

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GUSTAVO DA SILVA SERAFIM

**REAPROVEITAMENTO E DESTINAÇÃO DA TORTA DO FILTRO PRENSA
PROVENIENTE DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA MINERAÇÃO DE
CARVÃO**

CRICIÚMA

2016

GUSTAVO DA SILVA SERAFIM

**REAPROVEITAMENTO E DESTINAÇÃO DA TORTA DO FILTRO PRENSA
PROVENIENTE DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA MINERAÇÃO DE
CARVÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Elidio Angioletto

CRICIÚMA

2016

GUSTAVO DA SILVA SERAFIM

**REAPROVEITAMENTO E DESTINAÇÃO DA TORTA DO FILTRO PRENSA
PROVENIENTE DO TRATAMENTO DE EFLUENTE DA MINERAÇÃO DE
CARVÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental do curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Criciúma, 21 de novembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Doutor Elidio Angioletto – Orientador
Universidade do Extremo Sul Catarinense - (UNESC)

Prof. Doutor Adriano Michael Bernardin – Examinador
Universidade do Extremo Sul Catarinense - (UNESC)

Prof. Doutor Michael Peterson – Examinador
Universidade do Extremo Sul Catarinense - (UNESC)

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais
Edson e Susana.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me dar esta oportunidade de cursar Engenharia Ambiental e me guiar e sempre me abençoar em minha vida.

Agradeço a todos meus familiares, minha avó e avô, por sempre me apoiarem e incentivarem em momentos difíceis que tive durante essa jornada até chegar nesse momento especial.

A minha namorada Beatriz, que sempre soube me tranquilizar e compreender quando não pude estar presente.

A todos meus colegas do curso que também tiveram grande participação e ajuda nesta etapa importante da minha vida, em especial ao Augusto Dandolini Citadin, Maria Luiza Peruchi Soares e a Bruna Cesário de Lima.

Ao meu orientador Elidio Angioletto por conviver durante este semestre comigo e aos ensinamentos adquiridos com ele.

A todos os professores que contribuíram com a minha formação acadêmica, pela amizade e pelos ensinamentos.

Ao meu supervisor de campo Norberto Buogo, que me auxiliou no desenvolvimento deste trabalho

RESUMO

O presente trabalho realizado em uma carbonífera localizada em Treviso/SC, visa o estudo para o reaproveitamento dos resíduos sólidos gerados, a partir do beneficiamento de carvão. O processo gera uma grande quantidade de resíduos sólidos, o que estimula a busca para o aproveitamento destes resíduos. No processo de separação do minério, uma grande quantidade de água é utilizada e para minimizar o uso, a mesma é reciclada em circuito fechado, separando-se os sólidos. A fim de atender às legislações e diminuir impactos ambientais, a água utilizada no processo anterior passa por um tratamento e atende todos requisitos mínimos de lançamento de efluente e, conseqüentemente, é gerado um lodo que é denominado torta do filtro prensa. Este rejeito será reaproveitado na fabricação de blocos cerâmicos vazados, utilizando-o em percentuais predeterminados. Todo esse resíduo gerado no filtro prensa tem como fim os depósitos de rejeitos da empresa, onde tem um custo de transporte e descarte. O reaproveitamento tem como finalidade diminuir estes custos, além da redução de exploração dos recursos naturais (argila) que são a principal matéria-prima utilizada na confecção de cerâmica vermelha. Para alcançar os objetivos foram realizadas caracterizações físico-químicas do resíduo e da argila. Após realizar alguns processos de preparação da matéria-prima que será utilizada para confecção dos corpos de prova, tal como secagem, moagem e peneiramento, aplicou-se as seguintes formulações: 100% de argila, 5%, 10%, 20% e 40% de resíduo. Os mesmos foram extrudados no laboratório do grupo de materiais cerâmicos do IPARQUE e queimados em um forno a rolo. Por fim os corpos de prova foram submetidos a análises de absorção de água, retração linear após queima, cor de queima e resistência mecânica à flexão. Os resultados demonstraram que com adição de 20% de rejeito as propriedades de resistência a compressão e absorção de água melhoraram quando comparados aos corpos de prova de controle; enquanto que a retração linear após queima piorou em todas as composições em referência aos corpos de prova de controle.

Palavras-chave: Torta do filtro prensa, resíduos do processamento do carvão mineral, blocos cerâmicos vazados, extrusão.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição aproximada em massa relativa dos vários tipos de carvão..	15
Tabela 2: Balanço de massa do processo de tratamento de efluentes (sólidos/líquidos)	53
Tabela 3: Análise de FRX nas matérias-primas, utilizadas na confecções dos corpos de prova	55

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema geral do filtro	32
Figura 2 – Fluxograma de tratamento de efluente na empresa	36
Figura 3 - Entrada do efluente na ETE	37
Figura 4: Decantação ou sedimentação	39
Figura 5: Bacia de decantação	40
Figura 6: Forno rotativo	42
Figura 7: Argila e resíduo dentro da estufa	44
Figura 8: Moinho gira-jarros	45
Figura 9: Forno mufla	46
Figura 10: Extrusora à vácuo	48
Figura 11: Balança analítica	49
Figura 12: Forno a rolo ICON	50
Figura 13: Máquina universal de ensaios, EMIC	52
Figura 14: Fluxograma do balanço de massa com todas as entradas e saídas de materiais na estação de tratamento	54
Figura 15: DRX resíduos	56
Figura 16: Fases da calcinação	57
Figura 17: DRX argila	58
Figura 18: Valores obtidos de resistência à flexão	59
Figura 19: Valores obtidos de retração linear.	60
Figura 20: Valores obtidos com Absorção de água.	61
Figura 21: Aspecto Visual dos corpos de provas	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SC: Santa Catarina

UNESC: Universidade do Extremo Sul Catarinense

DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral

Mt: milhões de toneladas

PIB: Produto Interno Bruto

IECESC: Sindicato da Indústria de Carvão do Estado de Santa Catarina

ROM: *Run-of-Mine*

DAM: drenagem ácida de mina

DRX: difração de raios X

FRX: fluorescência de raios X

GMC: grupo de materiais cerâmicos

mm: milímetros

µm: micrometro

atm: atmosfera

cm: centímetro

m³: metro cúbico

m³/h: metros cúbicos por hora

kg: quilogramas

g: gramas

pH: potencial de hidrogênio

§: parágrafo

PNRS: Política Nacional dos Resíduos Sólidos

°C: graus centígrados

SENAI: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICO	11
1.2 OBJETIVO GERAL	12
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.4 JUSTIFICATIVA	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 O CARVÃO MINERAL	14
2.2 A BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE	19
2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DO CARVÃO MINERAL NA BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE	21
2.4 GERAÇÃO DE EFLUENTES DO CARVÃO MINERAL	24
2.5 O REAPROVEITAMENTO DE REJEITOS NA INDÚSTRIA CARBONÍFERA.....	26
2.6 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	27
2.6.1 Mistura rápida / Calha Parshall	28
2.6.2 Mistura lenta / floculação	28
2.6.3 Decantação do tipo lamelar	29
2.6.4 Filtração – filtro prensa	30
3 METODOLOGIA	35
3.1 PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE	35
3.2 BALANÇO DE MASSA.....	40
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	41
3.3.1 Calcinação	41
3.3.2 Difração de Raios-X (DRX)	42
3.3.3 Fluorescência de Raios-X (FRX)	43
3.3.4 Caracterização da argila	43
3.4 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	43
3.4.1 Coleta de argila e rejeito	43
3.4.2 Secagem	44
3.4.3 Moagem e peneiramento	44
3.4.4 Queima do resíduo	46
3.5 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	47

3.5.1	Preparação da massa.....	47
3.5.2	Extrusão	47
3.5.3	Secagem.....	48
3.5.4	Pesagem e medição	48
3.5.5	Queima	49
3.6	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS AMOSTRAS CONFECCIONADAS	50
3.6.1	Absorção de água	50
3.6.2	Retração linear após queima.....	51
3.6.3	Resistência à flexão	51
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	53
4.1	BALANÇO DE MASSA.....	53
4.2	ANÁLISE DAS MATERIAS PRIMAS.....	54
4.2.1	Fluorescência de Raios X (FRX)	55
4.2.2	Difração de Raios X (FRX)	56
4.3	CLASSIFICAÇÃO DO RESÍDUO ABNT 10.004/04.....	58
4.4	ANÁLISE MECÂNICA DOS CORPOS DE PROVA.....	59
4.4.1	Resistencia mecânica a flexão.....	59
4.4.2	Retração linear após queima.....	60
4.4.3	Absorção de água	61
4.4.4	Cor de queima	62
	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGAÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICO

A mineração é uma atividade que está na fronteira entre os processos industriais e a matéria-prima disposta na natureza. Por isso seu impacto sobre o meio ambiente é inevitável. Uma vez isso colocado o que pode ser trabalhado é a intensidade desses impactos sobre o meio ambiente, buscando minimizá-los quando comparados às operações atuais, ou ainda procurar recuperar o meio ambiente trabalhando sobre passivos ambientais que foram se acumulando ao longo do tempo.

A atividade carbonífera, mesmo com todas as legislações atuais de proteção ao meio ambiente, gera muitos problemas ambientais, tais como emissão de poluentes no ar, na água e no solo.

Por força legal e também por consciência de sua responsabilidade socioambiental, a empresa deste estudo busca atender a todas as legislações, com o intuito de minimizar os impactos de suas atividades no entorno onde se encontra instalada.

Dessa forma, a empresa investe em equipamentos e processos buscando tornar sua atividade ecologicamente mais responsável, como por exemplo, o uso de filtro prensa, utilizado para a separação de água e rejeitos sólidos, gerados no processo de beneficiamento do carvão.

Diante disso, o presente estudo pretende focar o reaproveitamento e destinação de rejeitos provenientes do processo de beneficiamento do carvão mineral, tendo como local de estudo uma empresa carbonífera localizada em Treviso, SC. Propôs-se a utilização deste rejeito na confecção de cerâmica vermelha (blocos vazados). O uso de resíduos de processos industriais na cerâmica vermelha é bastante intenso.

Diversas publicações com o mesmo objetivo já foram desenvolvidas, tais como: Marcello e colaboradores (2005), *Inorganic pigments made from the recycling of coal mine drainage treatment sludge*, Kazmierczak, Rosa e Arnold (2016), Influência da adição de filer de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento e Macêdo e colaboradores (2011), Comportamento de blocos cerâmicos estruturais produzidos a partir da mistura de lama vermelha e argila.

Por suas características as cerâmicas vermelhas (blocos vazados) possibilitam o uso de resíduos com relativa facilidade e muitas vezes se obtém com essa adição melhorias nas propriedades, para tanto, este trabalho foi desenvolvido na estação de tratamento de efluentes oriundos da mineração de carvão, de uma empresa carbonífera localizada no município de Treviso-SC.

Esse estudo enquadra-se na linha de pesquisa e extensão como tema “Tratamento e Valoração de Resíduos”, de acordo com as diretrizes do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

1.2 OBJETIVO GERAL

Reaproveitar e destinar o resíduo sólido que sai do filtro prensa (torta) no processo de tratamento de efluentes do beneficiamento de carvão mineral.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever o processo de tratamento de efluentes da empresa;
- Quantificar o resíduo produzido por mês (sólidos e líquidos);
- Caracterizar os resíduos sólidos (torta) oriundos do tratamento de efluentes;
- Identificar e indicar método de reaproveitamento do rejeito, bem como possíveis destinos para o rejeito;
- Realizar formulações com o rejeito para encontrar possíveis utilizações;

1.4 JUSTIFICATIVA

No Brasil, as legislações em relação à atividade carbonífera são cada vez mais rigorosas e têm por objetivo minimizar os impactos e passivos ambientais que a atividade causa.

Por outro lado, as empresas carboníferas registram altos custos financeiros para se manterem operantes, dentro dos parâmetros legais exigidos.

Contudo, nos dias atuais, frente à crise econômica vivenciada no país e no setor da mineração de carvão, as mineradoras precisam adotar estratégias para resolver os problemas ambientais e, conseqüentemente, reduzir os custos que são

gerados.

Conforme já mencionado, na empresa em estudo, o beneficiamento do carvão é feito por separação gravimétrica, necessitando de uma quantidade muito grande de água, apresentando sólidos dissolvidos.

Para atender os limites de lançamento de efluente, a empresa investiu em um sistema de tratamento muito sofisticado, contando, entre outros equipamentos, com o filtro prensa, que remove cerca de 90% dos sólidos. Tais sólidos, ao final do processo, são tratados como rejeitos e despejados em um depósito próximo à empresa. Este material, no entanto, tem um custo de transporte e pode causar impactos ambientais.

Diante disso, justifica-se este estudo, por ser uma iniciativa de estudar o reaproveitamento e destinação desses resíduos sólidos. Isto vem a contribuir para a empresa ratificar seu respeito às legislações ambientais, bem como cumprir sua função socioambiental, além de sugerir usos futuros para estes materiais, o que também pode contribuir para indústrias de outros segmentos a terem reduções de custos ou inovações em seus processos produtivos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O CARVÃO MINERAL

Do latim *Carbone* (carvão) o carvão mineral, segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral, DNPM (2010), é uma substância sólida, formada pela decomposição parcial de restos vegetais, com enriquecimento em carbono e litificada, ou seja, endurecida por um processo lento. São necessárias dezenas de milhões de anos para que se dê sua formação. O processo de carbonização dá-se pela acumulação, alteração e compactação da matéria orgânica situada em um meio apropriado.

O carvão mineral é um material de origem complexa. A formação de um depósito de carvão mineral exige a ocorrência simultânea de condições específicas dos pontos de vista geográfico, geológico e biológico. É necessária uma vegetação densa em ambiente capaz de preservar a matéria orgânica, como um pântano, onde a água impede a atividade das bactérias e fungos, os quais decompõem a madeira e a celulose. Sua formação inicia-se quando a matéria orgânica, principalmente vegetais, da superfície é soterrada (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009).

A composição relativa em massa da matéria orgânica vegetal é de 0 a 16% de proteínas, 20 a 55% de celulose, 10 a 35% de lignina e cerca de 10% de sais inorgânicos. O processo começa com a decomposição da celulose por processos aeróbicos ou anaeróbicos, restando a lignina, um polímero natural de difícil decomposição. A segunda etapa ocorre com a ação de processos geológicos, quando mais sedimentos se depositam aumentando a temperatura e a pressão, resultando em perdas de CO₂ e água. Posteriormente, ocorre a formação de anéis aromáticos e finalmente a estrutura se aproxima do grafite (Csólido) que é um material sólido insolúvel na água e resistente a outras reações (POLETO, 2010).

Dessa forma, o carvão é encontrado compactado entre camadas de solo. Como essa formação de carvão é muito lenta e depende de condições como temperatura e pressão, é possível encontrar carvão com diversos estados de maturação caracterizado pela sua composição química, que quanto mais similar à da matéria orgânica vegetal mais jovem é sua formação (SILVA, 2013).

Esses diferentes tipos de carvão recebem nomes diferentes e a sua qualidade (valor econômico) está relacionada com a composição em carbono, que

quanto maior, melhor o carvão (Tabela 1).

Tabela 1: Composição aproximada em massa relativa dos vários tipos de carvão

Tipo de Carvão	Carbono %	Hidrogênio	Oxigênio	Nitrogênio
Matéria orgânica vegetal	50	6	43	1
Turfa	59	6	33	2
Linhito	69	5	25	1
Hulha	88	5	6	1
Antracito	95	2-3	2-3	—

Fonte: ROCHA, ROSA e CARDOSO (2009, p. 139).

Em um curto resumo histórico, a formação do carvão após a matéria orgânica ser soterrada obedece à sequência: após algumas dezenas de milhares de anos a massa vegetal é transformada em turfa, cuja percentagem de carbono é mais elevada que a da matéria orgânica vegetal. Mais algumas dezenas de milhões de anos a turfa concentra o seu teor de carbono e se transforma na primeira variedade de carvão, o linhito, cuja denominação é devido à sua aparência de madeira. Na sequência geológica surge a hulha, primeiro como carvão betuminoso, depois como sub-betuminoso. Na última etapa geológica, a hulha se transforma em antracito, com a composição de até 90% em carbono. Os linhitos mais recentes possuem idades menores que 2 milhões de anos, carvões betuminosos, idades entre 100 e 300 milhões de anos e antracitos, cerca de 380 milhões de anos (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009).

Quanto maior o teor de carbono no carvão, maior é o seu poder energético e, conseqüentemente maior seu valor econômico (POLETO, 2010).

O carvão é uma rocha sedimentar, combustível, de origem orgânica (composta principalmente de carbono, hidrogênio e oxigênio), formada a partir de vegetação, que sofreu soterramento e compactação em bacias originalmente pouco profundas. Assim, consolidou-se entre outros estratos de rochas para formar camadas de carvão, transformadas pelos efeitos combinados da ação microbiana, pressão e calor, durante um considerável período de tempo, determinando a carbonificação gradativa da matéria vegetal original, que sofreu modificações significativas com a perda de oxigênio (O₂) e água (H₂O) e enriquecimento relativo em carbono fixo (CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 2013).

O carvão mineral ou carvão natural é um produto da fossilização da madeira depois de decorridos milhões de anos. A madeira é constituída principalmente por carbono, oxigênio e hidrogênio. Quando soterrada, a madeira elimina gás carbônico (CO_2), gás metano (CH_4) e água (H_2O) no processo de fossilização. O carvão mineral é a maior fonte de energia na forma de combustível fóssil (SCHNEIDER, 2016).

O carvão tem sido usado como uma fonte de energia por centenas de anos. Há registros de seu comércio internacional desde a época do Império Romano. O mesmo autor cita que quando da invasão da Gália (80 a 58 A.C.), despertou a atenção dos romanos o fato de uma 'terra' inflamável estar sendo extraída das montanhas próximas a Sta. Etiène. Há registros de utilização do carvão na Inglaterra para fins de aquecimento doméstico durante o século XII (CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 2013).

A mudança do emprego da lenha para o carvão mineral corresponde a uma revolução sem precedentes na escala histórica, pois marca a passagem da utilização de fontes de energias renováveis para o emprego de recursos fósseis, de tal forma que esta passagem serviu de suporte para a revolução industrial, no século XVII, e de base para o capitalismo, como sistema econômico dominante. Ainda segundo os autores, inicialmente relutou-se em adotar o carvão mineral dado que ele expelia um odor desagradável ao queimar, porém no século XVI, a adoção foi inevitável, pois as florestas estavam devastadas ao ponto que a lenha começou a faltar. E, precisamente por volta do século XVI, aparecem dois poderosos fatores de expansão da produção: o crescimento demográfico e a lenta e generalizada alta nos preços das lenhas, cujo elevado custo forçou muitas indústrias a recorrerem ao carvão que apresentava como atrativo não somente seu preço na boca da mina, mas também seu baixo custo de transporte feito por via marítima em navios a vela (FRANCO; MARIMON, 2009).

Dentro deste contexto:

O carvão mineral foi de suma importância no século XVIII ao final do XIX, época da Primeira Revolução Industrial. Os países pioneiros no processo de industrialização, como a Inglaterra, a Alemanha, os Estados Unidos e a França, são todos bem servidos em reservas carboníferas. Porém, com o desenvolvimento da indústria automobilística (que usa derivados do petróleo como combustíveis e também na fabricação dos pneus e plásticos diversos), pouco a pouco o carvão foi cedendo lugar ao petróleo como grande fonte de energia mundial. Assim, no final do século XIX, em 1880, 97% da energia consumida no mundo provinha do carvão, mas noventa anos depois, em 1970, somente 12% desse total provinha desse recurso

natural; depois da chamada “crise do petróleo”, ocorrida em 1973, a elevação dos preços de óleo fizeram com que o carvão fosse novamente valorizado, pelo menos em parte, e ele voltou a subir um pouco, representando cerca de 25% da energia total consumida no globo nos anos 80 e 90 (ALBUQUERQUE et al, 1995, p. 15).

De Luca (2001) complementa afirmando que o desenvolvimento da indústria carbonífera foi o recurso energético de importância estratégica que assistiu a Revolução Industrial no século XVIII e início do século XX. As principais nações industriais construíram seus poderes baseados no emprego deste recurso energético. A Grã Bretanha foi um dos países que mais caracterizou esta época e permitiu manter uma hegemonia mundial por várias décadas, através de sua produção energética de carvão e de seu controle territorial e dos oceanos. Até a Primeira Guerra Mundial, o carvão foi o principal recurso mundial e as nações emergentes como Inglaterra, Alemanha, França e os Estados Unidos produziam aproximadamente 90% do carvão mundial. A redução do carvão como principal recurso ocorreu após a Segunda Guerra Mundial e, apesar desta redução, sua história continua sendo escrita.

Mais modernamente, De Luca (2001) afirma que a principal aplicação do carvão é a de servir como combustível, embora se possa também extrair dele grande número de subprodutos, como alcatrão, do qual se destila o benzol ou o benzeno, xilol, toluol, entre outros. Além desses produtos, ainda tem-se o ácido fênico ou fenol e a naftalina. Para Albuquerque et al (1995), mundialmente e no Brasil, a humanidade precisa continuar utilizando este combustível no futuro próximo, apesar do carvão ser o combustível mais sujo dos fósseis causando danos à saúde humana e ao meio ambiente.

O carvão mineral é o energético de distribuição mais abrangente no planeta, havendo carvões desde a Austrália à China, Rússia, EUA, Canadá, México, Brasil, Colômbia, Venezuela, Europa (Bulgária, França, Alemanha, Grécia, Polônia, Espanha, Turquia, Grã-Bretanha), África do Sul, Moçambique, Zimbábue, Antártica, Índia. Desses, o maior produtor mundial é a China, com 1,2 bilhões de toneladas-ano (FRANCO; MARIMON, 2009).

Na visão de Lima (2003) o carvão é fundamental para a economia mundial, e é maciçamente empregado em escala planetária na geração de energia e na produção de aço. Na siderurgia é utilizado o carvão coqueificável, um carvão nobre, de altos *rank* e *grade*, com propriedades aglomerantes. Segundo o autor, o

ano de 2000, o mundo produziu 831 Mt (milhões de t) de aço, que requereram 608 Mt de carvão, representando aproximadamente 17,5% da produção global deste bem mineral, que foi de 3.466 Mt. No uso como energético, o carvão admite, a partir do linhito, toda gama possível de qualidade, sendo uma questão de adaptação dos equipamentos ao carvão disponível.

Conforme De Luca (2001) o carvão responde por cerca de 40% da energia elétrica gerada no mundo. Entre os países altamente dependente do carvão para a geração de eletricidade encontrava-se em 2000: Polônia (96%), África do Sul (90%), Dinamarca (59%), Austrália (86%), Grécia (70%), China (81%), Alemanha (51%) e os Estados Unidos (56%).

De Luca (2001) também considera que, mesmo com as mudanças mundiais na escolha de recursos energéticos, o carvão é um recurso abundante no mundo, mais que qualquer outro combustível fóssil. Ao consumo dos níveis de produção de 1996, as reservas mundiais de carvão são suficientes para mais de 200 anos. Isso significa quatro vezes as reservas de petróleo (45 anos aproximadamente) e de gás natural (70 anos aproximadamente). As reservas mundiais, conhecidas (medidas) de carvão, são da ordem de 1 trilhão e 100 bilhões de toneladas. As reservas totais estimadas seriam dez vezes maiores. Os depósitos de carvão estão distribuídos em muitas regiões do mundo, do hemisfério norte ao sul, mas quatro regiões, antiga União Soviética, Estados Unidos, China, e Austrália, concentram 66% dos recursos.

O maior exportador mundial de carvão (que abastece de energia - eletricidade e siderurgia) e sustenta o PIB asiático é a Austrália, que exportou em 1999 cerca de 171 milhões de toneladas (Mt) de carvão Gondwânico, de origem similar ao carvão brasileiro.

Farias (2003, p. 7) afirma:

Na Conferência Rio + 10, realizada de 26 de maio a 29 de agosto de 2002, em Johannesburgo, em várias partes de seu documento final, assinado por todos os países presentes, a mineração foi considerada como uma atividade fundamental para o desenvolvimento econômico e social de muitos países, tendo em vista que os minerais são essenciais para a vida moderna.

No Brasil o carvão mineral é a primeira fonte de energia primária não renovável, sendo 20 vezes superior ao petróleo e 76 vezes, ao gás natural. As reservas brasileiras de carvão mineral são estimadas em 32,5 bilhões de toneladas, representando 0,33% do total mundial.

A contribuição do carvão mineral, entretanto, eleva-se, hoje, a pouco mais de 5% no balanço energético nacional. As maiores reservas brasileiras de carvão mineral situam-se, no Estado do Rio Grande do Sul, 89%, ficando o Estado de Santa Catarina com 11%, o Estado do Paraná com 0,3% e o Estado de São Paulo com 0,04%. O único carvão nacional, dos conhecidos e lavrados, que pode ser coqueificado ou usado em alto forno siderúrgico, é o de Santa Catarina e, mesmo assim, somente depois de lavado (FRANCO; MARIMON, 2009).

2.2 A BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE

Conforme Weiler, Amaral Filho e Schneider (2014), em Santa Catarina, as reservas de carvão são modestas, possuindo somatório das classes de reservas de 2.439.776.339 t, sendo o município de Siderópolis detentor de 22,23% seguido por Lauro Müller com 20,68%, Içara 18,42%, Criciúma 9,58% e Araranguá também com 9,58%.

O carvão catarinense foi descoberto em 1822 por tropeiros que desciam a Serra do Rio do Rastro em direção a Laguna. Neste contexto:

A descoberta do carvão catarinense remonta o século XIX, mas somente na primeira metade do século XX ele passou a ser explorado industrialmente. O contexto e as necessidades geradas durante as duas grandes guerras, bem como a mudança no modelo de desenvolvimento do país adotado a partir de 1930, foram fatores decisivos para a expansão da indústria carbonífera. [...]. A exploração industrial se efetivou somente a partir da década de 1910. A partir daí, foram surgindo dezenas de minas espalhadas por um espaço geográfico que ficou denominado região carbonífera. No decorrer do século XX, várias pequenas cidades foram substituindo a agricultura pelas minas de carvão, sendo que os municípios que mais aderiram a esse tipo de economia foram Lauro Müller, Urussanga, Tubarão, Criciúma, Siderópolis e Içara (VOLPATO, 2001, p. 16).

Relata De Luca (2001) que em Santa Catarina os interesses pela exploração do carvão mineral de forma industrial começaram em 1884, com a conclusão da Estrada de Ferro Dona Teresa Cristina. Com isto, se estabelece a ligação entre a Vila Estação das Minas (mais tarde cidade de Lauro Müller) e o Porto de Imbituba. No ano seguinte, começava a extração do carvão. Até o início deste século, no entanto, a exploração do carvão não se desenvolve devido à falta de investimentos em infraestrutura para escoamento da produção, além de encontrar concorrência do carvão inglês e do alemão, de melhor qualidade.

De Luca (2001, p. 123) ainda considera:

O desenvolvimento da indústria carbonífera teve lugar no início do século XX e se expandiu pelos municípios de Criciúma, Lauro Müller, Siderópolis, Urussanga, Içara, Forquilha e Morro da Fumaça. A lavra de carvão era feita a céu aberto e no subsolo. Naquela época, a mineração a céu aberto era feita em grande escala. Atualmente, esta atividade vem sendo desenvolvida em proporções menores, nas regiões de Urussanga e Lauro Müller. Esta atividade estava intimamente ligada à intervenção do estado como investidor e consumidor - Lavador de Capivari (no Município de Capivari de Baixo), Unidade de Concentração de Pirita (em Criciúma), Indústria Carboquímica Catarinense S.A (em Imbituba), Termelétrica Jorge Lacerda (em Tubarão), Companhia Siderúrgica Nacional (empresa de exploração do carvão - em Criciúma e Siderópolis) e em Volta Redonda no Rio de Janeiro.

Nos anos de 1998-2000, a comercialização do carvão cresceu 38,0%. Em relação ao ano anterior (1999), houve um acréscimo de 15%. O aumento na demanda por carvão para abastecer as usinas termoeletricas existentes na região sul do País, que passaram a operar a plena carga, constituiu-se no principal fator. Em consequência disso, as empresas carboníferas diminuíram o seu grau de ociosidade, que era elevado até a metade da década passada e praticamente todas as mais representativas tiveram sua produção aumentada (CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 2013).

Com o aumento verificado na produção catarinense, o Estado passou a quase equivalência com o maior produtor nacional de carvão, o Rio Grande do Sul, ficando a seguinte distribuição, em 2000: 49,0% Santa Catarina, 50,0% Rio Grande do Sul e 1,0% Paraná. Em termos de valor da produção, Santa Catarina apresenta uma participação bem maior, devido ao preço médio mais elevado de seus carvões, 73,0%, o Rio Grande do Sul 25,0% e o Paraná 2 (CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 2013).

São várias as camadas de carvão da bacia carbonífera de Santa Catarina, as quais estão inseridas na Formação Rio Bonito, sendo mais facilmente explorável a camada Barro Branco. Esta camada oferece maior recuperação de carvão do tipo metalúrgico ou betuminoso, e ocorre em toda a extensão da bacia com espessura aproximada de 2,2 m, constituída por leito de carvão intercalado por siltitos e folhelhos carbonosos em proporções aproximadamente equivalentes e apresenta teor regular de pirita (POLETO, 2010).

Destas, apenas as camadas Barro Branco, Bonito e Irapuá são atualmente mineradas, embora a camada de Ponte Alta tivesse sido lavrada no passado. A camada Barro Branco varia de 1,4 m a 2,2m de espessura contendo

0,5m a 1,2m de carvão recuperável. Distingue-se um leito superior (forro) e um leito inferior (banco) separados por estéril (quadração). O carvão é coqueificável; somente a parcela de densidade inferior a 1,5 é aproveitável na siderurgia, a parcela de densidade entre 1,5 e 2 constituindo um carvão vapor secundário utilizado na geração termelétrica (POLETO, 2010).

Sobre o carvão catarinense Farias (2003) relata que os rejeitos xistoso e piritoso produzidos nos pré-lavadores foram sendo depositados, durante décadas, próximos aos pré-lavadores, causando grande impacto ambiental, principalmente devido à presença da pirita. As drenagens ácidas são provenientes dos rejeitos contendo sulfetos, em forma de pirita, que ao ficarem expostos à água e ao ar, oxidam-se gerando acidez. Este passivo ambiental até hoje causa danos aos recursos hídricos da região.

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DO CARVÃO MINERAL NA BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE

A atividade minerária, como qualquer outra atividade humana, interfere no meio ambiente e se apropria de outros recursos naturais tais como a água, o ar e a vegetação. Toda a mineração inclusive a carbonífera, a céu aberto ou subterrânea, altera o terreno no processo de extração mineral e deposição de estéril e de rejeitos (CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 2013).

Todo o processo, desde a mineração, o processamento e o transporte de carvão gera grandes danos ambientais. Na extração do carvão do solo, inicialmente é removida a vegetação natural da área com posterior remoção de terra e pedra que geralmente são dispostas sobre outras áreas de vegetação natural. Operações de minas a céu aberto destroem ecossistemas existentes no seu entorno. Minas subterrâneas podem desmoronar alterando paisagens e colocando em risco casas e construções diversas.

Águas provenientes do subsolo podem ser contaminadas com resíduos de compostos de enxofre agregados ao carvão, gerando soluções de ácido sulfúrico. Essas águas altamente ácidas solubilizam metais que estavam imobilizados em rochas e no solo possibilitando o transporte e aporte dessas espécies metálicas em mananciais de águas subterrâneas. O transporte do carvão sólido e sua utilização impõem mais limitações que os dos combustíveis líquidos (POLETO, 2010).

Contudo, todo desenvolvimento econômico e populacional da área Carbonífera Sul Catarinense esteve vinculado à indústria extrativa do carvão. Neste sentido, é inegável, porém, que foi a mineração que degradou o meio ambiente, pois com a mineração, muitos danos à natureza foram causados, principalmente solos e rios (CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 2013).

Para Volpato (2002) a mineração de lavra manual (como era no início da década de 1950) oferecia poucos danos à natureza. Porém, na medida em que os métodos e técnicas de lavra foram se mecanizando, o processo de poluição tornou-se incontrolável, e pode-se dizer irreversível. Existem áreas extensas que se assemelham a uma paisagem lunar. Outro ponto negativo é a erosão, devido à falta de vegetação que não cresce nas áreas contaminadas. Os 28 bairros de Criciúma partilham os efeitos da poluição ambiental, alguns como Cidade Mineira, Sangão, Próspera, Rio Maina, entre outros, apresentam 'feridas expostas'.

As impurezas (rejeitos) constituem cerca de 3/4 do material extraído, gerando uma enorme quantidade de pirita. No passado, estes rejeitos foram descartados com irresponsabilidade, em áreas próximas ao lavador, ao longo de rodovias, alagadiços, e margens de rios, onde o minerador, buscando áreas de baixo custo financeiro para o descarte do rejeito, na verdade, gerou um elevado custo ecológico e social (CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 2013).

Os rejeitos sólidos são constituídos pelos minerais e rochas que ocorrem associados ao carvão, tais como, a pirita, arenitos, silitos e folhelhos que, considerados até pouco tempo atrás sem valor econômico, foram sendo depositados a menor distância de transporte possível, gerando extensas áreas cobertas com material rico em enxofre e metais pesados, extremamente acidificante quando em contato com o ar e água, e sujeito à autocombustão, com geração de gases tóxicos. (DE LUCA, 2001, p. 217).

Segundo Volpato (2002) desse modo, o tratamento inadequado dos rejeitos sólidos e efluentes líquidos, bem como os processos de produção e beneficiamento do carvão pelas carboníferas resultou em uma grave degradação, a ponto de a área carbonífera 'ser considerada Área Crítica Nacional, através do decreto nº 85.206/80, exigindo o controle da poluição e a recuperação da qualidade ambiental'.

A população da região carbonífera, atingida mais ou menos intensamente, convive e partilha os danos que a mineração do carvão vem causando à região. A

degradação, se hoje é crítica, para o futuro é ameaçadora. São os ônus sociais que a mineração não agrega a seus custos e a sociedade é forçada a subsidiar, em função do resultado econômico.

Outro aspecto a ser considerado é o desperdício, que na indústria mineradora se apresenta sobre várias formas tais como processamento ineficiente e disposição de rejeitos que é feita de maneira a não levar em consideração seu aproveitamento futuro (POLETO, 2010).

Para o meio ambiente, dependendo da quantidade de material exposto, tipo de rejeito e grau de compactação, o dano pode perdurar por muitas décadas ou até centenas de anos (FRANCO; MARIMON, 2009).

Dentro deste contexto, conforme Farias (2003) os Governos Federal e Estadual e os mineradores de carvão de Santa Catarina foram condenados em Sentença da Justiça Federal, em janeiro de 2000, a promover toda a recuperação ambiental da região afetada pela mineração do carvão no prazo de três anos. Com o objetivo de atender à sentença citada, os réus criaram um Comitê Gestor que está desenvolvendo estudos e trabalhos de recuperação ambiental, que resultou no Projeto Conceitual para Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Catarinense, elaborado pelo CETEM, CANMET (órgão do Natural Resources do Canadá) e SIECESC (Sindicato da Indústria de Carvão do Estado de Santa Catarina).

Desse modo, em resposta a situações como o caso da atividade minerária, muitas ferramentas ambientais vêm sendo utilizadas, buscando a melhoria da produção e atividades que respeitem os limites de saturação do meio ambiente. Os governos procuraram desenvolver inicialmente, uma legislação ambiental de caráter punitivo, baseada na imposição de normas e controles e de medidas que fomentassem a proteção ambiental (CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 2013).

Porém as carboníferas brasileiras ainda carregam por desinformação dos brasileiros, a antiga visão dos largos danos ambientais causados ao meio ambiente nos tempos da 'garimpagem' do carvão em Santa Catarina. Hoje tanto os métodos de lavra e cuidados ambientais evoluíram quanto a consciência ecológica, o que tornou os métodos de mineração e beneficiamento do carvão uma realidade operacional.

Hoje as modernas técnicas de aproveitamento do combustível empregado pelas carboníferas nacionais permitem a separação do solo e sua reutilização em

bacias seladas cobertas pelos rejeitos em áreas mineradas submetidas ao repaisagismo e revegetação com árvores nativas.

2.4 GERAÇÃO DE EFLUENTES DO CARVÃO MINERAL

O processo de extração do carvão mineral, na Região Carbonífera Catarinense, de forma predominante é realizado por mineração subterrânea. Em função de suas características de cunho geológico, o carvão *Run-of-Mine* – ROM, que é o minério bruto extraído diretamente da mina, necessita passar por um processo de beneficiamento a fim de alcançar os padrões ideais para combustão em usinas termoelétricas (WEILER; AMARAL FILHO; SCHNEIDER, 2016). Ao final do processamento, estima-se que 60% a 70% dos produtos são descartados, compondo-se em módulos de rejeitos (WEILER; AMARAL FILHO; SCHNEIDER, 2016; AMARAL FILHO et al, 2013).

Isso decorre da mecanização de lavra, pequena espessura das camadas de carvão e sua intercalação com rochas sedimentares (siltitos, folhelhos e arenitos) e nódulos de pirita (FeS_2 -sulfeto de ferro). Esta situação diferencia-se em relação aos carvões de outros países, os quais possuem menor teor de cinzas quando queimados e menores proporções de rejeitos (WEILER; AMARAL FILHO; SCHNEIDER, 2014).

Desde o início do processamento do carvão, o contato do ROM com a água faz com que ocorra o carreamento dos elementos químicos, causando alteração na qualidade físico-química da água excedente. No processo de beneficiamento, conhecido como “jigagem”, a água é utilizada para separar por densidade o minério. Os líquidos excedentes deste processo proporcionam uma solução aquosa, fortemente ácida (conhecida como drenagem ácida de mina, DAM). Esta é rica em sulfatos e ferro (nas formas Fe^{2+} e Fe^{3+}), além de outros metais associados, causando a poluição do solo e da água, prejudicando o abastecimento de água, as atividades de pecuária e agricultura, gerando altos impactos sociais e econômicos (WOLOSZYN; VOLKART; BIZANI, 2013).

A DAM é uma das principais fontes de contaminação das águas superficiais e subterrâneas do mundo. Como esse problema pode persistir por décadas ou mesmo centenas de anos após a conclusão do ciclo de produção, há uma necessidade de impedir a sua formação e aplicar o tratamento mais adequado

quando é formado (SCHNEIDER, 2016).

Estes drenos são tóxicos em diferentes graus para os seres humanos, fauna e flora. Contêm metais dissolvidos e componentes orgânicos solúveis e insolúveis, que ocorrem a partir de operações de mineração, processos de concentração mineral, barragens de rejeitos e rejeitos de minas. Além de mortes de peixes e crustáceos, ocasionam más condições para gado e lavouras, bem como a introdução de cor e turbidez em rios e lagos (FRANCO; MARIMON, 2009).

A drenagem ácida de mina ocasiona uma grande quantidade de sólidos em suspensão com um elevado teor de sulfato e de metais (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), na ordem de várias centenas de miligramas por litro. Estes elementos em altas concentrações são prejudiciais para a atividade biológica e podem causar danos a estruturas construídas pelo homem. Devido a isso é necessário encontrar uma solução para este problema (SCHNEIDER, 2016).

Os depósitos de rejeitos são a principal fonte de geração da DAM gerando um problema que assola toda a região carbonífera de Santa Catarina e cujo tratamento implica enormes custos (AMARAL FILHO et al, 2013).

Dessa forma, tais rejeitos vão ocupar extensos espaços, além de gerar vazões elevadas de drenagem ácida de mina. Estima-se que existam, aproximadamente, 300 milhões de toneladas de rejeitos de carvão na região sul do país, com significativas quantidades de enxofre (AMARAL FILHO et al, 2013).

Os rejeitos carboníferos ainda apresentam uma fração energética originada de material deslocado, sobretudo nos casos em que a eficiência de equipamentos empregados, como os jigues, não são de boa qualidade (WEILER; AMARAL FILHO; SCHNEIDER, 2016).

Contudo, a maior parte do carvão utilizado em plantas de geração de energia elétrica no Brasil é oriunda de beneficiamentos gravimétricos. Nesses sistemas, os finos são normalmente descartados e depositados em barragens de rejeito (BRUM; JESUS, 2010).

Por meio do beneficiamento gravimétrico de rejeitos de carvão, torna-se possível a obtenção de três produtos diferentes: (i) uma fração com significativo teor de carbono, a qual poderia ser utilizada para geração de energia; (ii) uma fração com maior teor de matéria mineral e menor teor de enxofre com reduzido potencial de geração de acidez; e (iii) uma fração rica em pirita que poderia ser utilizada para a produção de ácido sulfúrico (WEILER; AMARAL FILHO; SCHNEIDER, 2014).

Sobre o reaproveitamento destes rejeitos na indústria carbonífera discorre-se no item a seguir.

2.5 O REAPROVEITAMENTO DE REJEITOS NA INDÚSTRIA CARBONÍFERA

Estima-se que a exploração de carvão mineral na Região Carbonífera do sul do estado de Santa Catarina deixou um passivo ambiental avaliado em 120 milhões de dólares em ação civil pública movida pelo Ministério Público Federal nos anos de 1990 (JARDIM et al, 2012).

Na Bacia Carbonífera de Santa Catarina, a massa de rejeitos encontra-se submetida a uma gama de ações e estratégias que envolvem um cronograma rígido para a recuperação ambiental. A estas áreas de passivos, somam-se os depósitos de rejeitos que se encontram nos pátios das carboníferas que operam na região, cuja superfície é de 957 hectares totais (WEILER; AMARAL FILHO; SCHNEIDER, 2014), necessitando, portanto, de estratégias para o seu reaproveitamento.

Amaral Filho et al (2013) conduziram um estudo com o objetivo de caracterizar um típico depósito de rejeitos na região carbonífera de Santa Catarina, buscando a separação de três frações para uso futuro: (a) uma fração para a geração de energia; (b) uma fração enriquecida em silicatos; e (c) uma fração com alto teor de enxofre.

A caracterização incluiu análise granulométrica, estudos densimétricos, medidas do teor de cinzas e enxofre, análise mineralógica por DRX, estudos petrográficos em lupa e medidas de contabilização de ácidos e bases. Os resultados granulométricos indicaram que 68% do material são compostos por partículas grossas, 15%, por partículas finas e 17%, pelo lodo das bacias de sedimentação. Com o beneficiamento gravimétrico dos resíduos é possível uma recuperação teórica do material de 33,7% para geração de energia e 10,3% para produção de um concentrado rico em pirita. O material restante, com menor quantidade de enxofre e rico em silicatos, tem seu potencial de geração de acidez reduzido em 60% e apresenta possibilidade de uso na construção civil.

Weiler, Amaral Filho e Schneider (2014) realizaram um estudo com o objetivo de buscar uma alternativa de produção mais limpa do carvão, através do beneficiamento gravimétrico dos rejeitos de carvão. A metodologia do trabalho consistiu na separação gravimétrica por meio denso de uma amostra típica de rejeito

de carvão. O estudo permitiu evidenciar que, através do beneficiamento gravimétrico dos rejeitos de carvão por meio denso previamente a sua disposição final, foi possível obter um produto com maior teor de carbono, a fração energética com 14 % em massa, e uma fração rica em pirita com 17 % em massa, reduzindo em 31% a massa dos resíduos disposto em aterros.

O restante, 69% em massa, corresponde a um material inerte: rico em silicatos e com baixo teor de enxofre, com um potencial de geração de acidez quase 90 % inferior ao do rejeito bruto e concentrações de metais reduzidas. Os autores concluíram que é possível processar gravimetricamente os rejeitos de carvão, com possibilidade de reaproveitamento dos materiais e redução dos impactos ambientais.

Dessa forma, entre os benefícios do reaproveitamento gravimétrico do carvão, destaca-se a atualização tecnológica dos processos para separação e concentração mineral, uso racional dos recursos minerais, conservação de recursos naturais, conservação de energia e desenvolvimento sustentável da mineração (CÂMARA et al, 2013).

Também há de se mencionar que, por força da legislação ambiental e de outras disposições legais, o setor carbonífero de Santa Catarina (órgãos governamentais, mineradoras e instituições de pesquisa) está engajado em recuperar a região de toda a poluição causada por décadas de exploração insustentável de carvão mineral. Os principais esforços têm sido em dispor, adequadamente, os resíduos de carvão e tratar a DAM por meio de tratamento físico-químico. Entretanto parte dos problemas ambientais pode ser resolvida reaproveitando os resíduos da mineração como matéria-prima para outras atividades industriais (AMARAL FILHO et al, 2013).

Na verdade, a região apresenta uma economia diversificada e em expansão (agricultura, cerâmica, construção civil e outras indústrias em geral) que através de pesquisa e desenvolvimento, poderia assimilar parte dos materiais carboníferos descartados/reaproveitados (AMARAL FILHO et al, 2013).

2.6 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Quando a maior parte das partículas presentes na água é do tipo coloidal ou está em solução, requer um tratamento de filtração rápida para remoção. Para tanto, pode-se utilizar processos como mistura rápida, floculação, decantadores e

filtros.

2.6.1 Mistura rápida / Calha Parshall

No tratamento de água a coagulação é o processo no qual os coagulantes são adicionados ao meio aquoso de modo a reduzir as forças de repulsão entre coloides em suspensão. O processo de coagulação também é denominado de mistura rápida, pois a dispersão do coagulante na água tem que ser desenvolvida de forma mais homogênea e em um menor intervalo de tempo possíveis.

Neste sentido, pode-se entender a mistura rápida como a operação destinada a dispersar os produtos químicos aplicados na água, na canaleta de entrada dos floculadores. Para que ocorra a mistura, a canaleta precisa ter dispositivos hidráulicos que causem turbulência na água. Os produtos químicos são sais de alumínio e de ferro para coagulação, polieletrólitos para coagulação e floculação, cal hidratada para correção do pH e, em alguns casos, cloro para a pré-cloração.

Entre estes dispositivos de medição um dos mais populares é a Calha *Parshall* ou *vertedor Parshall* que são equipamentos aplicados na medição contínua de vazão e/ou mistura rápida de coagulantes em Estações de Tratamento de Água (ETA's) e/ou Estações de Tratamento de Efluentes (ETE's) industriais ou urbanos.

A calha Parshall é um dispositivo de medição de vazão na forma de um canal aberto com dimensões padronizadas. A água é forçada por uma garganta relativamente estreita, sendo que o nível da água à montante da garganta é o indicativo da vazão a ser medida, independentemente do nível da água à jusante de tal garganta.

2.6.2 Mistura lenta / floculação

Conforme visto, no tratamento de água a coagulação é o processo no qual os coagulantes são adicionados à água de modo a reduzir as forças de repulsão entre coloides em suspensão. Já a floculação, por sua vez, é o processo seguinte, pelo qual é favorecida a aglomeração das micropartículas em unidades maiores sedimentáveis naturalmente, denominadas de flocos, em um tempo razoavelmente operacionalizável.

A coagulação e a floculação são usadas para fazer as partículas menores se juntarem e formarem uma maior, que pode então ser removida por sedimentação gravitacional, em tempo razoável. Esse processo resulta na redução da turbidez (aumento da claridade) da água. Diferentemente, as partículas com um diâmetro muito pequeno sedimentam muito lentamente. Como resultado, as partículas com diâmetros menores do que 1 a 10 mm geralmente caem mais lentamente do que a velocidade de vórtices turbulentos, resultando no fato de não serem removidas por sedimentação gravitacional.

Com isso, o objetivo da floculação é aglutinar as impurezas contidas na água (elementos e compostos químicos, bactérias, protozoários e plânctons) em partículas maiores denominadas flocos, que serão removidos por sedimentação e/ou filtração.

Os flocos agrupados passam a ter densidade maior do que a da água, sendo por isso direcionados para o fundo, quando a água fica em repouso, na fase seguinte do tratamento.

A mistura da água para formação dos flocos pode ser feita por meio de agitadores mecânicos ou por meio de chicanas de madeira, que provocam desvios na trajetória da água, de maneira a provocar maior contato entre as partículas.

2.6.3 Decantação do tipo lamelar

A decantação consiste no processo de retenção dos agrupamentos de flocos formados na etapa da floculação. Nessa etapa do tratamento, procura-se evitar ao máximo a turbulência na água para que haja deposição das partículas sólidas suspensas.

A decantação é utilizada para águas com muita turbidez e cor. Os decantadores podem ser do tipo:

- Escoamento horizontal: a água entra no decantador por cima e se desloca no sentido longitudinal com baixa velocidade, a fim de possibilitar a decantação dos flocos e evitar que o lodo depositado no fundo seja arrastado. O comprimento desse tipo de decantador é grande em relação às outras dimensões;
- Escoamento vertical: a água entra por baixo do decantador e é encaminhada para a superfície do decantador. A profundidade é relativamente grande e a

velocidade ascendente da água deve ser limitada para evitar o arrastamento de partículas.

Conforme as condições de funcionamento os decantadores ainda podem ser:

- Clássico ou convencional: recebe água floculada e ocorre apenas a sedimentação;
- Contato sólido: numa mesma unidade é feita na mistura dos produtos químicos, a coagulação, a floculação e a decantação;
- Escoamento laminar: o decantador possui dispositivo para aumentar a eficiência da remoção dos flocos, como placas inclinadas ou tubos.

Os decantadores tubulares ou de alta taxa, também são denominados técnica e comercialmente como decantadores lamelares ou laminares. Esses decantadores são um aperfeiçoamento dos sedimentadores com fundos múltiplos, desenvolvidos a partir de 1915 com base nas experiências desenvolvidas por Hazen em 1904, onde foi evidenciado que a eficiência do tanque de sedimentação depende de sua área e não de sua profundidade (SOBRAL, 2013).

Os decantadores lamelares podem ser de fluxo horizontal ou vertical, sendo o que os difere dos decantadores convencionais, é o emprego de placas ou módulos no interior dos mesmos, os quais diminuem a turbulência e reduzem o valor de Re . Estes módulos podem ser na forma de dutos de seção circular, quadrada, retangular ou hexagonal. Além disso, esses decantadores apresentam resultados de eficiência de remoção de turbidez superiores aos decantadores convencionais, quando comparados sob a mesma condição operacional (SOBRAL, 2013).

2.6.4 Filtração – filtro prensa

A filtração consiste na remoção de partículas suspensas, partículas coloidais e de microorganismos presentes na água. Isto ocorre através do seu escoamento por um meio poroso, seja ele constituído por areia, carvão antrácito ou qualquer outro material granular. A ação conjunta de três mecanismos distintos, o transporte, a aderência e o desprendimento, é o responsável pela remoção da turbidez presente na água (SOBRAL, 2013).

O mecanismo de transporte conduz as partículas suspensas para as proximidades da superfície dos coletores (meio filtrante). Na superfície, a adesão se dá por forças superficiais que são maiores do que as forças de cisalhamento, retendo partículas com diâmetros de 0,01 á 10 μm no meio filtrante. O desprendimento ocorre quando as forças de cisalhamento são maiores do que as forças de adesão. A prevalência de um ou outro mecanismo é função das características do afluente, das características da filtração (taxa de filtração, por exemplo) e dos grãos que constituem o meio poroso (SOBRAL, 2013).

O desagendamento de rejeitos por filtração geralmente é realizado por meio da formação de uma massa saturada (denominada *cake* ou torta), que se acumula na parte de fora de um meio filtrante (que pode ser um filtro, como também uma peneira) ao se forçar a suspensão 'sólido-líquido' a passar através do mesmo sob pressão. A suspensão escoar por pressão contra o meio filtrante, resultando na separação dos produtos filtrado e torta. A maior parte do líquido da suspensão constitui o filtrado e as partículas sólidas formam a torta saturada. O meio filtrante é um sistema permeável que tem como função reter as partículas no início da operação; em seguida, essa tarefa tende a ser realizada pela própria torta, que sofre aumentos da sua espessura com o tempo (PEIXOTO, 2012).

Nas condições operacionais das plantas de mineração, a filtração tende a ocorrer essencialmente sob quedas de pressões constantes, devido ao uso conjugado de bombas centrífugas e sistemas de vácuo (PEIXOTO, 2012).

Os filtros que geralmente são utilizados nesta técnica são os chamados filtros rotativos (um tipo de filtro a vácuo) e filtros-prensas (um tipo de filtro de pressão) (LEITE, 2011).

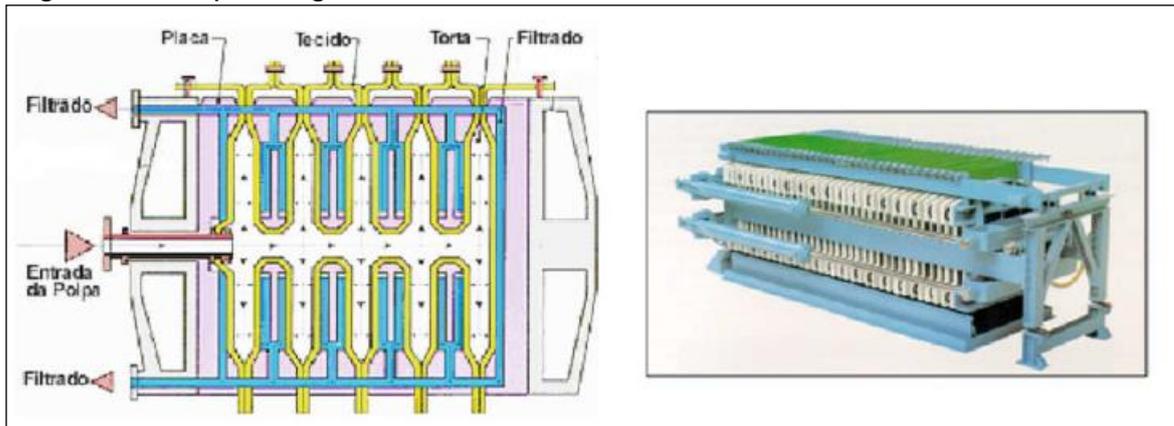
Nos filtros rotativos a vácuo, o meio filtrante recobre a superfície cilíndrica do equipamento. Já no filtro-prensa, a suspensão escoar através de um mosaico de quadros e de placas verticais, separadas entre si pelo meio filtrante. O filtrado percola através do meio filtrante, escoar pelas ranhuras dos quadros e é conduzido para fora do filtro, enquanto a torta fica acumulada no espaço disponível entre os quadros (câmaras de filtração). Uma vez concluída a capacidade de disposição da torta, a mesma é lavada, seguindo-se, então, a abertura do filtro e o descarregamento da torta, caracterizando-se, assim, um processo contínuo e tipicamente em batelada.

Os elementos constituintes do filtro prensa são as placas, que podem ser

horizontais ou verticais, e o quadro onde são fixadas. Entre as placas encontra-se o elemento filtrante. As placas e os quadros são dispostos alternadamente formando um pacote que é prensado por um cilindro que pode ser hidráulico ou pneumático (LEITE, 2011).

A Figura 1 representa o esquema geral do filtro prensa.

Figura 1 – Esquema geral do filtro



Fonte: Peixoto (2012, p. 22)

O processo de filtragem é realizado pelo bombeamento da polpa contra o elemento filtrante que só permite a passagem da parte líquida da solução, a qual é drenada (já isenta de sólidos) através de canais presentes nas placas filtrantes. A parte sólida vai sendo continuamente depositada nas lonas, formando sobre as mesmas uma camada cada vez mais espessa. As placas filtrantes possuem um perfil que permite às mesmas, quando montadas uma contra a outra, formarem no interior do equipamento câmaras que são completamente preenchidas pelos sólidos. O bombeamento sob alta pressão faz com que as partículas se acomodem de forma a gerar no final do processo, tortas compactas e com baixo nível de umidade. Com a abertura do equipamento, estas 'tortas' são retidas para descarte ou reaproveitamento (LEITE, 2011).

O filtro prensa conduz à formação de tortas espessas, da ordem de 2,5 cm e o seu dimensionamento depende dos volumes exigidos de filtrados, a serem produzidos no tempo total de um ciclo completo de operação. Por outro lado, a operação do filtro rotativo a vácuo caracteriza-se por gerar tortas secas de pequena espessura (inferior a 1cm) e operar continuamente sob queda de pressão reduzida (inferior a 0,8 atm) (PEIXOTO, 2012).

2.7 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL ASSOCIADA À ATIVIDADE CARBONÍFERA

Garantir um correto destino de seus rejeitos vem sendo uma das maiores preocupações e problemas em diversas atividades industriais. Devido a isso, muitas indústrias estão adotando forma de desenvolvimento de processos produtivos que possam ser eficientes no que se refere à minimização dos impactos ambientais, como ocorre na indústria carbonífera.

Na verdade, a Constituição do Brasil determina que aquele que cause danos ao meio ambiente tem a obrigação de repará-lo, conforme o contido no § 3º do artigo 225, independentemente de outras obrigações de natureza civil, administrativa e até mesmo penal.

No entanto, a Constituição não elaborou uma noção técnico-jurídica de meio ambiente. Ao contrário, o conceito de meio ambiente adotado pela Constituição deve ser compreendido de forma coloquial. Ele é, portanto, aberto, e deve ser preenchido casuisticamente, de acordo com cada realidade concreta ao aplicador da norma, seja administrativa ou judicialmente (ANTUNES, 2015).

O que a Constituição quer, portanto, é que a própria recuperação do dano produzido pela mineração, por exemplo, se faça de acordo com uma decisão técnica, isto é, de acordo com uma solução possível, diante do fato de que a mineração se procede em bens ambientais não renováveis. No caso, é uma recuperação que visa assegurar um determinado uso humano da área antes degradada. O exemplo da mineração é importante, pois os recursos minerais são não renováveis, e, portanto, é importante a obrigatoriedade de recuperação do meio ambiente (ANTUNES, 2015).

Diante disso, após muitos anos sem uma preocupação ambiental relacionada à extração do carvão, em 1993, as empresas carboníferas, o Estado de Santa Catarina e a União Federal sofreram ação civil pública do Ministério Público Federal visando à recuperação ambiental das áreas degradadas pela atividade mineradora. Os réus foram condenados a apresentarem projetos de recuperação para as áreas degradadas (FRANCO; MARIMON, 2009).

Posteriormente adveio a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), que foi instituída pela Lei nº 12.305/2010. Conforme Bechara (2013), a mencionada legislação, seguramente, é um importante marco para o meio ambiente no Brasil, à medida que utiliza dos tradicionais princípios norteadores da temática, como

Desenvolvimento Sustentável e Poluidor-Pagador, e de inovações como a positivação do Protetor-Recebedor e a instituição da responsabilidade compartilhada. A lei tem como objetivo principal implementar uma visão sistêmica, a partir, principalmente, da gestão integrada dos resíduos sólidos, com ênfase nos pólos sociais (promoção da cidadania), culturais, políticos e econômicos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) possui uma extensa gama de incentivos econômicos, que podem beneficiar as empresas carboníferas, tais como, segundo Antunes (2015, p. 116):

- (i) medidas indutoras e (ii) linhas de financiamento para as iniciativas de (a) prevenção e redução da geração de resíduos sólidos no processo produtivo; (b) desenvolvimento de produtos com menores impactos à saúde humana e à qualidade ambiental em seu ciclo de vida; (c) implantação de infraestrutura física e aquisição de equipamentos para cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda; (d) desenvolvimento de projetos de gestão dos resíduos sólidos de caráter intermunicipal; (e) estruturação de sistemas de coleta seletiva e de logística reversa; (f) descontaminação de áreas contaminadas, incluindo as áreas órfãs; (g) desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias limpas aplicáveis aos resíduos sólidos; e (h) desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos.

Frente ao processo de degradação ambiental devido à atividade carbonífera na região e diante do arcabouço legal adotado, medidas corretivas passaram a ser adotadas, tais como a forma mais adequada de depositar os rejeitos, já feita por algumas empresas; tratamento dos efluentes líquidos gerados na mineração; revegetação de algumas áreas de lavra a céu aberto. Permaneceu aberta, no entanto, a questão do tratamento secundário dos efluentes, considerado de custo muito oneroso (MONTIBELLER-FILHO, 2008).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho de conclusão de curso consiste em uma pesquisa aplicada, pois procurou tratar e solucionar problemas com rejeitos da empresa, gerando resultados práticos a partir da mesma. A abordagem é qualitativa e quantitativa, pois foram levantados e analisados dados e os mesmos puderam ser quantificados e verificados por meio de análise dos resultados. Em relação aos objetivos do projeto, o mesmo se enquadra como pesquisa descritiva experimental.

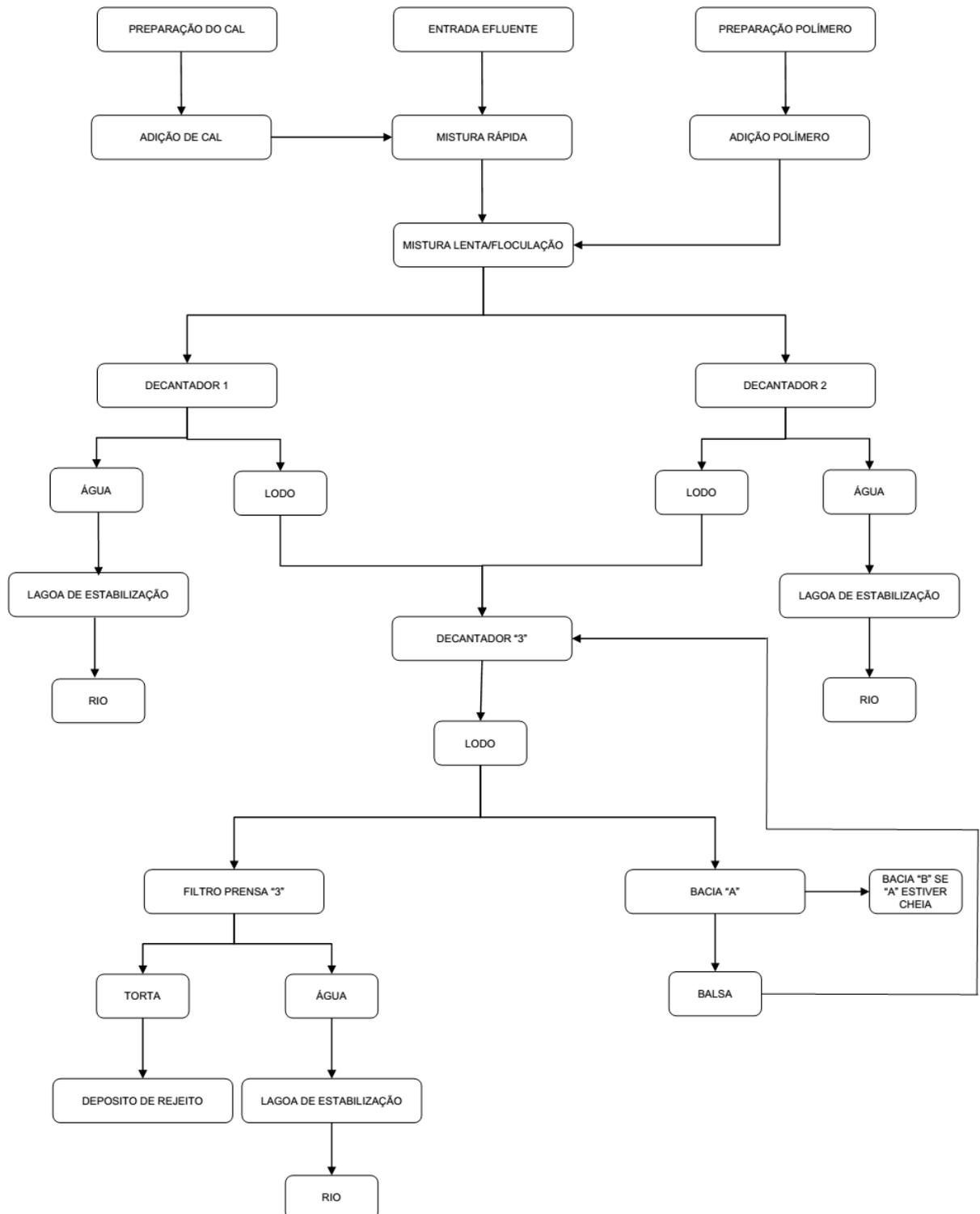
3.1 PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE

Neste item busca-se cumprir o objetivo específico de descrever o processo de tratamento de efluentes da empresa.

Com base em observações realizadas, bem como por meio de conversas informais com profissionais da empresa foi possível verificar que a organização conta com um sistema de tratamento de efluente baseado na remoção dos sólidos/poluentes presentes na água, que são oriundos do beneficiamento do carvão, da extração e do regime pluvial do pátio e ao redor da empresa, que fica localizada próxima de encostas. Essa água, por sua vez, cai em calhas e fica alocada em uma bacia de decantação.

O fluxograma representado na Figura 2 apresenta o método de tratamento de efluente adotado na empresa como pode ser observado a seguir.

Figura 2 – Fluxograma de tratamento de efluente na empresa



Fonte: Dados do autor, 2016.

Conforme se verifica, muitas são as etapas do processo de tratamento de efluentes na empresa, os quais são descritos a seguir.

- **Entrada do efluente:** O efluente de entrada sai do beneficiamento e chega

até a estação de tratamento com uma vazão de $600\text{m}^3/\text{h}$ por meio de uma tubulação com drenos auxiliada pela gravidade, o que faz com que este trajeto beneficiamento/tratamento não necessite de nenhuma bomba para ocorrer. Na figura 3 se apresenta ilustração fotográfica do recebimento do efluente na estação de tratamento.

Figura 3 - Entrada do efluente na ETE



Fonte: Dados do autor, 2016.

- **Preparação da cal:** É feita uma mistura de cal com água, a fim de solubilizar a mesma e obter uma mistura mais homogênea e rápida com o efluente. A cal vem em *bags de 900 kg* que são inseridos em um funil com o auxílio de uma talha elétrica, passando por dentro de um equipamento, que faz a mistura e, posteriormente, controla a dosagem na calha parshal.
- **Mistura rápida:** Nesta fase, o efluente passa na calha parshal, onde é adicionada a cal, já solubilizada. Com isso, ocorre uma mistura rápida, sem auxílio de agitadores mecânicos. Todo processo se dá com a velocidade do efluente em contato com a calha, a fim de obter uma elevação do pH, para decantar metais pesados. A medição da vazão de entrada é feita com uma régua graduada, onde é determinada vazão em m³, por meio da leitura direta do comprimento marcado na régua pelo líquido. É um instrumento simples e de baixo custo, que permite medidas instantâneas.
- **Preparação de polímeros:** Assim como na fase de preparação do hidróxido de cálcio, os polímeros necessitam de uma diluição. Os mesmos vêm em pacotes de 25 kg, que são adicionados em uma caixa d'água, onde ocorre a solubilização, conforme recomendação do fabricante. Após são adicionados no tratamento.
- **Mistura lenta/floculação:** É feita uma mistura relativamente lenta, com o auxílio de agitadores mecânicos, quando então é adicionado o polímero preparado anteriormente. Busca-se com que as partículas presentes no efluente comecem a se agrupar, formando flocos em uma velocidade maior, ocorrendo a floculação dos sólidos.
- **Decantação ou sedimentação:** A decantação ocorre por meio de unidades denominadas decantadores lamelares, onde os flocos formados anteriormente vão para o fundo deste equipamento, que tem uma geometria com parte inferior cônica, para auxiliar na sedimentação das partículas, e a água, já tratada, fica na parte superior, sendo encaminhada para as lagoas de estabilização e, posteriormente, despejada no rio Mãe Luzia. A empresa possui 3 (três) decantadores, sendo que 2 (dois) fazem este processo de decantação e o outro recebe o efluente que após o adensamento é encaminhado ao filtro prensa.

Figura 4: Decantação ou sedimentação



Fonte: dados do autor, 2016.

- **Filtro prensa:** O filtro prensa da estação de tratamento é responsável por diminuir o teor de umidade dos sólidos. O efluente que é encaminhado até o mesmo passa por uma série de placas, que são comprimidas e esta pressão exercida sobre o fluido faz com que os sólidos fiquem retidos. A operação gira em torno de 20 minutos, até atingir a pressão limite de operação que é de 8 (oito) MPa. Após as placas são abertas e a torta é retirada. O lodo desprende-se por meio da gravidade e com auxílio de ar comprimido. Esta torta é encaminhada até o depósito de rejeito e a água vai para a lagoa de estabilização.
- **Bacia de decantação:** Foi visto que o filtro prensa não consegue atender a toda demanda do sistema, então o restante de efluente que é gerado nos decantadores lamelares é encaminhado até as bacias 'A' e 'B' conforme indicado na figura 4, onde ocorre a decantação dos sólidos por meio natural. O lodo gerado nesse processo é encaminhado ao depósito de rejeitos.

Figura 5: Bacia de decantação



Fonte: dados do autor, 2016.

- **Balsa:** É responsável por bombear a água que precipita das bacias de decantação até ao decantador '3'.
- **Depósito de rejeito:** Recebe todo rejeito gerado, tal como a pirita (FeS_2), resultado da separação minério/rejeito e o lodo do processo de tratamento de efluente. Fica localizado próximo ao pátio da empresa.
- **Lagoa de estabilização:** O efluente tratado vai, por meio de gravidade, até a lagoa de estabilização, onde são feitas as medições, a fim de saber se o efluente atende aos padrões de lançamento. Posteriormente, é despejado no Rio Mãe Luzia.

Depois da descrição das etapas do processo de tratamento de efluentes na empresa, a seguir, apresenta-se de que forma foi realizado o balanço da massa.

3.2 BALANÇO DE MASSA

Nesta etapa do estudo, buscou-se quantificar o rejeito produzido por mês (sólidos e líquidos). Para tanto, foi realizado um levantamento da quantidade de

rejeito sólido/líquido produzido mensalmente, por meio da coleta de amostras na entrada do tratamento e saída do filtro prensa. As amostras foram levadas para o laboratório da empresa, onde foi utilizada uma fôrma já tarada na balança para alocar o rejeito. Após obter-se o peso total, foi encaminhado até uma estufa a 110 °C por 12 horas, repetiu-se esse processo 3 vezes. Após esse período a amostra presente no forno, apresentou peso constante indicando, que estava completo o processo de secagem (evaporação completa da água). Posteriormente, com os devidos pesos anotados, foram quantificados o sólido e o líquido do efluente.

A quantificação de sólidos é resultado do peso final (em kg) do material seco em razão do peso líquido do efluente.

A partir do levantamento da quantidade de rejeito e com o auxílio de análises físico-químicas feitas no IPARQUE, foi realizado o balanço de massa, identificado e apontado, por meio de revisão bibliográfica, um sistema adequado de tratamento deste rejeito para atender às especificações técnicas e econômicas.

Já a vazão mássica foi calculada através da Equação 1.

$$Q_{mássica} = \text{Concentração} \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times \text{Vazão da calha} \left(\frac{m^3}{h} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Com a finalidade de caracterizar e encontrar possíveis destinos ao resíduo, foram realizados os seguintes testes nos laboratórios do IPARQUE:

- Calcinação a 600°C, 800°C, 1000°C e 1200°C;
- DRX (após queima a 600°C, 800°C, 1000°C);
- FRX após queima 1000°C.

Visando-se utilizar a mesma amostra presente na etapa de quantificação de sólidos, foi separada uma quantidade de 25 g daquele lote, para utilizar nos processos acima descritos.

3.3.1 Calcinação

No intuito de encontrar uma melhor temperatura de queima para o resíduo gerado através do tratamento de efluente de uma mineração de carvão, foram

coletados aproximadamente 5 kg de amostra, que foram secados em uma estufa a 110 °C, a fim de tirar toda umidade do rejeito. Após, foi separada a mesma em 2 (duas) amostras de peso aproximado em 1,5 kg e depositadas dentro do forno rotativo conforme ilustrado na figura 6. Outras 2 (duas) em um cadinho de cerâmica com peso aproximado de 100 g.

Figura 6: Forno rotativo



Fonte: Dados do autor, 2016.

No forno representado na Figura 3, foram submetidas 2 (duas) amostras a 600°C e 800°C, devido a sua capacidade de queima ser até 950°C. Foi necessário outro forno para completar os testes em 1000°C e 1200°C.

3.3.2 Difração de Raios X (DRX)

A análise de difração de Raios X foram realizadas nas amostras *in natura* e após calcinação (600°C, 800°C e 1000°C). Foi realizada usando um difratômetro de raios-X marca Shimadzu XRD-6000, utilizando tubo de cobre de 30 mA de corrente e 30 kvolts de ddp e identificou-se por comparação de um perfil desconhecido com o conjunto de difração padrão coletado e mantido pelo *Joint*

Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS), na geometria θ - 2θ , para determinar-se as fases presentes. O ânodo utilizado foi o de cobre com $\lambda_1 = 1,54060\text{Å}$ e $\lambda_2 = 1,54439\text{Å}$ com filtro de níquel sem monocromador e a faixa angular analisada de $3,00^\circ$ a $80,00^\circ$. Efetuou-se as difrações em temperatura e pressão ambiente. Utilizou-se aproximadamente 10 g do resíduo para a realização do teste de DRX.

3.3.3 Fluorescência de Raios X (FRX)

Encaminhou-se aproximadamente 50g de resíduo para realizar as análises químicas e FRX, nos laboratórios do SENAI em Criciúma/SC. Essa análise foi realizada em equipamento Panalitycal, modelo Max Axios, e confeccionou-se pastilhas das amostras em pó.

3.3.4 Caracterização da argila

Buscando-se conhecer melhor o material que foi utilizado no presente trabalho, encaminhou-se uma quantidade de 50g para ser realizado os seguintes testes:

Difração de Raios X (DRX)

Fluorescência de Raios X (FRX)

Utilizaram-se os mesmos equipamentos e parâmetros anteriormente descritos.

3.4 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Nesta etapa se descreve a preparação da matéria-prima (rejeito e argila), que foi usada na confecção dos corpos de prova.

3.4.1 Coleta de argila e rejeito

Foram coletados em uma empresa de cerâmica vermelha, que fica localizada próxima ao IPARQUE, aproximadamente 35 kg de argila *in natura*, que é

utilizada no processo de fabricação de tijolos. Já o rejeito pós-filtro prensa, aproximadamente 15 kg, foi gentilmente fornecido por uma empresa de mineração situada em Treviso/SC.

3.4.2 Secagem

Devido à presença de umidade nos materiais acima descritos, fez-se necessário secar os mesmos. Frente ao volume grande de material, foi necessário despejá-los e encaminhá-los à estufa, que fica localizada no IPARQUE. Foram necessários três dias até que as amostras estivessem totalmente secas. Conforme ilustrado na figura 7.

Figura 7: Argila e resíduo dentro da estufa



Fonte: Dados do autor, 2016.

3.4.3 Moagem e peneiramento

Foi necessário moer a argila e o rejeito a fim de passar os mesmos em uma peneira de 32 mesh. Estes processos foram feitos no laboratório de cerâmica localizado no IPARQUE.

Foi utilizado o processo de moinho gira-jaros, que é utilizado para moagem de matérias-primas e massas cerâmicas em laboratórios. Trata-se de cilindros de ferro revestidos com cerâmica, que podem ter o volume de 4,7 ou 5,5 litros, com uma tampa para obter completa vedação. A carga moedora é composta por bolas de alumina, que é predefinida no manual de instruções do mesmo, para moinhos de 4,7 litros, tem-se:

- Bolas grandes (aproximadamente 38mm de diâmetro) = 380g
- Bolas médias (aproximadamente 29mm de diâmetro) = 1.150g
- Bolas pequenas (aproximadamente 19mm de diâmetro) = 2.300g

As mesmas são separadas por peneiras com as dimensões acima descritas. Vale ressaltar que o tempo de moagem utilizado nesse processo, foi de aproximadamente 20 minutos.

Figura 8: Moinho gira-jaros



Fonte: Dados do autor, 2016.

Após o processo de moagem os materiais foram submetidos a uma peneira de 32 mesh, a fim de se retirar grãos maiores que não foram totalmente moídos.

3.4.4 Queima do resíduo

Após o processo de peneiramento, fez-se necessário a calcinação do rejeito em um forno-mufla, localizado no laboratório de cerâmica no IPARQUE, no qual a queima ocorreu a 1000°C, como definido anteriormente, sendo esta a temperatura ideal para eliminar o enxofre presente. Foi revestido o forno com tijolos e pratos de cerâmica para cobrir as resistências e não danificar o equipamento. Devido ao fato do volume de material ser muito grande, (aproximadamente 10Kg) foram necessárias seis horas até que se completasse o processo de calcinação do material e fosse atingida à temperatura estabelecida, obtendo-se, uma queima homogênea.

Figura 9: Forno mufla



Fonte: Dados do autor, 2016.

3.5 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após realizar todo o processo de preparação da matéria-prima que foi utilizada para preparar os corpos de prova (tijolos) as mesmas foram encaminhadas ao laboratório do Grupo de Materiais Cerâmicos (GMC) do IPARQUE.

3.5.1 Preparação da massa

Nesta etapa, utilizou-se uma mistura de argila/rejeito deste estudo, que foi despejada em um recipiente e feita a homogeneização de ambos. Coletou-se uma amostra de 100g da mistura e adicionou-se 10, 20, 30 e 35% de água, até obter sua melhor condição de uso.

As seguintes proporções de mistura foram preparadas:

- Argila;
- Com 5% de rejeito;
- Com 10% de rejeito;
- Com 20% de rejeito;
- Com 40% de rejeito.

3.5.2 Extrusão

Com a massa preparada, utilizou-se a extrusora da marca Servitech, modelo C.T 083/1. Para confecção dos corpos, foi fabricada uma matriz especial para obter tijolos com 4 furos, a fim de realizar um estudo mais próximo do real. Vale ressaltar que este processo foi repetido 5 (cinco) vezes, pois a cada proporção de mistura, teve-se que realizar uma limpeza da máquina, para evitar contaminação com percentuais diferentes de rejeito.

Após esse processo, realizou-se um ajuste superficial nos corpos de prova, com auxílio de uma espátula, a fim de tirar inconformidades e ranhuras superficiais que podem interferir nos resultados. Fabricou-se aproximadamente 15 corpos de cada percentual.

Figura 10: Extrusora à vácuo



Fonte: do autor, 2016.

3.5.3 Secagem

Na etapa de secagem, foram alocados os corpos de prova em uma estufa no laboratório de cerâmica do GMC, por 24h, a 110°C, com a finalidade de retirar toda umidade presente, evitando a formação de trincas e ranhuras nos corpos extrudados.

3.5.4 Pesagem e medição

Realizou-se a pesagem e medição de cada corpo de prova fabricado, com o auxílio de uma balança analítica digital da marca Marte e um paquímetro analógico de 6', escala de 0,05 mm da marca ZAAS. Todos os pesos e medidas foram anotados.

Ressalta-se que o mesmo procedimento foi feito após queima, a fim de verificar a retração linear.

Figura 11: Balança analítica



Fonte: Dados do autor

3.5.5 Queima

Após todos os pesos e tamanhos anotados, encaminhou se os corpos de prova até o laboratório de cerâmica, do IPARQUE, onde foi utilizado um forno a rolo da marca ICON, para realizar a queima. As amostras foram alocadas em refratários e colocadas no forno. As peças foram queimadas em temperatura de 1000°C em ciclos de 70 minutos.

Figura 12: Forno a rolo ICON



Fonte: dados do autor, 2016.

3.6 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS AMOSTRAS CONFECCIONADAS

Após todos os processos acima descritos, fez-se necessário realizar ensaios nas amostras, a fim de obter valores para validar o estudo em questão.

3.6.1 Absorção de água

Esta etapa seguiu as recomendações da norma NBR 15270-3, foram utilizados 15 (quinze) corpos de prova.

As amostras foram acondicionadas em um recipiente e cobertas com água, durante um período de 24 horas. Após este tempo, retirou-se o excesso de água com um pano úmido e foi determinado o peso de cada amostra.

Vale ressaltar que os corpos de provas foram retirados um por um da água e não ultrapassaram um período de 3 minutos em cada ensaio.

Segundo as normas NBR 15270-1 (ABNT, 2005a) e NBR 15270-2 (ABNT, 2005b) a absorção de água para peças cerâmicas para alvenaria deve ser superior a 8% e inferior a 22%.

Com a Equação 2 foi possível calcular a absorção de água (AA) dos corpos de prova.

$$AA = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Eq.2}$$

Sendo:

AA = absorção de água (%);

Ms = massa do corpo de prova após a queima (g);

Msat = massa do corpo de prova saturado em água (g).

3.6.2 Retração linear após queima

Com os devidos comprimentos anotados nas etapas anteriores, utilizou se da equação de (WOLFF,2008), equação 3 para o cálculo do valor da retração linear de queima (RLQ)

$$RL_Q(\%) = \frac{L_s - L_q}{L_s} \times 100 \quad \text{Eq:3}$$

Onde, L_s é o comprimento antes da queima e L_q o comprimento pós queima.

3.6.3 Resistência à flexão

O equipamento utilizado nesta etapa foi uma máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL 10.000, com capacidade máxima de 10.000 kgf aplicados em 3 pontos da amostra. Os ensaios foram realizados com o auxílio dos técnicos do IDT da UNESC, onde os procedimentos de ensaios seguiram as normas interna da mesma. Os pontos de apoio foram separados em 40 mm para cada lado, numa distância total de 80 mm entre os mesmos, conforme mostrado na figura 13 A velocidade utilizada para a carga foi de 1 mm/min.

Figura 13: Máquina universal de ensaios, EMIC



Fonte: dados do autor, 2016.

A equação 4 determina o valor máximo de ruptura dos corpos de prova.

$$TRF = \frac{1,5 \times P \times L}{a^2 \times b} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

TRF = tensão de resistência à flexão (MPa);

P = carga máxima atingida no momento da ruptura (N);

L = distância entre os apoios (mm);

a = espessura do corpo de prova (mm);

b = largura do corpo de prova (mm).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A seguir, são apresentados os resultados do estudo, com o objetivo de reaproveitar e destinar o rejeito sólido que sai do filtro prensa (torta) no processo de tratamento de efluentes da mineração de carvão, conforme os procedimentos metodológicos descritos no capítulo anterior.

4.1 BALANÇO DE MASSA

Para esta etapa foi considerado o material que entra e sai do processo, vale ressaltar que a vazão do efluente de entrada na ETE, é de 600m³/h, e assim o filtro prensa não consegue absorver esta vazão, o restante é encaminhado às bacias de decantação. Os valores obtidos estão explanados na tabela 02.

Tabela 2: Balanço de massa do processo de tratamento de efluentes (sólidos/líquidos)

Situação	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
Peso forma (kg)	0,706	0,706	0,706	0,706
Peso efluente (kg)	4,860	4,698	4,815	4,791
Peso seco (kg)	0,328	0,311	0,321	0,32
Sólidos (%)	6,74	6,61	6,66	6,67
Líquidos (%)	93,26	93,39	93,34	93,33
QCalha(m ³ /h)	600	600	600	600
Concentração (g/L)	67,5	66,2	66,7	66,8
Qmássica (kg/h)	40.500	39.720	40.020	40.080

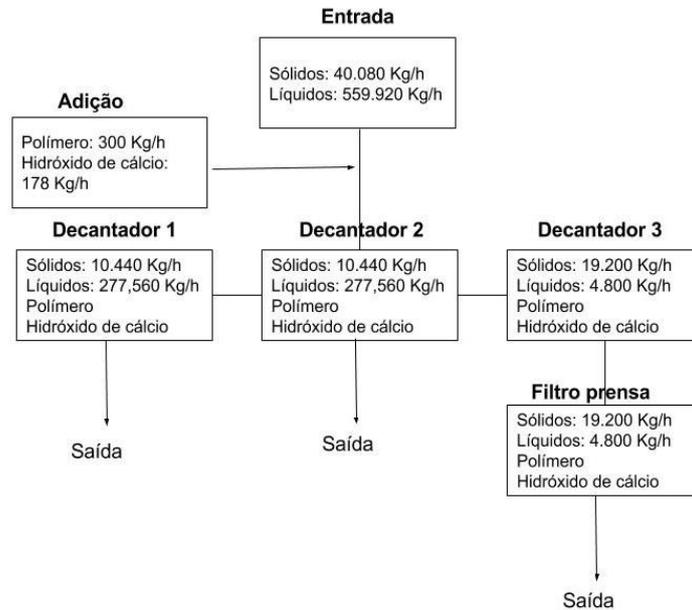
Fonte: dados do autor, 2016.

Como pode ser visto na tabela 2 os sólidos totais gerados no beneficiamento do carvão têm uma média de aproximadamente 40 Toneladas por hora, é uma geração de resíduos considerável que justifica o presente estudo.

O percentual de sólidos não obteve muita variação nas 3 (três) amostras coletadas. Já a vazão foi considerada constante, pois o processo de beneficiamento que encaminha o efluente até o tratamento não tem variação, apenas quando ocorre algum problema mecânico e o processo é paralisado. Ademais, fatores como a precipitação não afetam o valor da vazão da calha.

O fluxograma mostrado na Figura 14, mostra o balanço de massa da ETE em todo o processo.

Figura 14: Fluxograma do balanço de massa com todas as entradas e saídas de materiais na estação de tratamento



Fonte: Dados do autor, 2016.

Para chegar nestes resultados calculou-se a eficiência de remoção de sólidos do filtro prensa como comentado anteriormente, obteve-se uma remoção de 80% de sólidos. Considerou-se conforme dados da empresa que a capacidade de deslaque do filtro prensa é de 12 toneladas a cada ciclo e leva em torno de 30 minutos, assim a quantidade de torta (sólidos/líquidos) é de 24 t/h.

4.2 ANÁLISE DAS MATERIAS-PRIMAS

Visando obter a composição química da matéria-prima que foi utilizada no processo de fabricação de blocos cerâmicos vazados e atender a um objetivo específico deste trabalho, fez se necessário realizar a análise química obtida por fluorescência de Raios X, mostrada na tabela 3.

4.2.1 Fluorescência de Raios X (FRX)

Tabela 3: Análise de FRX nas matérias-primas, utilizadas na confecção dos corpos de prova.

Matéria- prima	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	Perda Fogo
Argila	17,43	<0,05	4,04	1,76	0,64	<0,05	0,08	0,13	69,29	0,76	5,83
Rejeito*	21,90	4,97	7,29	4,18	1,14	0,10	0,75	0,19	54,70	1,13	0,64

Fonte: dados do autor, 2016.

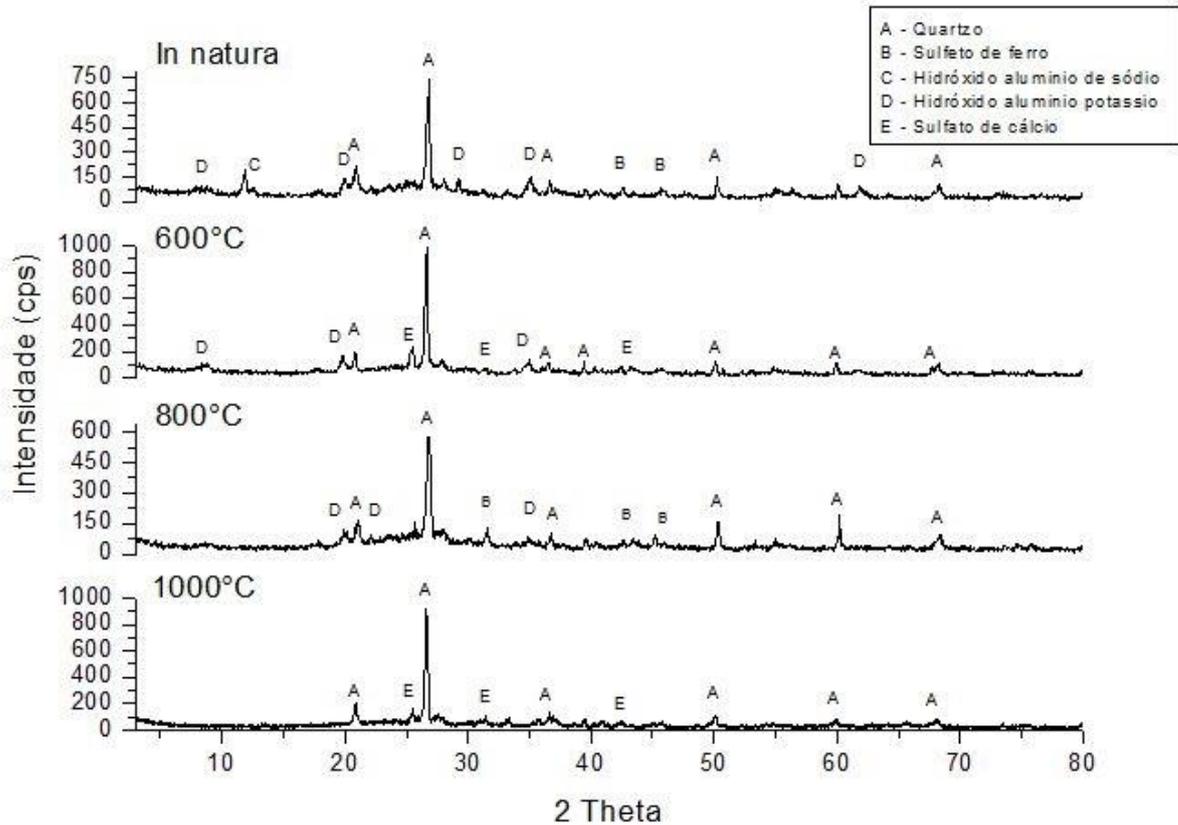
*Rejeito calcinado a 1000°C

A análise química mostra que os óxidos majoritários presentes tanto na argila quanto no rejeito, são SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O e no caso do rejeito tem ainda a presença importante de CaO e TiO₂. A amostra do resíduo segundo Santos (1992), tem composições típicas de argilas para cerâmica vermelha, com predominância de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e K₂O.

A presença de maior percentual de óxido de potássio somado com óxido de sódio favorecem a fundência da mistura onde o rejeito está presente. Isso confere uma maior densificação reduzindo a porosidade dos tijolos e como consequência se espera que ocorra um aumento de resistência, bem como uma menor absorção de água. A presença o óxido de ferro confere cor avermelhada aos produtos fabricados.

4.2.2 Difração de Raios X (FRX)

Figura 15: DRX resíduos



Fonte: Dados do autor, 2016.

Verificou-se utilizando difração de Raios X, conforme mostrado na figura 15, a composição mineralógica das matérias primas e sua modificação com o processo de calcinação. O rejeito in natura apresenta em sua composição mineralógica: SiO_2 (quartzo) cartão JCPDS 46-1045; FeS (sulfeto de ferro) cartão JCPDS 23-1120; $\text{Na}_{0.3}\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_{6.4}\text{H}_2\text{O}$ (hidróxido de alumínio silicato de sódio tetra hidratado) cartão JCPDS 29-1490; CaSO_4 (sulfato de cálcio) cartão JCPDS 37-0184. Apesar de esperar a presença de pirita a mesma não foi identificada por essa análise.

Após a calcinação a 600°C as fases presentes; SiO_2 (quartzo) cartão JCPDS 46-1045 $\text{K}_{0.7}\text{Al}_2$; FeS (sulfeto de ferro) cartão JCPDS 23-1120; $(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (hidróxido de alumínio silicato de potássio cartão JCPDS 29-1496; CaSO_4 (sulfato de cálcio) cartão JCPDS 37-0184. Conforme pode ser observado desapareceram os picos referentes ao hidróxido de alumínio silicato de sódio tetra hidratado. Isso indica que a temperatura de calcinação ultrapassou a temperatura de estabilidade térmica desse composto.

Após a calcinação de 800°C observa-se que continuam as fases presentes; SiO₂ (quartzo) cartão JCPDS 46-1045; FeS (sulfeto de ferro) cartão JCPDS 23-1120; CaSO₄ (sulfato de cálcio) cartão JCPDS 37-0184.

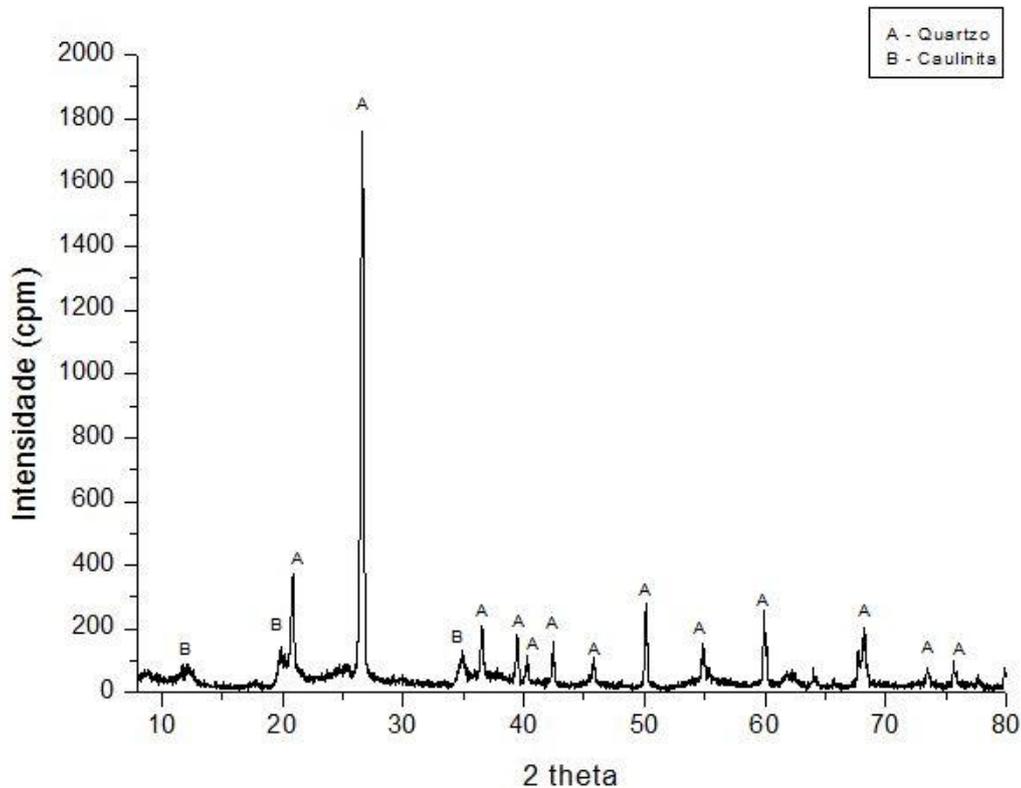
Após a calcinação de 1000°C observa-se que as fases presentes continuam as mesmas da calcinação a 800°C. Entre tanto chama-se atenção que o aspecto visual se modificou, apresentado uma coloração avermelhada mais intensa, conforme pode ser observado na figura 16.

Figura 16: Fases da calcinação



Fonte: Dados, do autor 2016.

Figura 17: DRX argila



Fonte: Dados do autor, 2016.

Conforme pode ser visualizado na figura 17 constata-se a presença de duas fases: (a) quartzo SiO_2 cartão JCPDS 46-1045, (b) caulinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, cartão JCPDS 29-1488. Essas fases são comumente encontradas em argilas e possibilitam que a mesma seja utilizada em diversos processos fabris principalmente na fabricação de cerâmicas estruturais.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DO RESÍDUO ABNT 10.004/04

Segundo a norma ABNT/NBR 10004/2004, 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 (resíduos não inertes) e Classe II B (resíduos inertes).

O rejeito do estudo de caso é classificado como resíduo não perigoso (Classe II A - Não - Inerte).

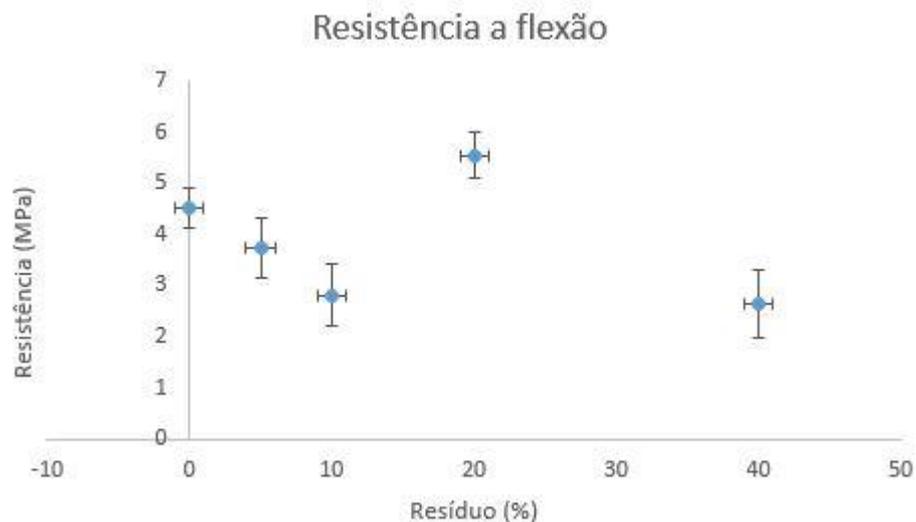
4.4 ANÁLISE MECÂNICA DOS CORPOS DE PROVA

Visando obter informações confiáveis e que atendessem os objetivos deste presente estudo, a caracterização das amostras em que se submeteram o resíduo e os corpos de provas foram realizadas segundo ensaios normativos e não normativos.

4.4.1 Resistencia mecânica à flexão

Conforme (SANTOS,1992) a distribuição granulométrica e da composição mineralógica da argila influencia na tensão de ruptura dos blocos cerâmicos. Para evitar esse tipo de influência se passou por peneiramento toda a matéria prima e dessa forma garantiu-se a uniformidade em todos os conjuntos de corpos de prova.

Figura 18: Valores obtidos de resistência à flexão



Fonte: Dados do autor, 2016.

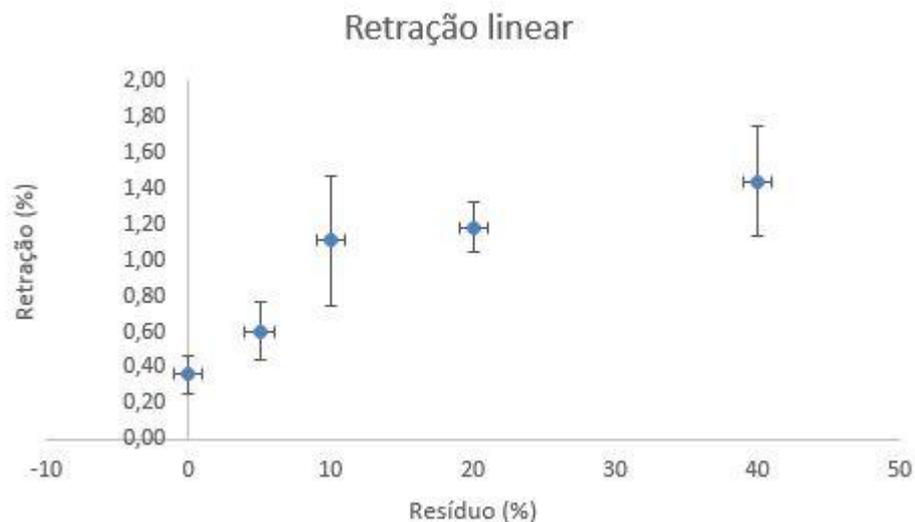
A figura 18 apresenta os resultados da média e do erro padrão, dos corpos de provas após calcinação. Vale ressaltar que a temperatura se manteve constante em todo o processo de queima, em uma temperatura de aproximadamente 1000°C em um ciclo de queima de 70 minutos. Observa-se que com a adição de resíduo na formulação das amostras, diminuíram os valores de resistência à flexão, entretanto com uma adição de 20% de resíduos obteve-se um aumento na resistência do material, ultrapassando os valores da amostra padrão,

composta apenas por argila.

Os corpos de prova confeccionados somente com argila (branco) apresentaram resistência à flexão em torno de 4,5 MPa. Com a adição de 5% e 10% de resíduo a resistência a flexão caiu para 3,75 MPa e 2,81 MPa respectivamente. Estes resultados obtidos foram opostos ao esperado, observando-se a composição química do rejeito, que apresenta fundentes na composição química. Já com a adição de 20% de resíduo, ocorreu melhora nesta propriedade, atingindo resistência de 5,54 MPa, representando um aumento de 18% em relação ao branco (sem adição de rejeito). Este resultado é importante pois possibilita a adição de rejeito com um incremento em importante propriedade que é a resistência à flexão. Já com a adição de 40% a resistência cai aproximadamente ao mesmo valor do de 10%.

4.4.2 Retração linear após queima

Figura 19: Valores obtidos de retração linear

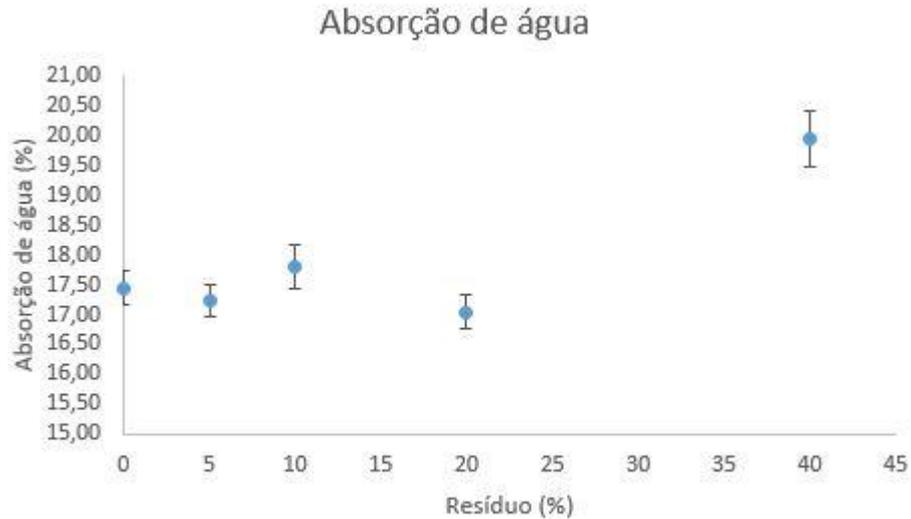


Fonte: Dados do autor, 2016.

Já na retração linear todas as adições de rejeito apresentaram valores superiores ao branco (sem adição de resíduo). Pode ser observado na figura 19 que o valor passou de 0,38% para aproximadamente 1,1% para 20% de adição de rejeito. Este resultado não é positivo pois o desejado seria que não houvesse aumento na retração linear.

4.4.3 Absorção de água

Figura 20: Valores obtidos com Absorção de água



Fonte: Dados do autor, 2016.

A norma NBR 15270-3 estabelece que a absorção de água pode variar entre 8% até 22%. Observando a figura 20 vê-se que a absorção de água para o corpo de prova confeccionado de argila pura é de 17,5% e ocorre ligeira variação ao redor desse número até a adição de 20% de rejeito. Quando adicionados 40% de rejeito este valor sobe para aproximadamente 20%. Os valores obtidos para todas as misturas permanecem dentro do exigido na norma NBR 15270-3.

4.4.4 Cor de queima

Figura 21: Aspecto Visual dos corpos de provas



Fonte: do autor, 2016.

Todas as composições constataram-se com cor de queima, tendendo a uma cor avermelhada, característica de teor de óxidos corantes como o óxido de ferro. Nas composições com mistura de 5%, 10%, 20% e 40% percebe-se, conforme visto na figura 21, que as amostras ficaram mais vermelhas, que é ocasionado por conta da adição de resíduos.

CONCLUSÃO

Em razão da quantidade de resíduos sólidos gerados a partir do tratamento de efluentes da empresa, observou-se que a valoração de resíduos é de suma importância tendo em vista que a empresa produz aproximadamente 40.080 kg de sólidos por hora, e atualmente este material é despejado no depósito de rejeitos da empresa, gerando custos de transporte e impactos ambientais associados.

Visando diminuir os custos de transporte e volume de rejeito, indicou-se por meio de revisão bibliográfica que a empresa invista em outro filtro prensa, assim conseguindo atender à demanda de efluente que é gerado no processo de tratamento.

As análises físico/químicas do resíduo e argila mostraram que ambos têm características parecidas, como o teor de Al_2SO_3 e SiO_2 bastante similares, confirmando que o rejeito pode ser utilizado na fabricação de cerâmica vermelha.

Quanto aos ensaios realizados nos corpos de prova, o teste de resistência mecânica à flexão, obteve-se um resultado melhor na amostra com 20% de rejeito, tendo uma média de 5,54 MPa, acima do branco (sem adição de rejeito) que teve 4,51 MPa de média. Já os percentuais de 5%, 10% e 40% tiveram uma queda na resistência do material sendo respectivamente; 3,75, 2,82 e 2,64 MPa.

A retração linear após queima mostrou que ao aumentar o percentual de resíduos, aumentou os valores de retração dos corpos de prova. Vale ressaltar que quanto menor a retração menor é a possibilidade de trinca.

Observou-se na absorção de água que com 5% e 20% de resíduo teve um valor abaixo do branco (sem adição de rejeito). Já os outros percentuais tiveram valores acima, ou seja, que absorveram mais água.

De forma geral esperava-se que as propriedades fossem caindo aos poucos com a adição de rejeito, porém o que foi visto é que no percentual de 20% de resíduo, obteve-se um valor acima do branco em algumas propriedades (resistência a flexão e absorção de água), portanto seria viável a sua produção.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Componentes cerâmicos parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos.** NBR 15270-1. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Componentes cerâmicos parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos.** NBR 15270-2. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Componentes cerâmicos parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.** NBR 15270-3. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos - Classificação:** NBR 10.004. Rio de Janeiro, 2004.

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André de. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial.** Barueri: Editora Manole, 2015. 408 p.

ALBUQUERQUE, G. de A. S. C. de. *et al.* **Indústria carbonífera brasileira: conveniência e viabilidade.** Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1995.

AMARAL FILHO, Juarez R. do et al. Caracterização de um depósito de rejeitos para o gerenciamento integrado dos resíduos de mineração na região carbonífera de Santa Catarina, Brasil. Rem: **Rev. Esc. Minas**, vol. 66 n. 3 Ouro Preto: jul/sep/2013.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Dano ambiental: uma abordagem conceitual.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

BECHARA, Erika (Org.). **Aspectos relevantes da política nacional de resíduos sólidos Lei nº 12.305/2010.** São Paulo: Atlas, 2013.

BRUM, Irineu Antônio S. de; JESUS, Leandro Gustavo M. de Jesus. **Flotação de rejeitos do beneficiamento gravimétrico de carvão mineral.** Disponível em: www.ufrgs.br/rede-carvao/Sessões_B7_B8_B9/B9_ARTIGO_01.pdf. Acesso em: 20.ago.2016.

CÂMARA, G. et al. Storage of carbon dioxide in geological reservoirs: is it a cleaner technology? *Journal of Cleaner Production* 47:52-60p., 2013.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM. **Conflitos ambientais na indústria mineira e metalúrgica: o passado e o presente**. São Paulo: CETEM, 2013.

DE LUCA, Francisco Javier. **Modelo cluster eco-industrial de desenvolvimento regional: o polo do carvão no sul de Santa Catarina**. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Produção] 328f. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro**. Brasília: DNPM, 2010.

FARIAS, Carlos Eugênio. Mineração e meio ambiente no Brasil. **Relatório Preparado para o CGEE PNUD**: Contrato 2002/001604, out. 2003.

FRANCO, Ana Carolina Vicenzi; MARIMON, Maria Paula Casagrande Marimon. **Tecnologias de recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão e usos futuros do solo**. 2009. Disponível em: observatoriogeograficoamericana.org.mx/egal12/Procesosambientales/.../777.pd. Acesso em: 20.ago.2016.

JARDIM, Arnaldo et al. **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Barueri, SP: Manole, 2012. (Coleção Ambiental)

KAZMIERCZAK, Claudio de Souza; ROSA, Mateus; ARNOLD, Daiana Cristina Metz. Influência da adição de filer de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p.7-19, jun. 2016.

LEITE, Wanderson Pereira. **Recuperação e recirculação de água no processamento mineral**. 2011. 58 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LIMA, G. F. C. O debate da sustentabilidade na sociedade insustentável. **Política e Trabalho**. Universidade Federal da Paraíba, 2003.

MACÊDO, Alcebiades Negrão et al. Comportamento de blocos cerâmicos estruturais produzidos a partir da mistura de lama vermelha e argila. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p.25-36, dez. 2011.

MARCELLO, Reginaldo Rosso. **Incorporação do lodo no tratamento de drenagem ácida de mina de carvão na composição de pigmentos orgânicos**. Criciúma: UNESC, 2005.

MARCELLO, Reginaldo Rosso et al. Inorganic pigments made from the recycling of coal mine drainage treatment sludge. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 88, n. 4, p.1280-1284, set. 2008. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17703872>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

MONTIBELLER-FILHO, Gilberto. **O mito do desenvolvimento sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias**. Florianópolis: UFSC, 2008.

PEIXOTO, Cláudio Lineu Pereira. **Proposta de nova metodologia de desaguamento de rejeitos em polpa**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

POLETO, Cristiano. **Introdução ao gerenciamento ambiental**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

ROCHA, Julio Cesar; ROSA, André Henrique; CARDOSO, Arnaldo Alves. **Introdução à química ambiental**. São Paulo: Artmed, 2009.

SANTOS, P. de S. **Ciência e tecnologia de argilas**. 2 ed. Editora Edgard Blücher, São Paulo 1992. v1. 499 p

SOBRAL, Juliano. **Projeto, instalação e avaliação de decantador lamelar em contracorrente para clarificação de efluente de indústria metalúrgica**. Joinville: UNIVILLE, 2013.

SILVA, Márcia Regina Farias da et al. **Gestão ambiental: caminhos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: LF Editorial, 2013.

VOLPATO, Terezinha Gasho. **Vidas marcadas: trabalhadores do carvão**. Tubarão: Unisul, 2001.

WEILER, Jéssica; AMARAL FILHO, Juarez Ramos do; SCHNEIDER, Ivo André Homrich. 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.**, 2016, vol. 21, n. 2, 337-345p.

_____. Processamento de rejeitos de carvão e redução do impacto Ambiental. **AUGMDOMUS**, n. 6: 80-94p, 2014.

WOLOSZYN, Daiani, VOLKART, Priscylla Andrade; BIZANI, Delmar. Tratamento de efluente secundário proveniente do beneficiamento do carvão mineral utilizando bactérias com capacidade redutora de sulfato. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 28, junho de 2013.