

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

LAYON FREDERICO MATIAS

**CORRELAÇÃO ENTRE A CAMADA DE ARGILA E A QUALIDADE DA
DRENAGEM ÁCIDA EM ÁREA DEGRADADA PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO**

CRICIÚMA

2019

LAYON FREDERICO MATIAS

**CORRELAÇÃO ENTRE A CAMADA DE ARGILA E A QUALIDADE DA
DRENAGEM ÁCIDA EM ÁREA DEGRADADA PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de bacharel no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientadora: Prof.^a M.^a Rosimeri Venâncio Redivo

CRICIÚMA

2019

LAYON FREDERICO MATIAS

**CORRELAÇÃO ENTRE A CAMADA DE ARGILA E A QUALIDADE DA
DRENAGEM ÁCIDA EM ÁREA DEGRADADA PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Bacharel, no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Restauração de Ambientes Degradados e Recuperação de Áreas Degradadas.

Criciúma, 27 de junho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Rosimeri Venâncio Redivo – Mestre – UNESC – Orientadora

Prof. Sérgio Bruchchen – Mestre – UNESC

Prof. Sérgio Luciano Galatto – Mestre – UNESC

AGRADECIMENTOS

Sou muito grato a Deus por me conceder saúde e uma família incrível que me ilumina a cada dia.

À minha mãe Regiane Fragnani Frederico por toda educação, amor e carinho que ela me transmitiu.

Ao meu amado pai José dos Passos dos Santos Matias pelo estímulo ao estudo e incentivo em fazer o bem ao próximo, sem esperar nada em troca.

Ao meu irmão e razão da minha vida Miguel Frederico Daros.

Ao meu padrasto e amigo Reinaldo Brognoli Daros por cuidar e fazer da minha mãe tão feliz.

A toda minha família por cuidar imensamente de mim.

A todos meus amigos e amigas de verdade, que sempre estiveram ao meu lado, independente do momento.

Aos meus professores da graduação.

À minha orientadora Rosimeri Venâncio Redivo por ter aceito meu convite, sempre disposta e buscando alternativas para a realização do trabalho.

Às minhas nova amizades feitas na empresa Rio Deserto, em especial a equipe de meio ambiente da Mina 101.

À equipe do laboratório da Rio Deserto por sempre prestar os serviços que precisei com a máxima excelência.

À minha supervisora de campo Taise da Silva Cancelier.

À banca examinadora de defesa deste trabalho.

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram com a realização deste trabalho.

Muito obrigado a todos!

“Se você pensa que pode ou se pensa que não pode, de qualquer forma você está certo.”

Henry Ford

RESUMO

A Bacia Carbonífera Sul-Catarinense, no passado, foi uma região de intensa exploração mineral diante da presença de jazidas de carvão mineral em subsolo catarinense. Após a extração do minério, o carvão mineral passa pela etapa de beneficiamento a qual através de métodos e equipamentos, ocorre a redução de cinzas a fim de melhorar sua qualidade, aumentando conseqüentemente o poder calorífico. Nesta etapa são gerados os rejeitos, ricos em materiais sulfetados que quando entram em contato com agentes oxidantes, liberam metais devido à oxidação dos minerais presente no rejeito, contaminando principalmente solos, recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Assim para evitar a contaminação dos recursos naturais, dispõe-se os resíduos em locais adequados, causando impacto ambiente muito menor, esses locais são chamados de barragens de contenção de rejeitos ou depósitos de rejeitos. O objetivo do trabalho foi avaliar as características físico-químicas da água percolada em diferentes espessuras de argila compactada sobre os rejeitos do beneficiamento do carvão mineral e analisar as características da drenagem ácida de um depósito exaurido. Para isso, foram realizados ensaios de granulometria, análise imediata, composição química e classificação do resíduo sólido de acordo com a NBR 10004/2004. Para a argila foram, realizados ensaios de composição química. Para a água desmineralizada percolada nas colunas, foram realizados ensaios de quantificação de Fe dissolvido, Mn dissolvido e nível de pH. Após quatro semanas de ensaio de lixiviação das colunas preenchidas por rejeito e argila compactada e a análise da drenagem ácida do depósito de rejeito em estudo, determinou-se que o tempo de residência do líquido com o rejeito é o fator chave na piora da qualidade das águas que adentram o depósito de rejeito, assim como nas fases em que o pH do meio esteve menor que 2,5, as concentrações de ferro e manganês dissolvidos apresentaram-se elevadas. A partir deste estudo, recomenda-se que os depósitos de rejeitos sejam tamponado somente quando os rejeitos apresentarem baixos valores de reatividade.

Palavras-chave: Lixiviação de contaminantes. Depósitos de rejeitos. Drenagem ácida. Carvão mineral.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formação do carvão mineral.....	15
Figura 2 – Classificação do carvão segundo o "rank".	17
Figura 3 – Bacia Carbonífera de Santa Catarina.....	19
Figura 4 – Fluxograma da metodologia dos ensaios em colunas.....	35
Figura 5 – Local da coleta de rejeito.	36
Figura 6 – Coleta de rejeito piritoso.....	37
Figura 7 – Local da coleta do material argiloso.	38
Figura 8 – Camada de argila compactada da coluna A.....	40
Figura 9 – Camada de argila compactada da coluna B.....	41
Figura 10 – Coluna de água desmineralizada.	42
Figura 11 – Tela localizada no fundo das colunas.	43
Figura 12 – Coleta do efluente percolado nas colunas de argila e rejeito	50
Figura 13 – Coleta do percolado na coluna de argila.	51
Figura 14 – Variação de pH.....	53
Figura 15 – Concentração de Ferro dissolvido.....	54
Figura 16 – Concentração de Manganês dissolvido.....	55
Figura 17 – Variação do pH com a precipitação.....	57
Figura 18 – Variação do Ferro dissolvido com a precipitação.	58
Figura 19 – Variação do Manganês dissolvido com a precipitação.....	59
Figura 20 – Variação dos sulfatos com a precipitação.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Reserva, produção e consumo de carvão.	15
Tabela 2 – Grupos de macerais e seus respectivos macerais.	16
Tabela 3 – Relação entre litotipos e grupos de macerais.....	16
Tabela 4 – Reservas de carvão mineral nos estados de RS e SC.....	18
Tabela 5 – Gases gerados pela oxidação da pirita.	30
Tabela 6 – Análises e procedimentos utilizados para a caracterização do rejeito piritoso.....	38
Tabela 7 – Metodologia utilizada para a determinação dos parâmetros do efluente.	42
Tabela 8 – Resultado da análise imediata do rejeito.....	45
Tabela 9 – Resultado do ensaio granulométrico	46
Tabela 10 – Composição química do rejeito.	47
Tabela 11 – Dados do ensaio de infiltração nas colunas.	51
Tabela 12 – Dados físico-químicos do ponto branco	52
Tabela 13 – Análise físico-química da argila em estudo.	55
Tabela 14 – Resultados de análises de efluente.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACP	Ação Civil Pública
APP	Área de Preservação Permanente
AuA	Autorização Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DAM	Drenagem Ácida de Minas
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
GTA	Grupo Técnico de Assessoramento
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Biodiversidade
IMA	Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina
IPAT	Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas
LAC	Licença Ambiental por Adesão ou Compromisso
LAI	Licença Ambiental de Instalação
LAO	Licença Ambiental de Operação
LAP	Licença Ambiental Prévia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPF	Ministério Público Federal
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PRAD	Projeto de Recuperação de Área Degradada
ROM	<i>Run of Mine</i> (carvão bruto)
SIECESC	Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

Cd	Cádmio
Cr	Cromo
Fe	Ferro
Fe(OH) ₃	Hidróxido de ferro
Fe ²⁺	Ferro ferroso
Fe ³⁺	Ferro férrico
FeS ₂	Bisulfeto de Ferro
H ⁺	Íon de hidrogênio
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
Mn	Manganês
O ₂	Oxigênio atmosférico
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
SO ₄	Sulfato
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 CARVÃO MINERAL	14
2.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS	16
2.3 BENEFICIAMENTO DE CARVÃO	17
2.4 CARVÃO MINERAL NA REGIÃO SUL DO BRASIL	18
2.5 AÇÃO CIVIL PÚBLICA.....	22
2.5.1 Ação Civil Pública do Carvão	23
2.5.1.1 Fases da implantação da ACP do carvão	23
2.6 GRUPO TÉCNICO DE ASSESSORAMENTO (GTA).....	24
2.6.1 Aspectos legais do PRAD objeto da ACP do Carvão	25
2.7 IMPACTOS AMBIENTAIS	26
2.7.1 Impactos ambientais da mineração de carvão	27
2.7.2 Impactos ambientais causados no solo e vegetação	28
2.7.3 Impactos ambientais causados nas águas	28
2.7.4 Impactos ambientais causados na atmosfera	30
2.8 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS SUPERFICIAIS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO	31
3 METODOLOGIA	35
3.1 MONTAGEM DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO	36
3.2 COLETA DAS AMOSTRAS.....	36
3.2.1 Rejeito	36
3.2.2 Material argiloso	37
3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO REJEITO E ARGILA	38
3.4 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO EM COLUNAS PREENCHIDAS POR REJEITO E ARGILA COMPACTADA	39
3.4.1 Percolação de água desmineralizada sobre as colunas	41
3.4.2 Coleta periódica dos efluentes	42
3.5 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO EM COLUNA PREENCHIDA POR ARGILA COMPACTADA	43
3.6 AVALIAÇÃO DA DRENAGEM DO DEPÓSITO DE REJEITO D2 – POÇO 8.....	44

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	45
4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO REJEITO.....	45
4.1.1 Análise Imediata	45
4.1.2 Granulometria	46
4.1.3 Composição Química	46
4.1.4 Classificação do Resíduo perante a norma ABNT NBR 10004/2004	47
4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ARGILA.....	47
4.2.1 Composição química	47
4.3 ENERGIA DE COMPACTAÇÃO	48
4.4 MONITORAMENTO DOS EXPERIMENTO DE COLUNAS.....	49
4.4.1 Análise físico-química do efluente percolado no ensaio de colunas preenchidas de rejeito e argila	52
4.4.1.1 Monitoramento do pH.....	52
4.4.1.2 Monitoramento do Ferro Dissolvido.....	53
4.4.1.3 Monitoramento do Manganês Dissolvido.....	54
4.4.2 Análise físico-química do percolado no ensaio de coluna preenchida de argila	55
4.5 ESTUDO DE CASO EM DEPÓSITO DE REJEITO EXAURIDO.....	55
4.5.1 Monitoramento do pH	56
4.5.2 Monitoramento do Ferro Dissolvido	57
4.5.3 Monitoramento do Manganês Dissolvido	58
4.5.4 Monitoramento de Sulfatos	59
5 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE	70
APÊNDICE A – DADOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO EFLUENTE NO DEPÓSITO DE REJEITO POÇO 8	71
ANEXO	73
ANEXO A – RELATÓRIO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS RIO DESERTO .	74

1 INTRODUÇÃO

A Bacia Carbonífera Catarinense foi uma região de intensa extração mineral, principalmente na década de 70, devido as grandes quantidades de minério contidos no subsolo, em especial o carvão mineral, trazendo desenvolvimento para a região. Contudo, diversos impactos ambientais estão atrelados à atividade minerária, desde a extração do minério até a carbonização nas usinas termoelétricas.

Um das etapas em que o carvão mineral passa até ser comercializado é o beneficiamento. Nesta etapa, ocorre a redução de cinzas a fim de melhorar sua qualidade, aumentando consequentemente o poder calorífico. Nesta etapa são gerados os rejeitos grossos e finos. Esses rejeitos carbonosos contém materiais sulfetados que quando entram em contato com agentes oxidantes, liberam metais devido à oxidação dos minerais presente no rejeito e contaminam solos e recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Grande parte dos rejeitos e estéreis gerados na etapa de beneficiamento são encaminhados para os depósitos de rejeitos, verdadeiras obras de engenharias com custos elevados, capazes de acondicionar esse material e isolá-los da ação de agentes oxidantes como água da chuva e ar atmosférico.

Neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foram analisados e comparados os dados de monitoramento da qualidade do efluente gerado em um depósito de rejeito exaurido com os resultados do ensaio de percolação de água desmineralizada em colunas preenchidas com rejeito de carvão mineral, cobertos por diferentes camadas de argilas compactadas.

O objetivo geral do trabalho foi avaliar as características físico-químicas da água percolada em diferentes espessuras de argila compactada sobre os rejeitos do beneficiamento do carvão mineral e analisar as características da DAM de um depósito exaurido. Os objetivos específicos foram montar colunas preenchidas por argila compactada e rejeito de mineração de carvão para a realização dos ensaios de lixiviação; realizar em laboratório análise de ferro dissolvido, manganês dissolvido e pH após a água ter percolado as colunas; e comparar os dados de monitoramento da qualidade do efluente gerado em um depósito de rejeito exaurido com os resultados do ensaio de percolação de água desmineralizada em colunas preenchidas com rejeito de carvão mineral, cobertos por diferentes espessuras de argilas compactadas.

Com vistas em tornar mais eficiente e econômico o tratamento da drenagem ácida em depósitos de rejeito de carvão, esse trabalho se torna importante, uma vez que saber qual o melhor momento para tamponar um depósito de rejeito, poderá tornar a drenagem ácida com uma qualidade melhor e menos oneroso seu tratamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

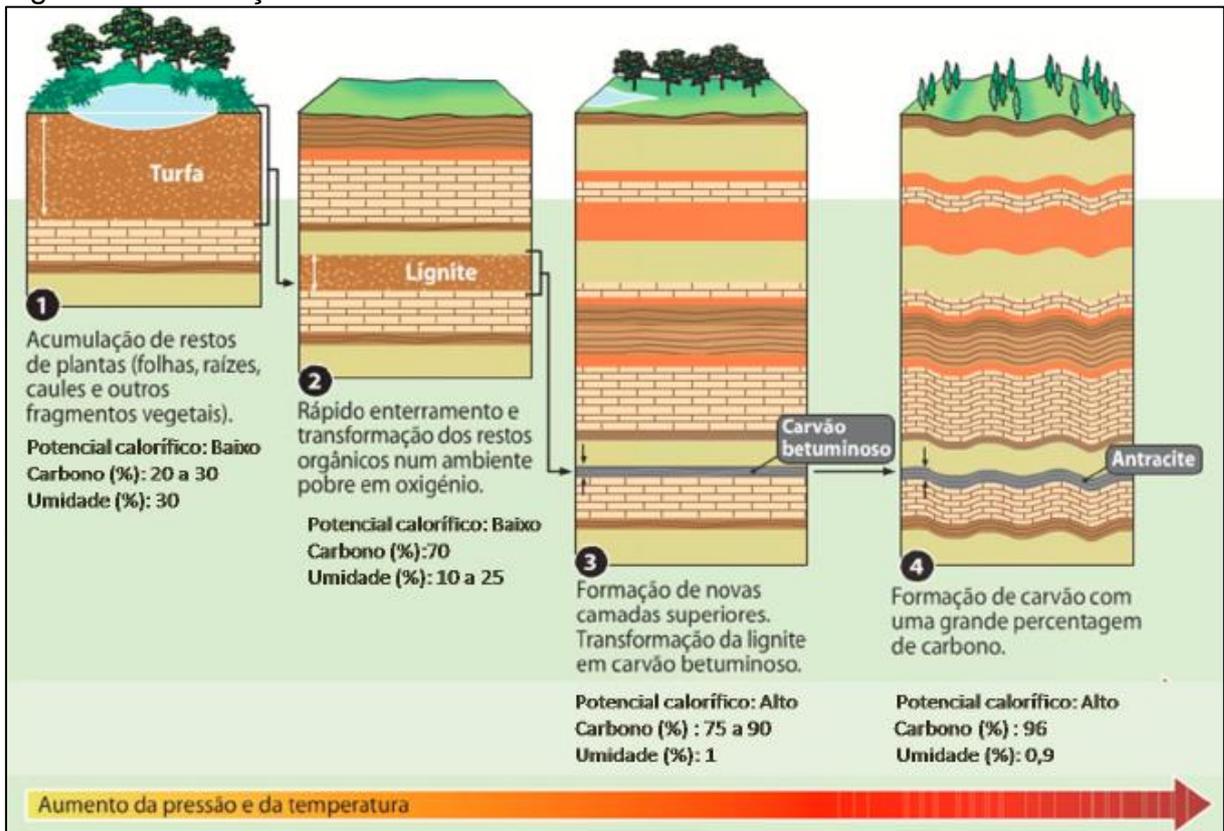
2.1 CARVÃO MINERAL

O carvão mineral é o combustível fóssil mais abundante do mundo, com reservas provadas na ordem de 1 trilhão de toneladas (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005). Sua aparição ao homem foi há muitos séculos antes de Cristo, e descrito muito mais tarde em 1280 d.C., por Marco Polo. Durante o século XII, na Inglaterra, o carvão mineral já era utilizado como fonte de aquecimento doméstico e sua aparição de forma expressiva ocorreu na Europa durante a Revolução Industrial, tornando-se no século XIX como o século do carvão. Já no século subsequente, o carvão mineral foi substituído pelo petróleo, até que em 1939 houve uma política voltada à extração de carvão nacional, em função das crises recorrentes do petróleo, havendo um crescimento significativo na demanda de carvão mineral para a geração de energia elétrica (SCHNEIDER, 1987).

O carvão mineral é uma rocha sedimentar com alto teor de carbono (55%-95%), livre ou combinado, contendo mais da metade de sua massa e mais do que 70% do seu volume de matéria carbonosa, formado pela decomposição e compactação de vegetais superiores e resíduos vegetais terrestres (restos de plantas, troncos de árvores e folhas) que são depositados ao longo do tempo geológico em águas relativamente rasas contendo oxigênio dissolvido (FAY, 1920; SCHOPF, 1978).

Diante dessa massa vegetal acumulada, as atividades bioquímicas ocorrem no início do processo e as geoquímicas no final, levando a formação de diferentes classes de carvão (turfa, linhito, sub-betuminoso, betuminoso, antracito), como mostra a Figura 1. Após milhões de anos, o carvão mineral pode aflorar à superfície ou ocorrerem em profundidades médias (100–200 m) ou elevadas (300-600 m) (CARRISSO; POSSA, 1995; GOMES, 2002).

Figura 1 – Formação do carvão mineral



Fonte: MYBRAIN SOCIETY, 2014 apud MACIE, 2015.

Os dados da Tabela 1 revelam que as reservas de carvão são bem distribuídas pelos continentes, sendo que em 75 países são encontradas em quantidades expressivas. Segundo o estudo realizado no fim de 2017, os 5 países com o maior percentual de reservas de carvão mineral do mundo são: Estados Unidos da América (24,2%), Rússia (15,5%), Austrália (14,0%), China (13,4%) e Índia (9,4). O Brasil apresenta 6.596,00 milhões de toneladas, resultando em 0,6% da reserva mundial de carvão mineral (BP, 2018).

Tabela 1 – Reserva, produção e consumo de carvão.

(continua)

Localidade	Reservas (10 ⁶ ton)	Produção (10 ⁶ ton)	Consumo (10 ⁶ ton)
Estados Unidos da América	250.916,00	371,30	332,10
Rússia	160.364,00	206,30	92,30
Austrália	144.818,00	294,40	42,30

Tabela 1 – Reserva, produção e consumo de carvão.

			(conclusão)
China	138.819,00	1747,20	1898,90
Índia	97.728,00	294,20	424,00
Brasil	6.596,00	3,00	16,50

Fonte: BP, 2018 (adaptado).

2.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

Segundo Muller (1987) e Mackowsky (1982 apud REDIVO; KAHN, 2002), o carvão mineral apresenta uma aparência lamelar devido aos seus constituintes microscópicos elementares e macroscópicos. A Tabela 2 apresenta os grupos de macerais e a Tabela 3 demonstra a relação entre os litotipos e seus grupos de macerais.

Tabela 2 – Grupos de macerais e seus respectivos macerais.

Grupo de macerais	Macerais
Vitrinita	Telinita, Colinita
Extinita	Esporinita, Cutinita, Alginita, Resinita, Hipodetrinita
Inertinita	Macrinita, Micrinita, Esclerolinita, Semifusinita, Fusinilita, Inertodetrinita

Fonte: Adaptado de Mackowsky, 1982 apud Venâncio, 2000.

Tabela 3 – Relação entre litotipos e grupos de macerais.

Litotipos	Grupos de macerais
Vitênio	Vitrinita
Clarênio	Vitrinita dominante + Exinita e Inertinita
Durênio	Inertinita + Exinita e Vitrinita
Fusênio	Inertinita

Fonte: Adaptado de Mackowsky, 1982 apud Venâncio, 2000.

Os mesmos autores ainda afirmam que além dos macerais e litotipos, o carvão mineral é constituído por matéria mineral, sendo esta de grande importância tecnológica, pois representa a qualidade físico-química do minério que é de suma importância para seu aproveitamento econômico. A matéria mineral é avaliada através do “grade” do carvão e do “rank”.

Segundo Gomes (2002), o termo “rank”, conforme exposto na Figura 2, demonstra o grau de carbonificação da matéria vegetal. Já o termo “grade” é utilizado para demonstrar a relação entre a matéria orgânica e a matéria inorgânica na camada, ou seja, expressar o teor de cinzas.

Figura 2 – Classificação do carvão segundo o "rank".

		Matéria Volátil (1) %	Reflexão Vitrinita %	Poder Cal. Superior(2) (kcal/kg)
Turfa				
Linhito	B	62	0,28	3.500
	A			
Carvão		52	0,39	4.600
Subbetuminoso	B	50	0,48	5.300
	A			
		47	0,50	5.800
				6.400
Carvão Betuminoso	Alto Volátil	C	0,65	7.250
		B		
		A		
		39	0,75	7.800
		31	1,1	7.800
		22	1,5	
		14	1,9	
Semi-antracito				
Antracito		8	2,5	
Meta-antracito		2		

Fonte: Stach, 1975 apud Carrisso e Possa, 1995.

2.3 BENEFICIAMENTO DE CARVÃO

Os carvões brasileiros são classificados, segundo seu *rank*, como subbetuminoso e alto-volátil, para os carvões sul-rio-grandense e catarinenses, respectivamente, apresentando no Rio Grande do Sul um teor médio de enxofre de

0,5% e um teor de matéria inorgânica de 52% e em Santa Catarina um teor médio de enxofre de 3% e 40% de matéria inorgânica (LEÓN, 1985).

Devido a essa associação com o enxofre e matéria inorgânica, os carvões brasileiros necessitam de beneficiamento do minério. Nessa etapa, o carvão bruto ou *Run of Mine* (ROM) passa por uma série de processos que visam a redução nos teores de cinzas e enxofre, além de um aumento do teor matéria carbonosa e, conseqüentemente, o incremento do poder calorífico. (MULLER, 1987; SCHNEIDER, 1987).

De acordo com um dos resultados na pesquisa realizada por Redivo e Kahn (2002), apenas 34,5% e 43,3% do ROM extraído das camadas Barro Branco e Bonito, respectivamente, são recuperados no processo de beneficiamento, o restante é caracterizado como rejeitos e material estéril. Segundo Amaral Filho (2014, p. 25), “os estéreis são camadas intermediárias ou circundantes que são extraídas na intenção de ter acesso ao produto mineral de interesse”, enquanto os rejeitos são resíduos sólidos compostos por matéria carbonosa, rochas sedimentares associadas e pirita (FeS_2), resultantes das operações de beneficiamento.

2.4 CARVÃO MINERAL NA REGIÃO SUL DO BRASIL

No Brasil, a reserva de carvão mineral de maior significância comercial está localizada na borda leste da bacia do Paraná, abrangendo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo (TEIXEIRA; SANTANA, 2008). Segundo o Anuário Mineral dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, utilizando como ano base 2016, Santa Catarina apresenta 18,9% e Rio Grande do Sul 81% de reservas medidas de carvão mineral, como mostra a Tabela 4. O restante está distribuído nos estados de São Paulo e Paraná (GTA, 2018).

Tabela 4 – Reservas de carvão mineral nos estados de RS e SC

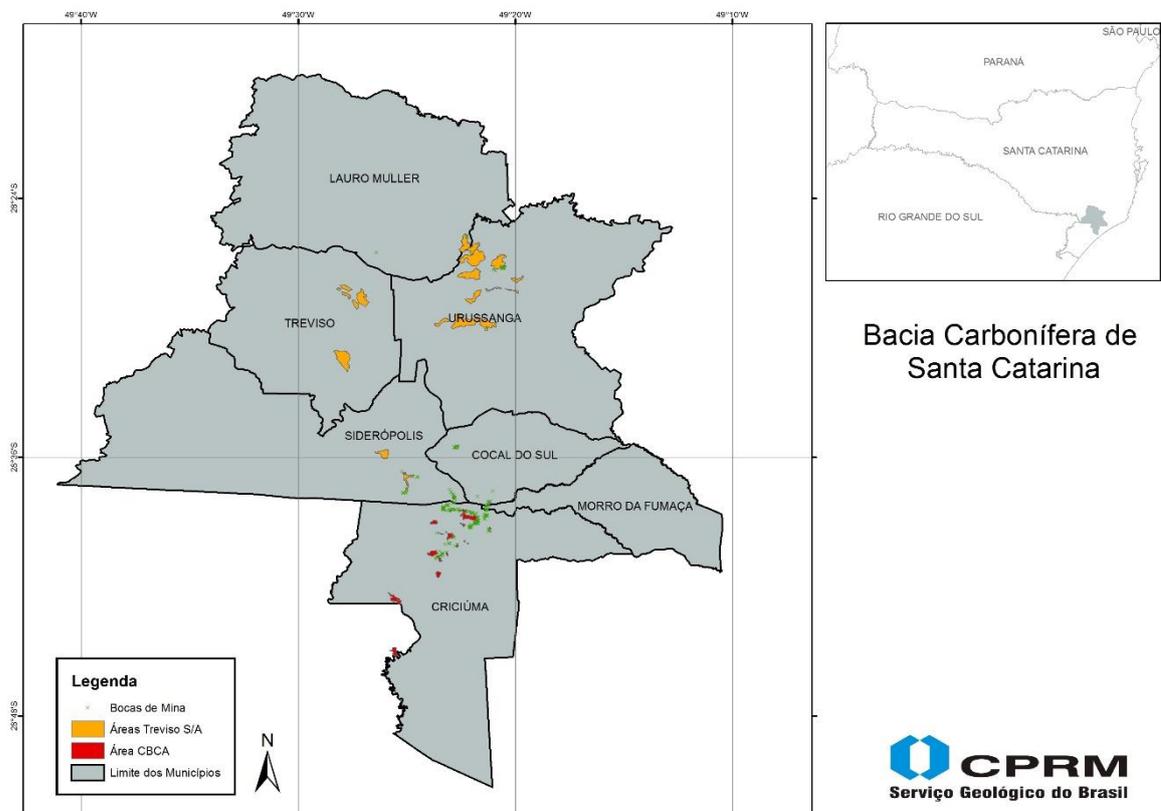
Estados	Medidas (t)	Indicada (t)	Inferida (t)	Lavrável (t)
Rio Grande do Sul ¹	6.533.764.546	11.278.086.640	7.400.835.669	2.773.174.075
Santa Catarina ²	1.528.784.834	629.556.427	174.725.368	1.020.762.663

Fonte: (1) BRASIL, 2018; (2) BRASIL, 2017.

A qualidade do carvão mineral varia do sul ao norte das áreas supracitadas, alterando o teor de cinza e o teor de enxofre. O carvão com características metalúrgicas pode ser encontrado no estado de Santa Catarina, porém, não é mais produzido desde 1990 pelas mineradoras da região devido ao seu teor de cinzas ser muito elevado perante aos carvões internacionais, além da pouca procura dessa matéria prima pelas empresas que produzem o coque (REDIVO; KAHN, 2002; TEIXEIRA; SANTANA, 2008).

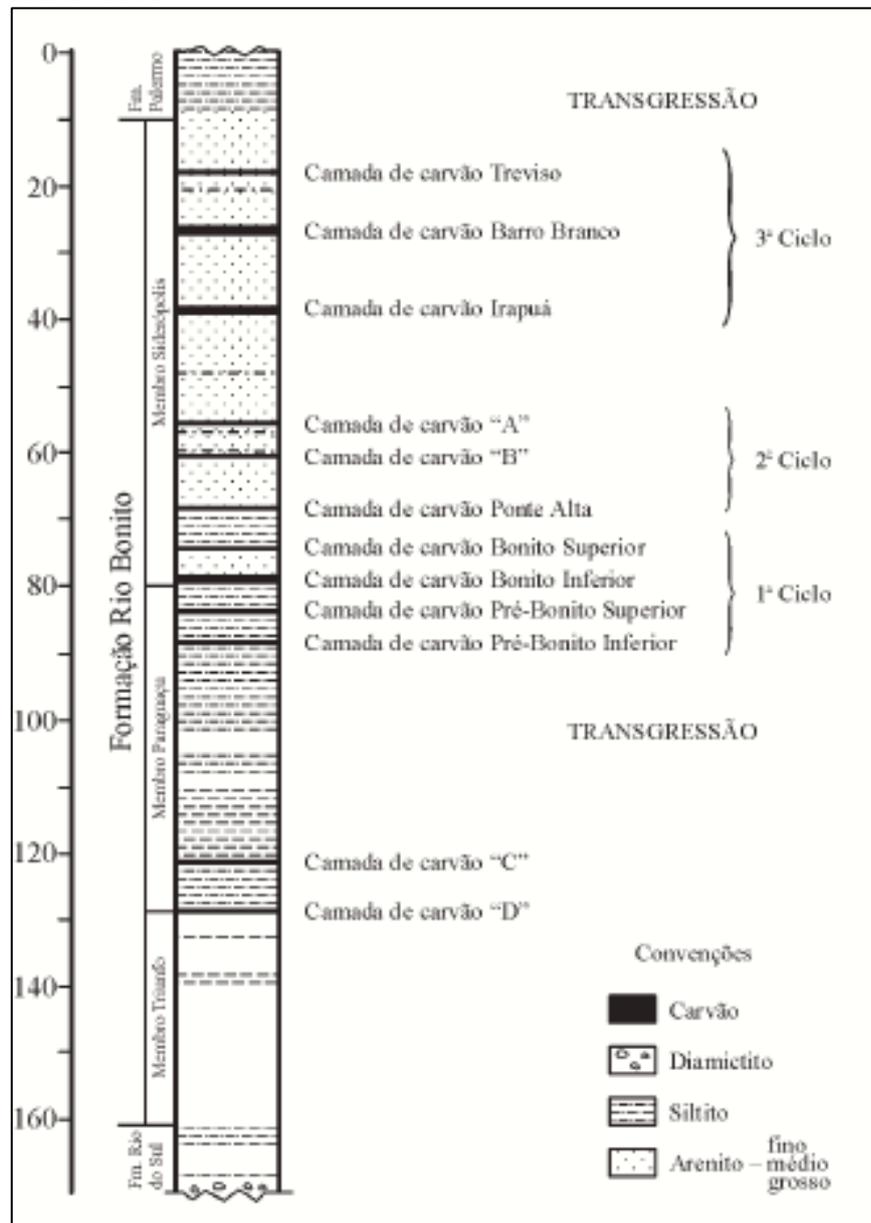
Os principais horizontes carboníferos do Brasil ocorrem na formação Rio Bonito, apresentando o maior desenvolvimento na Bacia Carbonífera de Santa Catarina, localizada na região sul do estado, conforme Figura 3. Esse depósito de carvão tem sido mais intensamente explorado nas últimas décadas devido ao seu elevado teor em matéria mineral (teor de cinzas entre 50 e 65%), o que define um carvão de baixo grau de carbonização (rank) (DARDENNE; SCHOBENHAUS, 2001; GOMES, 2002; AMARAL FILHO, 2014).

Figura 3 – Bacia Carbonífera de Santa Catarina.



A Bacia Carbonífera de Santa Catarina situa-se no flanco sudeste de Santa Catarina, estendendo-se desde o município de Ararángua até além de Lauro Müller, com aproximadamente 100 km de extensão e uma largura média de 20 km. Dez camadas de carvão estão presente neste depósito, porém, somente três delas possuem importância econômica, são elas: Barro Branco, Bonito, e muito localmente, a Camada Irapuá (GOMES, 2002). A Figura 4 representa as camadas do carvão na Formação Rio Bonito, que ocorre nas cidades localizadas na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense.

Figura 4 – Camadas de carvão da Formação Rio Bonito, no sul de SC.



Fonte: Suffert, Caye e Daemon, 1977.

De acordo com o estudo realizado por Suffert, Caye e Daemon (1977, p. 18):

As camadas Barro Branco e Bonito Inferior são as que apresentam maior continuidade, maiores espessuras e maior interesse econômico. A primeira é atualmente a principal camada minerada e a segunda é grande fonte potencial de carvão vapor ou carvão para a gaseificação.

O carvão catarinense foi descoberto em 1882 no município de Lauro Müller pelos tropeiros enquanto desciam a serra do “12” em direção à Laguna (AMARAL FILHO, 2014). Segundo o Sindicato da Indústria de Extração de Carvão de Santa Catarina (CETEM, 2001), em meados de 1884, começou no município de Lauro Müller pequenas produções de carvão mineral com extrações totalmente manuais e o beneficiamento, quando necessário era realizado pelas chamadas “escolhedeiras”, mulheres que separavam o carvão e os estéreis. Entre 1931 a 1940, foram elaboradas as primeiras leis que obrigavam o consumo de carvão mineral nacional pelas indústrias. Tal fato, associado à Segunda Guerra Mundial, proporcionou um incremento na produção de carvão mineral na ordem de 300 a 500%. No período de 1953 a 1970, o governo brasileiro apoiou de forma expressiva o setor carvoeiro visando a geração de matéria prima para a geração de energia elétrica.

Em 1980, inaugura-se o complexo termoelétrico Jorge Lacerda, com capacidade instalada de 482 MW, localizado no município de Tubarão (CETEM, 2001). Em 1985, o carvão mineral na região catarinense atingiu seu auge com a maior produção de toda a história, 19 milhões de toneladas com 15 mil trabalhadores nas minas.

Após 1985, inicia-se uma fase de decadência intensificada com a abertura da importação de carvão e com a crescente conscientização ambiental associadas a organizações de movimentos ambientalistas (CASTILHO; FERNANDES, 2002). Segundo os mesmos autores, nessa época, a Bacia Carbonífera Sul Catarinense foi classificada como a 14^o Área Crítica Nacional para Efeito de Controle de Poluição e Conservação da Qualidade Ambiental, através do Decreto n. 85.206/1980.

De acordo com Peterson (2008, p. 29), “[...] por causa das fracas aplicações das leis e regulamentações ambientais, a exploração do carvão praticadas em Santa Catarina até o início da década de 90, resultou em desastre ambiental”. Torrezani e Oliveira (2013) afirmam que a exploração do carvão mineral traz vantagens

econômicas para a região, porém quando realizada sem controle ambiental, é capaz de causar sérios problemas socioambientais durante seu processamento, gerando poluentes que impactam, de forma negativa, ambientes naturais e urbanos.

2.5 AÇÃO CIVIL PÚBLICA

Considerando que o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado é um direito de todos, expresso pelo Art. 225, *caput*, da Constituição Federal de 1988 e sua proteção são impostas ao Poder Público e à coletividade, entende-se que o titular do direito ao equilíbrio ecológico tenha o direito de lutar e defendê-lo em juízo (RODRIGUES, 2010)

A Ação Civil Pública (ACP) é uma técnica processual que traz vantagens à tutela jurisdicional do meio ambiente. Fundamenta-se em um processo coletivo em que os legitimados (Ministério Público, Defensoria Pública, Procons, União, Estados, Municípios, as associações civis e etc.) podem pedir em juízo um benefício para todo o grupo lesado, sem necessidade de cada pessoa ter de comparecer individualmente ao processo (MAZZILLI, 2012).

Segundo Rodrigues (2010), no ano de 1985 o Ministério Público ganhou total legitimidade para agir em prol da defesa do meio ambiente, resultado da promulgação da Lei nº 7.347/85, responsável por uma revolução no ordenamento jurídico brasileiro. A Lei nº 7.347/85, como define o seu preâmbulo, “disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico, e dá outras providências” (BRASIL, 1985). Essa lei surgiu diante à necessidade de regulamentar o Art. 14, §1º da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), que diz:

Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. O Ministério Público da União e dos Estados terá legitimidade para propor ação de responsabilidade civil e criminal, por danos causados ao meio ambiente. (BRASIL, 1981).

2.5.1 Ação Civil Pública do Carvão

A Ação Civil Pública nº. 93.80.00533-4, popularmente conhecida como ACP do Carvão, surgiu com o intuito de recuperar os passivos ambientais gerados pela atividade minerária entre o período de 1972 a 1989. Proposta pelo Ministério Público Federal (MPF) em 1993, perante a 8ª Vara Federal da Seção Judiciária do Estado de Santa Catarina, considerou 24 réus entre empresas carboníferas, o Estado e a União (ZANETTE et al., 2018).

Segundo Belolli, Quadros e Guidi (2010), a falta de requisitos legais ambientais convenientes as atividades produtivas nos diversos setores da economia, sucedeu a visão econômica da exploração mineral. Até o início da década de 1990, a exploração do minério não adotava rígidos controles ambientais. Diferentes interpretações pelos legisladores e órgãos de controle na relação do Direito Minerário e Ambiental e à fiscalização insuficiente, causaram significativos passivos ambientais (ZANETTE et al., 2018).

Assim, após as instâncias jurídicas de defesa e fases de instrução processual da ACP do Carvão, foi proferida a sentença em 5 de janeiro de 2000. Simultaneamente ao proferimento da sentença, ficou deferido antecipação de tutela, a qual condenou as empresas réas a apresentarem no prazo de 06 meses, os projetos de recuperação da Bacia Carbonífera Catarinense (BCC), delimitados os passivos ambientais das empresas carboníferas (ZANETTE et al. 2018; SATC, [201-?]). O prazo para a conclusão das obras era de 3 anos.

2.5.1.1 Fases da implantação da ACP do carvão

A primeira fase ocorreu entre 2000 e 2004, sendo marcada por vários impasses. Os meios de fiscalização eram insuficientes, assim como, havia a necessidade da criação de um ente de atuação central para organizar os projetos. Essa carência de corpo técnico, gerou diferentes interpretações sobre as áreas a serem recuperadas, bem como, a metodologia de elaboração dos Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD's), (ZANETTE et al., 2018).

Na segunda fase executória, os técnicos dos órgãos federais MPF, MMA e DNPM acompanharam a execução dos projetos de forma mais detalhada, verificando que o trabalho de recuperação ambiental não estava sendo executando conforme

devido, qualificando-os como de péssima qualidade (Informação Técnica n. 03/2006) (PINHO; PREVE, 2015).

A partir de 2006, foi implantado a terceira fase do processo, a qual adotou medidas para padronizar os PRAD's, utilizando como base o Decreto-Lei n. 97.632/89, as Resoluções CONAMA 001/86 e 009/90, a NBR 13030, a NRM-01 (Normas Gerais) e a NRM-21 (Reabilitação de Áreas Pesquisadas, Mineradas e Impactadas) da Portaria do DNPM nº 237/2001. Nesta fase foi criado o Grupo Técnico de Assessoramento (GTA) culminando em consenso entre as partes litigantes de que era possível a plena recuperação do passivo ambiental decorrente da exploração de carvão na região (ZANETTE et al., 2018).

O cronograma de recuperação das áreas degradadas tem como teto para a conclusão das obras, o ano de 2020.

2.6 GRUPO TÉCNICO DE ASSESSORAMENTO (GTA)

O Grupo Técnico de Assessoramento do Juízo representa uma câmara técnica, interdisciplinar, composto por 21 instituições e inclui os réus (União e demais empresas carboníferas), e outras instituições, como o SIECESC, o MPF, a Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA), o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e os comitês das bacias hidrográficas do Araranguá, Urussanga e Tubarão (GTA, 2018). A missão do Grupo Técnico de Assessoramento é “maximizar os entendimentos no nível técnico e, em consequência, minimizar os conflitos que devam ser decididos pelo Juízo” (GTA, 2018, p. 06). Assim, as atribuições do Grupo incluem:

- a) integrar os dados de indicadores ambientais coletados pelo SIECESC, pela CPRM e pelas empresas carboníferas;
- b) elaborar relatórios técnicos periódicos, destinados ao Juízo e sujeitos a ampla divulgação, avaliando a evolução dos indicadores ambientais;
- c) propor ações tendentes à plena recuperação ambiental, nos termos previstos na sentença;
- d) propor sequência de prioridades na execução de ações de recuperação;
- e) propor alterações nos indicadores ambientais, e plano de monitoramento, quando entendê-las necessárias;
- f) responder aos questionamentos do Juízo (GTA, 2007, p. 06)

Segundo os “Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão”, revisão 07, produzida, por consenso, após discussão no GTA, em reunião realizada no dia 16 de novembro de 2015, aguçam

que para cada área a ser recuperada, um PRAD deve ser elaborado, cumprindo todos requisitos técnicos do PRAD-padrão judicialmente homologado (GTA, 2015).

2.6.1 Aspectos legais do PRAD objeto da ACP do Carvão

Segundo o Instituto de Meio Ambiente (IMA) é a autarquia responsável pelo licenciamento ambiental que prevê duas modalidades: trifásica e unificada. Na modalidade trifásica o licenciamento ambiental é subdividido em três etapas subsequentes, são elas: Licença Ambiental Prévia (LAP), Licença Ambiental de Instalação (LAI) e Licença Ambiental de Operação (LAO). Já na modalidade unificada, o licenciamento ambiental ocorre apenas em um ato, sendo classificado como Autorização Ambiental (AuA) ou Licença Ambiental por Compromisso (LAC) (SANTA CATARINA, [2019?]).

A execução do PRAD fica sujeita a prévio licenciamento ambiental, nos termos do art. 10 da Lei 6.938/81, Resolução CONAMA 237/97 e CONSEMA nº 98 e 99. São elaborados de maneira trifásica e suas peculiaridades seguem as atribuições a seguir:

- a) LAP: autoriza atividade, de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados;
- b) LAI: autoriza a execução das obras de recuperação de áreas degradadas;
- c) LAO: autoriza o início da fase de monitoramento.

Somente após comprovar a eficácia da recuperação, mediante monitoramento por tempo suficiente, é que o IMA emitirá um laudo atestando a recuperação da área. No caso das áreas objeto da ACP do carvão, o PRAD será avaliado também pelo MPF e homologado pelo Juiz. Por fim, a área só será considerada recuperada após emissão de laudo do IMA, avaliação do MPF e homologação judicial. Nestes casos, o GTA, quando solicitado, poderá se manifestar, encaminhando suas conclusões ao juiz (GTA, 2015).

Para as áreas degradadas que não são objeto da ACP do Carvão, o MPF com base no art. 6º, inciso XX, da Lei Complementar 75/1993, remeterá recomendação ao IMA para que os critérios técnicos definidos no documento supracitado sejam adotados como padrão obrigatório no licenciamento de qualquer PRAD referente às áreas degradadas pela mineração de carvão (GTA, 2015).

2.7 IMPACTOS AMBIENTAIS

Segundo a resolução CONAMA 01/86, impacto ambiental é:

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- a) A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) As atividades sociais e econômicas;
- c) A biota;
- d) As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- e) A qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986)

Já a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO 14.001, a qual especifica os requisitos para um sistema de gestão ambiental que uma organização pode usar para aumentar seu desempenho na ótica do meio ambiente, define impacto ambiental sendo qualquer alteração no meio ambiente, adversa ou benéfica, como sendo resultado, no todo ou parte, dos aspectos ambientais (atividades, produtos ou serviços) de uma organização (ABNT, 2015).

Na opinião de Sánchez (2006), é extremamente importante entender o conceito de impacto ambiental adotado pela norma supracitada pois muitas organizações, bem como, empresas do ramo minerário, têm adotado sistemas de gestão ambiental. O mesmo autor conceitua impacto ambiental como:

[...] uma consequência de “atividades, produtos, ou serviços” de uma organização; ou seja, um processo industrial (atividade), um agrotóxico (produto), ou o transporte de uma mercadoria (serviço ou atividade) são causas de modificações ambientais, ou impactos. Segundo essa definição, impacto é qualquer modificação ambiental, independentemente de sua importância, entendimento coerente com o de muitas outras definições de impacto ambiental. (SÁNCHEZ, 2006, p. 30).

Associado ao conceito de impacto ambiental está o conceito de poluição. Segundo a Lei nº 6938/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividade que direta ou indiretamente:

- a) Prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) Criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) Afetem desfavoravelmente a biota;
- d) Afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) Lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;
- f) Recursos ambientais: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora (BRASIL, 1981).

Outro conceito importante para se ter o entendimento de impacto ambiental, é conceito de área degradada.

O Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração define que “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruída, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico for alterado” (IBAMA, 1990, p. 13).

Segundo a Instrução Normativa do Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio) nº 11, de 11 de dezembro de 2014, “área degradada é aquela impossibilitada de retornar por uma trajetória natural a um ecossistema que se assemelhe ao estado inicial, dificilmente sendo restaurada, apenas recuperada.” (ICMBIO, 2014).

Da mesma forma, o conceito de área degradada é explicado pelos Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão sendo “[...] aquela onde ocorreu, por ação antrópica, perda de algumas de suas características físicas, químicas e bióticas, suficientes para prejudicar a estabilidade do ecossistema e afetar negativamente seu potencial socioeconômico” (GTA, 2015).

2.7.1 Impactos ambientais da mineração de carvão

É axiomático que, nos dias atuais, a mineração de carvão, bem como, todos outros tipos de extração de minérios assume grande importância para o desenvolvimento e bem-estar das sociedades, pois os minérios extraídos da natureza estão em quase todos os produtos utilizados (KOPEZINSKI, 2000). Perante a essa atividade extração, surgem os impactos ambientais, podendo ser impactos positivos ou negativos. De acordo com Derani (2001) para os impactos positivos, deve-se criar formas de maximizá-los. Já para os impactos negativos, primeiramente deve-se elaborar estratégias de eliminá-los, caso impossível, é necessário aplicar técnicas de mitigação de impactos ambientais.

A degradação ambiental provocada por todas as atividades envolvidas na extração e beneficiamento do carvão, atua negativamente na qualidade ambiental, impactando negativamente os recursos hídricos, o solo e a qualidade do ar, sendo um dos fatores chaves para o desaparecimento da fauna e flora regionais (BORTOT, 2000; ALEXANDRE; KREBS, 1995).

2.7.2 Impactos ambientais causados no solo e vegetação

Em todos os métodos de mineração, seja a céu aberto ou subterrâneo, há impactos ambientais ao solo e vegetação. Porém, o método de mineração a céu aberto, muito utilizado no passado e ainda encontrado em alguns países como Austrália e Estados Unidos da América, é o principal causador da degradação do solo.

Neste método, a remoção do capeamento (solo e parte do subsolo) ocorre de forma desordenada, causando desmatamento, bem como, a ocorrência de inversão das camadas do solo, soterrando o solo fértil das camadas superiores sob o material rochoso e piritoso, expondo-os às intempéries e conseqüentemente, lixiviando seus contaminantes até corpos d'água superficiais e/ou subterrâneos (SANTA CATARINA, 1990; GOTHE, 1993).

Já o método de extração de minério pelo subsolo, muito utilizado no Brasil, tem como os principais impactos ambientais o rebaixamento do lençol freático em sua área de influência, rachaduras na superfície do solo e, conseqüentemente, danos à construções e águas ácidas recalçadas do subsolo (GOTHE, 1993).

2.7.3 Impactos ambientais causados nas águas

Os impactos ambientais causados nas águas estão diretamente ligados a carga de acidez que são lançadas nos rios através dos efluentes do beneficiamento do minério, lixiviação dos depósitos de rejeito e drenagem de minas a céu aberto e/ou subterrâneas. Esses ambientes são caracterizados por baixos valores de pH, – que podem ser inferiores a 3,5 – altas concentrações de sulfato – podendo chegar a 2000 mg.L⁻¹ – e cátions metálicos em concentrações superiores àquelas normalmente encontradas em ambientes naturais. (ALEXANDRE; KREBS, 1995; MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

A drenagem ácida de mina (DAM) é produzida quando materiais compostos por sulfetos, são retiradas do interior da terra pelas atividades de mineração e, quando dispostas na superfície terrestre, oxidam-se por reação com água e/ou oxigênio atmosféricos, formando como subproduto o ácido sulfúrico (H₂SO₄). Bactérias presente naturalmente em ambientes aquáticos podem acelerar o processo de geração de DAM, atuando na oxidação da pirita (AKCIL; KOLDAS, 2006; MELLO;

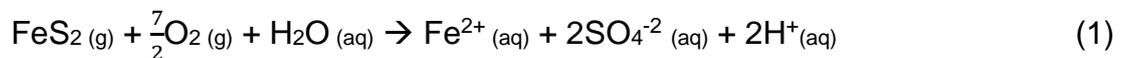
DUARTE; LADEIRA, 2014). Segundo Santos (2015, p. 1), os fatores que determinam a taxa de formação de ácidos são:

1. pH;
2. temperatura;
3. quantidade de oxigênio disponível na fase gasosa;
4. concentração de oxigênio no meio aquoso;
5. a atividade química do Fe^{3+} ;
6. a área superficial exposta do mineral;
7. a energia de ativações necessária para iniciar as reações;
8. a atividade biológica e
9. atividade biológica

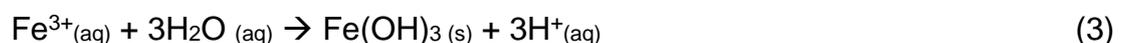
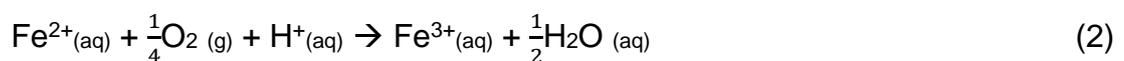
As soluções ácidas geradas pela DAM, à medida que penetram nas rochas e nos solos, podem solubilizar alguns elementos químicos presentes como manganês (Mn), cromo (Cr), cádmio (Cd), zinco (Zn), ferro (Fe), chumbo (Pb), entre outros. O incremento destes elementos nos corpos hídricos eleva o grau de toxidez devido à ação sinérgica entre os elementos químicos, contaminando as águas superficiais e/ou subterrâneas, bem como, afeta diretamente toda a biodiversidade em torno das áreas atingidas e, conseqüentemente, causa um desequilíbrio ecológico (ALEXANDRE; KREBS, 1995; SANTOS, 2015).

As reações de oxidação da pirita foram talhadas por Singer e Stumm (1970 apud MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014), embora que não seja compreendido em sua totalidade, o processo de formação de DAM é geralmente ilustrado pelas equações abaixo

- a) Oxidação do bisulfeto de ferro (FeS_2) pelo oxigênio atmosférico (O_2), gerando como produto sulfato (SO_4), ferro ferroso (Fe^{2+}) e íons de hidrogênio (H^+) em solução, equação (1):

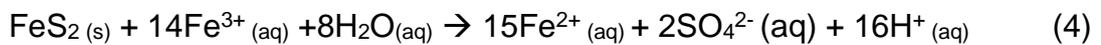


- b) Oxidação do ferro ferroso em ferro férrico (Fe^{3+}), demonstrada na equação (2), que por hidrólise, produz hidróxido de ferro ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), causando um aumento na acidez, equação (3):



A etapa de oxidação do ferro (equação 2) pode ser acelerada pela ação das bactérias presentes naturalmente em ambientes aquáticos, desenvolvendo-se melhor em ambientes com pH entre 2,8 e 3,2. As duas espécies de bactérias identificadas em DAM são *Acidithiobacillus thiooxidans*, que oxida enxofre, e *Acidithiobacillus ferrooxidans*, capaz de oxidar ferro. (MELLO; DUARTE; LADEIRA, 2014).

Na faixa de pH entre 2,3 e 3,5, os íons Fe^{3+} precipitam na forma de $Fe(OH)_3$, tornando baixa a concentração de Fe^{3+} em solução. Caso não ocorra a precipitação do íon Fe^{3+} , este íon pode oxidar a pirita, como mostra a equação 4 (SANTOS, 2015):



De acordo com Santos (2015), apesar do mecanismo da atuação do Fe^{3+} sobre a superfície da pirita não ser completamente entendido, este íon pode atuar sobre a superfície e oxidá-la, (equação 4). O mesmo autor ainda conclui que quanto maior a concentração de Fe^{3+} disponível no meio, maior será a taxa de oxidação da pirita.

2.7.4 Impactos ambientais causados na atmosfera

O ambiente atmosférico sofre sérios danos perante à utilização do carvão mineral, seja durante nos depósitos de rejeito, no pátio das minas e na combustão do carvão mineral nas termoelétricas e/ou nas indústrias.

Segundo Bortot (2000, p. 103), “o rejeito piritoso nos depósitos de rejeitos fica sujeito a autocombustão quando exposto ao oxigênio e umidade, gerando gases tóxicos, principalmente hidrocarbonetos, monóxido de carbono e o gás sulfídrico [...]”. Esses gases trazem sérios danos à saúde, aos materiais, as propriedades da atmosfera, à fauna e flora e à economia como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Gases gerados pela oxidação da pirita.

(continua)

Gás	Danos
Hidrocarbonetos	Apresentam potencial causador de efeito estufa (BRASIL, [20--])

Tabela 5 – Gases gerados pela oxidação da pirita.

(conclusão)	
Monóxido de carbono	Agravamento dos sintomas de asma, de deficiência respiratória, bem como de outras doenças pulmonares (enfisemas, bronquites, etc.) e cardiovasculares (arteriosclerose). Longo tempo de exposição pode ocasionar redução na capacidade pulmonar, desenvolvimento de asma e redução na expectativa de vida (BRASIL, [20--])
Gás sulfídrico	Capaz de provocar asfixia, irritar os olhos, pode levar a óbito quando inalado em grandes concentrações e causador do cheiro de “ovo podre” (TRISTÃO, 2005 apud SCROCCARO, 2016).

Fonte: Autor, 2019.

Já na queima do carvão nas indústrias e termoelétricas, os impactos ambientais estão concentrados especialmente na emissão de materiais particulados, dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênio. Além desses gases serem prejudiciais à saúde humana, são também precursores da formação da chuva ácida, provocando conseqüentemente a acidificação do solo, água, danos a fauna e flora, corrosão do concreto entre outros impactos negativos (TEIXEIRA; SANTANA, 2008).

2.8 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS SUPERFICIAIS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO

A obrigação fundamental imposta aos titulares do direito minerário no Brasil, com relação ao fechamento das minas, é que eles promovam a recuperação das áreas impactadas pelas atividades da mineração, de acordo com um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), previamente elaborado e aprovado pelo órgão governamental competente.

Existem diversos métodos de recuperação de áreas degradadas pela mineração, porém, assim como um médico precisa fazer diversos exames e submeter seu paciente a análises clínicas para diagnosticar sua doença, as áreas degradadas também precisam desse diagnóstico. Devido à complexidade da atividade de recuperação ambiental, este diagnóstico deve ser feito por equipe multidisciplinar, atuando em estudo de campo para propor o método de recuperação mais adequado (LOPES; SANTOS; GALATTO, 2009).

Em 1999, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou a NBR 13030/1999 intitulada de: Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. O objetivo desta norma era fixar diretrizes para elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pelas atividades de mineração, visando melhoria da qualidade ambiental, independente da fase de instalação do projeto (ABNT, 1999).

O Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT – UNESCO) também elaboraram técnicas de recuperação de áreas degradadas, através de estudos realizados em antigos sítios de mineração de carvão. Nestes trabalhos, o diagnóstico ambiental foi realizado mediante os critérios de mapeamento geológico-geotécnico, no qual foram realizados estudos de campo e análises de laboratório (LOPES; SANTOS; GALATTO, 2009). O conhecimento das características físicas, químicas e biológicas de áreas degradadas pela mineração permitiram a elaboração das etapas de recuperação, como:

- a) Retirada dos rejeitos piritosos e disposição em local especialmente preparados;
- b) Remodelagem do terreno, incluindo construção de novas vias de acesso e instalação de sistemas de drenagem;
- c) Neutralização e aterramento de lagoas ácidas;
- d) Aplicação de calcário sobre os estêreis remodelados;
- e) Recobrimento do substrato com argila para reconstrução do solo;
- f) Incorporação de calcário ao solo construído e cama de aviário;
- g) Recobrimento do solo com turfa;
- h) Introdução de vegetação herbácea, por meio de sementeira a lanço;
- i) Sementeira de espécies pioneiras;
- j) Aberturas de covas, correção do solo e plantio de mudas de espécies pioneiras e não pioneiras em toda a área;
- k) Monitoramento das águas, do solo, das características geológicas e geotécnicas, da fauna e da flora, durante e após a reabilitação da área, num período total de 60 meses (LOPES; SANTOS; GALATTO, 2009).

O Ministério Público Federal também criou os métodos de recuperação ambiental das áreas degradadas objeto da ACP do Carvão. Através do GTA, critérios técnicos foram elaborados e separados por; recuperação de áreas degradadas em

áreas de Áreas de Preservação Permanente (APP) e fora delas. Para as áreas degradadas em APP, o único uso futuro é a preservação permanente para que sua função ambiental seja recomposta. As etapas resumidamente são:

- a) Remover rejeitos não inertes e/ou estéreis com sulfetos (principalmente pirita), com reposição de material inerte, não contaminante.
 - b) Reconstituir topografia natural ou nova conformação estável geotecnicamente.
 - c) Construir solo que permita o aporte de espécies arbóreas típicas do bioma Mata Atlântica e ocorrentes em Floresta Ombrófila Densa, cujos os parâmetros são definidos pelo GTA.
 - d) Construir taludes que atendam os critérios geotécnicos, de modo a manter sua estabilidade e minimizar o desenvolvimento de processos erosivos.
 - e) Instalar sistema de drenagem que garanta a estabilidade geotécnica e minimize os processos erosivos da área.
 - f) Realizar monitoramento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, baseado na metodologia apresentada pelo GTA.
 - g) Realizar manejo florestal e manutenção da vegetação (GTA, 2015)
- Já para as áreas degradadas foras de APP, as etapas de recuperação

resumidamente são:

- a) Elaborar proposta de uso futuro da área. Todos os usos futuros são aceitáveis, desde que: 1) esteja de acordo com a legislação, em especial com o Plano Diretor do município; 2) não comprometa a impermeabilização.
- b) Delimitar área de Reserva legal, conforme o art. 16, caput, inciso III, da Lei 4.771/65.
- c) Remover ou isolar os rejeitos e estéreis do ponto de vista hídrico, de forma a cessar a contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.
- d) Reconstruir topografia, adequando ao novo uso proposto.
- e) Construir solo que permita o aporte da cobertura vegetal, garantido a estabilidade da área, de acordo com o uso futuro proposto.
- f) Implantar espécies vegetais, nativas ou não, que não comprometam

a impermeabilização dos rejeitos e estéreis (não podem ter sistema radicular profundo) e que sejam compatíveis com o uso futuro proposto. Cobertura vegetal mínima de 90%.

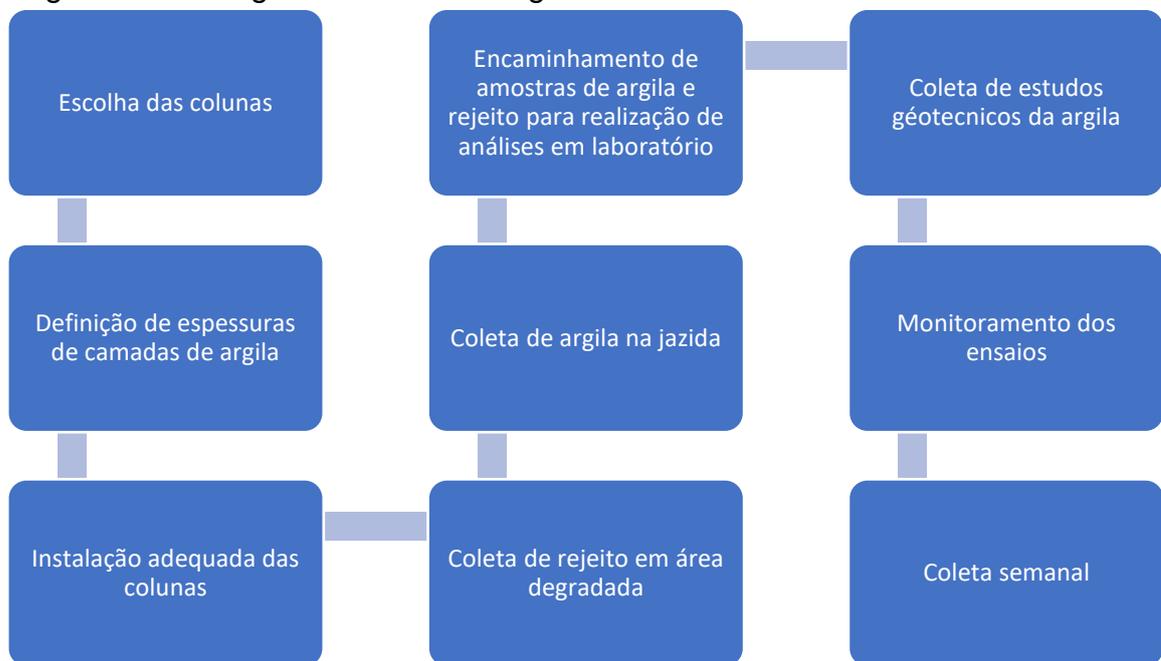
- g) Construir taludes que atendam os critérios geotécnicos, de modo a manter sua estabilidade e minimizar o desenvolvimento de processos erosivos.
- h) Instalar sistema de drenagem que garanta a estabilidade geotécnica e minimize os processos erosivos da área.
- i) Realizar monitoramento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, baseado na metodologia apresentada pelo GTA.
- j) Realizar manejo florestal e manutenção da vegetação (GTA, 2015).

3 METODOLOGIA

O local utilizado para a realização dos ensaios situa-se no laboratório da Indústria Carbonífera Rio Deserto, localizado no município de Urussanga – SC. Foram utilizados no experimento duas colunas de acrílico afim de avaliar o comportamento do pH, ferro e manganês dissolvido em duas colunas de acrílico preenchidas com o mesmo volume de rejeito e diferentes espessuras de argila compactada. Foram escolhidos apenas os 3 parâmetros supracitados pelo fato dos mesmo serem os parâmetros que apresentam maior abundância no efluente, assim como são os elementos possíveis em serem analisados diante o tempo do trabalho.

A metodologia focou em avaliar algumas propriedades físico-químicos do material argiloso e do rejeito piritoso para auxiliar na interpretação nos resultados dos parâmetros a serem analisados dos efluentes como pH, Fe e Mn Dissolvido. Foram desenvolvidas nos trabalhos as seguintes atividades:

Figura 4 – Fluxograma da metodologia dos ensaios em colunas.



Fonte: Do autor, 2019.

Foi realizado também um ensaio utilizando apenas argila compactada. O objetivo deste ensaio foi analisar as concentrações das lixiviações de ferro e manganês dissolvido pela argila compactada, assim como o valor do pH. Desta maneira, é possível saber se a argila irá lixiviar contaminante para o efluente final.

Além dos ensaios de colunas, foi realizado um estudo de caso em um depósito de rejeito exaurido com o objetivo de avaliar a qualidade do efluente após as etapas de operação, tamponamento e recuperação ambiental do depósito de rejeito.

3.1 MONTAGEM DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Para a realização do experimento, três colunas de acrílicos foram utilizadas, com espessura de 3 milímetros. As colunas possuem dimensões de 70 centímetros de altura e 5 centímetros de diâmetro interno.

3.2 COLETA DAS AMOSTRAS

3.2.1 Rejeito

A coleta foi realizada no dia 01/04/2019 em uma área degradada pela mineração de carvão na década de 70, situada no município de Urussanga – SC. Suas coordenadas são: 28°27'30.35"S e 49°22'23.01"W.

Figura 5 – Local da coleta de rejeito.



Fonte: Google Earth, 2019 (adaptado).

Foram coletadas, com o auxílio de uma pá, aproximadamente 10 kg de rejeito a 15 centímetros da superfície em 5 pontos selecionados estrategicamente

para reproduzir uma amostra representativa de aproximadamente 50 kg. Esse material foi misturado, acondicionado em um saco de amostra e enviado para o laboratório.

Figura 6 – Coleta de rejeito piritoso.



Fonte: Do autor, 2019.

3.2.2 Material argiloso

O material argiloso foi coletado no dia 03/04/2019 em uma jazida de argila localizada no município de Içara – SC, nas coordenadas $28^{\circ}48'15.12''S$ e $49^{\circ}15'2.04''W$ (Figura 6). A coleta foi realizada com o auxílio de uma pá, acondicionada em um saco de amostra e enviada para o laboratório.

Figura 7 – Local da coleta do material argiloso.



Fonte: Google Earth, 2019 (adaptado).

3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO REJEITO E ARGILA

Foram realizadas em laboratório as análises imediatas do rejeito avaliando: cinzas, materiais voláteis, carbono fixo, enxofre total, umidade total e granulometria. Também foi realizado ensaio de composição química do rejeito, bem como, classificação de acordo com a NBR 10004 a qual classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Já para a argila, foram feitos em laboratório apenas análise de composição química.

Os métodos utilizados para a realização da análise imediata do rejeito estão na Tabela 6. Na Tabela 7 estão descritos os métodos utilizados para definir a composição química do rejeito e da argila.

Tabela 6 – Análises e procedimentos utilizados para a caracterização do rejeito piritoso.

(continua)

Análise	Procedimento
Umidade Higroscópica	Gravimétrico
Umidade Total	Gravimétrico
Cinzas	Gravimétrico
Matéria Volátil	Gravimétrico
Carbono Fixo	Cálculo
Enxofre Total	Leco 632

Tabela 6 – Análises e procedimentos utilizados para a caracterização do rejeito piritoso.

(conclusão)	
Densidade Aparente	Gravimétrico
Granulometria	Gravimétrico

Fonte: Rio Deserto, 2019.

Tabela 7 – Análises e procedimentos utilizados para a caracterização da argila.

Análise	Procedimento
Sílica	Gravimétrica
Alumínio	Espectometria de absorção atômica de chama
Titânio	Espectometria de absorção atômica de chama
Ferro	Espectometria de absorção atômica de chama
Cálcio	Espectometria de absorção atômica de chama
Magnésio	Espectometria de absorção atômica de chama
Sódio	Espectometria de absorção atômica de chama
Potássio	Espectometria de absorção atômica de chama
Manganês	Espectometria de absorção atômica de chama
Perda ao Fogo	Gravimétrica

Fonte: Rio Deserto, 2019.

3.4 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO EM COLUNAS PREENCHIDAS POR REJEITO E ARGILA COMPACTADA

As colunas foram preenchidas com 25 cm de rejeito de uma área degradada e peneirado com uma tela de 10 mesh. Durante o preenchimento das colunas, optou-se por compactar o rejeito, a fim de simular a compactação original existente no depósito de rejeitos.

Para se obter a mesma energia de compactação de material argiloso entre as colunas, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$E = \frac{(P * h * N * n)}{V}$$

Em que, E é a energia de compactação; P é o peso do soquete; h é a altura de queda do soquete; N é o número de golpes por camada; n é o número de camadas e V é o volume da camada compactada (DAS, 2007 apud BACK et al., 2015).

Imediatamente após a aplicação de rejeito nas colunas, realizou-se a aplicação do material argiloso sobre o rejeito. Na coluna denominada A, foi aplicado o total de 6,5 cm de argila compactada (Figura 8) e na coluna B, foi colocado o total de 12,5 cm de argila compactada (Figura 9).

A escolha da espessura das camadas de argila compactada foram escolhidas sem utilizar nenhum parâmetro específico.

Figura 8 – Camada de argila compactada da coluna A



Fonte: Do autor, 2019.

Figura 9 – Camada de argila compactada da coluna B



Fonte: Do autor, 2019.

A compactação da argila na coluna A se deu pela realização 10 golpes utilizando um soquete de madeira de 392 g, soltando-o a uma distância de 50 cm a cada camada de argila que era posta, totalizando 6 camadas de argila compactada com espessura de 1,5 cm.

Para a coluna B, foi realizado 17 golpes utilizando o mesmo soquete na coluna A, soltando-o a 50 cm a cada camada de argila colocada na coluna, somando 6 camadas de argila compactada com espessura de 2,5 cm.

3.4.1 Percolação de água desmineralizada sobre as colunas

Durante a realização do ensaio de percolação sobre as colunas de rejeito e argila, foi mantido diariamente uma coluna de água desmineralizada de 15 cm para as colunas A e 16 B (Figura 10).

Figura 10 – Coluna de água desmineralizada.



Fonte: Do autor, 2019.

3.4.2 Coleta periódica dos efluentes

Semanalmente, foi coletado o material percolado nas colunas e enviado dentro de caixas refrigeradas para o laboratório da Indústria Carbonífera Rio Deserto para determinação de ferro e manganês dissolvido e pH. Os métodos de análises estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Metodologia utilizada para a determinação dos parâmetros do efluente.

Parâmetro	Metodologia
pH	Potenciométrico
Fe Dissolvido (mg/L)	Absorção Atômica
Mn Dissolvido (mg/L)	Absorção Atômica

Fonte: Rio Deserto, 2019.

A coleta do efluente ocorreu de forma instantânea dentro do frasco coletor pois o fundo das colunas era aberto, no entanto, havia uma tela de 35 mesh acoplada nas colunas para evitar o arraste de rejeito para o interior do frasco (Figura 11).

Figura 11 – Tela localizada no fundo das colunas.



Fonte: Do autor, 2019.

3.5 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO EM COLUNA PREENCHIDA POR ARGILA COMPACTADA

Uma coluna com as mesmas dimensões das colunas utilizadas no item 3.4 foi preenchida e compactada com 40 cm da mesma argila, caracterizada no item 3.2.2. Acima da camada de argila compactada, foi colocado 300 ml de água desmineralizada e no fundo da coluna, um frasco para a coleta do material percolado. Após a coleta, o percolado foi enviado para a realização das análises de pH, ferro e manganês dissolvidos.

3.6 AVALIAÇÃO DA DRENAGEM DO DEPÓSITO DE REJEITO D2 – POÇO 8

O objetivo desta etapa é avaliar a drenagem percolada em um depósito na fase de operação, recuperação e manutenção. A metodologia consistiu em levantar dados de projeto de construção de operação e monitoramento do depósito de mina.

A área denominada Mina Poço 8, situada na localidade homônima, no município de Içara (SC), constitui fração de uma área maior de antiga planta de beneficiamento de carvão mineral e deposição de rejeitos. Consequentemente, foi selecionada para deposição de rejeitos de beneficiamento de carvão mineral em virtude de já conter rejeitos desse mesmo tipo de mineração, outrora realizada durante as décadas de 1970 a 2005 pelas empresas do setor carbonífero.

O depósito de rejeito D2 possui uma área de 4,6 hectares e capacidade para armazenar 0,68 milhões de toneladas. No fundo do depósito há uma camada de 60cm de espessura de argila plástica compactada, de baixa permeabilidade ($k < 5 \times 10^{-7}$ cm/s). Após o término da operação, os rejeitos foram totalmente isolados do ambiente externo, evitando a entrada de águas pluviais e freáticas. Enquanto houver a geração de DAM, todo efluente será tratado em ETE antes de serem encaminhados para as drenagens naturais.

A deposição de rejeitos ocorreu de forma tecnicamente orientada, iniciando pelo isolamento e recobrimento da superfície do terreno, com solo argiloso impermeabilizante, drenagens profundas, internas e externas, deposição de rejeitos compactados em bancadas de 5 metros de altura, taludes com inclinação suave de 26°, recobrimento com solo seguido de revegetação e monitoramento contínuo de recalques e possíveis infiltrações.

A avaliação da qualidade do efluente do depósito de rejeito exaurido se deu a partir da análise do banco de dados dos monitoramentos realizados pela empresa em estudo. Para a construção dos gráficos, foi compilado os dados em Excel 2013. Os dados estão presentes no Apêndice A – Dados de monitoramento da qualidade do efluente no depósito de rejeito Poço 8.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios feitos em laboratórios para o rejeito de carvão mineral e argila, assim como serão mostrados e discutidos os resultados dos ensaios geotécnicos realizados com a argila utilizada as colunas do experimento. Por fim serão apresentados e interpretado os resultados dos ensaios físico-químico realizado com o efluente lixiviado presente nas colunas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO REJEITO

Os ensaios realizados com o rejeito foram: Análise Imediata, Granulometria, Composição Química e Classificação do Resíduo perante a NBR 10004/2004.

4.1.1 Análise Imediata

Os resultados obtidos da análise imediata do rejeito piritoso amostrado em Santana encontra-se apresentados na Tabela 8. Os procedimentos utilizados estão descritos da Tabela 6.

Tabela 8 – Resultado da análise imediata do rejeito.

Análise	Resultado	Unidade
Umidade Higroscópica	1,73	%
Umidade Total	9,17	%
Cinzas	79,93	%
Material Volátil	12,24	%
Carbono Fixo	7,84	%
Enxofre Total	1,34	%
Densidade aparente	0,6	g/cm ³

Fonte: Rio Deserto, 2019.

Analisando os dados acima pode-se constatar que a amostra coletada de rejeito apresenta um elevado percentual de cinzas (79%) assim como teores significativos de material volátil e umidade total (12,24% e 9,17% respectivamente). O baixo teor de enxofre, quando comparado com o teor de enxofre em amostras de rejeito de carvão recentes (no trabalho de Weiler, Amaral Filho e Schneider (2016), o

teor de enxofre era de 6,3%), pode ser justificada pelo fato em o rejeito analisado foi coletado em uma área degradada na década de 70, sofrendo ação de agentes intempéricos há mais de 50 anos.

4.1.2 Granulometria

A análise granulométrica pode ser verificada na Tabela 9. O ensaio foi realizado com uma amostra do rejeito coletado na área degradada. O procedimento utilizado para o ensaio de granulometria está descrito na Tabela 6.

Tabela 9 – Resultado do ensaio granulométrico

Análise	% Retido	% Acumulado	% Passante
Retidos Peneira 1" (25,40 mm)	17,42	17,42	82,58
Retidos Peneira 3/4" (19,10 mm)	9,35	26,77	73,23
Retidos Peneira 1/2" (12,70 mm)	9,68	36,45	63,55
Retidos Peneira 1/4" (6,35 mm)	16,45	52,9	47,1
Retidos Peneira 60# (0,06 mm)	30,97	83,87	16,13
Retidos Peneira Fundo	16,13	100	0
Total	100		

Fonte: Rio Deserto, 2019.

Os resultados de granulometria demonstram que o material tende a se concentrar na fração de menor tamanho. Cerca de 84% do rejeito fica retido na peneira de 60 mesh (0,06 mm), sendo 53% maior que 6,35.

Pela análise granulométrica esse rejeito é considerado um rejeito grosso. A sua granulometria é alterada pela ação de agentes intempéricos ao longo dos anos na área degradada, o qual através do atrito, reduz o tamanho das partículas de rejeito.

4.1.3 Composição Química

Os resultados da composição química do rejeito, bem como a perda ao fogo podem ser visualizados na Tabela 10. Os procedimentos utilizados para o ensaio de composição química estão descritos na Tabela 7.

Tabela 10 – Composição química do rejeito.

Análise	Resultados	Unidade
Sílica (SiO ₂)	47,22	%
Alumínio (Al ₂ O ₃)	28,8	%
Titânio (TiO ₂)	0,56	%
Ferro (Fe ₂ O ₃)	1,8	%
Cálcio (CaO)	0,71	%
Magnésio (MgO)	0,15	%
Sódio (Na ₂ O)	0,34	%
Potássio (K ₂ O)	1,7	%
Manganês (MnO)	0,01	%
Perda ao Fogo	21,45	%

Fonte: Rio Deserto, 2019.

O rejeito possui grandes quantidades de sílica e alumina (47,22%, 25,80%). O óxido de ferro também possui um teor considerável na composição química do rejeito, caso comparado com os demais óxidos. O resultado referente ao parâmetro perda ao fogo, refere-se aos voláteis presentes no carvão.

4.1.4 Classificação do Resíduo perante a norma ABNT NBR 10004/2004

Verificando a Tabela 6 presente no Anexo 1, observa-se que nenhum parâmetro analisado excedeu ao estabelecido da norma, classificando o rejeito coletado em indicado no item 3.2.1 como não perigoso.

Quanto à solubilidade de resíduos, a amostra analisada conforme a Tabela 8 no Anexo 1 demonstra que o rejeito indicado no 3.2.1 é classificado como resíduo Não Perigoso (Resíduo Não Inerte – Classe II A).

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ARGILA

Os ensaios realizados com a argila foram apenas de composição química.

4.2.1 Composição química

A Tabela 13 apresenta a caracterização química da argila presente nas colunas. Todos os procedimentos utilizados estão descritos na Tabela 7.

Tabela 13 – Composição química da argila

Análise	Resultados	Unidade
Sílica (SiO ₂)	65,07	%
Alumínio (Al ₂ O ₃)	15,50	%
Titânio (TiO ₂)	0,52	%
Ferro (Fe ₂ O ₃)	8,22	%
Cálcio (CaO)	0,20	%
Magnésio (MgO)	0,14	%
Sódio (Na ₂ O)	0,14	%
Potássio (K ₂ O)	0,37	%
Manganês (MnO)	0,02	%
Perda ao Fogo	8,96	%

Fonte: Rio Deserto, 2019.

Através da Tabela 13 pode-se afirmar que a argila utilizada nos ensaios possui uma predominância de óxidos de silício e alumínio (65,07 % e 15,50% respectivamente). Além disso, há uma quantidade razoável de óxido de ferro (8,22%). Segundo Bitencourt (2004), o óxido ferro é responsável pela coloração vermelhada ou amarelada nas maiorias da argila, reduzem a plasticidade, retração, resistência mecânica e facilitam a secagem.

O teor perda ao fogo chegou a 8,96%. Segundo Grun (2007) a perda ao fogo “indica o teor de matéria orgânica presente na argila e a quantidade de gás e vapor que são formados durante o aquecimento, resultantes da decomposição dos carbonatos”.

4.3 ENERGIA DE COMPACTAÇÃO

Entende-se por compactação de um solo qualquer redução, mais ou menos rápida, do índice de vazios, por processos mecânicos. Essa redução ocorre em face da expulsão ou compressão do ar dos vazios dos poros (MASSAD, 2010, p. 147).

Segundo Pinto (2006), a orientação das partículas de argila é influenciada pela energia de compactação e pela umidade da argila, onde maiores umidades e energia de compactação reduzem o fluxo de percolação, influenciando diretamente a condutividade hidráulica.

A determinação da energia de compactação presente na Tabela 14 permite com que ambas as colunas possuam uma compactação parecidas, ou seja, índices de vazios próximos ou iguais.

Tabela 14 – Dados do ensaio de energia e compactação.

Coluna	E (Kgf/cm ²)	P (kg)	h (cm)	N	n	V (cm ³)
A	39,93	0,392	50	10	6	29,45
B	40,72	0,392	50	17	6	49,09

Fonte: Do autor, 2019.

A coluna B teve 1,94% a mais de compactação em relação a coluna A. Essa pequena discrepância se deu pela diferença entre os volumes das camadas de argila utilizadas no preenchimento das colunas.

4.4 MONITORAMENTO DOS EXPERIMENTO DE COLUNAS

Como mencionado no capítulo 3, foram preenchidas duas colunas de acrílico com argila e rejeito de carvão mineral e uma coluna preenchida apenas com argila, como demonstra as Figuras 12 e 13.

Foram mantidos durante 4 semanas nas colunas de argila e rejeito, 290 mL de água desmineralizada sobre as camadas.

Já na coluna preenchida com argila, foi adicionado 300 ml de água desmineralizada sobre a coluna e coletado o percolado. O tempo de percolação foi de 22 horas. O objetivo deste ensaio foi avaliar se os resultados do efluente descrito no item 4.4.1 pioraram ou em função da lixiviação de contaminantes da camada de argila ou do tempo residência nas colunas, lixiviando contaminantes presente na camada de rejeito.

Para a realização do ensaio foi utilizado como ponto branco a mesma água desmineralizada descrita no item 4.4.1

Figura 12 – Coleta do efluente percolado nas colunas de argila e rejeito



Fonte: Do autor, 2019.

Figura 13 – Coleta do percolado na coluna de argila.



Fonte: Autor, 2019.

Durante o ensaio, foram coletados informações para auxiliarem na interpretação dos resultados, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Dados do ensaio de infiltração nas colunas.

Dados	Coluna A	Coluna B
Camada de rejeito (cm)	25	25
Camada de argila (cm)	6,5	12,5
Tempo de percolação (semanas)	4	4
Velocidade de infiltração (cm/s)	1,51E-05	1,76E-05

Fonte: Do autor, 2019.

4.4.1 Análise físico-química do efluente percolado no ensaio de colunas preenchidas de rejeito e argila

O período de coleta do material percolado foi de exatamente 4 semanas, iniciando-se em 30/04/2019 e finalizando em 21/05/2019. Como descrito no capítulo 3, foi utilizado como ponto branco, água desmineralizada de características físico-químicas conhecidas, conforme indica a Tabela 13.

Foi chamado de ponto A a coluna preenchida por 6,5 cm de argila compactada e ponto B para a coluna preenchida de 12,5 cm de argila compactada.

Tabela 12 – Dados físico-químicos do ponto branco
ÁGUA DESMINERALIZADA

pH	5,63
Fe Dissolvido (mg/L)	ND
Mn Dissolvido (mg/L)	ND

Fonte: Rio Deserto, 2019.

Notas: ND= Não Detectável

4.4.1.1 Monitoramento do pH

Durante a primeira semana de percolação da água desmineralizada, o comportamento do pH apresentou-se muito parecido entre as colunas A e B, sendo um pH de 2,3 para a coluna A e 2,42 para a coluna B.

Na segunda semana de ensaio, houve incremento no valor do pH em ambas as colunas, pH de 3,03 para a coluna A e 3,74 para a coluna B.

Já a terceira semana de ensaio, o valor de pH da coluna A continuou a subir, chegando a 3,13. Entretanto o valor de pH para a coluna B houve uma pequena redução, passando de 3,74 para 2,98.

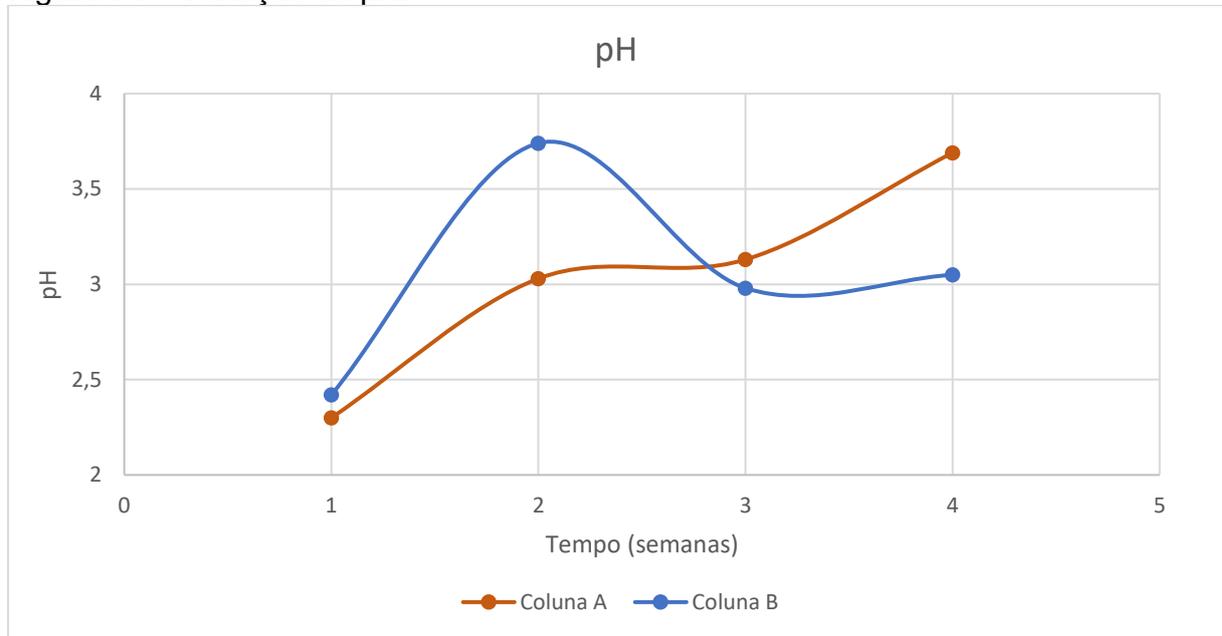
Finalizando o ensaio e analisando o pH do resultado de percolação de água desmineralizada, o valor de pH da coluna A foi de 3,69 e para a coluna B foi de 3,05.

Como pode ser visto no Gráfico 1, houve incremento do valor de pH no decorrer das semanas. Esse incremento sucedeu-se devido a lixiviação das substâncias que reduzem o pH, tornando-o menos reativo.

Comparando as colunas A e B, percebe-se que apesar da coluna B haver uma camada de argila compactada mais espessa, a qualidade desse efluente foi pior

quando comparado ao efluente da coluna A, o qual havia a metade de material impermeabilizante.

Figura 14 – Variação de pH.



Fonte: Do autor, 2019.

4.4.1.2 Monitoramento do Ferro Dissolvido

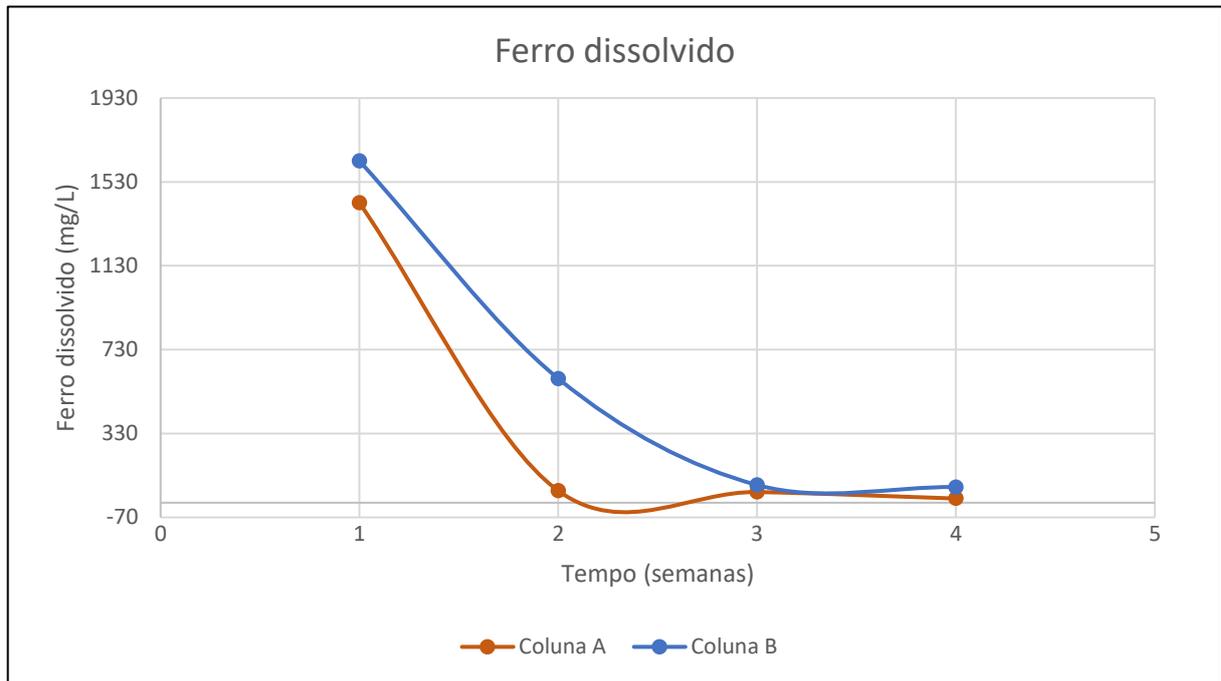
O comportamento do ferro dissolvido durante as 4 semanas de ensaio manteve um padrão de redução de concentração ao decorrer das semanas.

A maior concentração de ferro dissolvido foi registrada logo na primeira semana, notado 1430,00 e 1630,00 mg/L para as colunas A e B respectivamente.

No fim da segunda até a quarta semana de ensaio, as concentrações de ferro em ambas as colunas decresceram, havendo uma redução de 64,71% na concentração de ferro dissolvido para a coluna A e 87,35% para a coluna B.

Ainda que se obteve uma maior porcentagem na redução de ferro dissolvido na coluna B, a qualidade do efluente percolado foi diferente. Na coluna onde havia 6,5 cm de argila compactada (coluna A) a concentração de ferro dissolvido foi de 32,33 mg/L na semana. Já na coluna com 12,5 cm de argila compactada (coluna B) a concentração de ferro dissolvido foi de 97,84 mg/L, 3 vezes maior que a concentração da coluna A.

Figura 15 – Concentração de Ferro dissolvido.



Fonte: Do autor, 2019.

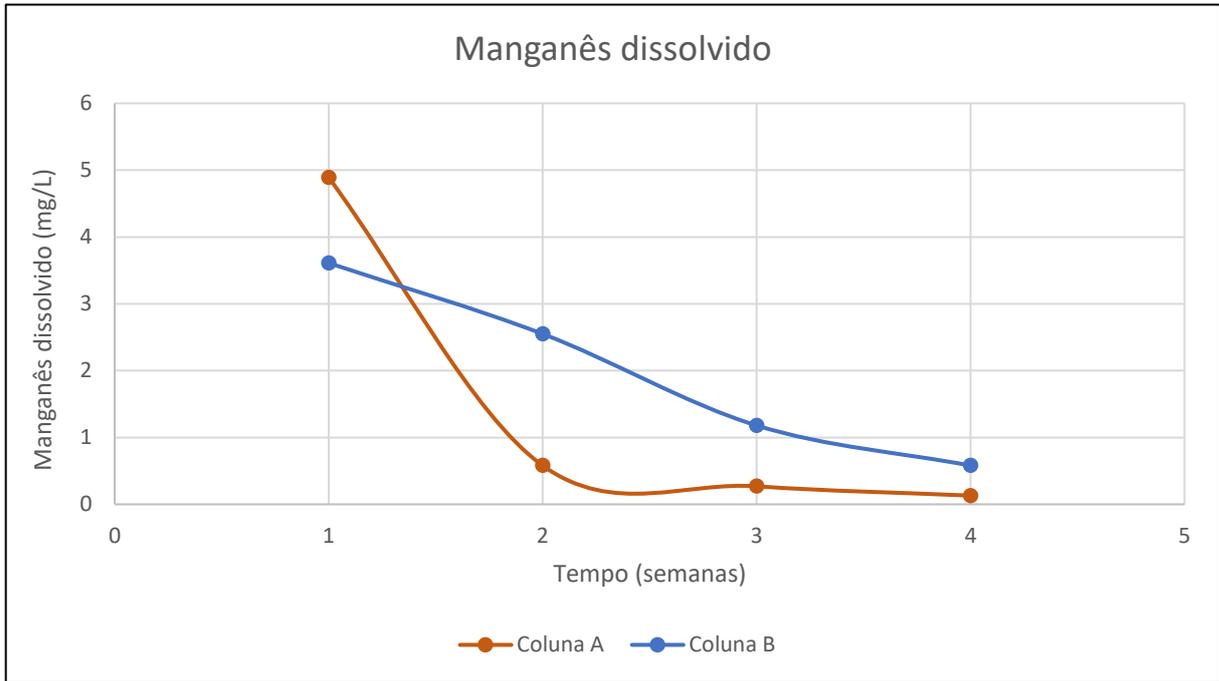
4.4.1.3 Monitoramento do Manganês Dissolvido

Ao fim da primeira semana de ensaio foi registrado uma concentração de 4,95 mg/L para o ensaio realizado na coluna A e 3,67 para a coluna B.

Após a segunda semana de ensaio as concentrações de manganês dissolvido decaíram a cada semana que passava. Ao fim da quarta semana, a coluna A obteve uma concentração de manganês dissolvido de 0,13 mg/L e a coluna B atingiu uma concentração de 0,58 mg/L.

A qualidade do efluente percolado entre as colunas A e B para o manganês dissolvido teve um padrão semelhante a concentração de ferro dissolvido. Com o passar do tempo a coluna em que havia menor quantidade de material impermeabilizante compactado obteve um efluente de melhor qualidade em relação a coluna que havia quase o dobro de material impermeabilizante compactado.

Figura 16 – Concentração de Manganês dissolvido.



Fonte: Do autor, 2019.

4.4.2 Análise físico-química do percolado no ensaio de coluna preenchida de argila

A Tabela 13 demonstra que a argila utilizada nos ensaios de lixiviação em colunas praticamente não influenciou nas altas concentrações de ferro dissolvido, manganês dissolvido e nível de pH nos resultados obtidos no item 3.4.1.

Tabela 13 – Análise físico-química da argila em estudo.

Parâmetro	Resultado
pH	5,02
Fe Dissolvido (mg/L)	0,02
Mn Dissolvido (mg/L)	0,07

Fonte: Rio Deserto, 2019.

4.5 ESTUDO DE CASO EM DEPÓSITO DE REJEITO EXAURIDO

O depósito de rejeito em estudo começou a operar no início de agosto de 2012, com a deposição de rejeito da mineração de carvão. Todo o efluente gerado no interior do depósito foi encaminhado para a ETE a fim de tornar esse efluente próprio

para o descarte no corpo hídrico mais próximo, respeitando e cumprindo todas as exigências ambientais legais.

A partir de outubro de 2012, o depósito de rejeito começou a gerar quantidades de DAM suficientemente para se iniciar o tratamento de efluente.

Mensalmente os técnicos da empresa em estudos coletavam o efluente antes de chegar na ETE para a realização das análises em laboratório de ferro e manganês dissolvidos, pH e sulfatos. A partir desses dados foi realizado quatro gráficos para demonstrar a qualidade do efluente ao longo dos anos.

Em todos os gráficos decidiu-se analisar os resultados de janeiro de 2013 até dezembro de 2018. Porém, entre abril de 2015 até abril de 2016 não houve a coleta do efluente gerado no depósito D2, somente dados do efluente na bacia de água bruta. Optou-se por não considerar esses dados para não gerar um resultado de conjectura.

4.5.1 Monitoramento do pH

Entre o período de janeiro de 2013 até outubro de 2014, fase de disposição de rejeito no depósito D2, obteve-se o valor de pH variando entre 6,20 a 8,14. Assim, como no trabalho desenvolvido por Weiler et. all (2016) os principais motivos dessa variação se deu pela lixiviação do rejeito, causada pela precipitação pluviométrica e pelo tempo de permanência do rejeito presente no depósito, tornando-o menos reativo ao passar do tempo.

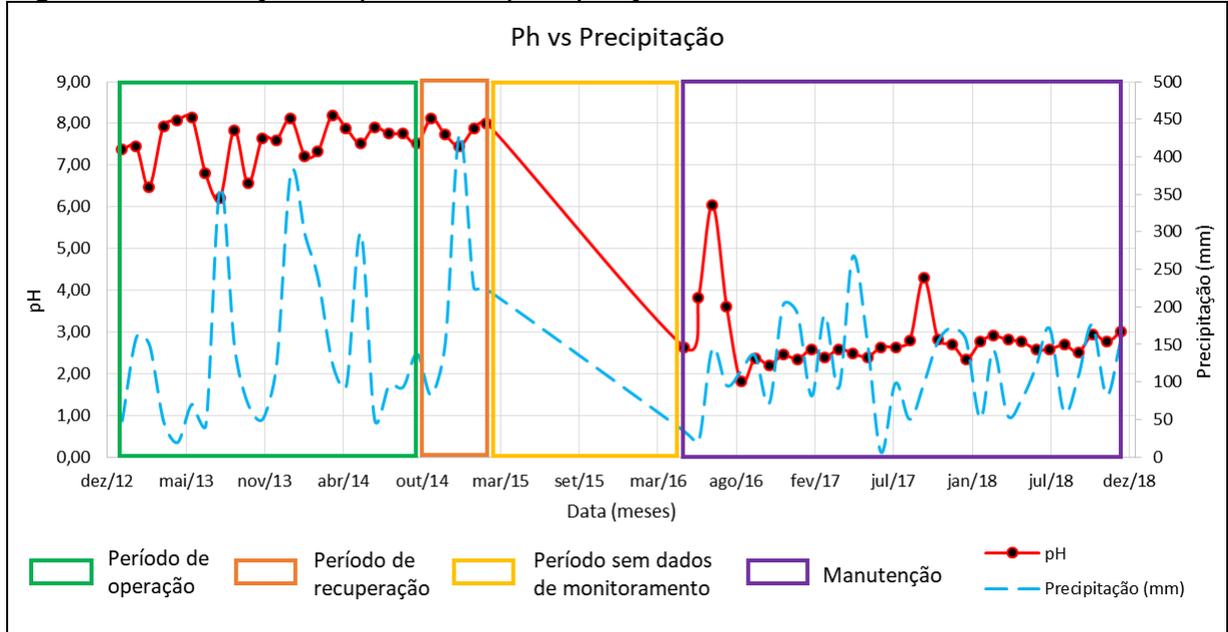
Entre os período de novembro de 2014 a março de 2015, fase de recuperação ambiental do depósito de rejeito e tamponamento do mesmo, permaneceu os mesmos resultados da fase de operação.

Após a recuperação do depósito de rejeito, os valores pH decaíram muito, permanecendo entre 3,60 a 1,81. Essa queda brusca ocorreu pelo isolamento total do rejeito ao ambiente externo, tornando maior o tempo de permanência da DAM no interior do depósito de rejeito, bem como, aumentando o tempo de contato entre rejeito e água.

A influência da precipitação pluviométrica pode ser notada principalmente durante a fase de operação até a fase final da recuperação. Nos meses chuvosos o pH do efluente diminuiu. Acredita-se que essa redução ocorreu devido ao baixo pH

das chuvas na região de Criciúma – SC. Segundo um dos resultados do trabalho de Lisboa et al., (2005), o pH da região de Criciúma foi de 4,20.

Figura 17 – Variação do pH com a precipitação.



Fonte: Do autor, 2019.

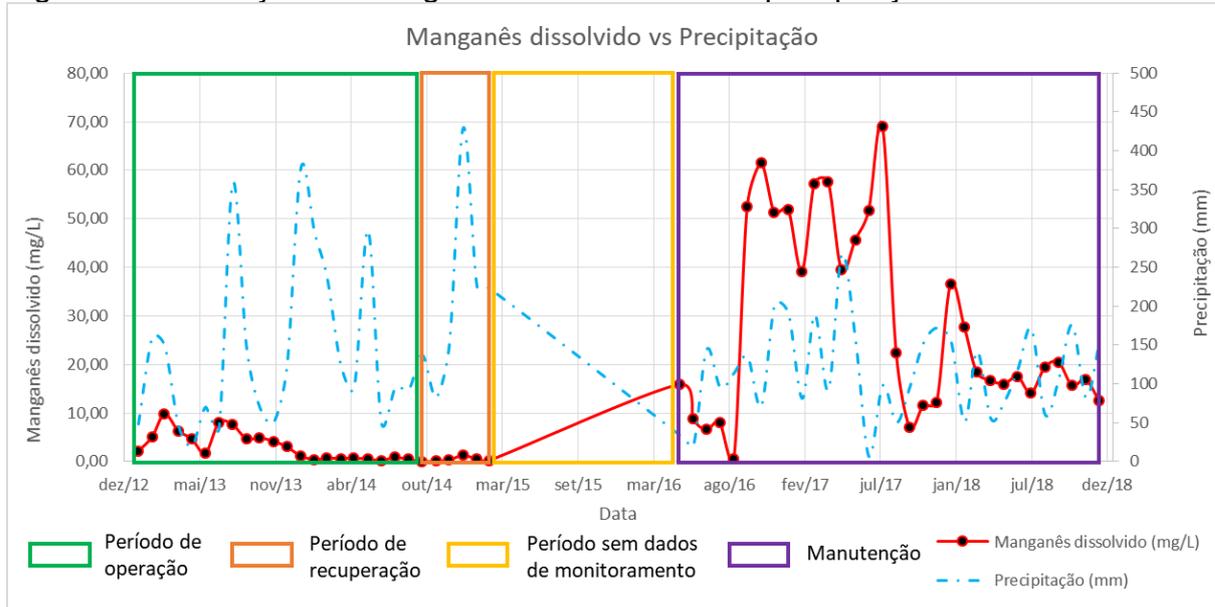
4.5.2 Monitoramento do Ferro Dissolvido

Entre o início da operação de deposição de rejeito até o fim da recuperação do depósito de rejeito D2, o maior valor registrado da concentração de ferro dissolvido foi de 3,33 mg/L. Após o tamponamento, a concentração se manteve a baixo de 80 mg/L até agosto de 2016 (um ano e cinco meses após o tamponamento do depósito). De outubro de 2016 até agosto de 2017, foram registradas elevadas concentração de ferro dissolvido, variando de 2440,00 a 5390,00 mg/L. Nesse período a faixa de pH permaneceu muito próximo de 2,3. Segundo Mello et all (2014), valores de pH próximo a 2,5 faz com que não ocorra a hidrólise do ferro e consequentemente haja uma maior concentração de ferro no meio.

Após agosto de 2017, a concentração de ferro dissolvido reduziu, mesmo com o valor do pH do meio próximo a 2,3. Considera-se que o rejeito tornou-se menos reativo diante ao tempo que sofreu a ação da lixiviação da água da chuva.

A precipitação pluviométrica influenciou de forma direta na concentração de ferro dissolvido. Nota-se que na fase de pós operação, os meses em que houve maior precipitação pluviométrica houve também uma menor concentração de ferro

Figura 19 – Variação do Manganês dissolvido com a precipitação.



Fonte: Do autor, 2019.

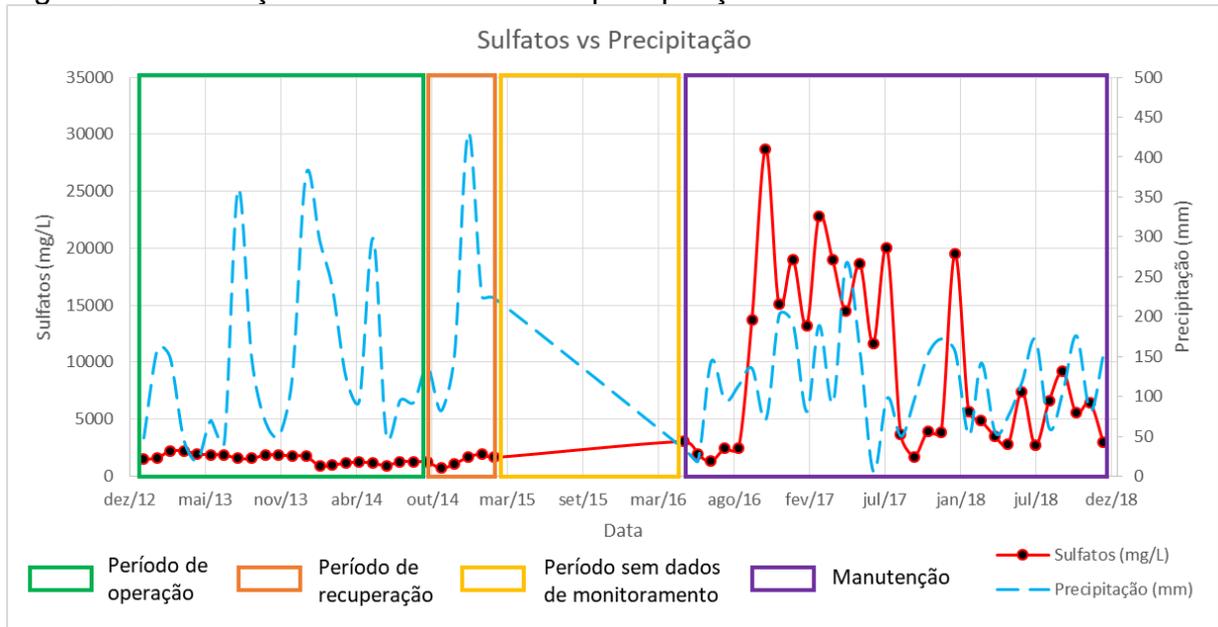
4.5.4 Monitoramento de Sulfatos

O comportamento dos sulfatos foi muito parecido com o comportamento do ferro e manganês dissolvido. Entre o período de início da operação de deposição de rejeito até o fim da etapa de recuperação ambiental do depósito D2, a concentração de sulfatos variou entre 706,00 a 2216,00 mg/L. Após a recuperação, o valor de sulfato permaneceu abaixo de 5000,00 mg/L até setembro de 2016. Entre outubro de 2016 a agosto de 2017, a concentração de sulfatos variou entre 28720,00 a 11640,00 mg/L.

Como mencionado anteriormente, julga-se que nesse período houve a menor fase de hidrólise do ferro diante aos baixos valores de pH no meio, fazendo com que a concentração de sulfato permanecesse alta. Acredita-se que há presente na composição dos sulfatos, a presença de sulfato ferroso e/ou hidróxido ferroso porém, deve-se realizar ensaios específicos para comprovar essa ligação.

Quanto à influência da precipitação pluviométrica na concentração de sulfatos, conclui-se que do início da operação até maio de 2016, houve pouca influência porém a partir desse mês a precipitação pluviométrica começou a interferir de forma direta nas concentrações. De maneira geral, nos meses chuvosos a concentração de sulfatos aumentou devido ao baixo valor de pH do meio, como mencionado no fenômeno da falta da hidrólise do ferro.

Figura 20 – Variação dos sulfatos com a precipitação.



Fonte: Do autor, 2019.

5 CONCLUSÃO

Os ensaios de percolação de água desmineralizada em colunas compostas por rejeito e argila compactada demonstraram comportamentos muito parecidos em questão da qualidade do efluente do depósito de rejeito em estudo. Quanto maior o tempo de permanência da água em contato com o rejeito, pior a qualidade do mesmo, havendo elevadas concentrações de ferro, manganês, sulfatos e baixos valores de pH, além de outros elementos que não foram avaliados.

No ensaio de colunas, após a água desmineralizada percolar a camada de argila compactada e rejeito, lixiviando contaminantes presentes na camada de rejeito, o efluente teve sua qualidade agravada em relação às concentrações de ferro e manganês dissolvido, assim como, reduziu seu pH drasticamente. Porém, quando comparado a qualidade do efluente percolado entre as colunas, pode-se afirmar que a coluna em que havia menor quantidade de argila compactada obteve uma melhor qualidade em relação a coluna com uma espessura de argila compactada maior.

A espessura de argila compactada presentes nos ensaios demonstraram um resultado inverso do que se esperava. Na coluna em que havia 12,5 cm de argila compactada, a qualidade do efluente foi pior quando comparado a coluna preenchida por rejeito e apenas 6,5 cm de argila compactada.

O tempo de ensaio nas colunas também foi o ponto chave na qualidade do efluente. Ao decorrer das semanas, a qualidade do efluente em ambas as colunas melhorou. A partir disso, concluiu-se que o rejeito foi se tornando cada vez mais inerte, devido às lixiviações dos contaminantes no decorrer do tempo.

O estudo de caso do depósito de rejeito D2 demonstrou que durante a operação de disposição de rejeito até o fim da recuperação do depósito, a qualidade do efluente manteve um padrão em relação a sua qualidade, variando apenas em relação à precipitação pluviométrica. Um ano após o tamponamento do depósito de rejeito, a qualidade do efluente decaiu muito, principalmente no período em que o pH do efluente esteve abaixo dos 2,5, devido à falta de hidrólise do ferro.

A partir dos resultados do ensaio de coluna, juntamente com a análise dos dados de monitoramento de um depósito de rejeito de carvão, afirma-se que quanto maior o tempo em que a água infiltrada permanecer em contato com os rejeitos de carvão, maior será a lixiviação dos contaminantes e conseqüentemente maior serão as concentrações de componentes químicos no efluente, tornando oneroso seu

tratamento para então pode-lo descartar em um corpo receptor sem causar danos ambientais.

Houveram algumas limitações no trabalho diante a falta de tempo para a realização de triplicatas dos ensaios de coluna e a realização de ensaios geotécnicos com o material argiloso utilizado. A falta de equipamento em campo e o baixo volume de efluente percolado nas colunas, impossibilitou a realização de análises químicas diárias como o valor de pH e eH.

Recomenda-se a realização dos mesmos ensaios de colunas, porém em maiores volumes, fazendo uma série de ensaios em triplicatas e a realizando ensaios físico-químicos diários como o valor de pH e EH.

Indica-se nos depósitos de rejeito em operação, além de realizar o monitoramento das características físico-químicas do efluente, o monitoramento de reatividade do rejeito, para então realizar o tamponamento do depósito quando os rejeitos já estiverem praticamente inertes.

Aconselha-se dar continuidade dos estudos, avaliando as áreas degradadas recuperadas e a evolução das águas subterrâneas percoladas e correlacionando com a espessura de argila compactada.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 41 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração**: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 5 p.
- AKCIL, A.; KOLDAS, S. **Acid Mine Drainage (AMD)**: causes, treatment and case studies. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652605000600>> Acesso em: 01 maio 2019.
- ALEXANDRE, N. Z.; KREBS, A. S. J. **Qualidade das águas superficiais do município de Criciúma, SC**. Recursos hídricos. v. 6. Porto Alegre: CPRM, 1995.
- AMARAL FILHO, J. R. **Aproveitamento de rejeitos de carvão em Santa Catarina, Brasil**. 2014. 161 f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/110063>>. Acesso em: 01 mar. 2019.
- BACK, M. et al. **Avaliação da eficiência da cobertura seca na redução da infiltração da água e na redução de difusão de oxigênio dissolvido em projetos de recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão**. Universidade do Extremo Sul Catarinense – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas, 2015.
- BELOLLI, M.; QUADROS, J.; GUIDI, A. **História do Carvão de Santa Catarina:1950-2000**. Criciúma, SC: MEG, 2010. v.2.
- BITENCOURT, E. R. **Utilização de matéria-prima alternativa na fabricação de tijolos de argila vermelha e branca**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Joinville, 2014. Disponível em: <<http://tede.udesc.br/bitstream/tede/1648/1/Edson%20Bitencourt.pdf>>. Acesso em 15 maio 2019.

BORTOT, A. **O uso do cadastro técnico multifinalitário na avaliação de impactos ambientais e na gestão ambiental na mineração do carvão - Estudo de Caso**: Mina do Trevo, Rio Albina - Siderópolis SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78250>> Acesso em: 21 abr. 2019.

BP (Londres). **Statistical Review of World energy**. 2018. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. (Ed.). Introdução. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (Ed.). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005. p. 2-4. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/01-Introducao\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/01-Introducao(3).pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2019.

BRASIL. DNPM. **Anuário Mineral Estadual Rio Grande do Sul 2017: Ano Base 2016**. 2018. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/rio-grande-do-sul/anuario-mineral-estadual-rio-grande-do-sul-2017-ano-base-2016/view>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

BRASIL. DNPM. **Anuário Mineral Estadual Santa Catarina 2017: Anos Base 2014, 2015 e 2016**. 2017. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/santa-catarina/anuario-mineral-estadual-santa-catarina-2017-anos-base-2014-2015-e-2016.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938compilada.htm> Acesso em: 01 maio 2019.

BRASIL. Lei nº 7.347, de 24 de julho de 1985. Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7347Compilada.htm> Acesso em : 01 maio 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Poluentes Atmosféricos**. [20--]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html>> Acesso em: 01 maio 2019.

CARRISSO, R. C. C.; POSSA, M. V. **Carvão mineral: aspectos gerais e econômicos**. 1995. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/284/1/sed-24.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

CASTILHO, IniciaisZ. C.; FERNANDES, IniciaisR. C. F. **A bacia carbonífera sul catarinense e os impactos e passivos da atividade da indústria extrativa mineral de carvão na territorialidade**. [20--?]. Disponível em: <<http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/Texto.aspx?p=6&s=8>> Acesso em: 01 maio 2019.

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. **Projeto Conceitual para Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense**. Relatório Técnico elaborado para o SIESESC. Volume 1. 2001. Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/pdf/conceitual_volume_i.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2019.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em: 07 abr. 2019.

DARDENNE, M. A.; SCHOBENHAUS, C. **Metalogênese do Brasil**. Brasília: Unb, 2001. 392 p.

DERANI, Cristiane. **Direito ambiental econômico**. 2.ed. São Paulo: Max Limonad, 2001. 302 p

FAY, A. H. **A glossary of the mining and mineral industry**. Washington: US Department of the Interior, 1920. 754 p.

GOMES, A. J. P. **Carvão do Brasil/Turfa Agrícola: geologia, meio ambiente e participação estratégica na produção de eletricidade no Sul do Brasil**. 1. ed. Porto Alegre: EST Edições, 2002. 164 p.

GOTHE, C. A. V. **Avaliação dos impactos ambientais da indústria carbonífera nos recursos hídricos da região sul catarinense**. Dissertação (Mestrado). Departamento de geociências – Centro de Ciências Humanas – Universidade Federal de Santa Catarina, 1993. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/75948>> Acesso em 01 maio 2019.

GRUN, E. **Caracterização de argilas provenientes de Canelinha/SC e estudo de formulações de massas cerâmicas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Joinville, 2007. Disponível em:

<<http://www.tede.udesc.br/bitstream/tede/1601/1/Elayne-0%20Elementos%20Pre-textuais.pdf>>. Acesso em 15 maio 2019.

GTA – Grupo Técnico de Assessoramento. **11º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais**. Criciúma, fev. 2018. Disponível em:

<http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA> Acesso em: 01 maio 2019.

GTA – Grupo Técnico de Assessoramento. **1º Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais**. Criciúma, ago. 2007, v. 03, rev. 02. Disponível em:

<http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA> Acesso em: 07 abr. 2019.

GTA – Grupo Técnico de Assessoramento. **Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão**. Criciúma, nov. 2015, rev. 07. Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente/arquivos-GTA> Acesso em: 07 abr. 2019.

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: Edições IBAMA, 1990. 96 p

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Biodiversidade. Instrução Normativa nº 11, de 11 de dezembro de 2014. Disponível em:

<http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Instrucao_normativa/2014/in_icmbio_11_2014_estabelece_procedimentos_prad.pdf> Acesso em: 21 abr. 2019.

KOPEZINSKI, Isaac. **Mineração x meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 103 p.

LEÓN, Alexis Bionel Tejedor de. **Estudo de pelotização e briquetagem de finos de carvão mineral**. 1985. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-graduação em Engenharia da Energia, Metalurgia e Materias, UFRGS, Porto Alegre, 1985. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/1365>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

LISBOA, H. M. et al. Qualidade da água de chuva da região sul de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis.

Anais eletrônicos... Disponível em: <<http://www.cbmet.org.br/cbm-files/14-da6bc7d7d842c21c048c809e881bb12d.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2019.

LOPES, R. P.; SANTOS, E. L.; GALATTO, S. L. Mineração de carvão em Santa Catarina: geologia, geoquímica e impactos ambientais. In: MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson dos; CITADINI-ZANETTE, Vanilde. **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no Sul de Santa Catarina**: uma abordagem interdisciplinar. Curitiba: Juruá, 2009. 315 p.

MACIE, A. E. A. **Mineração de carvão da Bacia Carbonífera de Moatize, Província de Tete – Noroeste de Moçambique**: uma análise socioambiental. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44144/tde-03112015-141000/en.php>> Acesso em 01 maio 2019.

MASSAD, F. **Obras de terra**: curso básico de geotecnia. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MASSAD, Façal. **Obras da terra**: curso básico de geotecnia. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. 169 p.

MAZZILLI, H. N. **As vantagens da defesa coletiva**. Jornal Valor Econômico, Rio de Janeiro, ed. de 29 e 30 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.mazzilli.com.br/pages/artigos/vantagensdef.pdf>> Acesso em: 01 maio 2019.

MELLO, J. W. V.; DUARTE, H. A.; LADEIRA, A. C. Q. **Origem e Controle do fenômeno Drenagem Ácida de Mina**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, nº 8, p. 24-29, maio 2014. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/08/06-CTN4.pdf>> Acesso em 12 abr. 2019.

MULLER, A. A. **Perfil analítico do carvão**. 2. ed. Porto Alegre: DNPM, 1987. 144 p.

PETERSON, M. **Produção de sulfato ferroso a partir da pirita**: desenvolvimento sustentável. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/91664>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

PINHO, V. B.; PREVE, D. R. **Atividade carbonífera em Criciúma**: instrumentos jurídicos e sua aplicabilidade na recuperação de áreas degradadas pela exploração de carvão mineral em Criciúma/SC. 2015. Disponível em: <<http://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/sidspp/article/view/13171>>. Acesso em: 06 abr. 2019.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

REDIVO, R. V.; KAHN, H. **Caracterização tecnológica do carvão das camadas Barro Branco e Bonito para fins energéticos na região de Criciúma - SC**. 2002. Disponível em: <<https://bdpi.usp.br/item/001272255>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

RODRIGUES, Marcelo Abelha. **Processo civil ambiental**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2010. 270 p.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 495 p

SANTA CATARINA. Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina. **Licenciamento Ambiental**. [2019?]. Disponível em: <<http://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/informacoes-e-procedimentos/licenciamento-ambienta>> Acesso em: 07 abr. 2019.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia, das Minas e Energia. **Diagnóstico do carvão mineral catarinense**. Florianópolis: SECTME, 1990. 77 p.

SANTOS, E. C. **Mecanismo de oxidação da pirita: uma abordagem através de cálculos DFT**. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica). Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/SFSA-A7EJAD/text_v5_mes_egon_2015_2had_final2.pdf?sequence=1> Acesso em: 01 maio 2019.

SATC – Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina. Centro de Documentação e Rede de Informação do Carvão. **Os ciclos do carvão na região carbonífera de SC**. [201-?]. Disponível em: <<http://www.centrotecnologico.satc.edu.br/cedric>> Acesso em: 06 abr. 2019.

SCHNEIDER, C. L. **Caracterização de beneficiamento de carvão por jigagem no Brasil**. 1987. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/2419>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

SCHOPF, J. M. Uma definição de carvão. In: CPRM (Org.). **Carvão: Definição, formação, propriedades químicas, propriedades físicas, gaseificação, liquefação e recursos mundiais**. Rio de Janeiro: Diproe/equicar, 1978. p. 1-14. Disponível em:

<http://acervo.cprm.gov.br/rpi_cprm/docreaderNET/DocReader.aspx?bib=DiversosCPRM&PagFis=4874>. Acesso em: 01 mar. 2019.

SCROCCARO, O. L. **Verificação, análise e controle das concentrações de H₂S em uma indústria petroquímica**. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8970/1/CT_CEEEST_XXXIII_2017_34.pdf> Acesso em: 01 maio 2019.

SUFFERT, T; CAYE, B. R.; DAEMON, R. F. **Projeto carvão bonito gaseificável**: Relatório Final, Vol. I. 1977. Disponível em:

<<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/9428?show=full>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

TEIXEIRA, E. C.; SANTANA, E. R. R. Poluição atmosférica associada ao uso do carvão no Brasil. In: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro**: tecnologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p. 153-180. Disponível:

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2039/1/carvao_brasileiro_tecnologia_e_meio_ambiente.pdf> Acesso em: 21 abr. 2019.

TORREZANI, N. C.; OLIVEIRA, E. F. **Problemas Ambientais Decorrentes da Exploração do Carvão Mineral e a Aplicação da Ecotoxicologia Aquática como Ferramenta de Biomonitoramento**. 2013. Disponível em:

<<https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/viewFile/8299/6820>>. Acesso em: 01 mar. 2019.

WEILER, J.; AMARAL FILHO, J. R.; SCHNEIDER, I. A. H. **Processamento de rejeito de carvão visando a redução de custos no tratamento da drenagem ácida de minas — estudo de caso na Região Carbonífera de Santa Catarina**.

Eng. Sanit. Ambient., v. 21, n. 2, abr/jun 2016, p. 337-345. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n2/1809-4457-esa-21-02-00337.pdf>> Acesso em: 01 maio 2019.

ZANETTE, E. N.; CAMILO, S. P. O. **A recuperação ambiental a partir da Ação Civil Pública no contexto da exploração do carvão mineral no sul de Santa Catarina**. II Jornada Nacional de Desenvolvimento e Políticas Públicas, 2018.

Disponível em: <<http://periodicos.unesc.net/seminariocsa/article/view/4682/4280>> Acesso em: 01 maio 2019.

APÊNDICE

**APÊNDICE A – DADOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO EFLUENTE
NO DEPÓSITO DE REJEITO POÇO 8**

Tabela 14 – Resultados de análises de efluente.

(continua)

Data	Precipitação (mm)	pH	Fe dis (mg/L)	Mn dis (mg/L)	Sulfatos (mg/L)
jan/13	48	7,37	0,02	2,18	1484
fev/13	160	7,44	0,01	5,04	1615
mar/13	149	6,48	0,18	9,81	2216
abr/13	46	7,93	0,07	6,34	2212
mai/13	19	8,08	0,83	4,73	1960
jun/13	70	8,14	0,04	1,75	1880
jul/13	42	6,80	0,03	8,03	1869
ago/13	359	6,20	3,33	7,65	1561
set/13	147	7,83	0,04	4,71	1555
out/13	69	6,56	0,59	4,94	1855
nov/13	50	7,65	0,06	4,17	1880
dez/13	123	7,60	ND	3,09	1757
jan/14	378	8,11	ND	1,20	1757
fev/14	295	7,22	0,01	0,44	893
mar/14	237	7,33	0,02	0,73	969
abr/14	124	8,20	ND	0,64	1155
mai/14	95	7,88	0,04	0,73	1260
jun/14	298	7,52	0,12	0,59	1149
jul/14	50	7,91	0,05	0,23	939
ago/14	95	7,75	0,04	0,87	1278
set/14	93	7,75	0,02	0,48	1270
out/14	137	7,51	0,09	0,01	1253
nov/14	82	8,11	0,02	0,11	706
dez/14	151	7,73	0,08	0,34	1062
jan/15	430	7,46	0,04	1,29	1680
fev/15	225	7,87	0,03	0,55	1947
mar/15	223	8,01	0,07	0,25	1647
mai/16	34,00	2,64	185,00	15,90	3041,00
jun/16	19	3,82	3,86	8,91	1916
jul/16	144	6,05	5,04	6,59	1296
ago/16	95	3,60	2,07	8,09	2438
set/16	114	1,81	77,70	0,54	2425
out/16	135	2,36	2440,00	52,49	13755
nov/16	71	2,21	5020,00	61,50	28720
dez/16	202	2,45	2640,00	51,30	15060
jan/17	191	2,35	2740,00	52,00	19020
fev/17	81	2,59	2800,00	39,20	13180
mar/17	189	2,40	3450,00	57,29	22800
abr/17	92	2,59	5390,00	57,70	18960
mai/17	267	2,49	2820,00	39,50	14520
jun/17	156	2,40	3990,00	45,70	18620
jul/17	6	2,64	3570,00	51,70	11640
ago/17	98	2,64	5350,00	69,10	20000

Tabela 14 – Resultados de análises de efluente.

						(conclusão)
Data	Precipitação (mm)	pH	Fe dis (mg/L)	Mn dis (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	
set/17	50	2,80	743,00	22,40	3675	
out/17	96	4,29	43,80	7,14	1716	
nov/17	153	2,82	168,00	11,60	3940	
dez/17	172	2,71	342,00	12,19	3855	
jan/18	156	2,35	4280,00	36,50	19480	
fev/18	51	2,77	537,00	27,79	5680	
mar/18	142	2,91	583,00	18,40	4860	
abr/18	55	2,81	226,00	16,80	3525	
mai/18	76	2,77	235,00	16,00	2820	
jun/18	119	2,58	506,00	17,49	7430	
jul/18	171	2,59	507,00	14,10	2715	
ago/18	60	2,69	779,00	19,40	6580	
set/18	107	2,52	1150,00	20,50	9180	
out/18	176	2,95	528,00	15,70	5560	
nov/18	82	2,76	464,00	16,87	6440	
dez/18	153	3,01	217,00	12,60	3020	
jan/19	137	2,82	520,00	16,00	4140	
fev/19	260	2,80	407,00	17,00	4410	
mar/19	173	2,85	111,00	27,99	4695	

Fonte: Rio Deserto (Registro interno).

Notas: ND= Não detectável.

ANEXO

ANEXO A – RELATÓRIO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS RIO DESERTO



RIO DESERTO
SINERGIA COM VOCÊ

Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda.
Divisão Laboratório

Relatório de Classificação de Resíduos

**Rejeito de
Santana**

N° 005/2019
Junho de 2019



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. FINALIDADE	4
3. IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS	4
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
4.1 Classificação dos Resíduos – ABNT NBR 10004:2004	4
5. LIXIVIAÇÃO DE RESÍDUOS – ABNT NBR 10005/2004	8
5.1 Lixiviação de Resíduos.....	8
5.2 Equipamentos Utilizados	8
5.3 Métodos de Análise.....	8
5.4 Fluxograma da Extração	9
5.5 Preparação da Amostra	10
5.6 Resultados da lixiviação de resíduos	11
6. SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS – ABNT NBR 10006/2004.....	12
6.1 Solubilização de Resíduos	12
6.2 Equipamentos Utilizados	12
6.3 Métodos de Análise.....	12
6.4 Preparação da Amostra	13
6.5 Resultados da solubilização de resíduos	13
7. ANÁLISE DE RESULTADOS	15
ANEXOS	16

1. INTRODUÇÃO

O destino dos resíduos gerados pelas indústrias é um tema que tem preocupado toda a sociedade, pois a sua inadequada disposição afeta profundamente o equilíbrio ambiental, e conseqüentemente, a qualidade de vida de todos.

A caracterização dos resíduos é o fator decisório na elaboração de qualquer projeto de disposição de resíduos sólidos. A partir da sua classificação conseguimos ampliar nossos conhecimentos quanto aos prováveis problemas que estes podem ocasionar no meio ambiente, na saúde pública e de quais requisitos legais necessitam ser atendidos.

Sendo assim, o presente trabalho determina a classificação de resíduos da amostra identificada como: **Rejeito de Santana**, segundo a norma NBR 10004:2004.

2. FINALIDADE

Classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ter destinação adequada e atender a legislação aplicável.

3. IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS

Tabela 1

Material Analisado	Procedência	Data da Coleta
Rejeito	Santana/Urussanga	01/04/2019

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1 Classificação dos Resíduos – ABNT NBR 10004:2004

O processo de classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

A norma NBR 10004:2004 classifica os resíduos sólidos quanto a seus riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Os resíduos sólidos são classificados em dois grupos, Classe I (resíduos perigosos) e Classe II (resíduos não perigosos), sendo ainda este último subdividido em Classe II A (resíduos não inertes) e Classe II B (resíduos inertes).

A figura 1 ilustra a classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente.

4.1.1 Classe I - Perigosos

Os resíduos são classificados como Classe I ou perigosos quando apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento da mortalidade ou apresentando efeitos nocivos ao meio ambiente, se manuseados ou dispostos de forma inadequada. São resíduos perigosos os inflamáveis, os corrosivos, os reativos, os tóxicos e os patogênicos.

A norma NBR 10005:2004 fixa as condições exigíveis para obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos visando diferenciar os resíduos classificados como classe I perigosos e classe II não perigosos.

4.1.1.1 Corrosividade

Um resíduo é caracterizado como corrosivo se uma amostra representativa dele, for aquosa e apresentar pH inferior ou igual a 2, ou superior e igual a 12,5, ou sua mistura com água na proporção de 1:1 em peso produzir uma solução que apresente pH inferior a 2,0, ou superior ou igual a 12,5.

Para a realização do teste foi preparada uma mistura de 50g de amostra com 50mL de água deionizada, agitando para melhor homogeneização e realizada a leitura do pH.

Tabela 2: Resultado do teste de Corrosividade

Corrosividade	Rejeito
pH	2,06

Conforme tabela 2, o resíduo não é caracterizado como corrosivo.

4.1.1.2 Reatividade

Um resíduo é considerado como reativo se uma amostra representativa dele, apresentar 500 mg de H₂S liberável por quilograma de resíduo.

Tabela 3: Resultado do teste de reatividade

Reatividade	Rejeito
Sulfeto (mg/Kg)	<1,6

Fonte: Laudo de análise N°185384/2019 (Anexo I).

Conforme tabela 3, a amostra não é caracterizada como reativa.

4.1.2 Classe II – Não Perigosos

A NBR 10006:2004, fixa os requisitos exigíveis de extrato solubilizado visando diferenciar os resíduos classificados como, classe II A e classe II B.

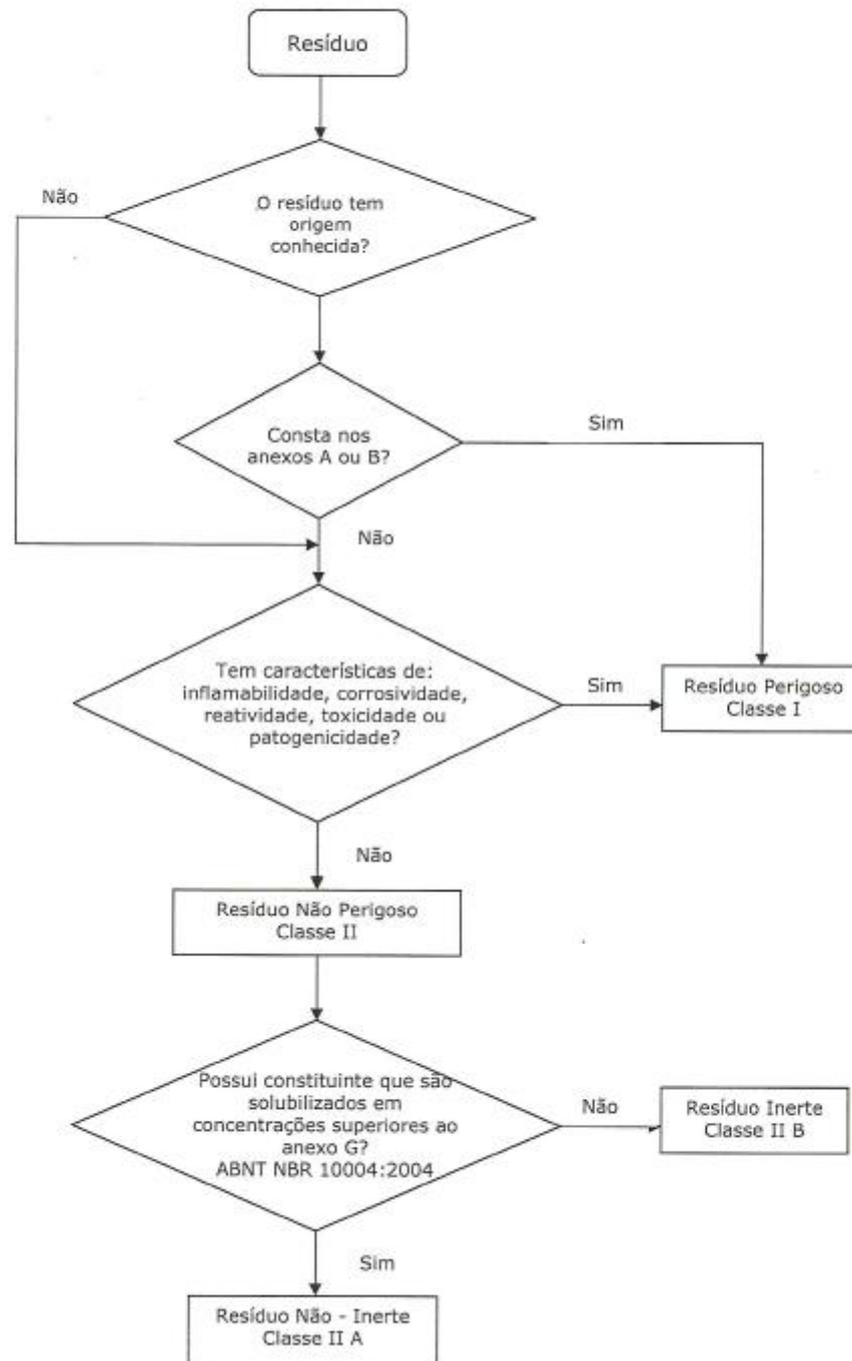
4.1.2.1 Classe II A – Não Inertes

Os resíduos são classificados como Classe II A ou não-inertes quando não apresentarem as características dos resíduos Classe I (perigosos) nem da Classe II B (Inertes). Os resíduos Classe II A podem apresentar propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

4.1.2.2 Classe II B – Inertes

Os resíduos Classe II B ou inertes, são os resíduos que quando em contato com água destilada ou deionizada à temperatura ambiente não alteram sua composição, excetuando-se os padrões de cor, turbidez, dureza e sabor.

FIGURA 1: Caracterização e classificação de resíduos sólidos



5. LIXIVIAÇÃO DE RESÍDUOS – ABNT NBR 10005/2004

5.1 Lixiviação de Resíduos

A lixiviação consiste na capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator. Para tanto, foi utilizado a NBR 10005/2004 (Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos), para classificar se os resíduos são Classe I (perigosos) ou Classe II (não perigosos).

5.2 Equipamentos Utilizados

Para a realização do ensaio de lixiviação foi necessário utilizar os seguintes equipamentos:

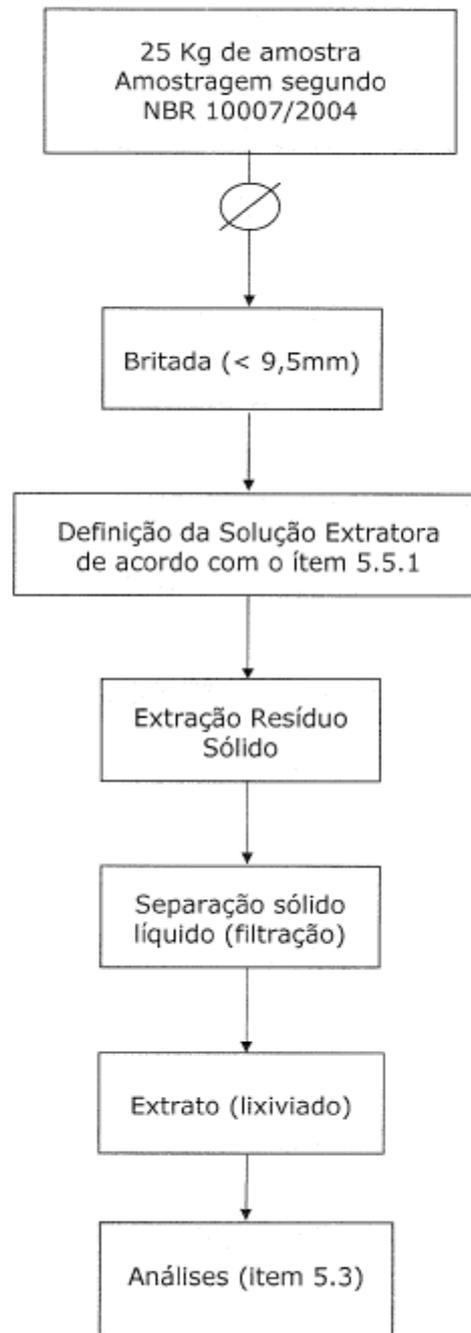
- Agitador;
- Medidor de pH;
- Filtro de fibra de vidro de 0,6 a 0,8µm;
- Peneira com abertura de 9,5 mm;
- Balança com precisão de $\pm 0,01g$;

5.3 Métodos de Análise

Tabela 4

Parâmetros	Métodos Utilizados	LAB	Unidade
pH	Potenciométrico	(LAB 559)	
Chumbo	Absorção Atômica	(LAB 661)	(mg/L)
Cromo Total	ICP-OES	-	(mg/L)
Bário	ICP-OES	-	(mg/L)
Cádmio	Absorção Atômica	(LAB 659)	(mg/L)
Prata	Absorção Atômica	(LAB 654)	(mg/L)
Arsênio	ICP-OES	-	(mg/L)
Fluoreto	Colorimétrico	(LAB 657)	(mg/L)
Selênio	ICP-OES	-	(mg/L)
Merúrio	Absorção Atômica	-	(mg/L)

5.4 Fluxograma da Extração



5.5 Preparação da Amostra

Coletou-se uma amostra do resíduo.

A amostragem a campo seguiu os procedimentos estabelecidos pela NBR 10007/2004 (Amostragem de Resíduos).

Posteriormente a amostra foi quarteada, onde foram separados 100g (base úmida) da massa total inicial.

5.5.1 Determinação da Solução de Extração

Foram pesados 5,0g do resíduo, transferidos para um bécker adicionando-se 96,5mL de água deionizada. Foi colocado um vidro de relógio para cobrir o bécker e agitado vigorosamente por 5 minutos em agitador magnético.

Foi realizada a leitura do pH, como o resultado obtido foi inferior a 5,0, a solução de extração a ser utilizada foi a N°1, caso contrário, um novo teste deveria ser realizado.

Tabela 5

	Rejeito
pH	2,92

Para a preparação da solução de extração N° 1 foram adicionados 5,7mL de ácido acético glacial e 64,3mL de solução de hidróxido de sódio 1,0N avolumando-se à 1000mL com água deionizada. O pH obtido na solução foi de 4,92.

Após a definição da solução de extração, pesou-se 100g da amostra. A amostra foi transferida para um becker onde foram adicionados 2000 mL de solução extratora, que corresponde 20 vezes a massa utilizada.

Essa mistura foi mantida em agitação durante 18h. Após esse período, a amostra foi filtrada.

O filtrado obtido é denominado extrato lixiviado e o volume foi de aproximadamente 1950 mL, por fim, este extrato foi submetido à análise química para verificação da periculosidade conforme tabela 6.

5.6 Resultados da lixiviação de resíduos

Tabela 6

Parâmetros	Unidade	N° 61651	Limite Máximo no Extrato (mg/L) de acordo com o anexo F da NBR 10004/04
		Rejeito	
pH lixiviado	(mg/L)	4,77	-
Chumbo	(mg/L)	ND	1,0
Cromo Total	(mg/L)	<0,01	5,0
Bário	(mg/L)	0,03	70,0
Cádmio	(mg/L)	ND	0,5
Prata	(mg/L)	ND	5,0
Arsênio	(mg/L)	<0,01	1,0
Fluoreto	(mg/L)	ND	150
Selênio	(mg/L)	0,01	1,0
Mercúrio	(mg/L)	<0,001	0,1

Fonte: Relatório de Análises/Ensaio N° 61651/19 e 186065/2019 (Anexo II e III).

ND = Não Detectado.

Observações:

As análises de Arsênio, Bário, Cromo Total, Mercúrio e Selênio foram terceirizadas devido o laboratório da empresa Rio Deserto não analisar estes parâmetros. Estas análises foram realizadas no laboratório do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT), conforme anexo III.

6. SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS – ABNT NBR 10006/2004

6.1 Solubilização de Resíduos

O teste de solubilização é utilizado para diferenciar os resíduos classificados como classe II A e classe II B. Para a sua realização utilizou-se a metodologia descrita na NBR 10006:2004.

6.2 Equipamentos Utilizados

Para a realização do ensaio de solubilização de resíduos foi necessário utilizar os seguintes equipamentos:

- Agitador;
- Membrana filtrante com 0,45µm de porosidade;

6.3 Métodos de Análise

Tabela 7

Parâmetros	Métodos Utilizados	LAB	Unidade
pH	Potenciométrico	(LAB 559)	-
Sulfato	Espectrofotométrico	(LAB 593)	(mg/L)
Cloretos	Titulométrico	(LAB 566)	(mg/L)
Fenol	Colorimétrico	(LAB 650)	(mg/L)
Chumbo	Absorção atômica	(LAB 661)	(mg/L)
Cromo Total	ICP-OES	-	(mg/L)
Alumínio	Absorção atômica	(LAB 634)	(mg/L)
Cobre	Absorção atômica	(LAB 662)	(mg/L)
Ferro	Absorção atômica	(LAB 663)	(mg/L)
Manganês	Absorção atômica	(LAB 665)	(mg/L)
Sódio	Absorção atômica	(LAB 668)	(mg/L)
Zinco	Absorção atômica	(LAB 670)	(mg/L)
Bário	ICP-OES	-	(mg/L)
Cádmio	Absorção Atômica	(LAB 659)	(mg/L)
Prata	Absorção Atômica	(LAB 654)	(mg/L)
Arsênio	ICP-OES	-	(mg/L)
Fluoretos	Colorimétrico	(LAB 657)	(mg/L)
Nitrogênio Nitrato	Colorimétrico	(LAB 658)	(mg/L)
Selênio	ICP-OES	-	(mg/L)
Mercúrio	Absorção Atômica	-	(mg/L)

6.4 Preparação da Amostra

Coletou-se uma amostra do resíduo.

A amostragem a campo seguiu os procedimentos estabelecidos pela NBR 10007/2004 (Amostragem de Resíduos).

Posteriormente a amostra foi quarteada, e seca a 42°C. Pesou-se 250g de amostra e transferiu-se para um frasco de 1500mL adicionando-se 1000mL de água deionizada.

Essa mistura foi agitada em baixa velocidade por 5 minutos. Após a agitação, o frasco foi fechado e a amostra permaneceu em repouso por sete dias.

Após os sete dias, a mistura foi filtrada com membrana filtrante de 0,45µm de porosidade, sendo o filtrado obtido denominado extrato solubilizado, e por fim, este extrato foi submetido à análise química conforme a tabela 8.

6.5 Resultados da solubilização de resíduos

Tabela 8

Parâmetros	Unidade	Nº 61662/61663	Limite Máximo no Extrato (mg/L) de acordo com o anexo G da NBR 10004/04
		Rejeito	
pH solubilizado		2,42	-
Sulfatos	(mg/L)	16,19	250
Cloretos	(mg/L)	114,0	250
Fenol	(mg/L)	ND	0,01
Ferro Total	(mg/L)	152,0	0,3
Manganês	(mg/L)	0,34	0,1
Cobre	(mg/L)	0,14	2,0
Zinco	(mg/L)	0,39	5,0
Alumínio	(mg/L)	26,91	0,2
Chumbo	(mg/L)	ND	0,01
Sódio	(mg/L)	1,52	200
Cádmio	(mg/L)	ND	0,005
Cromo Total	(mg/L)	<0,01	0,05
Prata	(mg/L)	ND	0,05
Bário	(mg/L)	0,02	0,7
Arsênio	(mg/L)	<0,01	0,01
Fluoreto	(mg/L)	0,49	1,5
Mercúrio	(mg/L)	<0,001	0,001
Nitrogênio Nitrato	(mg/L)	0,14	10,0
Selênio	(mg/L)	0,02	0,01

Fonte: Relatório de Análises/Ensaio Nº 61662/61663/19 (Anexo V).

ND = Não Detectado.

Observações: As análises de Arsênio, Cromo Total, Mercúrio e Selênio, foram terceirizadas devido o laboratório da empresa Rio Deserto não analisar estes parâmetros. Estas análises foram realizadas no laboratório do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT), conforme anexo VI.

7. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para a Lixiviação de Resíduos, a NBR 10004/2004 diz que se o extrato obtido da amostra contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos valores constantes no anexo F desta NBR (Anexo IV), o resíduo será caracterizado como perigoso.

Verificando a tabela 6, observa-se que nenhum parâmetro analisado excedeu ao estabelecido pela referida norma. Desta forma, de acordo os resultados das análises decorrentes do teste de lixiviação, a amostra de **Rejeito** é caracterizada como não perigosa.

Quanto a Solubilização de Resíduos da amostra analisada conforme a tabela 8 observa-se que apresentou parâmetros com resultados superiores ao limite máximo estabelecido pelo anexo G da NBR 10004/2004 (Anexo VII), sendo assim, a amostra é classificada como resíduo **Não Perigoso (Resíduo Não Inerte -Classe II A)**.



Bruna Matola Scursel
Eng^o Química
CRO 13302566 - 13^oR
CREA 151491-1

ANEXOS

ANEXO I

Laudo de Análise de Sulfeto – Laboratório IPAT



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Parque Científico e Tecnológico - IPARQUE
Instituto de Pesquisas Ambientais Tecnológicas - IPAT
Instituto de Alimentos - IALI

RELATÓRIO DE ENSAIO UNIFICADO Nº 185384/2019

DADOS DO CLIENTE

Cliente: Indústria Carbonífera Rio Deserto LTDA - Divisão Laboratórios (41567) Orçamento de Análises nº 21075
Endereço: Av. Presidente Vargas, 434, Centro Cidade: Urussanga CEP: 88840-000
Fone: (48) 3465-1250 Interessado: Cinthia Miotello Campanha:
Projeto/contrato: **

DADOS DA AMOSTRAGEM

Data de coleta: 16/04/2019 08:00 Data de Entrada no Laboratório: 16/04/2019 14:35 Início das Análises: 08/05/2019 08:00
Descrição da amostra: Amostra de Rejeito Santana Nº Recebimento: 9498
Ponto de coleta: ** Nº amostra IPARQUE: 185384
Aspecto da amostra: Aspecto da amostra: ** Coordenadas (UTM): mE mS
Periodicidade: **
Tipo de amostragem: SIMPLES ** Temperatura da amostra (°C): **
Condições climáticas: ** Chuva nas últimas 24 hrs? Não
Coletor: Cliente
Observações de campo: **

RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Físico-Químicas

Análise	Unidade	LQ	Resultado
Sulfeto	mg/Kg	1,6	< 1,6

Observações:

LQ : Limite de quantificação

Metodologia

Sulfeto: Destilação: USEPA - Method 9030B / Determinação: USEPA - Method 9034B

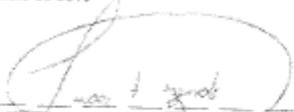
Notas:

Os resultados apresentados no presente Relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.
Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Revisores:

Luciana O. V. Da Agostini - LABORATÓRIO DE FERTILIZANTES/RESÍDUOS SÓLIDOS (em 10/05/2019 15:31)

Criciúma, 10 de maio de 2019


Eng. Químico Lucas Feliciano Rezende
Coordenador dos Laboratórios
CRQ XIII - nº 13302567

ANEXO II

Relatórios de Análises/Ensaio Lixiviação de resíduos
ICRDL – Divisão Laboratório



INDÚSTRIA CARBONÍFERA RIO DESERTO

Relatório de Análises/Ensaio - Águas

Nº: 61651/19

Nº Registro: 61651

Data do recebimento da amostra: 01/04/2019

Nome ou Numero	: Extrato Lixiviado – Rejeito
Descrição Ponto	:
Coordenadas	:
Procedência	: Santana
Local da Coleta	:
Data da Coleta	: 01/04/2019
Interessado	: Engº Rosimeri

pH	(LAB 559)	4,77		Fluoreto	(LAB 579)	ND	mg/L
Acidez (CaCO3)	(LAB560)		mg/L	Fosfato	(LAB 580)		mg/L
Potencial Oxi-Redução	(LAB559)		mV	Fósforo Total	(LAB 580)		mg/L
Alcalinid. Hidróxida	(LAB 561)		mg/L	Manganês	(Aatômica)		mg/L
Alcalinidade Total	(LAB 562)		mg/L	Níquel	(LAB 583)		mg/L
Alumínio	(Aatômica)		mg/L	Nitrogênio Nitrato	(LAB 584)		mg/L
Bário	(Aatômica)		mg/L	Nitritos	(LAB 585)		mg/L
Cádmio	(LAB 564)	ND	mg/L	Oxigênio Consumido	(LAB 587)		mg/L
Chumbo	(A Atômica)	ND	mg/L	Oxigênio Dissolvido	(LAB 588)		mg/L
Cloretos	(LAB 566)		mg/L	Potássio	(AAtômica)		mg/L
Cloro Residual	(LAB 567)		mg/L	Prata	(AAtômica)	ND	mg/L
Cobre	(AAtômica)		mg/L	Resíduo Filtrável	(LAB 590)		mg/L
Coliformes Totais	(LAB 569)		NMP/100mL	Resíduo Não Filtrável	(LAB 590)		mg/L
Coliformes Fecais	(LAB 569)		NMP/100mL	Resíduo Sedimentável	(LAB 591)		mL/L
Cor	(LAB 570)		Hazen	Resíduos Totais	(LAB 590)		g/L
Cromo Hexavalente	(LAB 571)		mg/L	Sulfeto de Hidrogênio	(LAB 595)		mg/L
Demanda Q.Oxigênio	(LAB 572)		mg/L	Silica	(AAtômica)		mg/L
Dureza Cálcio	(LAB 574)		mg/L	Sódio	(AAtômica)		mg/L
Magnésio	(AAtômica)		mg/L	Sulfato	(LAB 593)		mg/L
Dureza Total	(LAB 575)		mg/L	Turbidez	(LAB 596)		NTU
Ferro Férrico	(LAB 577)		mg/L	Zinco	(AAtômica)		mg/L
Ferro Ferroso	(LAB 577)		mg/L	Fenol	(LAB 550)		mg/L
Ferro Total	(AAtômica)		mg/L	Demanda B. Oxigênio	(LAB 652)		mg/L
Corrosividade (1:1)	(LAB 648)	2,06					

LAB Mod. 012

ND = Não Detectado

Data: 30/05/2019

Bruna Matilde Soursel
Engª Química
CRQ 13302586 - 13ªR
CREA 151491-1

Os resultados contidos neste Relatório aplicam-se restritamente a (s) amostra (s) analisada(s) e só deve ser reproduzido na íntegra

Sede: Av. Getúlio Vargas, 515 - Caixa Postal 31 - CEP: 88801-500 - Criciúma - Santa Catarina - Brasil
Tel: | (48) 3431-9444 central@riodeserto.com.br - www.riodeserto.com.br

ANEXO III

Relatório de Ensaio Lixiviação de resíduos / Laboratório IPAT



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Parque Científico e Tecnológico - IPARQUE
Instituto de Pesquisas Ambientais Tecnológicas - IPAT
Instituto de Alimentos - IALI

RELATÓRIO DE ENSAIO UNIFICADO Nº 186065/2019

DADOS DO CLIENTE

Cliente: Indústria Carbonifer Rio Deserto LTDA - Divisão Laboratórios (41567) Orçamento de Análises nº 21206
Endereço: Av. Presidente Vargas, 434, Centro Cidade: Urussanga CEP:88840-000
Fone: (48) 3465-1250
Interessado: Cinthia Miotello Campanha:
Projeto/contrato: **

DADOS DA AMOSTRAGEM

Data de coleta: 14/05/2019 08:00 Data de Entrada no Laboratório: 14/05/2019 16:18 Início das Análises: 29/05/2019 14:00
Descrição da amostra: Amostra de Lixiviado do Rejeito Santana Nº Recebimento: 9557
Ponto de coleta: **
Aspecto da amostra: N° amostra IPARQUE: 186065
Periodicidade: ** Coordenadas (UTM): mE mS
Tipo de amostragem: SIMPLES **
Temperatura da amostra (°C): **
Condições climáticas: ** Chuva nas últimas 24 hrs ? Não
Coletor: Cliente
Observações de campo: **

RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Metais

Análise	Unidade	LQ	Resultado
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01
Bário	mg/L	0,01	0,03
Cromo Total	mg/L	0,01	< 0,01
Mercurio	mg/L	0,001	< 0,001
Selênio	mg/L	0,01	0,01

Observações:

LQ : Limite de quantificação

Metodologia

Metalo: SWEWW - Method 3120 B (ICP-OES)

Metalo: SWEWW - Method 3112 (AAS/VF)

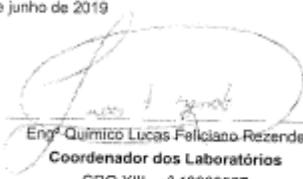
Notas:

Os resultados apresentados no presente Relatório se aplicam somente à amostra enviada.
Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Revisores:

Luiziana O. V. Da Agostin - LABORATÓRIO DE ÁGUAS E EFLUENTES INDUSTRIAIS (em 10/06/2019 14:05).

Criciúma, 10 de junho de 2019


Eng. Químico Lucas Feliciano Rezende

Coordenador dos Laboratórios
CRQ XIII - nº 13302567

ANEXO IV

Anexo F da NBR 10004/2004

Anexo F
(normativo)

Concentração – Limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo no lixiviado mg/L	CAS - Chemical Abstract Substance
Inorgânicos			
Arsênio	D005	1,0	7440-38-2
Bário	D006	70,0	7440-39-3
Cádmio	D007	0,5	7440-43-9
Chumbo	D008	1,0	7439-92-1
Cromo total	D009	5,0	7440-47-3
Fluoreto	D010	150,0 **)	
Mercúrio	D011	0,1	7439-97-6
Prata	D012	5,0*)	7440-22-4
Selênio	D013	1,0	7782-49-2
Pesticidas			
Aldrin + dieldrin	D014	0,003 **)	309-00-2; 60-57-1
Clordano (todos os isômeros)	D015	0,02	57-74-9
DDT (p, p' DDT+ p, p' DDD + p, p' DDE)	D016	0,2	50-29-3
2,4-D	D026	3,0	94-75-7
Endrin	D018	0,06	72-20-8
Heptacloro e seus epóxidos	D019	0,003	76-44-8
Lindano	D022	0,2	58-89-9
Metoxicloro	D023	2,0	72-43-5
Pentaclorofenol	D024	0,9	87-86-5
Toxafeno	D025	0,5*)	8001-35-2
2,4,5-T	D027	0,2 **)	93-76-5
2,4,5-TP	D028	1,0*)	93-72-1
Outros orgânicos			
Benzeno	D030	0,5*)	71-43-2
Benzo(a) pireno	D031	0,07	50-32-8

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo no lixiviado mg/L	CAS - <i>Chemical Abstract Substance</i>
Outros orgânicos			
Cloreto de vinila	D032	0,5	75-01-4
Clorobenzeno	D033	100 ^{*)}	108-90-70
Clorofórmio	D034	6,0 ^{*)}	67-66-3
Cresol total ^{***)}	D035	200,0 ^{*)}	
o-Cresol	D036	200,0 ^{*)}	95-48-7
m-Cresol	D037	200,0 ^{*)}	108-39-4
p-Cresol	D038	200,0 ^{*)}	106-44-5
1,4-Diclorobenzeno	D039	7,5 ^{*)}	106-46-7
1,2-Dicloroetano	D040	1,0	107-06-2
1,1-Dicloroetileno	D041	3,0	75-35-4
2,4-Dinitrotolueno	D042	0,13 ^{*)}	121-14-2
Hexaclorobenzeno	D021	0,1	118-74-1
Hexaclorobutadieno	D043	0,5 ^{*)}	87-68-3
Hexacloroetano	D044	3,0 ^{*)}	67-72-1
Metiletilcetona	D045	200,0 ^{*)}	78-93-3
Nitrobenzeno	D046	2,0 ^{*)}	98-95-3
Piridina	D047	5,0 ^{*)}	110-86-1
Tetracloroeto de carbono	D048	0,2	56-23-5
Tetracloroetileno	D049	4,0	127-18-4
Tricloroetileno	D050	7,0	79-01-6
2,4,5-Triclorofenol	D051	400,0 ^{*)}	95-95-4
2,4,6-Triclorofenol	D052	20,0	88-06-2
<p>*) Parâmetros e limites máximos no lixiviado extraídos da USEPA - <i>Environmental Protection Agency 40 CFR - Part 261 - 24 - "Toxicity Characteristics"</i>.</p> <p>***) O parâmetro Cresol total somente deve ser utilizado nos casos em que não for possível identificar separadamente cada um dos isômeros</p> <p>NOTA Os demais poluentes e limites máximos no lixiviado deste anexo foram baseados na Portaria nº 1469/2000 do MS, multiplicados pelo fator 100.</p>			

ANEXO V

Relatórios de Análises/Ensaio Solubilização de resíduos
ICRDL – Divisão Laboratório



INDÚSTRIA CARBONÍFERA RIO DESERTO

Relatório de Análises/Ensaio - Águas

N°:

61662/61663/19

N° Registro: 61662/61663

Data do recebimento da amostra: 01/04/2019

Nome ou Numero	: Extrato Solubilizado – Rejeito
Descrição Ponto	:
Coordenadas	:
Procedência	: Santana
Local da Coleta	:
Data da Coleta	: 01/04/2019
Interessado	: Eng ^a Rosimeri

pH	(LAB 559)	2,42		Fluoreto	(LAB 579)	0,49	mg/L
Acidez (CaCO ₃)	(LAB560)		mg/L	Fosfato	(LAB 580)		mg/L
Potencial Oxi-Redução	(LAB559)		mV	Fósforo Total	(LAB 580)		mg/L
Alcalinid. Hidróxida	(LAB 561)		mg/L	Manganês	(Aatômica)	0,34	mg/L
Alcalinidade Total	(LAB 562)		mg/L	Níquel	(LAB 583)		mg/L
Alumínio	(Aatômica)	26,91	mg/L	Nitrogênio Nitrato	(LAB 584)	0,14	mg/L
Bário	(Aatômica)		mg/L	Nitritos	(LAB 585)		mg/L
Cádmio	(LAB 564)	ND	mg/L	Oxigênio Consumido	(LAB 587)		mg/L
Chumbo	(A Atômica)	ND	mg/L	Oxigênio Dissolvido	(LAB 588)		mg/L
Cloretos	(LAB 566)	114,0	mg/L	Potássio	(AAtômica)		mg/L
Cloro Residual	(LAB 567)		mg/L	Prata	(AAtômica)	ND	mg/L
Cobre	(AAtômica)	0,14	mg/L	Resíduo Filtrável	(LAB 590)		mg/L
Coliformes Totais	(LAB 569)		NMP/100mL	Resíduo Não Filtrável	(LAB 590)		mg/L
Coliformes Fecais	(LAB 569)		NMP/100mL	Resíduo Sedimentável	(LAB 591)		mL/L
Cor	(LAB 570)		Hazen	Resíduos Totais	(LAB 590)		g/L
Cromo Hexavalente	(LAB 571)		mg/L	Sulfeto de Hidrogênio	(LAB 595)		mg/L
Demanda Q. Oxigênio	(LAB 572)		mg/L	Silica	(AAtômica)		mg/L
Dureza Cálcio	(LAB 574)		mg/L	Sódio	(AAtômica)	1,52	mg/L
Magnésio	(AAtômica)		mg/L	Sulfato	(LAB 593)	16,19	mg/L
Dureza Total	(LAB 575)		mg/L	Turbidez	(LAB 596)		NTU
Ferro Férrico	(LAB 577)		mg/L	Zinco	(AAtômica)	0,39	mg/L
Ferro Ferroso	(LAB 577)		mg/L	Fenol	(LAB 550)	ND	mg/L
Ferro Total	(AAtômica)	152,0	mg/L	Demanda B. Oxigênio	(LAB 652)		mg/L

LAB Mod. 012

ND = Não Detectado

Data: 30/05/2019

Bruna M Scursel

Bruna Matola Scursel
Eng^a Química
CRO 13202566 - 13^oR
CREA 151491-1

Os resultados contidos neste Relatório aplicam-se restritamente a (s) amostra (s) analisada/ensaiada (s) e só deve ser reproduzido na íntegra.

Sede: Av. Getúlio Vargas, 515 - Caixa Postal 31 - CEP: 88801-500 - Criciúma - Santa Catarina - Brasil
Tel: | (48) 3431-9444 central@riodeserto.com.br - www.riodeserto.com.br

ANEXO VI

Relatórios de Ensaio Solubilização de resíduos IPAT



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Parque Científico e Tecnológico - IPARQUE
Instituto de Pesquisas Ambientais Tecnológicas - IPAT
Instituto de Alimentos - IALI

RELATÓRIO DE ENSAIO UNIFICADO Nº 186066/2019

DADOS DO CLIENTE

Cliente: Indústria Carbonifer Rio Deserto LTDA - Divisão Laboratórios (41567) Orçamento de Análises nº 21206
Endereço: Av. Presidente Vargas, 434, Centro Cidade: Urussanga CEP: 88840-000
Fone: (48) 3465-1250 Interessado: Cinthia Mittello Campanha:
Projeto/contrato: **

DADOS DA AMOSTRAGEM

Data de coleta: 14/05/2019 08:00 Data de Entrada no Laboratório: 14/05/2019 16:18 Início das Análises: 29/05/2019 14:00
Descrição da amostra: Amostra de Solubilizado do Rejeito Santana Nº Recebimento: 9557
Ponto de coleta: **
Aspecto da amostra: * Nº amostra IPARQUE: 186066
Periodicidade: ** Coordenadas (UTM): mE mS
Tipo de amostragem: SIMPLES **
Temperatura da amostra (°C): **
Condições climáticas: ** Chuva nas últimas 24 hrs? Não
Coletor: Cliente
Observações de campo: **

RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Metais

Análise	Unidade	LQ	Resultado
Arsênio	mg/L	0,01	< 0,01
Bário	mg/L	0,01	0,02
Cromo Total	mg/L	0,01	< 0,01
Mercurio	mg/L	0,001	< 0,001
Selênio	mg/L	0,01	0,02

Observações:

LQ: Limite de quantificação

Metodologia

Metais: SMEWW - Method 3120 B (ICP-OES)

Metais: SMEWW - Method 3112 (AAS/VF)

Notas:

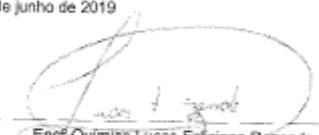
Os resultados apresentados no presente Relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.

Este Relatório de Ensaio só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.

Revisores:

Luziana D. V. De Agostin - LABORATÓRIO DE ÁGUAS E EFLUENTES INDUSTRIAIS (em 10/05/2019 14:08)

Criciúma, 10 de junho de 2019


Eng. Químico Lucas Feliciano Rezende
Coordenador dos Laboratórios
CRQ XIII - nº 13302567

ANEXO VII

Anexo G da NBR 10004/2004

Anexo G
(normativo)

Padrões para o ensaio de solubilização

Parâmetro	Limite máximo no extrato mg/L
Aldrin e dieldrin	$3,0 \times 10^{-5}$
Alumínio	0,2
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Chumbo	0,01
Cianeto	0,07
Clordano (todos os isômeros)	$2,0 \times 10^{-4}$
Cloreto	250,0
Cobre	2,0
Cromo total	0,05
2,4-D	0,03
DDT (todos os isômeros)	$2,0 \times 10^{-3}$
Endrin	$6,0 \times 10^{-4}$
Fenóis totais	0,01
Ferro	0,3
Fluoreto	1,5
Heptacloro e seu epóxido	$3,0 \times 10^{-5}$
Hexaclorobenzeno	$1,0 \times 10^{-3}$
Lindano (γ -BHC)	$2,0 \times 10^{-3}$
Manganês	0,1
Mercurio	0,001
Metoxicloro	0,02

Parâmetro	Limite máximo no extrato mg/L
Nitrato (expresso em N)	10,0
Prata	0,05
Selênio	0,01
Sódio	200,0
Sulfato (expresso em SO ₄)	250,0
Surfactantes	0,5
Toxafeno	$5,0 \times 10^{-3}$
2,4,5-T	$2,0 \times 10^{-3}$
2,4,5-TP	0,03
Zinco	5,0