

VI - 068 - RESÍDUO AREIA FENÓLICA: AVALIAÇÃO IMPACTOS AMBIENTAIS NO SOLO, ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS.

Suzete Schneider Nunes ⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade do Vale dos Sinos. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Kely Boscato Pereira ⁽²⁾

Engenheira Ambiental e Sanitária. pela Universidade Luterana do Brasil.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Henrique Dienstmann,56 - Bairro União, Dois Irmãos, 93950-000 -RS - Brasil - Tel: (51) 998863937- e-mail: suzi.schneider@gmail.com.

RESUMO

A indústria de fundição utiliza quantidades elevadas de areia, gerando um montante considerável de resíduo a ser descartado. Na sua grande maioria após utilização a Areia Fenólica-AF acaba sendo descartada no pátio das empresas devido ao elevado custo para disposição em aterros industriais. A AF é classificada pela ABNT NBR 10004 como Resíduo Classe I- Perigoso, devido à presença de formaldeído e fenol que conferem periculosidade ao resíduo. Trabalhos analisando áreas onde houve o descarte, e amostras desse resíduo demonstraram que os níveis de contaminantes não ultrapassam os limites exigidos pela legislação, surgindo assim um questionamento quanto à classificação do resíduo areia fenólica usada em fundição. Este trabalho avaliou se existe uma correlação entre os compostos contaminantes encontrados na AF e os encontrados no solo e água superficial numa área com depósito temporário desse resíduo. As amostras de AF apresentaram parâmetros acima dos estabelecidos pela NBR 10006:2004 para fluoreto e fenol. O fenol não foi encontrado nas amostras de solo e água. No solubilizado da amostra de solo Divisa, o fluoreto ficou acima (3,8mg/L) do limite estipulado pela Norma que é de 1,5mg/L, sugerindo que para este parâmetro o resíduo possa estar contribuindo para o aumento deste composto no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Fundição, areia fenólica, contaminação, monitoramento ambiental.

INTRODUÇÃO

O aumento das exigências ambientais com relação à geração e descarte dados aos resíduos ambientais vem tomando importância em função da degradação ambiental. Esta degradação está diretamente relacionada ao aumento da produção e ao consumo pela sociedade.

Neste contexto, a indústria de fundição pode ser considerada como paradoxal, pois, ao mesmo tempo em que é uma indústria recicladora, quando recicla sucata metálica em seu processo produtivo em substituição ao metal primário (ferro gusa) minério, também utiliza enormes quantias de recursos naturais não renováveis, como a areia-base de sílica (quartzo), gerando um montante considerável de resíduo a ser descartado (CILLA; MORELLI, 2011).

Conforme a Associação Brasileira de Fundição - ABIFA (2010), o Brasil gera em torno de dois milhões de toneladas anuais de resíduo "Areia Descartada de Fundição (ADFs)", evidenciando-se como objeto de grande preocupação, pois representam o resíduo de maior volume produzido pelas fundidoras no Brasil, volume esse, maior que o de todos os outros resíduos de fundição.

A possibilidade de recuperação, regeneração e reaproveitamento adequado das ADFs, além de reduzir ou eliminar a necessidade de sua disposição em aterros industriais, diminui o risco de acidentes ambientais, gera economia com a substituição parcial desse insumo no processo produtivo, reduz a demanda de energia para a sua extração e reduz custos com o transporte desde a sua extração até a indústria (ADEGAS; BERNARDES, 2008).

A indústria de fundição utiliza quantidades elevadas de recursos naturais não renováveis, como a areia base de sílica (quartzo), gerando um montante considerável de resíduo a ser descartado. Parte dessa areia denominada de areia verde (AV) é inserida no processo de produção novamente, após um processo convencional de recuperação ou enviada como matéria-prima para outros setores, principalmente na construção civil. Outra

parte denominada de areia fenólica usada de fundição (AFUF) segue para disposição em aterros industriais licenciados. A AFUF é classificada pela ABNT NBR 10004:2004 como Resíduo Classe I- Perigoso, devido à presença de formaldeído e fenol que conferem periculosidade ao resíduo. Estudos analisando áreas onde houve a disposição, e amostras desse resíduo demonstraram que os níveis de contaminantes não ultrapassam os limites exigidos pela legislação, surgindo assim um questionamento quanto à classificação do resíduo AFUF. Com base na importância do tema, o Brasil publicou em setembro de 2011 a ABNT NBR 15984:2011 – Areia Descartada de Fundição- Central de Processamento, Armazenamento e Destinação – (CPAD), fundamentada em outras normas já existentes para dar diretrizes às formas como as ADFs podem ser gerenciadas, armazenadas e dispostas.

AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO - ADF

As areias de fundição são matérias - primas utilizadas para a confecção de moldes e machos para fundição. De acordo com Fagundes et al., podem ser divididas em dois grupos genéricos: as areias verdes e as areias ligadas quimicamente. Quando são encaminhadas para descarte são identificadas como “Areia Descartada de Fundição-ADF”

O resíduo sólido ADF é uma preocupação ambiental global, tanto que em março de 2006, a *American Foundry Society* (AFS) em parceria com a *Environmental Protection Agency* (EPA), lançou um projeto de *benchmarking*, para colher informações sobre as ADFs nas indústrias dos Estados Unidos (ABIFA). Segundo dados da *American Foundry Society* (AFS)⁹ até 2007 as 2.000 fundições dos Estados Unidos geraram 9,4 milhões de toneladas de areias a serem descartadas, e desse total, somente 28% foram beneficiadas (DAYTON et al.). Esse dado coloca o Brasil num patamar de destaque no cenário de beneficiamento da ADF, visto que as empresas de médio e grande porte recuperam 90% desse resíduo. A relevância ambiental referente a este resíduo deve-se ao fato de poder conter contaminantes como metais pesados e resinas utilizadas na fabricação dos machos e moldes, o que pode torná-las um resíduo perigoso, e assim deve ser disposta em aterros industriais licenciados (MORAES et al.).

Com base na importância do tema, o Brasil publicou em setembro de 2011 a ABNT NBR 15984:2011 – Areia Descartada de Fundição- Central de Processamento, Armazenamento e Destinação – (CPAD), fundamentada em outras normas já existentes para dar diretrizes às formas como as ADFs podem ser gerenciadas, armazenadas e dispostas.

AREIA FENÓLICA – AF

As areias fenólicas são formadas, segundo Fagundes et al., por material refratário (areia), materiais ligantes como resinas derivados de benzeno, fenol e furano, catalisador e aditivos (óxido de ferro). Os moldes confeccionados com resina fenólica geralmente têm uma coloração mais clara que os confeccionados com AV, em função da adição da resina, conforme mostra a Figura 1. De acordo com Scheunemann, o termo resina fenólica é empregado para se referir a uma grande variedade de produtos que resultam da reação de fenóis com aldeídos.



Fonte: A autora

Figura 1 - Moldes: A) do tipo AF. B) do tipo AV.

Este tipo de molde apresenta uma quantidade de resina fenólica adicionada que varia de 3 a 10%. Para a reciclagem, as areias ligadas com ligantes orgânicos requerem processos mais específicos e equipamentos mais complexos, uma vez que estas misturas possuem uma especificação de matérias-primas mais exigentes para processos de recuperação. A literatura propõe para a areia de fundição ligada com resina fenólica alcalina os tratamentos mecânicos associados aos processos térmicos (ANDRADE et al.).

A adição da resina na areia de moldagem pode resultar numa mistura bastante tóxica. O formaldeído, fenol, e outros compostos fenólicos estão listados no Anexo C e no Anexo E da ABNT NBR 10004:2004, como substâncias que conferem periculosidade e toxicidade ao resíduo. Estes componentes também são classificados pelo Manual de produtos químicos da Merck como altamente cancerígenos e mutagênicos o que justifica a importância de estudos de impacto ambiental com este resíduo (CUNHA).

Segundo Silva et al., considerando os efeitos toxicológicos do fenol, a concentração na água subterrânea é limitada em 10µg/L e 5, 10 e 15 mg/kg em solos de áreas agrícolas, residenciais e industriais, respectivamente.

Tendo em vista a sua toxicidade, tempo de permanência no ambiente e os teores frequentemente encontrados em resíduos industriais, solos e águas naturais, a União Européia e a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA)⁽¹⁵⁾ incluíram os compostos fenólicos na lista de poluentes prioritários a serem analisados para avaliação de impactos ambientais (MOREIRA).

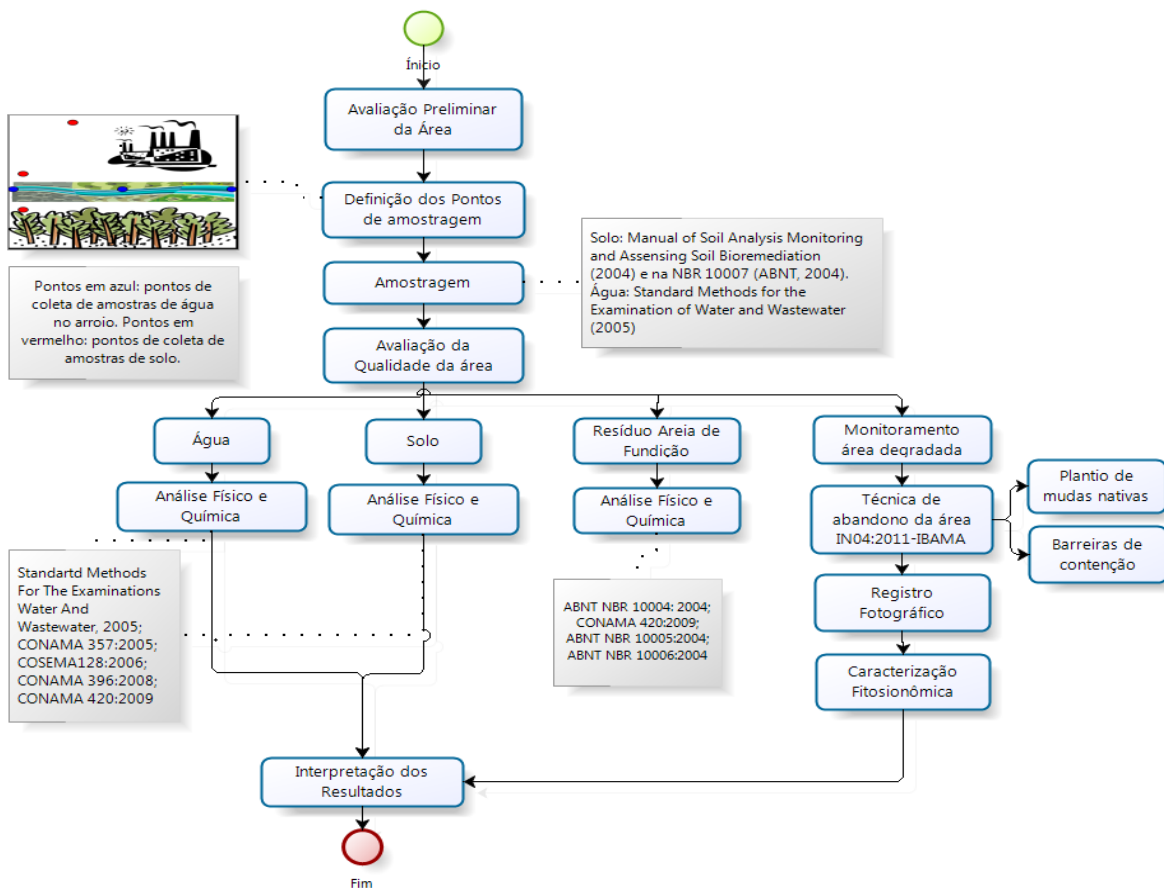
OBJETIVO:

O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos ambientais associados ao resíduo da areia fenólica usada de fundição (AFUF) e verificar se existe uma correlação entre os compostos químicos encontrados na AFUF e os encontrados no solo, águas superficiais e subterrâneas, na área onde ocorre a disposição temporária do resíduo.

METODOLOGIA E MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho (Figura 2) compreendeu a coleta de amostras de solo, águas superficiais e subterrâneas. Foram realizadas três coletas de solos em sítios diferentes, sendo duas coletas realizadas em locais que foram submetidos à disposição de resíduos sólidos de areias de indústria de fundição e uma terceira, em uma região considerada menos impactada por atividade antrópica, que serviu como referência do solo local. As amostras de águas superficiais foram coletadas a montante, a jusante e junto à saída de um cano que desemboca no arroio que passa dentro da propriedade do empreendimento, localizado nos fundos da empresa. De acordo com o proprietário, trata-se de um cano para escoamento de águas pluviais. Também foram coletadas amostras do resíduo AFUF geradas no processo de produção e água de poço artesiano localizado no pátio da empresa.

A empresa está localizada em São Sebastião do Caí, dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Caí. A região é formada por uma base arenítica coberta por derrames de basalto. Predominam os solos: Planossolo hidromórfico e Neosolo (Steck, 2008) Encontra-se nas regiões fisiográficas da Depressão Central e parte na Encosta da Serra (SOUZA e BINKOWSKI,2011). A formação vegetal é do tipo Floresta Estacional Decidual (RAMBO, 2001).



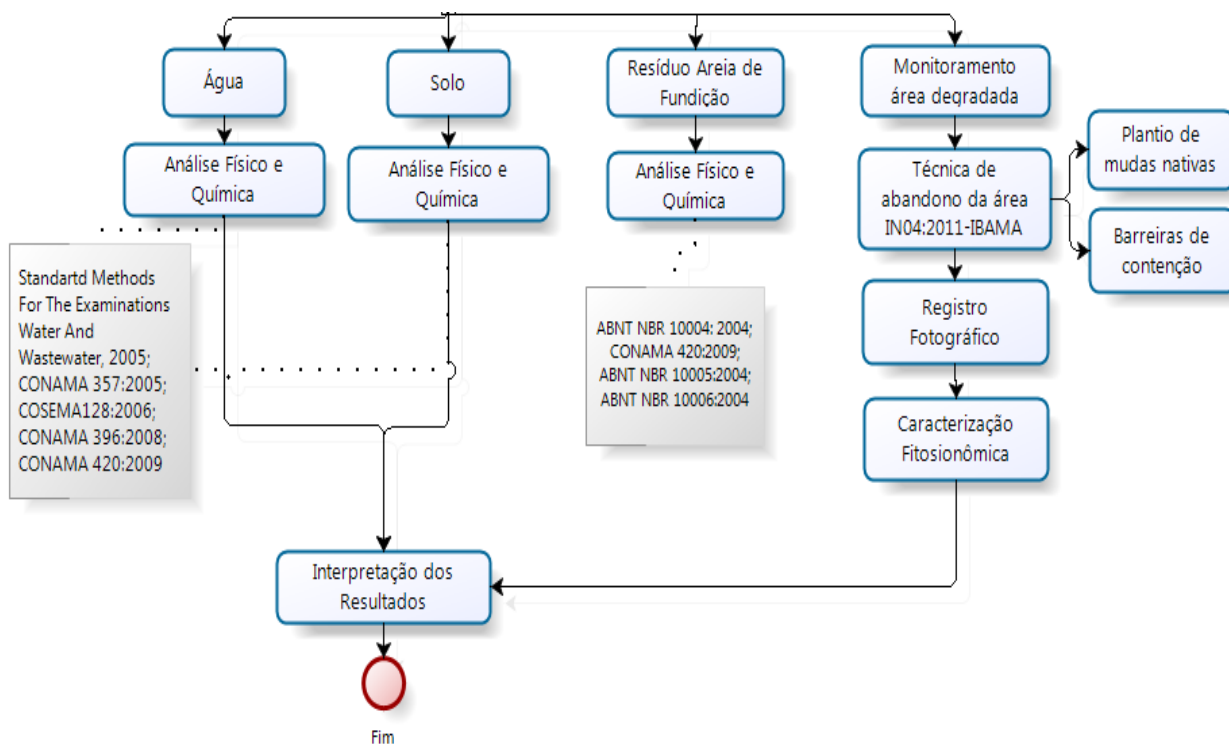
Fonte: Autor

Figura 2 – Esquema de metodologia.

No material amostrado (Figura 3) foram avaliadas as concentrações dos metais Al, Fe, Cr total, as concentrações de Fenol, Formaldeído, BFA e os parâmetros físico-químicos (DBO, OD, pH, DBO5, Dureza Total, Cloretos, Nitrogênio Total, Sólidos Suspensos, Sólidos Totais, Turbidez). A escolha destes metais e demais compostos se baseou no conhecimento dos processos de produção da indústria (Figura 4) e, consequentemente, nos resíduos gerados e depositados sobre o solo (Figura5).



Figura 3. Coleta do material contendo Resina Fenólica para caractrização



Fonte: Autor

Figura 4- Processos de produção da indústria



Figura 5 - A) Descarte do resíduo AF no pátio da empresa. B) Descarte de resíduo de AF até a margem do arroio.

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO RESÍDUO DE AREIA FENÓLICA (AF)

Nenhum dos parâmetros excedeu os limites da ABNT NBR 10005: 2004. Nenhuma das amostras foi classificada como Classe I – Perigoso de acordo com os parâmetros analisados no lixiviado conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 Resultado do lixiviado para AF

Lixiviado/Parâm.	UNID.	Limite de Detecção	Preparada	Desmoldada	Destorroadada	Regenerada	Finos	NBR 10005 (mg/L)-F
Arsênio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	1
Bário	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	70
Cádmio	mg/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,5
Chumbo	mg/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	1
Cromo Total	mg/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	5
Mercúrio	mg/L	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1
Prata	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	5
Fluoreto	mg/L	0	0,685	0,724	0,782	0,423	2,27	150
Selênio	mg/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	1

Fonte: autor

Na tabela 2 o resultado da análise solubilizado demonstrou que as amostras do resíduo AF apresentaram parâmetros acima dos estabelecidos pela NBR 10006:2004 para fluoretos e fenol.

Tabela 2. Resultado do solubilizado para AF.

Solubilizado	UNID.	Limite de Detecção	Preparada	Desmoldada	Destorroadada	Regenerada	Finos	NBR10006 (mg/L)-G
Alumínio	mg/L	0,2	0,719	0,685	51,98	13,82	21,3	0,2
Arsênio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,01
Bário	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7
Cádmio	mg/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,005
Sódio	mg/L	0,001	0,556	185,9	1,28	0,718	4,931	200
Cobre	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,031	2
Zinco	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	0,011	<0,0015	0,201	5
Chumbo	mg/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,01
CromoT	mg/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,05
Ferro	mg/L	0,03	0,328	0,455	17,72	4,457	17,36	0,3
Manganês	mg/L	0,0015	0,02	0,014	0,038	0,008	0,043	0,1
Mercúrio	mg/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,01
Fenol	mg/L	0,001	1,15	<0,001	0,817	1,33	1,003	0,01
Nitrato	mg/L	0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	1,66	10
Cianeto	mg/L	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,07
Sulfato	mg/L	1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	47	250
Surfactantes	mg/L	0,01	0,397	0,191	0,171	0,243	0,16	0,5
Cloreto	mg/L	0	17,3	20,8	13,8	10,4	177,1	250
Fluoreto	mg/L	0	2,64	2,84	3,88	1,83	0	1,5
Prata	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,05
Selênio	mg/L	0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01

Fonte: autor

As análises das amostras do resíduo AFUF para classificação de resíduos, de acordo com a ABNT NBR 10004:2004 demonstram que nenhum dos parâmetros do extrato lixiviado para as amostras de AFUF,

As análises das amostras do resíduo AFUF para classificação de resíduos, de acordo com a ABNT NBR 10004:2004 demonstram que nenhum dos parâmetros do extrato lixiviado para as amostras de AFUF, excedeu os limites estipulados pela ABNT NBR 10005: 2004, considerando que nenhuma das amostras foi classificada como Classe I – Perigo de acordo com os parâmetros analisados.

Diferente do resultado apresentado para o lixiviado, onde todos os parâmetros ficaram dentro dos limites, o extrato solubilizado das amostras em estudo apresentou alguns valores que excederam os limites da ABNT NBR 10006:2004. São eles: Fenol, Fluoreto, Al e Fe. O fenol exceder o limite permitido no extrato solubilizado, deve-se ao fato da amostra conter resina formada por compostos fenólicos como parte integrante da matéria-prima que compõem a AFUF.

As amostras analisadas foram classificadas pela NBR 10004:2004 como Resíduo Classe II-Não Inertes nos ensaios de classificação de resíduos, pois nenhuma substância excedeu os limites da norma para lixiviação e quatro substâncias (Fenol, Fluoreto, Fe e Al) excederam os limites da norma para solubilização. De acordo com a ABNT NBR 10004:2004 a areia de fundição é classificada como resíduo não perigoso (ABNT, 2012).

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA

Os valores obtidos para os parâmetros Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos (SS), Nitrogênio(N), Dureza, Turbidez, pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fenol, Formaldeído, Metais (Al,Fe,Cr) e Temperatura estão representados na Tabela 18. Estes parâmetros e os resultados da análise microbiológica serviram de base para o cálculo do IQA.

As análises realizadas nas amostras de água, considerando-se P1 e P3, demonstram valores elevados para DBO, mas mantiveram estáveis, e dentro dos limites os valores para OD. Segundo a Resolução CONAMA 357:2005, limites de DBO estabelecidos pela Resolução para as águas doces de classes 2 e 3, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de auto depuração do corpo receptor demonstre que as concentrações mínimas de OD não serão desobedecidas. Esse comportamento pode ser observado nos resultados para as amostras de água desse estudo, com exceção dos meses de outubro/2011 e julho/2012 para os três pontos de coleta. Para as amostras no ponto P3, o OD ficou dentro do limite apenas nos meses de novembro/2011, Março e Maio/2012

COLIFORMES TERMOTOLERANTES

A investigação de Coliformes Totais e *E. coli* (Termotolerantes) para os pontos de amostragem de águas superficiais são apresentados na Tabela 3.

Tabela 03. Análise microbiológica. LD >2419,2 NMP/100 ml. Resultado expresso em $\times 10^5$.

Mês	Montante		Cano		Jusante	
	C.Totais	<i>E.coli</i>	C.Totais	<i>E.coli</i>	C.Totais	<i>E.coli</i>
ago/11	1	0	272,3	34,5	0	0
set/11	2	0	1986,3	129,1	6,3	0
out/11	13	1	2419,2	203,4	7,4	4,1
nov/11	9,8	1	1119,9	72,8	9,7	1
jan/12	6,3	0	2419,2	50,4	16	3,1
mar/12	28,2	1	2419,2	25,3	23,3	0
mai/12	28,8	0	2419,2	26,9	14,8	0
jul/12	14,8	1	410,6	103,9	16,1	0

Fonte: Autor

Segundo Piasentin et al.(2009), a aplicação da bactéria coliforme fecal *E.coli* (termotolerante) para indicar poluição sanitária mostra-se mais significativo que o uso da bactéria coliforme total, porque as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente. A presença de coliformes termotolerantes em

um manancial é um indicador de contaminação recente, oriunda principalmente de despejo de esgoto doméstico e da presença de animais próximos às margens do manancial (RODRIGUES et al., 2012). A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratífóide, desinergia bacilar e cólera.

Estes resultados e com base na Resolução CONAMA 357:2005 que limita em 4.000mg/L a presença de Coliformes Totais em corpos de água para a classe 4, permitem afirmar que o ponto Cano trata-se de efluente sanitário e não água pluvial como informado pela direção da empresa. A quantidade verificada de *E. Coli* para o ponto Jusante pode ser atribuída ao ponto Cano, comprometendo assim a qualidade da água e servindo de parâmetro para classificação das águas do arroio em estudo como Classe 4 segundo a Resolução CONAMA 420:2009.

Nos três pontos de coletas durante o período amostral o pH oscilou entre 6,83 e 8,56, mantendo-se, portanto dentro dos parâmetros estipulados pelo CONAMA 357:2005.

Importante ressaltar que nos casos onde a água for rica em carbonatos (maior alcalinidade) oriundos principalmente das calagens de solos, e aqui no caso a disposição de um resíduo alcalino, o gás carbônico se combina a esses sais, transformando-os em bicarbonatos, os quais formam uma solução tampão, com maior capacidade de manter um quadro mediano dos valores de pH (BASCARÁN, 1979 apud RIZZI, 2001).

Segundo Guimarães (2007), de um modo geral, a solubilidade de muitos metais aumenta com o decréscimo do pH, havendo relação direta entre este e a solubilidade, ou seja, quanto mais ácido for o pH do meio, maior será a mobilidade destes elementos. Como o pH das amostras de água apresentou-se mais alcalino, sugere-se ser este o fator que contribuiu para a detecção de metais (Al e Fe) na água do arroio. Para o elemento Al a maioria das amostras ficou acima do limite permitido pela Resolução CONAMA 357:2005 que é de 0,2mg/L, e que pode também estar relacionado a característica do solo da região, que contém altos teores de Al. Para o elemento Fe somente a amostra Cano ficou superior (acima de 5,mg/L) nos meses de Agosto, Setembro, Outubro e Novembro (CONAMA, 2011). O formaldeído foi detectado em apenas uma amostra (Cano) no mês de março, sem que fosse possível levantar uma hipótese plausível para este resultado.

CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO SOLO

As amostras de solo apresentaram teores elevados de Al e Fe. No solubilizado da amostra de solo proveniente dos locais submetidos à disposição de resíduo sólido de área de indústria de fundição, o fluoreto ficou acima (3,8mg/L) do limite estipulado pela Norma que é de 1,5mg/L, sugerindo que para este parâmetro o resíduo possa estar contribuindo para o aumento deste composto no solo.

No extrato lixiviado todos os parâmetros analisados se mantiveram dentro dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 10004:2004 e CONAMA 420:2009 para solos (Tabela 4). Entretanto, é importante ressaltar que mesmo estando abaixo do limite da norma, o teor de chumbo obtido no lixiviado da amostra do D1 [Muro] foi o maior percentual determinado. Este resultado sugere que a presença de chumbo em maior quantidade neste local possa estar relacionada à sua proximidade com a indústria.

Tabela 4. - Resultados para Lixiviado do solo conforme NBR 10005:2004.

LIXIVIADO	UNID	Limite de Detecção	Muro	Divisa	Referência	NBR 10005 (mg/L)-F
Prata	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	5
Arsênio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	1
Bário	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	70
Cádmio	mg/L	0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	0,5
Chumbo	mg/L	0,04	0,589	<0,04	<0,04	1
Cromo total	mg/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	5
Mercúrio	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,1

Selênio	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	1
Fluoreto	mg/L	0,05	1,41	1,22	7,35	150

Fonte: Autor

No extrato solubilizado os elementos Al, Fe e o Fluoreto excederam os limites estabelecidos pela ABNT NBR 10006:2004 (Tabela 06). Ressaltam-se controvérsias em relação ao Al e Fe em termos de quantidade destes metais no solo. Tabelas de interpretação de diferentes instituições e normas não quantificam estes metais por considerarem de ocorrência natural. Os Valores de Referência de Quantificação (VRQs) do solo para substâncias químicas naturalmente presentes devem ser estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal, em até quatro anos após a publicação da resolução CONAMA 420:2009. O Rio Grande do Sul não possui ainda regulamentação para estes parâmetros, assim, utilizaram-se os valores do Estado de São Paulo que são os mesmos do CONAMA 420:2009.

Tabela 6 - Resultados para Solubilizado do solo conforme NBR 10006:2004.

Solubilizado	UNID.	LD	Solo (D1)	Solo (D2)	Solo (Referência)	NBR 10006 (mg/L)-F
Parâmetro						
Prata	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,05
Cloretos	mg/L	1,5	13,7	10,3	13,7	250
Nitratos	mg/L	0,2	<0,20	1,58	0,284	10
Fenol	mg/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,01
Sulfatos	mg/L	2	<, 2,0	<2,0	<2,0	250
S.Surfactantes	mg/L	0,06	<0,06	<0,06	<0,006	0,5
Alumínio	mg/L	0,1	5,72	171,00	13,3	0,2
Arsênio	mg/L	0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	0,01
Bário	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7
Cádmio	mg/L	0,0008	<0,0008	<0,0008	<0,0008	0,005
Chumbo	mg/L	0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,01
Cobre	mg/L	0,0016	<0,0016	<0,0016	<0,0016	2
Cromo total	mg/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,05
Ferro total	mg/L	0,07	1,73	3,10	3,41	0,3
Manganês	mg/L	0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0,1
Mercúrio	mg/L	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,001
Selênio	mg/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,01
Sódio	mg/L	0,2	8,9	7,65	32,7	200
Zinco	mg/L	0,005	0,047	0,006	0,005	5
Cianeto	mg/L	0,025	<, 025	<0,025	<0,025	0,07
Fluoreto	mg/L	0,05	1,11	3,8	1,0	1,5

Fonte: Autor

As concentrações de fluoreto acima de 1,5mg/L no solubilizado foram encontrados somente na amostra de solo D2 [, local de maior disposição do resíduo. Segundo Mirlean, Casartelli e Garcia (2002), solos da região em estudo (solos arenosos), pobres em matéria orgânica e argilominerais, favorecem a penetração rápida das precipitações, e como os compostos atmosféricos de flúor são altamente solúveis, o fluoreto deve facilmente

atingir o lençol freático. Quando as concentrações de fluoreto são altas no solo, a maioria dos estudos aponta os efeitos das emissões industriais sobre a concentração deste composto. De acordo com Wenzel e Blum (1997 apud MACEDO; MORRIL, 2008) o aumento do fluoreto em amostras de solo, no caso da poluição antropogênica, está associado a compostos liberados em regiões metalúrgicas.

Apesar de alguns parâmetros sugerirem toxicidade devido à elevada ocorrência nas amostras coletadas, como é o caso do Al e do Fe, não foi possível determinar uma relação direta com o resíduo de AF depositada temporariamente no local para estes metais, pois sua ocorrência em valores elevados é característica dos solos da região.

Já os valores encontrados de Fluoreto acima dos padrões estabelecidos pela NBR 10006:2004 podem sugerir contaminação de origem industrial, já que o ponto amostral Divisa teve valores bem acima dos valores orientadores para Fluoreto. Este ponto recebeu resíduo de AF e outros resíduos industriais ao longo dos anos, o que justificaria a presença deste composto em maior quantidade para as amostras coletadas neste ponto. O Fluoreto é o único parâmetro entre os analisados que permite sugerir que o resíduo AFUF contribuiu para contaminação da área avaliada, visto que os resultados para todas as amostras de AFUF apresentaram os valores para Fluoreto superiores aos valores preconizados pela NBR 10006:2004 nos resultados dos solubilizados.

CONCLUSÕES

Na caracterização ambiental, o resíduo AF não excedeu os limites no extrato lixiviado em nenhum dos parâmetros de acordo com a ABNT NBR 10005:2004, não sendo considerado um resíduo Classe I - perigoso nas condições do presente trabalho. Já o extrato solubilizado das amostras em estudo apresentou alguns valores que excederam os limites da ABNT NBR 10006:2004. São eles: Fenol, Fluoreto, Al e Fe, permitindo classificar o resíduo como Classe IIA – Não Inerte.

Na caracterização do solo foi possível observar valores elevados para Al e Fe, destacando para estes dois elementos, o ponto de coleta submetido à disposição de resíduos de fundição, que teve a maior concentração nas três amostragens. Para o elemento Cr os valores encontrados em todas as amostras estão de acordo com os valores de referência orientadores para solos industriais conforme a Resolução CONAMA 420:2009.

Na caracterização ambiental, o resultado do extrato lixiviado para as amostras de solo, mostrou que os parâmetros encontram-se dentro dos limites estipulados de acordo com a ABNT NBR 10005:2004. Já no extrato solubilizado os parâmetros de Al, Fe e Fluoreto excederam o limite preconizado pela ABNT NBR 10006:2004.

Na avaliação da qualidade da água os valores obtidos para o IQA classificam os pontos amostrais como Ruim (Montante e Jusante) e Péssimo (Cano). Foi realizada uma comparação dos resultados do IQA com o índice pluviométrico e verificou-se que o aumento da quantidade de chuvas não aumentou os valores do IQA, mas o índice teve um aumento ao longo do período com destaque para o ponto Jusante que apresenta maior quantidade de plantas aquáticas.

Na avaliação da água subterrânea, de acordo com a Portaria 2914/2011, a água do poço estaria apta para consumo para todos os parâmetros analisados com exceção do Fe. Para os parâmetros estabelecidos pelo CONAMA 357:2005 a amostra em questão encontra-se dentro dos padrões orientadores.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar estudos para verificar a quantidade de metais e fenol absorvidos pela parte aérea das plantas no local por ser um dos índices mais utilizados para a avaliação da biodisponibilidade desses elementos no solo. Costa (2005) também destaca a importância de estudos “*in situ*” para este tipo de avaliação, pois os extratores usualmente empregados em ensaios laboratoriais não conseguem simular as reações naturais que ocorrem na rizosfera. Estes resultados são importantes, pois a mobilidade dos metais está relacionada ao potencial de contaminação de águas subterrâneas e superficiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CILLA, M. S.; MORELLI, M. R. Uso de Resina Poliuretano Vegetal como Aglomerante para Moldes de Areia do Sistema de Cura a Frio. Revista da ABIFA- Fundação & Matérias- Primas - Ano XI- Ed.137. P. 80-87, 2011.
2. ADEGAS, Roseane Gonçalves; BERNARDES, Andrea Moura. Avaliação do gerenciamento das areias geradas nas fundições de ferro do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. FEPAM em Revista, Porto Alegre, v.2, n.1, p.4-10, jan./dez. 2008
3. JI. S.; L.WAN ; Z. FAN. The toxic compounds and leaching characteristics of spent foundry . Water, Air, and Soil Pollution v. 132 p.347–364, 2001.
4. MOREIRA, Maria Teresa P. O. T. Contaminação Ambiental Associada às Areias de Fundição. 2004. 235 f. Portugal. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. 2005.
5. CUNHA, Andréia Brito.2005.113f. Estudo da Contaminação por compostos Fenólicos de uma área Impactada por Resíduo de Areia de Fundição. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola de Engenharia e Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2005.
6. LOPES, Luis Rogério Natividade .Avaliação dos Resíduos Sólidos de Areia Resinada em Fundição de Aço Através da Recuperação Térmica.2009. 111 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais. Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA, 2009.
7. FAGUNDES, A. B.; VAZ, C. R.; OLIVEIRA, I. L. O fortalecimento do setor de fundição através da aplicação de conceitos e metodologias ambientais: os excedentes de areia de fundição em foco. Revista ADMpg Gestão Estratégica. V. 2, n. 2, p.27-34. 2009
8. ABIFA- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. Revista da ABIFA- Fundação e Matérias Primas. Ed. 77. 26p. Ano 2006.
9. AMERICAN FOUNDRY SOCIETY – AFS. Disponível em: <<http://www.afslibrary.com/>> Acesso em: 18 de out. 2011.
10. DAYTON et al. Characterization of physical and chemical properties of spent foundry sands pertinent to beneficial use in manufactured soils. Plant Soil 329:27–33, 2010. DOI 10.1007/s11104-009-0120-0
11. MORAES, C. A. M. ; KIELING, A. G. ; CALHEIRO, D. ; PIRES, D. C. ; AREND, C. O. . Elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos em uma empresa de fundição. In: 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2010, Bento Gonçalves. CD-ROM 2 CITMA. Caxias do Sul: A&S Criação, 2010. v. 1. p. 1-8.
12. SCHEUNEMANN, Ricardo. Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton. 2005. 85 f. Florianópolis, SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química . Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2005.
13. ANDRADE, Ricardo M. et al. Foundry sand recycling in the troughs of blast furnaces: a technical note. Journal of Materials Processing Technology 159 125–134. 2005. doi:10.1016/j.jmatprotec.2003.10.021
14. SILVA, Marcio Luis Busi. et al..Biorremediação de Aquífero Contaminado Com Fenol Utilizando Bioestimulação Aeróbia. CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO. 1., SÃO PAULO, SP,2009.
15. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites. Office of Emergency and Remedial Response. USEPA. Disponível em: <http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/pdfs/ssg_main.pdf>. Acesso: 03 abr. 2011.
16. GUERRA, Sidney Cesar Silva. Direito ambiental: legislação. 3. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2007. xvi, 640 p. ISBN 978-85-375-0101-6.
17. FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. Curso de direito ambiental brasileiro. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2006. 428 p. ISBN 85-02-04590-3
18. LEMOS, Mara Magalhães Gaeta. A Experiência de São Paulo no Estabelecimento de Valores Referência.In. SEMINÁRIO SUL-BRASILEIRO DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS.1.2012, Porto Alegre. Anais.... Porto Alegre, RS, 2012. p.17-34.
19. MARGESIN, R.; SCHINNER, F. Manual for Soil Analysis –Monitoring and Assessing Soil Bioremediation. 370p. Ed. Springer, Berlin, Alemanha, 2005.

20. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro. 2004. 21 p.
21. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION (Ed.) Standard methods for examination of water and wastewater. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
22. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10004: Resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004, 71 p.
23. OLIVEIRA, Alex Sandro Viana. Avaliação da Regeneração de Areia Usada de Fundição a Base de Resina Fenólica. 2011.77f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia) Curso de Engenharia Mecânica. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2011.
24. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 16 p.
25. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 3 p.
26. SCHEUNEMANN, Ricardo et al., Recuperação Térmica de Areia Fenólica Utilizada em Moldes de Fundição: Resultados Preliminares do Estudo de Viabilidade Econômica. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, ICTR, Costão do Santinho, Florianópolis, SC., 2004.
27. ANA. Agência Nacional de águas. Portal da Qualidade de águas. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>> Acesso em: 26 nov.2011.
28. BRASIL, CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de março de 2005.