

III-406 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS E DA QUALIDADE DO LIXIVIADO EM SISTEMAS DE CONTROLE DA GERAÇÃO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO COM ESCÓRIA DE ACIARIA

Luciana Angelita Machado⁽¹⁾

Doutoranda pelo PPGE3M, Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre/Brasil.

Luisa Venuto de Freitas⁽²⁾

Graduando em Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre/Brasil.

Pedro Ivo Villetti⁽³⁾

Graduando em Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre/Brasil.

Rejane Maria Candiota Tubino⁽⁴⁾

Professora Dra. DEMET e PPGE3M, Escola de Engenharia, UFRGS. Porto Alegre/Brasil.

Ivo André Homrich Schneider⁽⁵⁾

Professor Dr. DEMIN e PPGE3M, Escola de Engenharia UFRGS. Porto Alegre/Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Av. Bento Gonçalves, 9500, Setor 6, CP 15021 – Porto Alegre – RS - CEP 91501-970 – Brasil - Tel: 0xx (51)3308-9966 - e-mail: luciana.machado@erechim.ifrs.edu.br

RESUMO

A disposição de rejeitos com potencial de geração de acidez e consequente geração de drenagem ácida de mina (DAM) é um dos grandes problemas ambientais enfrentados pela indústria da mineração de carvão. Este problema requer estudos no sentido de encontrar soluções que venham a minimizar os danos causados ao meio ambiente. A utilização de metodologias alternativas para a disposição dos rejeitos de mineração de carvão constitui atualmente uma estratégia básica para a viabilidade de tais empreendimentos. Visando atender esta necessidade, estudou-se o controle da geração da DAM pelo método de aditivos alcalinos com o uso de escória de aciaria. O rejeito de carvão, a escória de aciaria e diversas proporções de misturas foram dispostas a céu aberto e sujeitas a precipitação pluviométrica. A água que percolou pelo rejeito de carvão apresentou-se ácida e a água que percolou pela escória, alcalina. O balanço de ácidos e bases indicou que a melhor proporção de mistura é de 1:1. Nesta proporção, durante vários meses de acompanhamento, a água da chuva que percolou pelo meio manteve-se neutra. Análises adicionais mostraram que o lixiviado, nesta condição, apresenta baixos níveis de metais e de toxicidade para o microcrustáceo *Daphnia similis*.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem ácida de mina, rejeito de carvão, escória de aciaria, poluição da água.

INTRODUÇÃO

A drenagem ácida de minas (DAM) resulta de reações químicas de sulfetos metálicos na presença de água e oxigênio atmosférico. A DAM é comum em áreas de mineração de carvão, uma vez que a pirita e a marcassita (ambos FeS_2 , porém em formas cristalinas distintas) são encontrados nas jazidas de carvão. Os poluentes da DAM afetam a qualidade da água, baixando o seu potencial hidrogeniônico (pH), reduzindo a alcalinidade natural, aumentando a dureza total e acrescentando quantidades indesejáveis de ferro, manganês, alumínio, sulfatos e, eventualmente, outros metais. Estas fontes permanecem ativas por décadas e até mesmo por séculos após a sua produção (SKOUSEN et al, 1998; KONTOPOULOS, 1998).

A disposição inadequada de rejeitos com potencial de geração de DAM é um dos problemas ambientais enfrentados pela indústria da mineração no sul do país, especialmente no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Esta é uma questão bastante séria que requer estudos no sentido de encontrar soluções que venham a minimizar os danos causados ao meio ambiente.

Uma maneira de evitar a geração da DAM é pelo método de “aditivos alcalino” (SKOUSEN et al, 1998; KONTOPOULOS, 1998). O método consiste em misturar algum material alcalino junto ao material gerador de acidez. Os materiais alcalinos podem ser vários, como por exemplo calcário, ou escória que será empregada no presente trabalho. A quantidade de um aditivo alcalino pode ser estimada em laboratório pelo método de contabilização de ácidos e bases (*acid-base accounting method* - ABA). Contudo, estudos de cinéticos também

devem ser efetuados, para avaliar o comportamento da mistura de materiais no decorrer do tempo (EPA, 1994).

Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi estudar a prevenção da geração da DAM pela adição de uma escória de aciaria a um rejeito de carvão. Estes estudos foram realizados pela contabilização de minerais geradores de acidez no rejeito de carvão e pela determinação do potencial de neutralização da escória de aciaria do forno panela. Adicionalmente, diferentes níveis de mistura foram colocados ao ar livre, para avaliar as características da água de lixiviação após precipitação pluviométrica.

MATERIAL E MÉTODOS

O rejeito de carvão foi fornecida pela Empresa Cooperminas - Cooperativa de Extração de Carvão Mineral dos Trabalhadores de Criciúma Ltda - situada no Município de Forquilha, no Estado de Santa Catarina. A amostra de escória de aciaria do forno panela foram obtidas em uma Usina Siderúrgica do Estado do Rio Grande do Sul. As coletas foram feitas de forma composta, segundo a norma NBR 10007 (ABNT, 2004).

A contabilização de ácidos e bases nos materiais foi realizada pelo método Sobek tradicional. (SOBEK et al, 1978; EPA, 1994). A determinação do potencial de geração de acidez (AP) foi realizada a partir da análise de enxofre total. Para a determinação do potencial de neutralização (NP), o procedimento consistiu em submeter a amostra a uma solução ácida (com o volume e concentração determinados pelo teste fizz) e aquecer a 90°C para consumir os minerais neutralizantes. Após, titulou-se a solução ácida com NaOH (com a mesma concentração do ácido) até pH 7,0. O potencial de neutralização foi calculado em kg $\text{CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$ de amostra. A determinação destes dois fatores, AP e NP, permitiu calcular o potencial de neutralização líquido (NNP = NP - AP). O NNP pode ser positivo ou negativo, sendo que valores de NNP menores que - 20 (kg $\text{CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$) indicam a formação de ácido; valores maiores do que + 20 (kg $\text{CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$) indicam que não haverá a formação de ácido e valores entre - 20 e + 20 (kg $\text{CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$) indicam que é difícil prever o seu comportamento, sendo necessários outros ensaios para uma melhor avaliação.

Determinado o balanço do potencial de geração de acidez e de alcalinidade, os materiais foram colocados ao ar livre para avaliar as características da água da chuva ao percolar pelos mesmos. O experimento foi montado em baldes com capacidade aproximada de 30 litros. Ambos os materiais foram empregados em sua granulometria original que era inferior a 5 cm (2 polegadas). As seguintes situações foram consideradas: 10 kg de rejeito de carvão, 10 kg de rejeito de carvão + 2 kg de escória, 10 kg de rejeito de carvão + 4 kg de escória, 10 kg de rejeito de carvão + 6 kg de escória, 10 kg de rejeito de carvão + 8 kg de escória, 10 kg de rejeito de carvão + 10 kg de escória, 10 kg de rejeito de carvão + 15 kg de escória e 10 kg de escória. A massa específica aparente (ρ_{ap}) foi determinada com base na NBR 53 (ABNT, 2002). A porosidade (volume de espaços vazios: pelo volume total) foi medida pelo volume ocupado pela água nos espaços entre as partículas (ABNT, 2006).

Um pluviômetro foi instalado para o controle da precipitação pluviométrica durante o experimento. As leituras foram realizadas por períodos de chuva. O período abrangeu oito meses, de julho de 2012 a março de 2013. A água percolada foi coletada e submetida a análise em relação aos seguintes parâmetros: pH, potencial redox, acidez, alcalinidade total, concentração de sulfato e metais (Fe, Al, Mn e Zn). Todas as análises seguiram os procedimentos descritos no "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APHA, 2005). Paralelamente as análises físico-químicas, realizaram-se também ensaios de ecotoxicidade aguda com o microcrustáceo *Daphnia similis*, seguindo a metodologia descrita na OECD 202 (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados do potencial de geração de acidez (AP), do potencial de neutralização (NP) e do potencial de neutralização líquido (NNP) do rejeito de carvão e da escória de aciaria. O rejeito de carvão apresentou um NNP de - 324,4 kg $\text{CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$, mostrando que o material é altamente gerador de DAM. A escória de aciaria é alcalina, com um NNP de + 352,1 kg $\text{CaCO}_3 \text{ t}^{-1}$. Realizando o balanço de ácidos e bases, pode-se observar que a proporção teórica para evitar a DAM é de aproximadamente 1:1 (rejeito de carvão:escória).

Tabela 1: Resultados de ensaios estáticos para o rejeito de carvão e escória.

PARÂMETROS	REJEITO DE CARVÃO	ESCÓRIA DE ACIARIA
AP (kg CaCO ₃ t ⁻¹)	331,2	0,9
NP (kg CaCO ₃ t ⁻¹)	6,8	353,1
NNP (kg CaCO ₃ t ⁻¹)	- 324,4	+ 352,1

Contudo, a oxidação da pirita é um fenômeno superficial. Assim, nas diferentes misturas efetuadas, mediu-se a massa específica e a porosidade a fim de verificar o grau de empacotamento (Tabela 2). O maior grau de empacotamento foi obtido com a relação RC:ESC de 10:6, aumentando a superfície de contato entre os materiais e minimizando a entrada de ar e água.

Tabela 2: Massa específica e porosidade obtida nas diferentes relação RC:ESC

Propriedade	Relação RC:ESC							
	10:0	10:2	10:4	10:6	10:8	10:10	10:15	0:10
ρ_{ap} (t/m ³)	1,3	1,7	1,7	2,0	1,7	1,6	1,6	1,4
Porosidade (%)	52,2	36,0	40,1	10,7	29,6	32,3	34,4	37,0

A Tabela 3 apresenta as médias mensais de precipitação pluviométrica dos meses de julho de 2012 a março de 2013. O mês de setembro de 2012 foi o de maior precipitação pluviométrica, seguido dos meses de outubro e dezembro. Com relação aos valores lixiviados em cada recipiente, observa-se que a escória de aciaria apresenta certa capacidade de absorver parte da água da chuva. Nas precipitações menos intensas, muitas vezes não houve a presença de lixiviado. Nas precipitações mais intensas, o volume foi reduzido.

Tabela 3: Volume coletado de lixiviado por unidade experimental em cada período de chuva.

Período de chuva	Precipitação (mm)	Volume coletado (mm) nas diferentes proporções RC:ESC							
		10:0	10:2	10:4	10:6	10:8	10:10	10:15	0:10
24/07/12	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29 a 30/07/12	26,0	20,3	16,6	11,9	5,2	0,0	1,7	0,0	12,9
01 a 02/08/12	33,0	8,1	8,0	8,1	8,6	8,3	8,1	8,1	8,1
13 a 14/08/12	4,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25 a 28/08/12	45,0	33,7	35,4	29,0	29,7	30,4	28,6	27,9	34,0
30/08/12	7,5	10,3	10,1	13,8	12,4	11,1	10,4	10,6	14,6
10 a 11/09/12	55,0	32,1	34,1	35,2	36,5	35,4	30,1	31,1	33,2
16 a 18/09/12	190,0	111,1	117,4	121,7	106,1	121,7	104,0	99,0	114,6
01 a 04/10/12	38,0	29,7	26,9	24,8	21,2	25,5	28,3	19,8	27,6
07 a 10/10/12	47,5	38,7	45,0	43,9	43,9	36,9	32,2	36,4	40,6
16/10/12	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23/10/12	28,0	19,8	16,8	15,7	10,8	9,6	9,6	8,3	17,3
30/10/12	15,0	7,9	5,0	2,7	0,7	2,1	1,4	0,6	7,5
12 a 15/11/12	13,0	5,5	1,9	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
20/11/12	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12/12/12	17,0	12,7	13,4	11,0	11,2	11,5	10,8	10,5	12,8
26/12/12	62,5	46,8	49,1	40,3	41,3	42,2	39,8	38,7	47,2
26 a 28/12/12	70,0	52,4	55,0	45,1	46,2	47,3	44,6	43,4	52,8
01/01/13	20,0	15,0	15,7	12,9	13,2	13,5	12,7	12,4	15,1
07 e 08/01/13	90,0	67,3	70,7	58,0	59,4	60,8	57,3	55,7	67,9
13 e 14/02/13	42,9	32,1	33,7	27,6	28,3	29,0	27,3	26,6	32,4
19/02/13	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21 e 22/02/13	23,1	17,3	18,2	14,9	15,3	15,6	14,7	14,3	17,4
04 e 05/03/13	30,0	22,4	23,6	19,3	19,8	20,3	19,1	18,6	22,6
13/03/13	18,0	13,5	14,1	11,6	11,9	12,2	11,5	11,1	13,6

As medidas do pH da água lixiviada são apresentadas na Tabela 4. Observa-se que as soluções drenadas provenientes do recipiente com apenas rejeito de carvão (10:0) é ácido, com pH inferior a 3,2. Valores de pH menores do que 3,5 possibilitam o desenvolvimento da bactéria *Acidithiobacillus ferrooxidans*, aumentando consideravelmente o processo de oxidação da pirita. O percolado do recipiente com proporção 0:10, com apenas escória de aciaria, é alcalino. Inicialmente, o valor do pH mantém-se superior a 10. Contudo, no decorrer do tempo, pode-se observar que o pH decresce a partir do 3º e 4º mês.

Considerando os vários índices de mistura, valores próximos à neutralidade foram obtidos inicialmente na proporção RC:ESC 10:6, que apresenta o melhor empacotamento, e na proporção RC:ESC 10:10, que segundo o resultado do ensaio de contabilização de ácidos e bases, atinge a concentração teórica para a neutralização química do sistema. Contudo, ao final dos seis meses de experimento, a alcalinidade disponibilizada pela escória já não contrabalançava a geração de acidez, mostrando que no decorrer do tempo, há um desbalanço entre a alcalinidade liberada pela escória e acidez gerada pelo rejeito de carvão. A proporção RC:ESC de 10:15, que proporciona um excesso de alcalinidade, manteve o sistema neutro.

Deve-se ressaltar que segundo as Resoluções CONAMA 357 (2005) e CONAMA 430 (2011), os efluentes somente poderão ser lançados nos corpos de água se o pH estiver entre 5 e 9. Os valores de pH encontrados com os tratamentos propostos apontam uma considerável melhora nas condições do lixiviado. Entretanto, em algumas situações, o pH apresenta-se acima e em outras abaixo do estipulado pelas Resoluções.

Tabela 4: Precipitação no período e pH do percolado em cada unidade experimental.

Período de Chuva	Precipitação (mm)	pH da água percolada nas diferentes proporções RC:ESC							
		10:0	10:2	10:4	10:6	10:8	10:10	10:15	0:10
24/07/12	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-
29 a 30/07/12	26,0	1,8	3,6	4,5	5,1	-	-	-	10,2
01 a 02/08/12	33,0	3,2	4,6	5,6	5,7	4,9	5,4	6,0	10,5
13 a 14/08/12	4,0	1,6	-	-	-	-	-	-	-
25 a 28/08/12	45,0	2,0	3,0	4,7	5,7	4,9	5,0	8,1	10,7
30/08/12	7,5	2,1	3,2	3,7	6,3	6,2	6,4	6,2	10,7
10 a 11/09/12	55,0	2,2	2,9	3,3	6,4	5,3	5,6	9,7	10,9
16 a 18/09/12	190,0	2,4	3,4	5,1	8,1	3,5	8,5	8,3	10,7
01 a 04/10/12	38,0	2,2	2,9	4,3	8,5	4,5	7,6	10,1	10,9
07 a 10/10/12	47,5	2,3	3,0	4,8	8,9	6,0	9,5	9,8	10,8
16/10/12	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-
23/10/12	28,0	2,2	2,6	4,9	6,3	6,0	4,3	8,2	11,0
30/10/12	15,0	0,9	1,5	2,0	6,2	2,0	2,4	7,2	6,0
12 a 15/11/12	13,0	1,9	2,3	2,6	-	-	-	-	6,7
20/11/12	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-
12/12/12	17,0	2,0	2,3	2,6	3,8	2,7	3,0	6,7	10,6
26/12/12	62,5	2,6	2,9	3,2	5,0	3,0	3,4	8,7	11,6
26 a 28/12/12	70,0	2,2	2,5	3,1	5,5	2,8	3,6	7,4	7,5
01/01/13	20,0	2,4	2,5	3,5	5,2	3,2	4,5	7,9	10,8
07 e 08/01/13	90,0	2,5	2,5	3,2	4,9	2,9	4,1	11,3	11,7
13 e 14/02/13	42,9	1,9	2,0	2,3	2,6	2,3	2,4	6,8	11,0
19/02/13	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-
21 e 22/02/13	23,1	1,8	2,1	2,6	3,1	2,5	3,1	6,0	6,8
04 e 05/03/13	30,0	1,2	1,7	2,1	2,6	2,0	2,4	6,0	6,9
13/03/13	18,0	1,4	1,8	2,2	2,8	2,4	2,9	6,7	7,2

A Tabela 5 apresenta os resultados do potencial redox para os lixiviados. O Eh da água lixiviada no rejeito de carvão (Eh entre 549 e 829) é consideravelmente superior ao proveniente do lixiviado ao sistema contendo apenas escória de aciaria (Eh entre 154 e 626). A medida do potencial redox do lixiviado nos diferentes níveis de mistura também demonstrou que quanto maior é a participação de escória, menor é o Eh. Esse fato está relacionado à presença de materiais alcalinos que elevam o pH do meio e inibem o processo de oxidação da pirita. Estes resultados estão em conformidade com os resultados obtidos por Abreu et al (2012). De acordo com os autores, a presença de agente alcalino reduz o potencial redox, desfavorecendo o processo de oxidação dos sulfetos e diminuindo a formação de ácido sulfúrico.

Tabela 5: Precipitação no período e potencial redox – Eh (mV) do percolado em cada experimento.

Período de Chuva	Precipitação (mm)	Eh água percolada nas diferentes proporções RC:ESC							
		10:0	10:2	10:4	10:6	10:8	10:10	10:15	0:10
24/07/12	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-
29 a 30/07/12	26,0	575	363	326	237	-	-	-	287
01 a 02/08/12	33,0	549	370	291	307	355	339	283	247
13 a 14/08/12	4,0	642	-	-	-	-	-	-	-
25 a 28/08/12	45,0	829	939	509	439	450	421	289	449
30/08/12	7,5	757	-	613	519	632	494	458	
10 a 11/09/12	55,0	778	712	614	659	617	657	509	432
16 a 18/09/12	190,0	762	569	449	488	511	604	371	332
01 a 04/10/12	38,0	732	693	435	291	397	295	294	267
07 a 10/10/12	47,5	597	692	196	156	244	168	509	154
16/10/12	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-
23/10/12	28,0	692	673	589	369	604	592	370	339
30/10/12	15,0	654	644	574	363	596	596	369	341
12 a 15/11/12	13,0	641	308	677	618	-	-	-	321
20/11/12	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-
12/12/12	17,0	622	738	701	467	626	527	285	290
26/12/12	62,5	630	629	584	244	592	533	210	270
26 a 28/12/12	70,0	661	707	596	304	674	527	259	257
01/01/13	20,0	719	764	565	489	685	545	401	434
07 e 08/01/13	90,0	568	479	310	495	327	307	290	307
13 e 14/02/13	42,9	681	763	686	767	756	329	370	329
19/02/13	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-
21 e 22/02/13	23,1	844	760	672	747	707	575	647	575
04 e 05/03/13	30,0	631	756	646	763	717	349	343	349
13/03/13	18,0	719	807	811	767	682	626	666	626

As características físico-químicas da água lixiviada no 5º mês do experimento, referente ao período de chuva de 26 a 28/12/12, com 70 mm de precipitação pluviométrica, estão apresentados na Tabela 6. Verifica-se que na água lixiviada do recipiente com apenas rejeito de carvão (proporção 10:0) os valores de pH são muito baixos, com alta concentração de sulfatos e metais. Avaliando os resultados referentes à mistura dos materiais 10:6, 10:10 e 10:15, ocorreu uma elevação do pH e um decréscimo na concentrações de sulfato e de metais. Os resultados também refletiram na toxicidade sobre a *Daphnia similis*. A água de lixiviação, quando neutralizadas e com menores concentrações de metais, apresentou uma toxicidade muito menor.

Tabela 6: Características físico-químicas e ecotoxicológica com *Daphnia similis* na água lixiviada no 5º mês do experimento (Período de chuva: 26 a 28/12/12 e precipitação: 70 mm).

Parâmetro	Unidade	Proporção RC:ESC					Resolução CONAMA 430
		10:0	10:6	10:10	10:15	0:10	
pH	-	2,2	5,5	3,6	7,4	7,5	5 a 9
Acidez	mg L ⁻¹ de CaCO ₃	85,1	36,8	23,0	ND	ND	-
Alcalinidade	mg L ⁻¹ de CaCO ₃	ND	8,3	ND	42,8	62,1	-
Fe	mg L ⁻¹	1897,0	3,1	4,9	ND	<0,05	15,0
Al	mg L ⁻¹	204,5	2,2	3,7	0,05	0,8	-
Mn	mg L ⁻¹	7,0	0,7	1,3	ND	ND	1,0
Zn	mg L ⁻¹	7,6	0,3	0,2	ND	ND	5,0
Sulfatos	mg L ⁻¹	7632,5	1047,6	1543,2	1304,9	201,9	< 250
FT – <i>D. similis</i>		400	4	8	2	16	
CE ₅₀ -48 h (%)	%	0,35	64,68	26,44	46,65	46,65	

Por fim, deve ser observado que em misturas de rejeito de carvão e escória em proporções superiores a 10:6 mostraram-se consolidadas após 3 meses de exposição ao meio ambiente. A escória expandiu e cimentou as partículas de rejeito de carvão, reduzindo consideravelmente a permeabilidade do sistema. Esse fato pode ser usado a favor da iniciativa do uso de escória em misturas com rejeito de carvão para o controle da DAM. Verificou-se que, com o passar do tempo, quando a alcalinidade disponibilizada pela escória fica reduzida, os impactos ambientais ficam minimizados pela menor permeabilidade do sistema.

CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que é possível reduzir a geração da DAM pela mistura de escória de aciaria ao rejeito de carvão. Os resultados demonstraram a eficácia do método na qualidade da água de percolação tanto em termos de pH, concentrações de metais e toxicidade do efluente. O método de contabilização de ácidos e bases mostra-se adequado para definir a proporção de mistura dos materiais. Essas misturas podem ser empregadas no controle da DAM tanto em depósitos de rejeitos em superfícies como no retorno dos rejeitos de carvão para o subsolo (método conhecido como “backfill”).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e a Rede Carvão pelos recursos financeiros para o desenvolvimento da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SKOUSEN, J., ROSE, A., GEIDEL, G., FOREMAN, J., EVANS, R., HELLIER, W. A handbook of technologies for avoidance and remediation of acid mine drainage. West Virginia University and the National Mine Land Reclamation Center, 1998. 132p.
2. KONTOPOULOS, A. Acid mine drainage control. In: CASTRO, S.H. et al (Eds.). Effluent treatment in the mining industry. Chile: University of Concepción, 1998. p. 57-118.
3. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. EPA 530-R-94-036. Acid Mine Drainage Prediction. 1994. 48p. (Technical Document).
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
5. SOBEK, A.A., SCHULLER, W.A., FREEMAN, J.R., SMITH, R.M. Field and laboratory methods applicable to overburden and minesoils. EPA 600/2-78-054, 1978. 203p.
6. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th Edition. Washington D.C.: APHA-AWWA-WEF, 2005.
7. ABREU, A., T.; FARIA, E. M.; GUIMARÃES, J. A. C.; LEITE, A. L.; LENA, J. C. Avaliação em Laboratório do Uso de Sistemas de Coberturas Alcalinas para Prevenção da Drenagem Ácida de Mina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36:787-801, 2012.
8. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 430. Condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília: 2011.
9. BARBOSA, R. M.; POVINELLI, J.; ROCHA, O.; ESPINDOLA, E.L.G. A Toxicidade de Efluentes (Lodo) de Estações de Tratamento de Água a Daphnideos (*Daphnia Similis*), Quironomideos (*Chironomus Xanthus*) e Peixes (*Hyphessobrycon Egues*). Pp 379-394 In: ESPINDOLA, E.L.G.; PASCHOAL, C.M.R.B.; ROCHA, O.; BOHRER, M.B.C.; OLIVEIRA NETO, A.L. (eds.). Ecotoxicologia, Perspectivas para o século XXI. Rima, São Paulo, São Carlos. 2000. 576p.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2002.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR NM 45 - Agregados determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
12. ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. OECD Guidelines for Testing Chemicals – *Daphnia* sp., Acute Immobilization Test. Guideline 202. 2004. 12p.