

Avaliação de risco sobre a utilização da areia descartada de fundição na construção civil

Este estudo de caso teve como objetivo avaliar os potenciais riscos à saúde humana relacionados ao uso da ADF em componente de peças de concreto em pavimentação, como agente das camadas de base e sub-base e na construção das camadas de recobrimento e assentamento de tubos para saneamento.

Raquel Luísa Pereira Carnin, Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira, Marta Siviero Guilherme Pires

Introdução

A reciclagem de resíduos, além do estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização e recuperação, demanda a avaliação dos potenciais riscos em relação à saúde humana e ao meio ambiente.

Hierarquicamente, o gerenciamento dos resíduos prioriza:

- a redução da emissão na fonte e uso
- a reciclagem e a compostagem
- o aproveitamento energético
- o tratamento e a disposição, sendo estas práticas consenso internacional

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305/2010, dispõe em seu capítulo II, artigo 3º:

“VII – Destinação final ambientalmente adequada: Destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento

energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”.

Neste contexto, a avaliação de risco torna-se essencial para a aplicação dos fundamentos de reaproveitamento no gerenciamento de resíduos, uma vez que viabiliza que resíduos (perigosos ou não perigosos, mediante classificação segundo critérios normativos), sejam reciclados de maneira efetiva, adequada e segura.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de fundidos. Em termos de produção regionalizada, São Paulo detém 24,7%, Minas Gerais 23,5%, Santa Catarina 29,8%, Rio de Janeiro 7,2% e Paraná e Rio Grande do Sul somam 10,8%.

A produção de fundidos aumenta significativamente a cada ano e consome grandes quantidades de matérias-primas, gerando proporcionalmente grandes quantidades de resíduos que são principalmente aterrados e poucas vezes utilizados em outros processos.

Dentre os resíduos, pode-se destacar: areias da macharia e moldagem, pós e refratários da fusão e pós do acabamento, além de materiais auxiliares que trazem consigo papel, plástico, madeira etc.

Ainda há outros resíduos provenientes do processo de fundição, como escória de fundição, sucata de ferro e material particulado dos fornos, que podem ser identificados dentro dos seus processos. Destes, a Areia Descartada de Fundição (ADF) compreende aproximadamente 85% da geração, sendo constituídas basicamente de uma mistura contendo areia, argila, carvão e material fino.

Segundo a NBR 15702 (ABNT, 2009), a Areia Descartada de Fundição (ADF) é considerada aquela proveniente do processo produtivo de fabricação de peças fundidas, tais como areias de macharia, de moldagem, areia verde, preta, despoejamento e resíduo de processo após processo interno de recuperação, entre outras areias que sejam classificadas conforme a ABNT NBR 10004 (2004) como classe II – não perigoso, livre de mistura com qualquer outro resíduo ou material estranho ao processo, que altere suas características.

Considerando os possíveis usos para a Areia Descartada de Fundição – ADF como agregado na fabricação de artefatos de cimento em obras rodoviárias, preenchimento estrutural, aterramento, fabricação/alteração/melhoria de solo e outros, as exigências regulatórias para a permissão do uso em outros países compartilham em comum a premissa do controle dos riscos em seus respectivos contextos, através dos Programas de Gerenciamento^[20].

Nos Estados Unidos, a areia de fundição proveniente de processos de fundição de ferro, aço e alumínio tem aplicação autorizada como base de estradas, cobertura de aterros e no uso agrícola, mediante avaliação prévia nos Programas de Gerenciamento^[25].

O Departamento de Transporte dos Estados Unidos (United States Department of Transportation – Federal Highway Administration)

publicou em 2012 um guia para reutilização do resíduo de areia de fundição em pavimentação, destacando aspectos técnicos e de avaliação no uso^[19].

Tendo como premissa básica de que o risco é uma função da periculosidade do agente químico e do grau de exposição ao mesmo, faz-se necessário informações sobre a composição do resíduo, bem como características de comportamento ambiental, como por exemplo dados de toxicidade, já que estas são determinantes para a disponibilidade química do(s) agente(s) no sítio de exposição e para a ocorrência de exposições efetivas e prolongadas, sobretudo a mobilidade e a bioacumulação, que influenciam a meia-vida no ambiente.

Segundo documento divulgado em 2009 pela USEPA, em conjunto com o departamento de agricultura americano USDA – Risk Assessment of Spent Foundry Sands in Soil-Related Applications Peer Review Draft^[22], quando se avalia as possibilidades de reutilização das ADFs em aplicações agrícolas, é necessário o estudo de três vias principais de contaminação: (1) a inalação de ADF emitida nas operações de mistura de solo; (2) a ingestão de água subterrânea contaminada pelos constituintes lixiviados das ADF; (3) ingestão acidental de solo e/ou ingestão de frutas e vegetais cultivados em solos manufaturados, ou seja, o solo preparado com misturas de ADF.

Neste documento, avaliando os riscos contidos nas três vias de contaminação e comparando as areias de fundição com os solos americanos, foi observado que as concentrações de quase todos os elementos traços foram menores para as areias verdes provenientes de fundições de ferro, alumínio e aço. Estas foram consideradas ambientalmente seguras para serem utilizadas até mesmo em misturas fabricadas de solo^[22].

Essa abordagem pode ser aplicada em muitos subprodutos industriais, os quais são essencialmente limpos de contaminação e têm demonstrado características de reaproveitamento quando utilizados para substituir materiais virgens. Qualquer outro subproduto de interesse deve ser cuidadosamente analisado com apropriados limites de detecção, e os resultados comparados com os solos de referência.

Este trabalho teve como objetivo avaliar os potenciais riscos à saúde humana, considerando os cenários de uso para a areia descartada de fundição em: componente de peças de concreto em pavimentação, como agente das camadas de base e sub-base em pavimentação asfáltica, e na construção das camadas de recobrimento e assentamento de tubos para saneamento.

Materiais e métodos

A utilização da amostra na forma de areia é considerada conservadora, uma vez que é plausível o fato

de que nas aplicações propostas ocorra a redução da disponibilidade química dos componentes da ADF, em comparação com a areia, devido à agregação de partículas e impedimento físico que interferem na cinética de percolação, de dissolução e no rendimento da extração de constituintes das peças e camadas específicas^[14].

A amostra de ADF proveniente de uma fundição da região de Joinville foi caracterizada de acordo com a Norma ABNT 10004:2004.

Também foram utilizados resultados das análises de um estudo Analítico Ambiental de Qualidade das Águas Subterrâneas de um Trecho Experimental da Rede de Esgoto Sanitário de Joinville, referente ao ensaio piloto de aplicação da ADF (areia de moldagem) na construção das camadas de recobrimento e assentamento de tubulação coletora de esgoto sanitário. Este trecho foi monitorado entre os anos de 2011

e 2012, com a realização de coletas da água subterrânea a cada seis meses. Durante este período, não foram detectados componentes químicos provenientes da ADF nas amostras de água.

Considerando o potencial de periculosidade da ADF e as informações sobre os limites toxicológicos propostos na Lei SC 17.479/2018, foram avaliados os potenciais riscos dos cenários de uso propostos. A referida Lei menciona que a ADF deve apresentar toxicidade (FT) maior que 8, no caso de utilização diretamente em solo, e maior que 16, para demais utilizações.

Foram avaliados os potenciais cenários de exposição, considerando as características da ADF e as variáveis de utilização e limites ecotoxicológicos adotados por agências nacionais e internacionais^[9,15,18,20].

O modelo conceitual considerado na avaliação é apresentado na representação esquemática da Figura 1.

Resultados – Avaliação dos perigos à saúde humana

Composição e classificação de perigo

A ADF é composta por areia base, geralmente constituída de bentonita (de natureza argilosa multiconstituinte e multielementar) e pelo ligante pó de carvão mineral.

A sua composição elementar é de 76,91% de SiO₂, 9,49% de Al₂O₃, 3,43% Fe₂O₃, 0,80% de TiO₂, de 0,96% CaO, 0,97% de MgO, 1,06% de K₂O, 0,02% de MnO, 72% de Na₂O, 0,54% de P₂O₅, 1,51% de SO₃, 0,36% de Cl, 0,16% de Sr, 0,11 % de Ba, e 0,03% de Zr^[11].

De acordo com os resultados obtidos, a amostra de ADF avaliada foi classificada como Resíduo Classe II A – Resíduo Não Inerte, com parâmetros orgânicos e inorgânicos abaixo dos limites de concentração estabelecidos pela NBR ABNT 10004:2004.

Os dados das análises indicam baixa mobilidade e disponibilidade química dos constituintes do resíduo em lixiviado (tabela 1).

A concentração excedente de fenol (CAS 108-95-2), de 2,21 mg/L no extrato solubilizado, em relação ao Valor Máximo Permitido de 0,01 mg/L, do Anexo G da NBR ABNT 10004:2004, não classifica o resíduo como perigoso, enquadrando-o na classe IIA – Não Inerte.

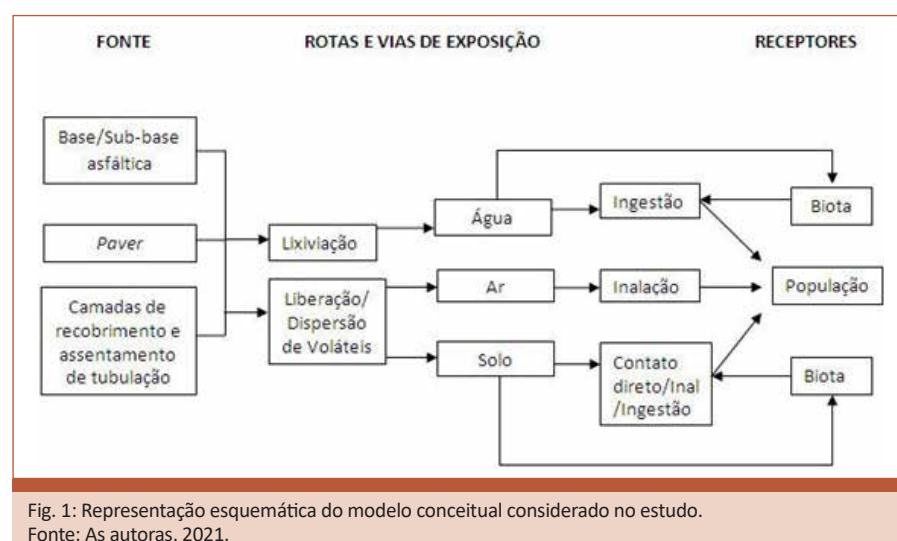


Fig. 1: Representação esquemática do modelo conceitual considerado no estudo.
Fonte: As autoras, 2021.

A preocupação dos órgãos ambientais é geralmente quanto à migração de substâncias orgânicas e/ou inorgânicas, que podem migrar de processos específicos para a areia durante o uso ou podem estar presentes como constituintes do ligante utilizado. Em contrapartida, as areias provenientes do processo de fundição de aço, alumínio e ferro dificilmente são classificadas como perigosas^[25].

Avaliação da concentração excedente de fenol

O fenol é um composto amplamente distribuído no ambiente, podendo ter origem natural ou

antropogênica pela emissão de veículos, uso de produtos de consumo, queima de carvão e refinarias de petróleo etc^[7,28]. Ele pode ser absorvido pelas vias oral, dérmica e inalatória, podendo causar irritação em caso de altas concentrações e elevados níveis de exposição.

Além das fontes já citadas, o fenol é utilizado em vários produtos desinfetantes e antissépticos de uso médico. Geralmente há mais preocupação no contexto ocupacional, devido à presença de concentrações mais elevadas com absorção pelas vias dérmica e inalatória, o que pode causar efeitos agudos locais (irritação e inflamação) e

sistêmicos (arritmias, toxicidade renal, hepatotoxicidade e efeitos neurológicos)^[7].

No entanto, não há evidências conclusivas de que o fenol tenha potencial carcinogênico, sendo enquadrado como não classificável quanto à carcinogenicidade para humanos (Grupo 3 da IARC e Grupo D da USEPA)^[16,28].

O fenol apresenta meia-vida curta, inferior a um dia na atmosfera (alterando reações com luz e radicais hidroxila), e entre dois a cinco dias no solo, modificando a degradação tanto em condições aeróbias, como anaeróbias. O fenol não apresenta potencial bioacumulativo para peixes, plantas e outras espécies^[7].

Tab.1 - Ensaio de lixiviação/solubilizado da ADF (TASQA, 2011).

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LQ	VMP	Resultado	LQ	VMP
Alumínio	NE*			35,3	0,05	0,2
Arsênio	< LQ	0,04	1	0,004	0,001	0,01
Bário	0,72	0,005	70	2,56	0,005	0,7
Cádmio	< LQ	0,003	0,5	< LQ	0,003	0,005
Chumbo	< LQ	0,03	1	0,002	0,002	0,01
Cloretos	NE*			15,5	0,01	250
Cobre	NE*			0,22	0,003	2
Cromo	0,004	0,002	5	0,03	0,002	0,05
Fenóis Totais	NE*			2,21	0,05	0,01
Ferro	NE*			13,9	0,002	0,3
Manganês	NE*			0,13	0,002	0,1
Merúrio	< LQ	0,0005	0,1	< LQ	0,0005	0,001
Prata	< LQ	0,003	5	< LQ	0,003	0,05
Selênio	< LQ	0,05	1	< LQ	0,002	0,01
Sódio	NE*			96,2	0,05	200
Zinco	NE*			0,67	0,006	5

NE* = Não exigido no ensaio de lixiviação.

Há limites ecotoxicológicos considerados seguros para a exposição ao fenol, estabelecidos por diversas agências internacionais, como a USEPA. Para exposição pela via inalatória no contexto ocupacional, são considerados seguros níveis de 19 mg/m³ de fenol na atmosfera em exposição diária de 8 horas^[5,17].

A USEPA estabeleceu uma Dose de Referência (DRf) de 0,3 mg/kg/dia para o fenol. A DRf é definida como uma estimativa, considerando a incerteza que pode atingir valores de mais de uma ordem de magnitude, para a exposição diária humana, incluindo os grupos mais sensíveis, que provavelmente não apresentará risco apreciável de efeitos adversos não carcinogênicos à saúde humana^[26].

A DRf pode ser obtida a partir do NOAEL (No observed adverse effect level), ou nível em que não se apresentam efeitos tóxicos observáveis, dividido por Fatores de Incerteza da ordem de 1 a 10.000, e por Fator Modificador (FM), que consideram variações interespecíficas

ou interindividuais e incertezas do estudo toxicológico.

A USEPA (2012) caracterizou limites de concentração (Drinking Water Advisories), considerados seguros para o fenol em água potável (tabela 2).

Drinking Water Advisory é uma concentração limite de caráter não regulatório, provavelmente sem potencial de causar efeitos adversos ou efeitos estéticos na água no período para qual é derivada.

A USEPA definiu valores limites de concentração de agentes químicos no solo, denominados Soil Screening Levels (SSL), que embora não classifiquem uma determinada área como sendo contaminada, podem ser úteis para a avaliação de segurança e para a determinação da necessidade de avaliações mais detalhadas^[12,13]. Tais limites são utilizados pela CETESB na investigação confirmatória em estudos de avaliação de risco^[12,13].

Estabelecido com base na avaliação de risco, o SSL pode servir

para avaliação de cenários futuros, como no caso do uso residencial de determinada área contendo concentrações específicas de certos agentes no solo. Em caso de níveis abaixo dos valores limite, considera-se que não há necessidade de ações legais ou avaliação adicional.

Discussão

Com base na análise, a utilização da amostra de ADF avaliada neste trabalho e classificada como Classe II A – Resíduo Não Perigoso, nos cenários de uso como componente de peças de concreto em pavimentação, como agente das camadas de base e sub-base em pavimentação asfáltica e na construção das camadas de recobrimento e assentamento de tubulação coletora, não são esperados riscos para a saúde e ao meio ambiente em curto e longo prazo.

Com base na análise específica sobre o fenol, considerando a concentração do composto na amostra de ADF do estudo, a curta meia-vida da substância no ambiente,

Tab. 2 - Limites de concentração de fenol em água potável considerados seguros pela USEPA (2012).

Limite/ Valor orientador	Concentração (mg/L)
One-day	6,0
Ten-day	6,0
DWEL	11
Life-time	2
One-day: Limite de concentração considerado para exposição durante um (um) dia (criança de 10kg)	
Ten-Day: Limite de concentração considerado para exposição durante dez dias (criança de 10kg)	
DWEL (Drinking Water Equivalent Level): Nível de exposição durante o período de vida, assumindo 100% de exposição a partir de um dado meio, no qual não são esperados efeitos adversos à saúde	
Life-time: Limite de concentração considerado para exposição durante toda vida (indivíduo de 70kg)	

a disponibilidade reduzida nos cenários de uso e o processo natural de atenuação e diluição no ambiente, não são esperadas concentrações acima dos limites considerados seguros, mesmo em projeções conservadoras.

Em conformidade com as normas e diretrizes do órgão ambiental de Santa Catarina, a partir do plano de amostragens e análises (Sampling and Analysis Plan- SAP) estabelecido, temos aqui uma forma de utilização segura, mitigando o risco de incertezas relacionadas à variabilidade da composição da ADF.

Conclusão

O gerenciamento correto dos resíduos industriais se tornou uma questão ambiental global. Devido às grandes áreas ocupadas e aos altos custos pagos para a disposição final, projetos para a utilização destes resíduos como matérias-primas alternativas são cada vez mais urgentes.

A disposição da ADF em aterros industriais, além dos altos custos, concebe um desperdício de matéria-prima que poderia estar sendo utilizada na construção civil, como por exemplo em componentes de peças de concreto em pavimentação, ou agente das camadas de base e sub-base em pavimentação asfáltica e ou na construção das camadas de recobrimento e assentamento de tubos para saneamento. Isso geraria ganhos econômicos, tornando as fundições mais sustentáveis e proporcionando a redução de emissões de gases do efeito estufa.

Contudo, o que se percebe atualmente é que as iniciativas para usar a ADF têm sido feitas de forma individual e na maioria das vezes não conseguem progredir, pois não são tomadas em conjunto com os órgãos ambientais.

A falta de informação técnica disponível para auxiliar na tomada de decisões por parte dos órgãos ambientais é um dos principais motivos que entrava a aceleração da utilização da ADF.

De maneira geral, a ADF é classificada como um resíduo não perigoso tanto no Brasil (Classe II-A pela ABNT NBR 10.004/2004) quanto nos Estados Unidos. Todavia, mesmo a ADF apresentando bons resultados para uso na construção civil, na maioria dos casos elas são dispostas em aterros industriais, ao invés de aproveitadas.

Bibliografia

- 1] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Lixiviação de Resíduos – Procedimento – NBR 10.005 / 2004. Rio de Janeiro, 2004.
- 2] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos – Classificação – NBR 10.004/2004. Rio de Janeiro, 2004.
- 3] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solubilização de Resíduos – Procedimento – NBR 10.006 / 2004. Rio de Janeiro, 2004.
- 4] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.702: Areia descartada de fundição - Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário. Rio de Janeiro, 2009.

- 5] ACGIH – AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. TLVs e BEIs: limites de exposição (TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos e índices biológicos de exposição (BEIs). Tradução: Associação Brasileira de Higiênistas Ocupacionais. São Paulo, 2012.
- 6] ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard guide for chemical release. Philadelphia, 1998.
- 7] ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. ToxGuide for Phenol. U.S. Department of Health and Human Services: Atlanta, 2011.
- 8] Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 2012. 1126p.
- 9] BOSSILKOV, A.; LUND, C. Review of International and Australian Frameworks and Standards for the Reuse of Inorganic Industrial. [S.l: s.n.], 2008.
- 10] Brasil. Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 de agosto de 2010.
- 11] CARNIN, R. L. P. Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como agregado em misturas asfálticas. Tese de doutorado do Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas. UFPR, 2008, 152p.
- 12] CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 6520 Níveis de Avaliação para Solo – “Soil Screening Levels” – Aplicações pela USEPA. In Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Projeto CETESB – GTZ: São Paulo, 2001.
- 13] CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Decisão de Diretoria N.º 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021. Dispõe sobre a Aprovação da Atualização da Lista de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea.

CASE

- 14] DUNGAN, ROBERT S; DEES, N. H. Metals in Waste Foundry Sands: Assessment with Earthworms. *Science*, v. 3, n. 3, p. 177-184, 2006.
- 15] FHWA. Recycled materials in European highway environments. *Environment*, n. October, 2000.
- 16] IARC-INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH OF CANCER. Disponível em: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsCASOrder.pdf>>. Acesso em maio de 2013.
- 17] OSHA - Occupational Safety & Health Administration. Exposure Limits and Health Effects: Phenol (2013). Disponível em: <https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_261100.html> acesso em agosto de 2013.
- 18] Santa Catarina. Lei nº 17.409, de 15 de janeiro de 2018. Dispõe sobre a utilização das Areias Descartadas de Fundação (ADF). *Diário Oficial do estado de Santa Catarina, Florianópolis*; p.7. Poder Legislativo Estadual.
- 19] USDA – United States Department of Transportation. User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction. Federal Highway Administration, 2012.
- 20] USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. Beneficial reuse of foundry sand: a review of state practices and regulations. Sector Strategies Division (2002a).
- 21] USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. Actions Aimed At Increasing The Beneficial Use Of Foundry Sand A Multi-Stakeholder Action Plan. . [S.l: s.n.]. 2009a.
- 22] USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. Risk Assessment of Spent Foundry Sands in Soil-Related Applications Peer Review Draft. Review Literature And Arts Of The Americas. [S.l: s.n.]. 2009b.
- 23] USEPA – Environmental Protection Agency. 2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. Office of Water: Washington, 2012. 12p. Disponível em: <<http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/upload/dwstandards2012.pdf>> acesso em agosto de 2013.
- 24] USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. Washington: USEPA Risk Assessment Forum, 2005.
- 25] USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. Foundry sands recycling (2007). Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/conservation/imr/foundry/foundry-st.pdf>> acesso em agosto de 2013.
- 26] USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System. Acesso em <<http://www.epa.gov/IRIS/>> acesso em agosto de 2013.
- 27] USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. Predicting the Toxicities of Chemicals to Aquatic Animal Species. OPP; Washington, 2010.
- 28] USEPA – Environmental Protection Agency. Reregistration Eligibility Decision for Phenol & Salts. PPTS: Washington, 2009.

Raquel Luísa Pereira Carnin é doutora em Química – Nova Era Soluções Ambientais Ltda, pesquisadora voluntária na Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia – Unicamp; Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira é doutora em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia – Unicamp; Marta Siviero Guilherme Pires é doutora em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia – Unicamp. ■