da natureza seja intensificada e a geração de resíduos a serem descartados aumente descontroladamente.

Um estudo realizado pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) constatou que no ano de 2010 o volume de lixo produzido no Brasil foi de 167mil toneladas por dia, somando quase 61 milhões de toneladas ao ano, ou 6,8% a mais que no ano de 2009, superando a taxa de crescimento populacional urbano que foi de cerca de 1% no período [1].

[1] aponta que apenas cerca de 57 milhões de toneladas de resíduos gerados foram coletados no ano de 2010; sendo que, destes, aproximadamente 42,4% seguiu para lixões e aterros controlados, trazendo consideráveis danos ao meio ambiente. Além disso, cerca de 4 milhões de toneladas de lixo geradas em 2010 não foram coletadas e acumularam-se em locais inapropriados – figura 1.



Figura 1 - Lixo acumulado na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Fonte: [2].

Com relação aos resíduos industriais, segundo [3], apenas a construção civil gera de 40% a 60% dos resíduos sólidos urbanos no mundo, como resultado da construção, manutenção e demolição de casas e edifícios. No Brasil foram coletadas cerca de 31 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) no ano de 2010, ou 8,7% a mais que em 2009; porém, as quantidades reais são ainda maiores, visto que os municípios em geral coletam somente os RCD depositados nos logradouros públicos [1].

O maior problema com relação aos restos de materiais de construção gerados por pequenas reformas, construções e demolições refere-se ao seu descarte que, quando feito de maneira inadequada, assim como o lixo comum, acaba gerando sérios danos para o meio ambiente. Muitas vezes estes resíduos são jogados em terrenos baldios, beiras de estradas etc, como mostra a figura 2.



Figura 2 – Entulho em Santa Isabel (São Paulo), abandonado próximo a Área de Preservação Permanente. Fonte: [4].

Contudo, além do volume acumulado nos aterros sanitários e do descarte inadequado, uma das maiores preocupações com relação aos resíduos gerados diz respeito aos impactos que estes podem ter sobre a saúde humana e o meio ambiente (solo, água e ar); sobretudo, os resíduos perigosos, produzidos em sua grande maioria pelas indústrias. Pode-se dizer que cerca de 10 a 20% dos resíduos industriais podem ser perigosos ao homem e ao ecossistema [5].

Nele, muitas vezes, estão incluídos produtos químicos (como cianureto, pesticidas e solventes), metais (como mercúrio, cádmio e chumbo) e solventes químicos que ameaçam os ciclos naturais onde são despejados. Os resíduos industriais sólidos são amontoados e enterrados, os líquidos são despejados em rios e mares, e os gases são lançados no ar. Assim, a saúde do meio ambiente e, conseqüentemente dos seres vivos que nele habitam, torna-se ameaçada, podendo ocasionar grandes tragédias ambientais [5].

Os metais pesados são muito utilizados pelas indústrias e estão presentes na composição de vários produtos. A tabela 1 apresenta os principais metais usados pelas indústrias, suas fontes e riscos à saúde humana.

Tabela 1 – Principais metais usados pelas indústrias e seus riscos à saúde humana. Fonte: [5].

Metais	De onde vem	Efeitos
Alumínio	Produção de artefatos de alumínio; serralheria; soldagem de medicamentos (antiácidos) e tratamento convencional de água	Anemia por deficiência de ferro; intoxicação crônica
Arsênio	Metalurgia; manufatura de vidros e fundição	Câncer (seios paranasais)
Cádmio	Soldas; tabaco; baterias e pilhas	Câncer de pulmões e próstata; lesão nos rins
Chumbo	Fabricação e reciclagem de baterias de autos; indústria de tintas; pintura em cerâmica; soldagem	Saturnismo (cólicas abdominais, tremores, fraqueza muscular, lesão renal e cerebral)
Cobalto	Preparo de ferramentas de corte e furadoras	Fibrose pulmonar (endurecimento do pulmão) que pode levar à morte
Cromo	Indústrias de corantes, esmaltes, tintas, ligas de aço e níquel, cromagem de metais	Asma (bronquite); câncer
Fósforo amarelo	Veneno para baratas; rodenticidas (tipo de inseticida usado na lavoura) e fogos de artifício	Náuseas; gastrite; odor de alho; fezes e vômitos fosforescentes; dor muscular; torpor; choque; coma e até morte
Mercúrio	Moldes industriais; certas indústrias de cloro-soda; garimpo de ouro; lâmpadas fluorescentes	Intoxicação do sistema nervoso central
Níquel	Baterias; aramados; fundição e niquelagem de metais; refinarias	Câncer de pulmão e seios paranasais
Fumos metálicos	Vapores (de cobre, cádmio, ferro, manganês, níquel e zinco) da soldagem industrial ou da galvanização de metais	Febre dos fumos metálicos (febre, tosse, cansaço e dores musculares) – parecido com pneumonia

Conforme [6], não existem dados confiáveis sobre geração, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos industriais (RSI). Apesar disso, [7] divulga alguns dados referentes aos anos de 2006 e 2007, ressaltando que estes não refletem o total dos resíduos sólidos industriais gerados, pois a responsabilidade pelo gerenciamento dos RSI é do próprio gerador.

Dentro destas condições, foram levantadas as quantidades de RSI recebidos e tratados no Brasil por empresas privadas. A tabela 2 expõe estas quantidades nos períodos de 2006 e 2007 [7].

Tabela 2 – Resíduos sólidos industriais perigosos e não perigosos tratados em 2006 e 2007. Fonte: Pesquisas Abrelpe *apud* [7].

Classificação	2006		2007	
	Quantidade (t/ano)	%	Quantidade (t/ano)	%
Perigosos	1.009.953	22,66	1.545.360	26,00
Não perigosos	3.447.739	77,34	4.406.139	74,03
Total	4.457.692	100	5.951.499	100

Segundo outra fonte, [8], o presidente da Associação Brasileira das Empresas de Tratamento de Resíduos (Abetre), Diógenes Del Bel, afirmou que no ano de 2008, as empresas que prestam serviço especializado e adequado para o setor de destinação final de resíduos não aproveitáveis processaram mais de 7 milhões de toneladas de resíduos industriais.

Os tratamentos empregados por essas empresas incluem o coprocessamento em fornos de produção de cimento, incineração, tratamentos biológicos para solos contaminados, descontaminação de transformadores e de lâmpadas, além das tecnologias que tratam da recuperação e reciclagem de óleos lubrificantes.

Segundo Del Bel *apud* [8], em 2009, o Brasil possuía 160 empresas para o tratamento dos resíduos sólidos não aproveitáveis; um número pequeno em comparação a outros países, como o Reino Unido, por exemplo, onde já existiam cerca de 300 empresas somente para dar destinação final a resíduos eletroeletrônicos.

De acordo com [5], nota-se que as mudanças ainda são lentas na diminuição do potencial poluidor do parque industrial brasileiro, principalmente no tocante às indústrias mais antigas, que continuam contribuindo com a maior parcela da carga poluidora gerada e elevado risco de acidentes ambientais, sendo, portanto, necessários altos investimentos de controle ambiental e custos de despoluição para controlar a emissão de poluentes, o lançamento de efluentes e o depósito irregular de resíduos perigosos.

Pelo exposto acima, este trabalho objetiva ressaltar para a comunidade acadêmica brasileira um assunto pouco explorado no país: a importância e a necessidade de se utilizarem os resíduos sólidos industriais, expondo de que maneiras estes podem ser incorporados de forma ambientalmente adequada em materiais para a construção civil.

A seguir será explanado sobre o processo e os métodos existentes para a reutilização de resíduos industriais na construção civil, bem como a necessidade de ocorrer uma fiscalização deste processo. Ao final, conclusões serão tecidas a respeito do trabalho desenvolvido.

## 2. A REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Devido a grande demanda e diversidade de materiais, produtos e componentes utilizados na Construção Civil por matérias primas para a fabricação de seus materiais e componentes construtivos, este setor industrial torna-se potencial para a incorporação de resíduos. Entretanto, pelos motivos expostos no item anterior, são necessários cuidados e métodos especiais para fazê-lo com os resíduos industriais.

### 2.1. A classificação dos resíduos industriais

O primeiro passo, quando se pretende lidar com um resíduo industrial, é conhecê-lo. No Brasil, quem define os parâmetros para tratamento dos resíduos industriais é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Desse modo, a norma técnica brasileira NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação [9] classifica os resíduos sólidos em: perigosos (Classe I- contaminantes e tóxicos); não perigosos (Classe II – podem ou não ser contaminantes); não inertes (Classe II A - possivelmente contaminantes); e inertes (Classe II B – não contaminantes). Destes, os resíduos perigosos e os não inertes requerem atenção especial.

Para se poder classificar os resíduos devem-se inicialmente realizar ensaios de lixiviação e solubilização em amostras, a partir das normas técnicas NBR 10005 – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos [10] e NBR 10006 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos [11].

Os componentes encontrados nestes ensaios devem ser comparados às tabelas anexas à NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação – que determinam a existência de periculosidade e suas características (inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e patogenicidade).

O fluxograma apresentado na figura a seguir mostra os passos que devem ser seguidos para a classificação de um resíduo.

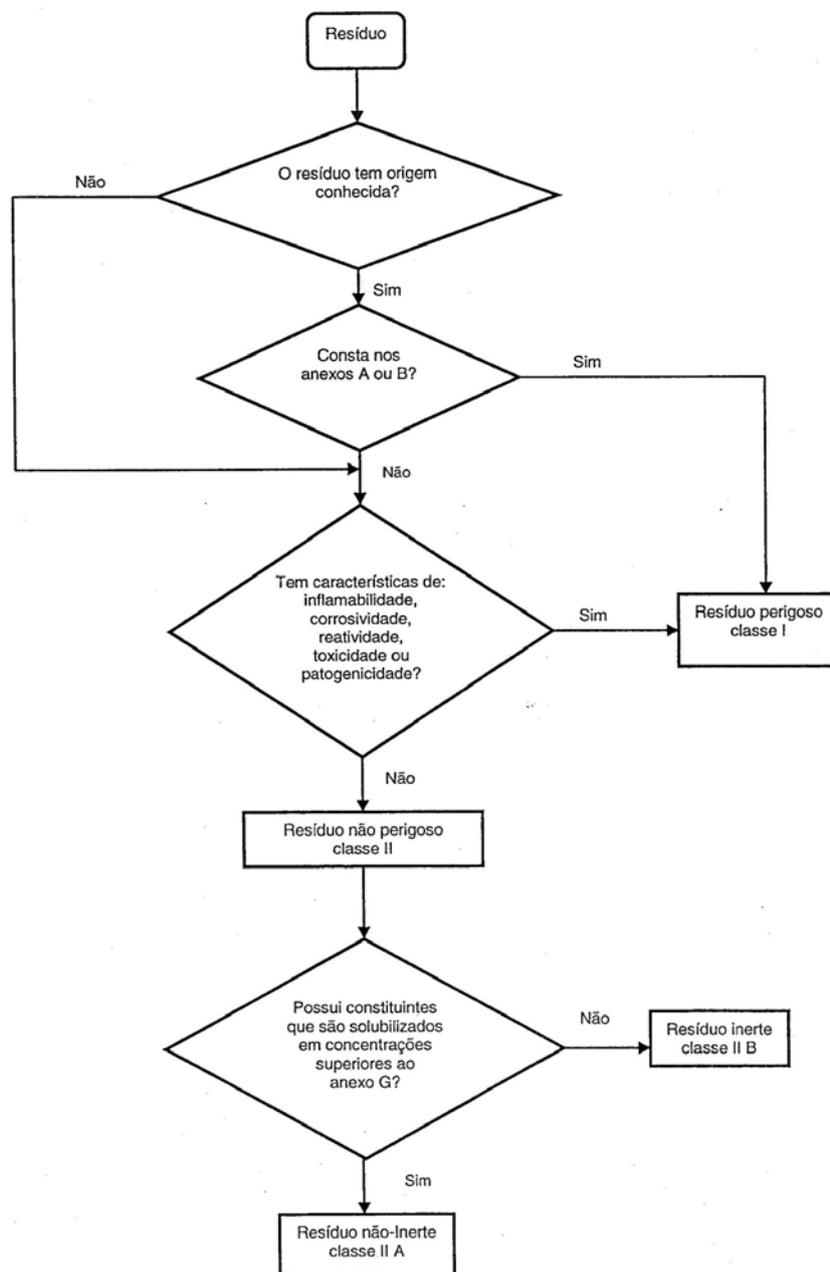


Figura 3 – Caracterização e classificação de resíduos sólidos. Fonte: ABNT, [9], p.vi.

Dessa maneira, caso um resíduo seja classificado como classe I, este não poderá ser incorporado em outros produtos devido aos riscos que oferece à saúde dos seres vivos e ao meio ambiente e deverá receber tratamento especial e adequado de empresas especializadas.

Quando um resíduo for classificado como classe II A, este poderá ser incorporado em outros produtos com certas restrições e de maneira adequada, conforme o seu grau e características contaminantes.

Por fim, quando um resíduo for classificado como classe II B, este poderá ser incorporado em outros produtos sem restrições.

## 2.2. Alguns métodos para a incorporação de resíduos industriais em materiais de construção

A partir dos resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização, com a NBR 10004, é possível classificar e determinar as possibilidades de utilização dos resíduos. Os resíduos industriais podem ser incorporados em materiais e componentes construtivos diversos desde que não sejam classificados pela NBR 10004 como perigosos. Podem ser utilizados na fabricação de blocos, tijolos, pisos etc. Contudo, é necessário estabilizar os resíduos a serem incorporados, lembrando que para cada tipo de resíduo industrial existe uma técnica diferente para a sua reutilização na construção civil.

A solidificação/estabilização de resíduos sólidos é um processo também conhecido por encapsulação ou fixação. Trata-se de uma tecnologia alternativa aos processos tradicionais de tratamento de resíduos e serve, principalmente, como um meio de facilitar o manuseio, o transporte e o armazenamento de resíduos. Em síntese, consiste em estabilizar química e/ou fisicamente os resíduos sólidos através da adição de aglomerantes ou da inserção em invólucros eficientes [12].

Estabilização remete às técnicas de minimizar as periculosidades potenciais de um resíduo, reduzindo ao máximo a solubilidade, mobilidade e toxicidade dos contaminantes sem, necessariamente, alterar a natureza física do resíduo.

Solidificação, por sua vez, está relacionado às técnicas de encapsulação do resíduo em um sólido monolítico com elevada integridade estrutural. Este processo nem sempre envolve algum tipo de interação química entre os resíduos e os reagentes dos materiais aglomerantes adotados, mas deve blindar mecanicamente o resíduo dentro de uma estrutura sólida. Assim sendo, a mobilidade dos contaminantes se torna difícil devido à escassez de área superficial exposta à lixiviação e pelo fato de os resíduos estarem isolados em capsulas impermeáveis [13].

As principais técnicas de estabilização/solidificação utilizadas são: à base de cimento, à base de cal e materiais pozolânicos (exceto cimento), à base de polímeros orgânicos, vitrificação, encapsulação em invólucro inerte e auto-solidificação. Essas técnicas permitem a incorporação de resíduos industriais em materiais e componentes construtivos, entre outros. O quadro montado a seguir mostra as principais vantagens e desvantagens de cada uma.

Quadro 1 – Principais técnicas de estabilização/solidificação de resíduos.

Técnica	Vantagens	Desvantagens
Materiais pozolânicos	Baixo custo Materiais disponíveis em grande escala Não necessita de equipamentos especiais Conhecimento das reações ocasionadas	Lentidão das reações Material solidificado tem baixa resistência mecânica
Polímero orgânicos	Material solidificado possui volume pequeno e massa específica baixa Quantidade necessária de material solidificante é pequena	Risco de contaminantes serem liberados caso o polímero se degrade ou se rompa Reação de polimerização libera gases tóxicos
Encapsulação em	Segurança total contra lixiviação e	Necessidade de equipamentos sofisticados e

invólucro inerte	solubilização	mão de obra especializada Custo elevado O material de revestimento, geralmente o polietileno, sofre danos por temperaturas elevadas e raios ultra violeta
Vitrificação	Processo seguro (lixiviação ocorre muito lentamente pela água)	Necessidade de instalações semelhantes a de uma indústria de vidros Consumo energético elevado Custo elevado
Auto-solidificação	Material resultante muito resistente Baixa permeabilidade Boa retenção de metais pesados	Necessidade de equipamentos especiais Consumo energético elevado
Cimento Portland	Simplicidade do processo Baixo custo Baixo consumo energético Domínio da tecnologia Não é necessário secar e desidratar o resíduo Compatível a diversas variações químicas Origina produtos finais com a resistência mecânica e a permeabilidade desejadas Possibilita tratar os resíduos no próprio local onde foram depositados Um revestimento selante pode ser usado para melhorar as questões de lixiviação e solubilização do produto final	Consumo de cimento elevado Produto final com grande volume e massa específica alta Pode gerar amônia Necessidade de pré-tratamento com o uso de cimentos especiais e aditivos de custo elevado, quando os resíduos contêm grandes quantias de impurezas

Devido à simplicidade do processo e ao baixo custo, a fixação de resíduos perigosos em matrizes de cimento Portland é a técnica de estabilização/solidificação mais empregada [14].

### 2.3. A fiscalização do processo de reutilização de resíduos industriais na construção civil

Devido ao fato de os resíduos industriais poderem ser perigosos ou contaminantes, torna-se extremamente importante a fiscalização do processo de reutilização destes na construção civil; o que deve ser feito apenas por usinas de reciclagem de materiais de construção ou indústrias devidamente capacitadas e segundo os procedimentos descritos acima, fazendo-se sempre os ensaios de lixiviação e solubilização nos resíduos, para a sua correta classificação e forma de reutilização.

Ressalta-se, também, que da mesma forma que os resíduos sólidos em geral (os comuns e os industriais) não podem ser descartados de maneira aleatória no meio ambiente e sem um tratamento adequado, os resíduos de construção e demolição que contenham resíduos industriais incorporados devem ter uma destinação final ambientalmente adequada. E, para isso, é imprescindível o controle e fiscalização deste processo por um órgão governamental.

O correto é que estes resíduos de construção e demolição com resíduos industriais incorporados sejam sempre submetidos a ensaios de lixiviação e solubilização, e sejam classificados conforme a NBR 10004, para que se possa determinar a sua destinação.

Após esta etapa de classificação dos resíduos, estes podem ser reincorporados em materiais e componentes para a construção civil novamente. Este ciclo poderá se repetir quantas vezes se desejar, desde que sempre seguindo os procedimentos e ensaios descritos nos itens anteriores.

### 3. CONCLUSÕES

O tratamento e a disposição final dos resíduos industriais é um assunto ainda pouco explorado no Brasil. Muitos resíduos perigosos são simplesmente descartados no meio ambiente, na expectativa de que a natureza absorva as substâncias tóxicas neles contidas. Isso comprova que a sociedade não sabe como lidar com esses resíduos de maneira segura e correta.

Quanto mais se enterram os resíduos, ou os lançam na água e no ar, mais os ciclos naturais são ameaçados, e o ambiente torna-se poluído. Não é à toa que os resíduos industriais são um dos maiores responsáveis pelas agressões fatais (acidentais ou não) ao meio ambiente, não apenas no Brasil, mas em todo o mundo. Torna-se, portanto, imprescindível o seu descarte ou reutilização de forma ambientalmente adequada.

Pode-se constatar, a partir deste estudo, a necessidade e urgência de se utilizarem os resíduos industriais e a potencialidade da indústria da construção civil em fazê-lo.

Através deste trabalho foi possível definir parâmetros para a incorporação de resíduos industriais na construção civil no Brasil e um roteiro que poderá auxiliar e contribuir neste processo. Acredita-se que esta iniciativa irá contribuir para a comunidade acadêmica brasileira e todos os que tenham interesse em pesquisar ou investir nestas questões.

### 4. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro no desenvolvimento deste trabalho.

### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010*. 2012. [Consultado a 13 fevereiro 2012]. Disponível em: [http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_edicoes.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm).
- [2] O Globo. *Baía de Guanabara recebe 80 toneladas de lixo flutuante por dia*. 2008. [Consultado a 19 agosto 2010]. Disponível em: [www.oglobo.globo.com](http://www.oglobo.globo.com).
- [3] SARTOR, C. E.; LAMBERTS, R. *Habitare: resultados de impacto 1995/2007*. Florianópolis: Coan Impressão Gráfica, 2008.
- [4] Planeta Sustentável. *O entulho de Santa Isabel*. Sem data. [Consultado a 19 julho 2010]. Disponível em: [www.planetasustentavel.abril.com.br](http://www.planetasustentavel.abril.com.br).
- [5] KRAEMER, M. E. P. *Como quantificar e contabilizar os resíduos industriais*. 2012. [Consultado a 18 fevereiro 2012]. Disponível em: <http://br.monografias.com/trabalhos/quantificar-residuos/quantificar-residuos.shtml>.
- [6] FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo). *Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei 12.305/2010 – Decreto 7.404/2010*. 2011. [Consultado a 17 janeiro 2012]. Disponível em: [http://www.fiesp.com.br/arquivos/2011/arquivos/pnrs\\_e\\_decreto.pdf](http://www.fiesp.com.br/arquivos/2011/arquivos/pnrs_e_decreto.pdf).
- [7] FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo). *Resíduos Sólidos*. 2012. [Consultado a 18 fevereiro 2012]. Disponível em: [http://www.fiesp.com.br/ambiente/area\\_tematicas/residuos.aspx](http://www.fiesp.com.br/ambiente/area_tematicas/residuos.aspx).
- [8] Agência Brasil. *Tratamento de resíduos industriais no Brasil dobra em três anos*. 2009. [Consultado a 18 fevereiro 2012]. Disponível em: <http://www.ecodesenvolvimento.org.br/noticias/tratamento-de-residuos-industriais-no-brasil-dobra>.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, 2004.

- [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 10.005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.
- [11] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, 2004.
- [12] PABLOS, J. M. *Estudo para a reutilização do resíduo sólido constituído pelas areias de fundição aglomeradas com argila, através da técnica de solidificação/estabilização em matrizes de cimento Portland, para aplicação no setor da construção civil*. Tese (doutorado). São Carlos: Universidade de São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos. 2008.
- [13] CONNER, J. R.; HOFFNER, S. L. *The history of stabilization/solidification technology*. In: *Critical Reviews in Environment Science and Technology*, p. 325-396, EUA, 1998.
- [14] DANIALI, S. *Solidification/stabilization of heavy metals in latex modified Portland cement matrices*. In: *Journal of Hazardous Materials*, v. 24, n. 2-3, p. 225-230, 1990.