

©Copyright, 2006. Todos os direitos são reservados. Será permitida a reprodução integral ou parcial dos artigos, ocasião em que deverá ser observada a obrigatoriedade de indicação da propriedade dos seus direitos autorais pela INTERFACEHS, com a citação completa da fonte. Em caso de dúvidas, consulte a secretaria: [interfacehs@interfacehs.com.br](mailto:interfacehs@interfacehs.com.br)

## **USO DO SOFTWARE SADA NA ESTIMATIVA DO RISCO À SAÚDE HUMANA E CORRENTE DA EXPOSIÇÃO AO RESÍDUO DE AREIA DE MOLDAGEM DE FUNDIÇÃO DE FERRO**

Raphael Schumacher Bail<sup>1</sup>, Paulo Marcondes Bousfield<sup>2</sup>, Mara Gomes Lobo<sup>3</sup> e Schirlene  
Chegatti<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental da UNIVILLE – Campus Universitário s/n – Bom Retiro. 89219-905 – Joinville – SC – Brasil. [raphaelbail@hotmail.com](mailto:raphaelbail@hotmail.com)

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Sistemas de Informação da UNIVILLE, doutorando em Engenharia Ambiental pela UFSC

<sup>3</sup>, Professora do Departamento de Engenharia Ambiental da UNIVILLE, mestre em Engenharia de Processos pela UNIVILLE

<sup>4</sup> Química industrial, doutoranda em Engenharia Ambiental pela UFSC

### **RESUMO**

A avaliação de risco à saúde humana segundo a metodologia proposta em 1989 pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency – USEPA) busca estimar quantitativamente o risco de impactos adversos à saúde em uma população exposta a substâncias químicas encontradas na água subterrânea, água superficial, solo e sedimento. Uma ferramenta que pode facilitar esse processo de avaliação é o software SADA (Spatial Analysis Decision Assistance), desenvolvido pela Universidade do Tennessee (EUA) e que possui um módulo de avaliação de risco à saúde humana baseado na metodologia da USEPA. Este trabalho visou à realização de uma avaliação de risco à saúde humana através desse software utilizando os resultados das análises de alguns compostos presentes na areia de moldagem, que é o resíduo gerado em maior quantidade no processo de fundição de

ferro. Para este trabalho foram considerados os valores toxicológicos e de exposição das bases de dados que acompanham o SADA, baseados em regulamentações da própria USEPA e de outras instituições. Ao final, foi determinado que o software foi preciso no cálculo dos riscos carcinogênicos e não carcinogênicos conforme a metodologia da USEPA (1989) e que para os parâmetros considerados o resíduo areia de moldagem não apresentou riscos significativos à saúde humana.

**Palavras-chave:** Avaliação de risco à saúde humana, areia de fundição, SADA, parque industrial; resíduos.

## INTRODUÇÃO

O termo risco pode ser definido como sendo a probabilidade da ocorrência de um efeito adverso a um organismo, sistema ou população, causado sob circunstâncias específicas, devido à exposição a um agente (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004). De acordo com Guivant *apud* Fernandes Neto e Sarcinelli (2009), os estudos quantitativos sobre os riscos se desenvolveram inicialmente tendo por base disciplinas como toxicologia, epidemiologia, psicologia e engenharia a partir dos anos 60. O risco associado à saúde, especificamente, é mais recente. Sua aplicação somente foi acelerada com a publicação da Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA - *United States Environmental Protection Agency*) intitulada “*Carcinogenic Risk Assessment Guidelines*”, em 1976, e de trabalhos de remediação do solo na década de 80 (GALVÃO FILHO, 2001). Cunha (2008) define a avaliação de risco como o estudo que quantifica o risco à saúde humana, decorrente da exposição a uma ou mais substâncias químicas no meio ambiente.

A relação entre a intensidade da poluição ambiental e os potenciais riscos à saúde humana pode ser avaliada pela metodologia de avaliação de risco à saúde humana (*Risk Assessment Guidance for Superfund - RAGS*) proposta pela USEPA em 1989. Através dessa proposta é possível expressar o risco como uma estimativa numérica, permitindo estabelecer prioridade na ação em áreas impactadas, bem como avaliação de técnicas de remediação. Conforme a USEPA (1989), as quatro etapas gerais para a avaliação de risco consistem na coleta e avaliação dos dados, avaliação de toxicidade, avaliação de exposição e por fim a caracterização e quantificação dos riscos.

### 1. Spatial Analysis and Decision Assistance (SADA)

Em meados da década de 90, a Universidade do Tennessee, nos Estados Unidos, através de seu Instituto de Modelagem Ambiental desenvolveu o SADA (*Spatial Analyses and Decision Assistance* ou Assistente para Decisão e Análise Espacial), *software* de obtenção gratuita e que incorpora ferramentas de avaliação ambiental, entre as quais a avaliação de riscos ecológicos e à saúde humana (STEWART; PURUCKER, 2009). O SADA possibilita dentro de seu módulo de avaliação de risco à saúde humana o cálculo do risco de impactos adversos à saúde em uma população exposta a substâncias químicas tóxicas encontradas na água subterrânea, água superficial, solo e sedimento.

Os modelos de risco seguem o RAGS da USEPA e podem ser customizados para atender às condições de exposição específicas de cada local. A metodologia caracteriza o potencial para efeitos não carcinogênicos comparando um nível de exposição dentro de um período especificado, entendido como um aporte, com uma dose de referência para um período similar. O aporte é entendido como a massa de uma substância que entra em contato com a interface do organismo exposto por unidade de peso corporal ao longo de uma unidade de tempo (ex: mg alumínio/kg.dia). A caracterização dos efeitos carcinogênicos é feita por meio das probabilidades de um indivíduo desenvolver câncer durante o tempo de vida como resultado da multiplicação de uma estimativa de aporte diário por um fator de carcinogenicidade, específico de cada substância (USEPA, 1989). O fator de carcinogenicidade, que Sogabe (2006) denomina como declividade da potência carcinogênica, se refere a um valor de toxicidade que define quantitativamente a relação entre a dose e a resposta carcinogênica de cada composto (CETESB, 2009).

O SADA possibilita a avaliação de risco à saúde humana considerando cinco cenários de uso do local: residencial, industrial, recreacional, agricultura e mineração. A diferença na avaliação entre um cenário e outro são os valores de exposição do ser humano ao meio, bem como as vias de contaminação, como ingestão, inalação, contato dérmico, entre outras.

Yuracko *et al.* (1999) mencionam os ganhos de tempo e dinheiro para o Departamento de Energia dos Estados Unidos com o uso do SADA, agregando valor aos trabalhos pela simplificação de procedimentos padrão, como a análise estatística e risco a saúde humana. Dolislager (2007) descreve a utilização do *software* para avaliação de risco em uma área localizada em Knoxville, Tennessee (EUA) na qual empresas recebiam, processavam, armazenavam e faziam a remessa de sucata metálica, que incluía metal contaminado química e radiologicamente. Em decorrência dessas atividades verificou-se contaminação do solo, sedimento, água superficial e subterrânea. Durante os trabalhos de escavação no terreno foi constatada a presença de areia descartada de fundição.

## **2. Processo de fundição e o resíduo areia de moldagem**

Conforme Campos Filho (1978), o processo de fundição consiste basicamente na alimentação de metal líquido, na cavidade de um molde com o formato requerido, com subsequente resfriamento a fim de produzir um objeto sólido resultante de solidificação.

É possível compreender melhor sobre o processo de fundição seguindo a descrição feita por Oliveira e Costa (2008), sintetizada no Quadro 01.

Etapa	Descrição
Modelação	Confecção do modelo com o formato final da peça a ser fundida;
Moldagem	Confecção do molde com base no modelo;
Macharia	Confecção dos machos, necessários em determinados casos para proporcionar os espaços ocios ou vazios na peça;
Fusão	Obtenção do metal líquido;
Vazamento	Enchimento do molde com metal líquido;
Desmoldagem	Retirada da peça e remoção dos resíduos do molde.

**Quadro 01** – Descrição básica das etapas do processo de fundição.

**Fonte:** Adaptado de Oliveira e Costa, 2008.

Através do fluxograma da Figura 01, visualiza-se os resíduos gerados (destacados em verde) dentro do processo produtivo de uma fundição de ferro.

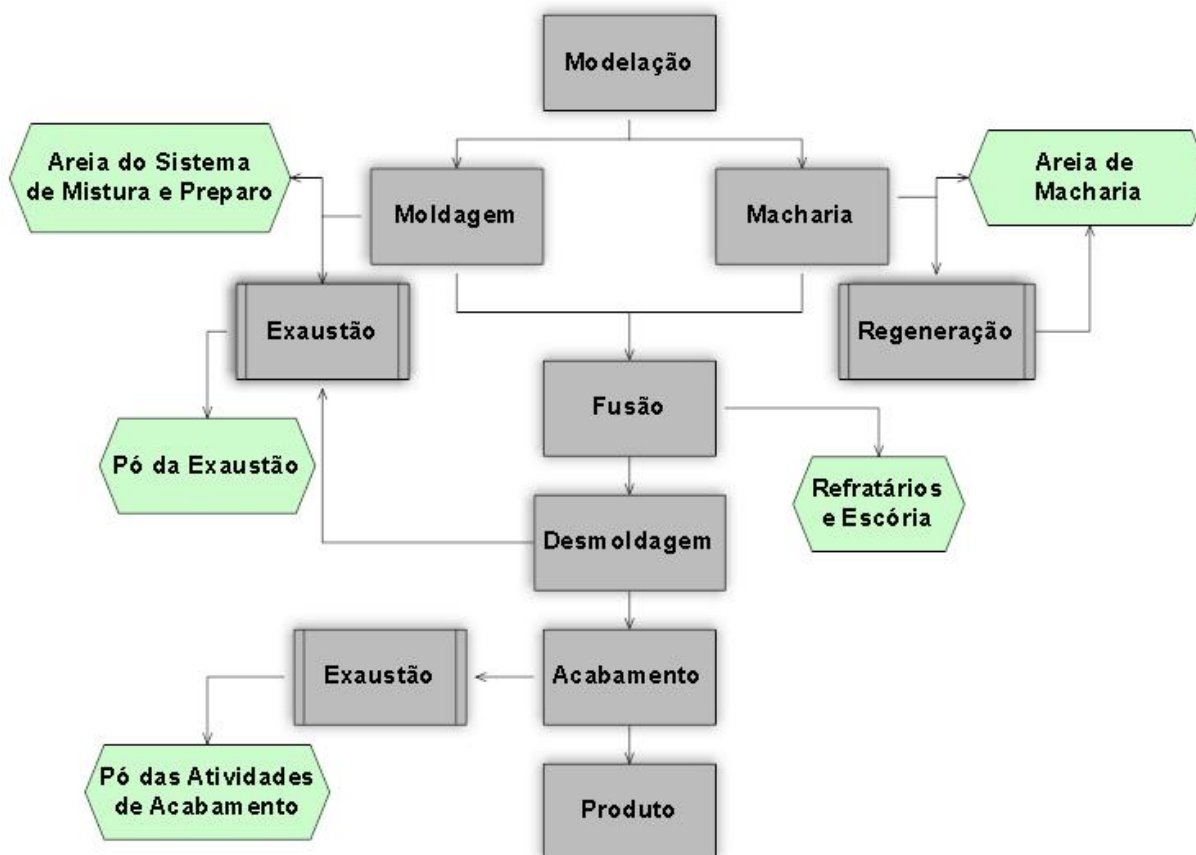


Figura 01 – Fluxograma do processo de fundição de ferro; em verde os resíduos gerados.

Fonte: Adaptado de Chegatti, 2004.

Com o vazamento do metal líquido no interior do molde e após sua solidificação, o mesmo é desagregado (desmoldado), e assim a peça fundida é separada da areia, que retorna quase que integralmente para a confecção de novos moldes. No entanto, ainda que ela retorne ao processo produtivo para confeccionar outros moldes, é preciso que se incorpore areia nova no processo, pois as novas tecnologias na confecção dos moldes requerem areias limpas (areias novas) (MARIOTTO, 2001).

A recuperação da areia só é possível se a mesma possuir as características específicas para retornar ao processo, caso contrário ela é enviada para aterro (FLORIDO, 2007). Para que se mantenha constante a quantidade total de areia em processamento em uma fundição, é necessário o descarte regular de uma quantidade de areia usada equivalente à de areia nova que entra no processo (WATANABE *et al. apud* FLORIDO, 2007).

Segundo a Associação Brasileira de Fundição - ABIFA (2006), a indústria de fundição apesar de utilizar sucata como matéria-prima para a fabricação de suas peças é grande geradora de resíduos sólidos. Dentre os resíduos gerados estão as areias fenólicas ou de macharia, areias de moldagem ou areia verde, pós da exaustão de fornos e atividades de acabamento e moldagem, refratários e escória (CHEGATTI, 2004).

Mariotto (2001) afirma que o volume de areia descartada pelas fundições anualmente no Brasil gira em torno de 2 milhões de toneladas, o equivalente a uma pirâmide com 200 m de altura. A areia que é descartada no processo de moldagem corresponde ao maior volume de resíduos gerados pela indústria de fundição, e apresenta características quantitativas e qualitativas diferenciadas, em função dos tipos de tecnologias de processos utilizados (BIOLO, 2003). De acordo com dados da ABIFA, as areias de moldagem representam aproximadamente 80% dos resíduos gerados no processo de fundição (SILVA, 2007). Tipicamente, para a produção de cada tonelada de ferro ou aço é requerida cerca de uma tonelada de areia (WINKLER; BOL'SHAKOV, 2000).

Para Bastian e Alleman *apud* Chegatti (2004), o resíduo de areia de moldagem é em sua maior parte constituído de areia, geralmente sílica, olivina, zircônio, cromita e outras areias básicas utilizadas. Segundo Silva (2007), estima-se que mais de 95% dos resíduos de areia de fundição de ferro são classificados como de Classe II-A (não perigoso e não inerte) conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Ainda assim, por sua grande geração, a areia de moldagem caracteriza-se como um grande problema ambiental para as empresas do ramo metal mecânico, tanto por sua classificação como resíduo não inerte quanto pela disposição em aterro de grandes volumes. Seus impactos ambientais também estão associados ao consumo de recursos naturais, como a areia, bentonita e pó de carvão, além da necessidade de criar locais para aterro desse resíduo (CHEGATTI, 2004).

O reuso deste resíduo, sempre atendendo a regulamentações, já é realizado em países como os Estados Unidos, Alemanha, Austrália, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França e Suécia. Sua aplicação varia desde a composição de mistura asfáltica, material de construção civil, cobertura final de aterros, fabricação de cimento e tijolos e até mesmo como aditivo em processos de compostagem (SILVA, 2007). Diante disso, a realização de uma avaliação de risco à saúde humana da areia de fundição se coloca como uma importante ferramenta para embasar estudos que visem à potenciais formas de reuso deste resíduo.

Deste modo, o presente trabalho objetivou estimar o risco à saúde humana do resíduo areia de moldagem de uma fundição de ferro, através do uso do *software* SADA e assumindo os dados toxicológicos e de exposição, referentes a um cenário de ocupação industrial, disponíveis na base de dados do próprio *software*.

## **METODOLOGIA**

### **1. Procedimento de coleta do resíduo de areia de moldagem**

A coleta de três amostras do resíduo areia de moldagem foi realizada no dia 16/06/2009, no ponto de descarte (Figura 02a) da areia de moldagem dentro de uma fundição de ferro em Joinville (SC), seguindo o procedimento da norma NBR 10.007:2004. Para cada uma das três amostras foram coletados aproximadamente 3 kg de resíduo.



**Figura 02** – Ponto de coleta das amostras (a); detalhe do resíduo no contentor de descarte (b).

**Fonte:** Autor (2009)

## 2. Parâmetros

A definição dos parâmetros químicos que foram analisados do resíduo areia de moldagem considerou os dados de tabelas constantes no Estudo das Características da Areia Descartada de Fundição – Da Matéria Prima ao Produto Final (FLORIDO, 2007) e informações provenientes do banco de dados relativos à classificação de Areias Descartadas de Fundição do Grupo de Trabalho de Reutilização da Resolução 011/08 do CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente/SC.

Assim, definiram-se os parâmetros alumínio, bário, cádmio, chumbo, cromo, fenol total, ferro, fluoretos, manganês e zinco para serem analisados em ensaios de massa bruta, haja vista que estes elementos determinaram a classificação dos resíduos de amostras de diferentes fundições como Classe II-A, segundo a NBR 10.004:2004.

## 3. Análise laboratorial

As amostras coletadas foram encaminhadas a um laboratório de análises credenciado a fazer os ensaios, e os métodos empregados para a análise constam no Quadro 02, bem como o limite mínimo de quantificação de cada composto na análise laboratorial.



**Quadro 02** – Parâmetros e métodos de análise laboratorial.

Parâmetro	Método analítico	Limite de quantificação (mg/kg)
Alumínio	Standard Methods 20ª Edição 3111 D	2,500
Bário	Standard Methods 20ª Edição 3111 D	5,000
Cádmio	Standard Methods 20ª Edição 3111 B	0,025
Chumbo	Standard Methods 20ª Edição 3111 B	0,250
Cromo total	Standard Methods 20ª Edição 3111 B	0,750
Fenol total	Standard Methods 20ª Edição 5530 reação com 4-aminopiridina	0,025
Ferro	Standard Methods 20ª Edição 3111 B	0,700
Fluoretos	EPA 300.1	2,200
Manganês	Standard Methods 20ª Edição 3111 B	0,120
Zinco	Standard Methods 20ª Edição 3111 B	0,200

#### 4. Inserção dos dados no SADA

Dispondo dos resultados das análises, utilizou-se o maior valor encontrado para cada parâmetro e assim os mesmos foram inseridos no SADA para que o *software* fizesse a combinação dos parâmetros analisados com a listagem de substâncias disponíveis na sua base de dados *default* (padrão). A adoção do maior valor se relaciona à busca por uma condição de pior cenário. Durante a etapa de identificação pelo *software* dos parâmetros analisados foi constatado que chumbo, fluoretos, fenol total e cromo total não constavam na base toxicológica utilizada. Os demais parâmetros o *software* conseguiu associar imediatamente (Figura 03).

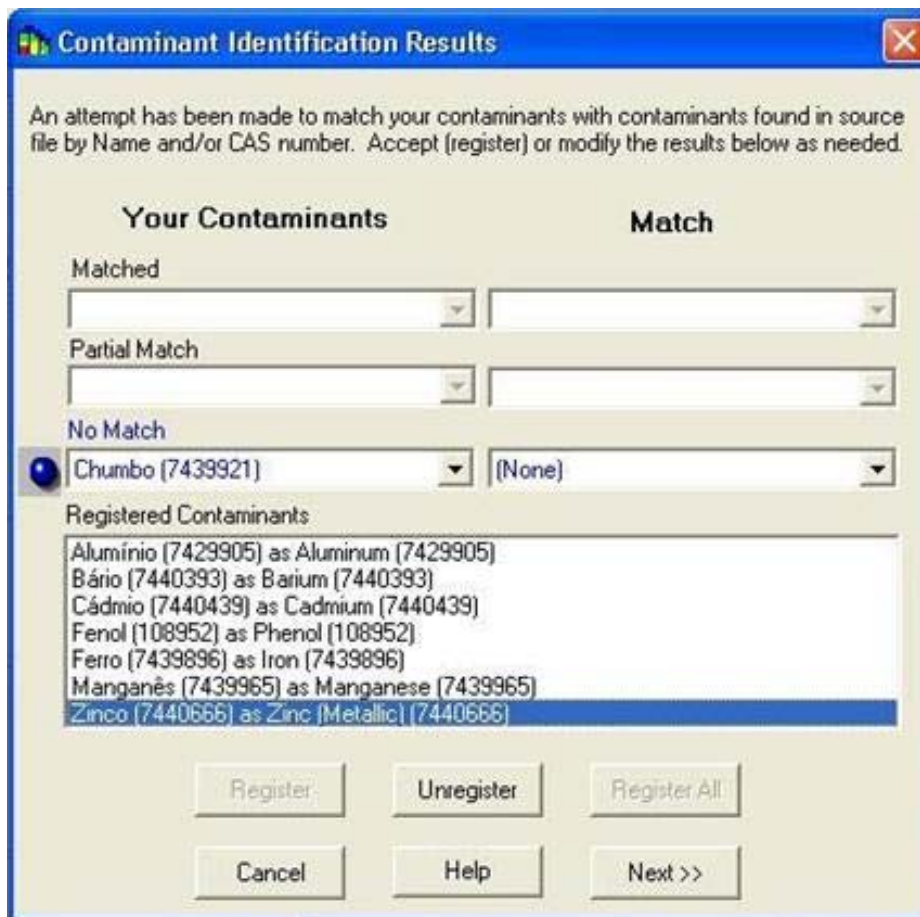


Figura 03 – Etapa de identificação das substâncias no SADA.

Quanto à presença de alguns compostos analisados, foram feitas algumas considerações. Em relação ao fenol total quantificado, o SADA não dispõe em sua base de dados informações relativas a fenol total, apenas para fenol e outros compostos fenólicos separadamente. Desta forma, verificou-se junto ao fabricante das resinas fenólicas empregadas no processo de fundição da empresa que os compostos fenólicos têm concentração pouco expressiva em relação à concentração de fenol na resina, assim, assumiu-se que o fenol total analisado corresponde ao composto fenol, para efeito de combinação com o parâmetro existente na base toxicológica do SADA.

Sobre o cromo, foi observado que na base de dados do SADA havia cromo III e cromo IV, e como não foi possível identificar qual deles possuía concentração mais significativa, que pudesse ser assumida como o valor encontrado para o parâmetro cromo total, e considerando que seu resultado da análise deste parâmetro ficou abaixo do limite de quantificação na análise em laboratório, optou-se por não incluí-lo na avaliação de risco.

Além do cromo total, ficaram abaixo do limite de quantificação para as três amostras os parâmetros: bário, cádmio, chumbo e fluoretos. Mesmo assim, dentro desses parâmetros aqueles com os quais o SADA conseguiu combinar com os compostos de seus bancos de dados, inseriu-se os valores do limite de qualificação, de modo a permitir uma avaliação mais restritiva.

## 5. Equações para cálculos dos riscos e aportes

O risco carcinogênico segundo a USEPA (1989) é expresso pela Equação 01:

$$Risco = Aporte_n \times SF \quad (\text{eq. 01})$$

Onde:

Risco = (adimensional) – risco carcinogênico

Aporte<sub>n</sub> = (mg/kg.dia) – dose de aporte para o cenário de exposição “n”

SF = (1/mg/kg.dia) – fator de carcinogenicidade

O risco não carcinogênico é avaliado por meio da comparação de um nível de exposição por período de tempo (dose de aporte) com uma dose de referência para um período de exposição similar, conforme a Equação 02.

$$HQ = \frac{I_n}{RfD_i} \quad (\text{eq. 02})$$

Onde:

HQ = (adimensional) – quociente de perigo não carcinogênico

I<sub>n</sub> = (mg/kg.dia) – dose de aporte para o cenário de exposição “n”

RfD<sub>i</sub> = (mg/kg.dia) – dose de referência para a via de ingresso “i”

O HQ assume que existe um nível de exposição (RfD) abaixo do qual provavelmente não ocorrem efeitos adversos a saúde de populações ou indivíduos expostos a uma concentração de um composto químico de interesse para a avaliação de risco (CETESB, 2009). Se o nível de exposição quantificado para o cenário de exposição

(dose de aporte) supera a RfD, ou seja, a relação  $I_r/RfD_i$  é maior que 1, existe perigo de ocorrência de efeitos não carcinogênicos diversos e deletérios à saúde humana, pois neste caso a dose de aporte é superior à dose de referência de aporte máximo considerada como limite seguro de absorção.

### 5. 1 Determinação do aporte do contaminante

O aporte para cada via de contaminação considerada requer o uso de fórmulas específicas. Elas são compostas por uma série de variáveis e fatores de conversão.

Os fatores de conversão presentes nas equações visam a facilitar o procedimento de cálculo, não requerendo assim transformações em membros da equação que habitualmente estão em uma unidade característica (ex: no aporte pela ingestão de solo/sedimento, a concentração é colocada em mg/kg; com o fator de conversão  $CF_1$ , não é necessário converter a unidade para mg/mg, que é pouco usual para este termo).

As Equações 03, 04 e 05 se referem ao cálculo do aporte para cada via de exposição considerada para o cenário de uso industrial, bem como os valores considerados pelo SADA para estas condições. As Tabelas 03, 04 e 05 trazem além das unidades de medida, a descrição e o valor considerado pelo SADA para cada variável.

Para identificar o aporte associado à ingestão de solo/sedimento utilizou-se a Equação 03, que considera a exposição à elementos químicos como os definidos neste trabalho, que não apresentam radioatividade.

$$Aporte = \frac{C_{sn} \times CF_1 \times EF \times FI \times ED \times IR}{CF_2 \times BW \times AT} \quad (\text{eq. 03})$$

**Tabela 03** – Informações sobre os termos da equação de aporte por ingestão de solo.

Termo	Unidade	Descrição	Valor adotado pelo SADA
Aporte	mg/kg.dia	Aporte pela ingestão de solo	-
$C_{sn}$	mg/kg	Concentração de contaminante no solo	-
$CF_1$	kg/mg	Fator de conversão	$10^{-6}$
EF	dias/ano	Frequência de exposição	250
FI	-	Fração ingerida na fonte	1
ED	anos	Duração da exposição	25

IR	mg/dia	Taxa de ingestão de solo e sedimento	100
CF <sub>2</sub>	dias/ano	Fator de conversão	365
BW	kg	Peso corporal	70
AT	anos	Tempo médio de exposição	70 (carcinogênicos); ED (não carcinogênicos)

O aporte relacionado à inalação de solo/sedimento baseou-se na Equação 04.

$$Aporte = \frac{C_{sn} \times EF \times ED \times M \times IR}{CF_2 \times BW \times AT} \quad (\text{eq. 04})$$

**Tabela 04** – Informações sobre os termos da equação de aporte por inalação de solo/sedimento.

Termo	Unidade	Descrição	Valor adotado pelo SADA
Aporte	mg/kg.dia	Aporte pela inalação de solo	-
C <sub>sn</sub>	mg/kg	Concentração de contaminante no solo	-
EF	dias/ano	Frequência de exposição	250
ED	anos	Duração da exposição	25
M	m <sup>3</sup> /kg	Fator de emissão de particulado	1360000000
IR	m <sup>3</sup> /dia	Taxa de inalação de solo	20
CF <sub>2</sub>	dias/ano	Fator de conversão	365
BW	kg	Peso corporal	70
AT	anos	Tempo médio de exposição	70 (carcinogênicos); ED (não carcinogênicos)

A via de exposição por contato dérmico com o solo teve seu aporte calculado por meio da Equação 05:

$$Aporte = \frac{C_{sn} \times CF_4 \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{CF_2 \times BW \times AT} \quad (\text{eq. 05})$$

**Tabela 05** – Informações sobre os termos da equação de aporte por contato dérmico com o solo/sedimento.

Termo	Unidade	Descrição	Valor adotado pelo SADA
Aporte	mg/kg.dia	Aporte por contato dérmico com o solo	-
C <sub>sn</sub>	mg/kg	Concentração de contaminante no solo	-

CF <sub>4</sub>	(kg/cm <sup>2</sup> )/ (mg/m <sup>2</sup> )	Fator de conversão	0,01
SA	m <sup>2</sup> /dia	Área superficial de pele para contato	0,316
AF	mg/cm <sup>2</sup>	Fator de aderência do solo na pele	1
ABS	-	Fator de absorção	0,01 (orgânico) 0,001 (inorgânico)
EF	dias/ano	Frequência de exposição	250
ED	anos	Duração da exposição	25
CF <sub>2</sub>	dias/ano	Fator de conversão	365
BW	kg	Peso corporal	70
AT	anos	Tempo médio de exposição	70 (carcinogênicos); ED (não carcinogênicos)

## 5.2 Avaliação de riscos

Para a avaliação de risco utilizou-se a abordagem mais conservadora em relação a concentração das substâncias analisadas, adotando-se o valor máximo encontrado de cada parâmetro nas três amostras.

As vias de contaminação para o cenário de uso industrial segundo o SADA são: solo, sedimento e água superficial. Sob este cenário assume-se que os trabalhadores estejam rotineiramente expostos ao meio contaminado. As exposições aos contaminantes, neste cenário, baseiam-se no tráfego sobre e no entorno do solo e sedimento contaminado que poderiam sofrer perturbações e propiciar emissões de particulados que poderiam ser inalados, ingeridos e entrar em contato com a pele dos trabalhadores.

Nesta avaliação não foi considerada a via de água superficial pelo fato de haver no módulo de ajuda sobre o *software* uma observação de que a ingestão de água é incomum considerando o cenário como industrial e por este motivo, para esta avaliação ela não foi considerada.

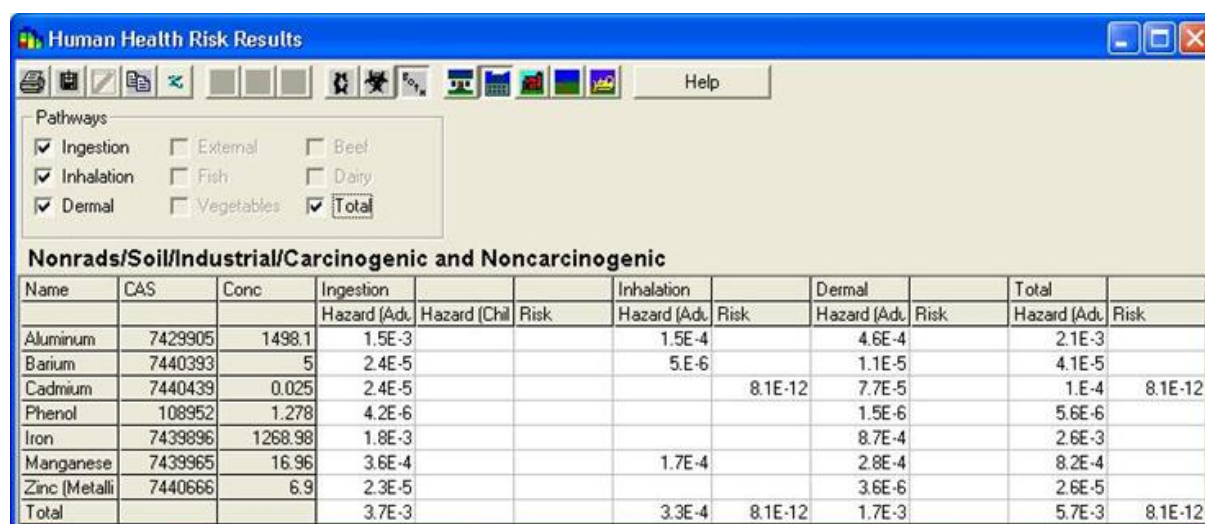
Os parâmetros presentes nas equações para cálculo do risco consideraram os valores disponíveis na base de dados toxicológicos e de cenários de exposição do *software* para o cenário de uso industrial, e não refletem o uso de roupa de proteção ou outras precauções de segurança (UNIVERSITY OF TENNESSEE, 2009).

O resultado do cálculo de risco carcinogênico é compreendido como o número adicional de casos de câncer em um certo grupo de pessoas expostas (ex: um caso adicional em um milhão de pessoas expostas é representado pelo SADA como 1,0E-6).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. Quantificação dos riscos

A Figura 04 mostra a janela do *software* com os resultados da análise de risco à saúde humana para o cenário de uso industrial.



The screenshot shows the 'Human Health Risk Results' window with the following table:

Nonrad/Soil/Industrial/Carcinogenic and Noncarcinogenic											
Name	CAS	Conc	Ingestion			Inhalation		Dermal		Total	
			Hazard (Adu)	Hazard (Chil)	Risk	Hazard (Adu)	Risk	Hazard (Adu)	Risk	Hazard (Adu)	Risk
Aluminum	7429905	1498.1	1.5E-3			1.5E-4		4.6E-4		2.1E-3	
Barium	7440393	5	2.4E-5			5.E-6		1.1E-5		4.1E-5	
Cadmium	7440439	0.025	2.4E-5				8.1E-12	7.7E-5		1.E-4	8.1E-12
Phenol	108952	1.278	4.2E-6					1.5E-6		5.6E-6	
Iron	7439896	1268.98	1.8E-3					8.7E-4		2.6E-3	
Manganese	7439965	16.96	3.6E-4			1.7E-4		2.8E-4		8.2E-4	
Zinc (Metalli)	7440666	6.9	2.3E-5					3.6E-6		2.6E-5	
Total			3.7E-3			3.3E-4	8.1E-12	1.7E-3		5.7E-3	8.1E-12

Figura 04 – Riscos carcinogênicos e não carcinogênicos calculados pelo *software*.

Os campos com os valores de risco calculados, mostrados na Figura 04, foram apresentados instantaneamente pelo SADA, bastando determinar as vias de exposição através das caixas de seleção e pressionar o ícone do cenário escolhido. Como o cenário de uso é o industrial, somente as vias de exposição por ingestão, inalação e contato dérmico estavam habilitadas para serem selecionadas.

### 2. Precisão

Os resultados dos cálculos de risco à saúde humana e do quociente de perigo não carcinogênico obtidos através do SADA para os parâmetros analisados estão reproduzidos na Tabela 06.

**Tabela 06** – Riscos carcinogênicos (RC) e não carcinogênicos (RÑC) da areia de moldagem.

Nome	CAS	Conc. (mg/kg)	Ingestão	Inalação		Dérmico	Total	
			RÑC	RÑC	RC	RÑC	RÑC	RC
Alumínio	7429905	1498,1	1,5E-3	1,5E-4		4,6E-4	2,1E-3	
Bário	7440393	5,00	2,4E-5	5,0E-6		1,1E-5	4,1E-5	
Cádmio	7440439	0,025	2,4E-5		8,1E-12	7,7E-5	1,0E-4	8,1E-12
Fenol	108952	1,278	4,2E-6			1,5E-6	5,6E-6	
Ferro	7439896	1268,98	1,8E-3			8,7E-4	2,6E-3	
Manganês	7439965	16,96	3,6E-4	1,7E-4		2,8E-4	8,2E-4	
Zinco	7440666	6,90	2,3E-5			3,6E-6	2,6E-5	
Total			3,7E-3	3,3E-4	8,1E-12	1,7E-3	5,7E-3	8,1E-12

Para comprovar que os cálculos executados e os riscos resultantes estavam corretos, os mesmos foram comparados com os valores encontrados através das estimativas feitas manualmente seguindo a mesma metodologia da USEPA (1989), com uso dos mesmos valores da base de dados do SADA.

A análise comparativa revelou que os resultados foram idênticos, validando assim o seu mecanismo na atividade de avaliação de risco à saúde humana para as condições consideradas.

### 3. Análise dos resultados

Na tabela 06 verifica-se que apenas o elemento cádmio apresentou risco carcinogênico, dentre os elementos avaliados, possuindo também risco não carcinogênico.

Os valores totais de risco carcinogênico e não carcinogênico, equivalentes a 8,1E-12 (ou 8,1 casos em 1 bilhão de pessoas expostas) e 5,7E-3, respectivamente, para o cenário escolhido, se encontram inferiores aos valores preconizados pela CETESB (2007), que considera valores-limite de 1E-5 (1 caso adicional de câncer em 100 mil pessoas expostas) para risco carcinogênico e 1 para não carcinogênico, ou seja, considerando a hipótese de uma área cujo solo apresenta as mesmas concentrações para os compostos analisados e sob o mesmo cenário (industrial) de exposição a mesma



não ofereceria riscos significativos à saúde humana, tanto em relação aos efeitos carcinogênicos quanto aos não carcinogênicos.

Proctor *et al.* (2002), utilizando a mesma metodologia da USEPA que o SADA emprega, realizaram avaliação de risco à saúde humana decorrentes do uso de escórias de indústrias siderúrgicas no meio ambiente nos Estados Unidos e os resultados não indicaram riscos significativos associados às aplicações dentro dos cenários considerados.

Também seguindo a metodologia da USEPA, Salvador e Moeri (2005) quantificaram os riscos à saúde humana em uma propriedade que era ocupada por uma antiga indústria do setor químico, na região metropolitana de São Paulo. Devido ao vazamento de tambores estocados nesse local que continham solventes orgânicos foi evidenciado um índice de risco carcinogênico de  $3,0E-3$ . Após remediação *in situ*, assumindo como nova ocupação na área a construção de estabelecimentos comerciais, o risco carcinogênico foi reduzido e a ocupação do local foi autorizada pelo órgão ambiental do estado de São Paulo, a CETESB.

#### 4. Análise de incertezas

Para realizar um trabalho de estimativa do risco à saúde humana são assumidas uma série de condições e considerações, que por sua vez culminam em incertezas. Embora a avaliação de risco tenha considerado um número limitado de parâmetros, e alguns dos parâmetros analisados não se encontravam nas bases de dados do SADA, assumiu-se em relação àqueles com os quais o *software* dispunha uma abordagem conservadora, com a avaliação de alguns parâmetros associando-os ao respectivo limite de quantificação da análise em laboratório, mesmo que sabidamente suas concentrações se caracterizassem como inferiores a esse valor.

Além disso, foram utilizados os dados de concentração de contaminantes presentes no resíduo em si, o que reflete uma condição mais restritiva em relação a uma amostra de solo que contivesse o resíduo de areia de moldagem, na qual haveria uma indeterminação sobre qual a influência do resíduo propriamente dito no resultado final, devido à mistura do solo local com a areia de moldagem.

As incertezas no trabalho de avaliação passam ainda pela consideração de apenas um cenário de exposição (industrial) e a adoção dos valores provenientes das bases de dados do SADA, que não representam em sua totalidade valores idênticos

àqueles que a CETESB utiliza, por exemplo, mas que são em sua maioria muito próximos.

Quando a mesma avaliação é feita utilizando os valores adotados pela CETESB em sua planilha de avaliação de risco para áreas contaminadas sob investigação, o risco carcinogênico é de  $9,1E-12$  e o não carcinogênico  $2,8E-3$ . Assim, o risco não alcança uma ordem de grandeza de diferença em ambos os casos, apresentando assim resultados relativamente semelhantes.

O SADA não dispõe de um recurso que aponte as incertezas relativas ao processo de estimativa do risco, cabendo ao avaliador determinar e gerenciar as mesmas de modo a complementar o trabalho de avaliação de risco.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para as condições consideradas, o resíduo areia de moldagem de fundição de ferro não ofereceu risco à saúde humana, tanto em relação a efeitos carcinogênicos quanto a não carcinogênicos, em um nível que pudesse exigir o uso de métodos de minimização da exposição a seus contaminantes.

Nesse sentido, estudos que estimem os riscos da exposição humana a contaminantes presentes no ambiente são fundamentais para tornar mais seguras as propostas de reuso de resíduos. Nesse sentido a avaliação de risco à saúde humana da areia de moldagem pode contribuir para o embasamento das propostas que visem a sua reutilização como forma de minimizar os impactos da extração de recursos naturais e dos impactos que decorrem da sua disposição em aterros. Estudos mais abrangentes, considerando outros cenários de exposição ou para um tempo de exposição maior ou menor, por exemplo, são necessários e terão como provável consequência a diminuição das incertezas relativas à avaliação de risco.

Em relação ao SADA, entre as vantagens observadas em sua utilização na avaliação de risco à saúde humana estão a precisão dos cálculos e o fato de permitir a estimativa do risco associado ao uso futuro de determinado local sob vários cenários. Desta forma, os resultados encontrados através do *software* podem dar assistência à tomada de decisão, orientando quanto ao tipo de ocupação mais adequada a um determinado local considerando os riscos encontrados.

A interface do *software* se mostrou amigável, e a utilização dos recursos disponibilizados pelo SADA por meio de módulos se mostrou vantajosa, pois habilita

apenas as ferramentas que serão efetivamente utilizadas em cada atividade, evitando o acúmulo de ícones na tela. O *menu* de ajuda ofereceu explicações de fácil compreensão sobre o seu mecanismo de funcionamento.

Foi evidenciada a velocidade com que a análise pode ser feita, quando em comparação com o modo tradicional, principalmente na etapa de cálculos e no uso de uma base toxicológica e de cenário de exposição já estabelecida. Assim, com os recursos que o SADA dispõe, as etapas de avaliação de toxicidade, avaliação de exposição e também a caracterização e quantificação dos riscos podem ser executadas de forma otimizada e simplificada.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). Areias de Fundição de Ferro Descartadas (AFFD). *Revista Fundição & Matérias-Primas*, vol. 78, set. 2006.

BIOLO, S. M. Utilização da areia de fundição na fabricação de blocos cerâmicos. *Revista Fundição & Matérias Primas*, p. 54-59, maio-jun. 2003.

CAMPOS FILHO, M. P. de. *Solidificação e fundição de metais e suas ligas*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

CHEGATTI, S. *Aplicação de resíduos de fundição em massa asfáltica, cerâmica vermelha e fritas cerâmicas*. 2004. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Decisão de Diretoria N°103/2007/C/E*. jun. 2007. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/proced\\_gerenciamento\\_ac.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/proced_gerenciamento_ac.pdf)>.

Acesso em: 13 ago. 2009.

\_\_\_\_\_. *Avaliação de risco à saúde humana*. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/Capitulo\\_IX.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/Capitulo_IX.pdf)>. Acesso em: 13 ago. 2009.

CUNHA, I. A. Gerenciamento de riscos ambientais e a política de proteção dos

mananciais em São Paulo. *INTERFACEHS: Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 1-15, ago.-dez. 2008. Disponível em: <[http://www.interfacehs.sp.senac.br/images/artigos/168\\_pdf.pdf](http://www.interfacehs.sp.senac.br/images/artigos/168_pdf.pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2009.

DOLISLAGER, F. *Use of SADA Software at David Witherspoon Inc. 901 Site*. 2007. Disponível em: <[http://hps.org/documents/2007\\_midyear\\_program.pdf](http://hps.org/documents/2007_midyear_program.pdf)>. Acesso em: 29 jul. 2009.

FERNANDES NETO, M. L.; SARCINELLI, P. N. Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição ao processo de atualização da legislação brasileira. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 69-78, jan.-mar. 2009.

FLORIDO, C. *Estudo das características da areia descartada de fundição: da matéria-prima ao produto final*. 2007. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

GALVÃO FILHO, J. B. Gestão de risco ambiental. *Banas Ambiental*, São Paulo, v. 2, n. 12, p.32-41, jun. 2001.

MARIOTTO, L. C. *Regeneração de Excedentes de Areias de Fundição*. In: SEMINÁRIO LATINO- AMERICANO DE FUNDIÇÃO, Belo Horizonte, 2001, *Anais...* Belo Horizonte: ABIFA, 2001.

OLIVEIRA, T. M. N.; COSTA, R. H. R. *Areia de fundição: uma questão ambiental*. 2008. Disponível em: <[http://residuosindustriais1.locaweb.com.br/index.php/?fnc=baixar\\_artigo&file=AREIA%20DE%20FUNDI%20C3O%20-%20UMA%20QUEST%20C3O%20AMBIENTAL.pdf](http://residuosindustriais1.locaweb.com.br/index.php/?fnc=baixar_artigo&file=AREIA%20DE%20FUNDI%20C3O%20-%20UMA%20QUEST%20C3O%20AMBIENTAL.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2009.

PROCTOR, D. M. *et al.* Assessment of human health and ecological risks posed by the uses of steel-industry slags in the environment. *Hum Ecol Risk Assess*, [S. l.], v. 8, n. 4, p.

681-711, out. 2002.

SALVADOR, M. C.; MERI, E. N. Nova ocupação de uma área industrial urbana em São Paulo durante o processo de remediação in situ. In: MOERI, E.; RODRIGUES, D. (Comp.). *Áreas contaminadas: remediação e redesenvolvimento*. São Paulo: Signus, 2005. p. 71-77.

SILVA, T. C. da. *Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição*. 2007. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOGABE, M. N. Avaliação e gerenciamento de risco. In: VILELA JÚNIOR, A.; DEMAJOROVIC, J. (Org.). *Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações*. São Paulo: Senac, 2006. p. 219-246.

STEWART, R. N.; PURUCKER, S. T. SADA: *A Freeware Decision Support Tool Integrating GIS, Sample design, Spatial Modeling, and Risk Assessment*. Disponível em: <[www.iemss.org/iemss2006/papers/s3/378\\_Stewart\\_1.pdf](http://www.iemss.org/iemss2006/papers/s3/378_Stewart_1.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part A*. December, 1989.

UNIVERSITY OF TENNESSEE. SADA, versão 5. Knoxville: University of Tennessee, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *IPCS risk assessment terminology*. Geneva: Who, 2004. (Harmonization Project Document).

WINKLER, E. S.; BOL'SHAKOV, A. A. *Characterization of foundry sand waste Massachusetts*: Chelsea Center for Recycling and Economic Development, 82 p., October, 2000. (Technical Report number 8).

YURACKO, K. L. *et al. The life cycle analysis toolbox*. 1999. Disponível em:

<<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/3925-eRblgV/webviewable/3925.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2009.