



**UNISUL**

**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**EDUARDO JUSTI DE FARIAS**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA  
MINERAÇÃO DO CARVÃO MINERAL POR MEIO DA APLICAÇÃO DO  
BACKFILL**

Palhoça

2019

**EDUARDO JUSTI DE FARIAS**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA  
MINERAÇÃO DO CARVÃO MINERAL POR MEIO DA APLICAÇÃO DO  
BACKFILL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof. Ivete de Fatima Rossato Dr.

Palhoça

2019

**EDUARDO JUSTI DE FARIAS**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA  
MINERAÇÃO DO CARVÃO MINERAL POR MEIO DA APLICAÇÃO DO  
BACKFILL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro de Produção e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Produção da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 06 de junho de 2019.

---

Professora e orientadora Ivete de Fatima Rossato, Dr.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Professor Silvio Jorge Machado, Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Professor Acácio Garibaldi S. Thiago Filho, Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho em memória as minhas avós, sempre presentes dentro de mim, seja onde eu estiver. A minha namorada e minha mãe, com coragem sempre apoiando meus projetos e decisões.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, que sempre apoiaram meus estudos, dando-me a estrutura e suporte necessários para o meu crescimento.

Em especial, agradeço a minha namorada Heloisa, por sempre me incentivar, dar força, passar energias positivas durante esta caminhada e por estar sempre torcendo pelo meu sucesso.

Ao meu primo Juliano, meus amigos Glauco, Evaldinho, Luciano, Gustavo e demais amigos de esportes, trabalho e colegas da faculdade que fiz nesses anos de convivência, experiências profissionais que sempre estiveram unidos, incentivando, emanando boas vibrações, apoiando e unindo-se, para que todos obtivessem sucesso independente de cargo, situação profissional, financeira ou pessoal. Um agradecimento especial aos excelentes profissionais da mineradora estudada o Engenheiro Ambiental, Norberto Buogo, Engenheiro de Minas, Rogério Garcia Valinhas e a Bióloga, Denise Lidorio de Mattia.

Aos meus verdadeiros mestres, treinadores e professores Jose Roberto de Barros Filho, Ana Regina de Aguiar Dutra, Rejane Roecker por me prover ensino de qualidade, durante tantos anos de convivência, me passaram uma visão aberta sobre a atuação, atividades do engenheiro de produção no mercado de trabalho e a responsabilidade e importância do profissional na sociedade. A minha professora e orientadora Ivete de Fatima Rossato por aceitar ser minha orientadora, pela brilhante direção sobre os estudos e desenvolvimento do presente trabalho.

Aos demais professores que, não menos importantes, além de repassarem conhecimentos essenciais à minha formação, em áreas as vezes no momento não tão relevantes porem de total importância proporcionaram-me uma nova visão do mundo, lembrando-me sempre a importância pela busca incessante da excelência.

A instituição de ensino UNISUL por prover de profissionais tão seletos, oferecendo por um custo justo conhecimento e me colocando ao lado de seres humanos tão evoluídos, futuros colegas e proporcionar a graduação em engenharia.

Enfim a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento pessoal e intelectual durante esses anos de formação acadêmica.

“Eu não tenho ídolos. Tenho admiração por trabalho, dedicação e competência.”

(Ayrton Senna, 1994).

## RESUMO

Com a preocupação do cumprimento das leis ambientais, produção cada vez mais limpa e economicamente viável durante todo o processo de atividade minerária, este trabalho visa pesquisar a viabilidade da ferramenta Backfill como forma de tratamento de rejeitos na mineração do carvão mineral. O Backfill, trata-se da disposição final dos rejeitos oriundos do beneficiamento do carvão mineral, ou seja, os mesmos são depositados nos interiores das galerias já mineradas das minas. O backfill apresenta como principal vantagem a minimização significativa da deposição de rejeitos em superfície. Além disso, realizou-se a descrição dos diversos tipos de disposição final dos rejeitos do beneficiamento do minério no Brasil. A pesquisa abrangeu a mineração do carvão mineral da cidade de Treviso, assim como o histórico da mineração no sul de Santa Catarina a importância da mesma para o desenvolvimento econômico e social da região. O objetivo geral desse trabalho é analisar a viabilidade da redução dos impactos ambientais na mineração do carvão mineral por meio da aplicação do backfill.

Palavras-chave: Backfill. Rejeito. Carvão Mineral. Mineração.

## **ABSTRACT**

With the concern of compliance with environmental laws, increasingly clean and economically viable production throughout the mining process, this work aims to investigate the feasibility of the Backfill tool as a treatment of tailings in coal mining. The Backfill is the final disposal of tailings from the beneficiation of the mineral coal, that is, they are deposited in the interior of the galleries already mined. The backfill has as main advantage the significant minimization of the deposition of tailings on the surface. In addition, a description was given of the different types of final disposal of ore beneficiation tailings in Brazil. The research covered the coal mining of the city of Treviso, as well as the mining history in the south of Santa Catarina the importance of the same for the economic and social development of the region. The overall objective of this work is to analyze the feasibility of reducing the environmental impacts of mineral coal mining by applying the backfill.

**Keywords:** Backfill. Reject. Mineral Coal. Mining.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Localização das principais jazidas de carvão mineral. ....	21
Figura 02: A) Cortadeira, B) Perfuratriz de Frente, C) Perfuratriz de Teto, D) Alimentador, E) Alimentador e Cortador, F) Carregadeiras frontais, G) Mineradores contínuos. ....	23
Figura 03: Mineração pelo Método de Câmaras e Pilares. ....	24
Figura 04: Britador Sizer. ....	26
Figura 05: A) Boca da mina; B) Esteira de transporte do minério; C) ROM; D) Processo de beneficiamento do carvão mineral. ....	27
Figura 06: Bacia de decantação. ....	31
Figura 07: Barragem. ....	33
Figura 08: Método de montante. ....	35
Figura 09: Método de jusante. ....	35
Figura 10: Projeto construtivo da célula de rejeitos. ....	36
Figura 11: Barricada de tijolos porosos para preenchimento hidráulico. ....	39
Figura 12: Pastfill sendo aplicado em uma mina via tubulação. ....	40
Figura 13: Rockfill usado em uma mina subterrânea em Queensland na Austrália. ....	41
Figura 14: Vista esquemática de uma operação de preenchimento. ....	43
Figura 15: Bancada de rejeito sem cobertura vegetal. ....	51
Figura 16: Escada em alvenaria para condução das águas superficiais. ....	51
Figura 17: Ao fundo da imagem, área totalmente coberto por vegetação gramínea. Também sendo vista uma bancada em processo de construção. ....	52
Figura 18: Monitoramento de erosão. ....	53
Figura 19: Corte, figura esquemática da célula de rejeitos. ....	53
Figura 20: Área de depósito de rejeitos atual e a nova em vermelho. ....	54
Figura 21: Fluxograma atual do rejeito. ....	55
Figura 22: Caixa de transporte de rejeitos. ....	55
Figura 23: Fluxograma rejeito com a implementação do backfill. ....	56
Figura 24: Galeria recebendo o rockfill – vista lateral. ....	58
Figura 25: Galeria recebendo o rockfill – vista frontal. ....	58
Figura 26: Transporte rejeito superfície até subsolo. ....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Matriz Energética Mundial .....	19
Gráfico 02: Matriz Elétrica Mundial .....	20
Gráfico 03: Destinação dos Rejeitos de Mineração.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Recursos energéticos. ....	18
Tabela 02: Classificação dos rejeitos.....	29
Tabela 03: Caracterização química dos rejeitos .....	30
Tabela 04: Comparativo benefícios em relação ao custo e risco.....	42
Tabela 05: Características dos rejeitos .....	49
Tabela 06: Distribuição granulométrica dos rejeitos.....	50
Tabela 07: Produção bruta de minério, produto, rejeito em massa e volume.....	57
Tabela 08: Cronograma backfill .....	61

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	PROBLEMA.....	13
1.2	OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
1.3	JUSTIFICATIVA .....	14
1.4	LIMITAÇÃO OU ESCOPO DO TRABALHO .....	15
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>17</b>
2.1	CARVÃO MINERAL .....	17
2.2	IMPORTÂNCIA DO CARVÃO MINERAL COMO FONTE DE ENERGIA .....	18
2.3	EXTRAÇÃO DO CARVÃO MINERAL.....	20
2.4	PROCESSO DE LAVRA DO CARVÃO MINERAL .....	22
2.5	PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO CARVÃO MINERAL.....	26
2.6	REJEITOS GERADOS NO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO CARVÃO MINERAL.....	28
2.7	TRATAMENTOS DE REJEITOS .....	32
<b>2.7.1</b>	<b>Método de tratamento de rejeitos .....</b>	<b>33</b>
2.8	METODO DO BACKFILL .....	37
2.9	TIPOS DE BACKFILL.....	38
<b>2.9.1</b>	<b>O Hydraulicfill.....</b>	<b>38</b>
<b>2.9.2</b>	<b>O Pastefill .....</b>	<b>39</b>
<b>2.9.3</b>	<b>O Rockfill .....</b>	<b>40</b>
2.10	BENEFÍCIOS DO BACKFILL .....	41
<b>3</b>	<b>PROCESSO METODOLÓGICO .....</b>	<b>44</b>
3.1	TIPO DE PESQUISA .....	44
3.2	FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS .....	44
3.3	FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DADOS.....	46
3.4	HISTÓRICO DA EMPRESA .....	46
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO .....</b>	<b>49</b>
4.1	CARACTERÍSTICA DO REJEITO NA METROPOLITANA.....	49
4.2	MÉTODO DE TRATAMENTO DE REJEITOS METROPOLITANA .....	50
4.3	LOGÍSTICA DOS REJEITOS .....	54

<b>4.4 PROJETO BACKFILL METROPOLITANA</b> .....	<b>56</b>
<b>4.4.1 Escolha do local no subsolo</b> .....	<b>58</b>
<b>4.4.2 Material na superfície.</b> .....	<b>59</b>
<b>4.4.3 Material no subsolo.</b> .....	<b>59</b>
<b>4.4.4 Cronograma de execução</b> .....	<b>61</b>
<b>4.4.5 Sistema de isolamento</b> .....	<b>62</b>
<b>4.4.6 Monitoramento</b> .....	<b>62</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>63</b>
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>65</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>69</b>
<b>ANEXO A - FLUXOGRAMA DO BENEFICIAMENTO DO CARVÃO</b> .....	<b>70</b>
<b>ANEXO B – ORGANOGRAMA HIERÁRQUICO</b> .....	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um insumo essencial no cotidiano da sociedade moderna, em termos de saúde, produtividade, segurança, conforto e crescimento de uma região e País. Devido à importância do assunto, atuais apagões energéticos, crescimento demográfico e de desenvolvimento das economias se faz importante as fontes de geração de energia elétrica. Atualmente, a principal aplicação do carvão mineral no mundo é a geração de energia elétrica por meio de usinas termelétricas este em segundo lugar na matriz elétrica mundial.

O carvão mineral, de origem fóssil, foi uma das primeiras fontes de energia utilizadas em larga escala pelo homem. Sua aplicação na geração de vapor para movimentar as máquinas foi um dos pilares da Primeira Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII. Já no fim do século XIX, o vapor foi aproveitado na produção de energia elétrica. Ao longo do tempo, contudo, o carvão perdeu espaço na matriz energética mundial para o petróleo e o gás natural, com o desenvolvimento dos motores a explosão (ANEEL 2019).

O carvão mineral é considerado um combustível fóssil, que se origina de matéria orgânica primitiva após algumas reações químicas e bioquímicas que ocorreram durante um período extenso (HULSE, 1985).

O mercado consumidor de carvão mineral em Santa Catarina, recebeu o primeiro incentivo no ano de 1973, quando o Ministro das Minas e Energia solicitou que as empresas participassem de uma licitação com o objetivo de implantar três unidades mineradoras mecanizadas. Nesse mesmo momento ocorria uma grande demanda de importação de combustíveis fósseis e a primeira grande crise mundial do petróleo, sendo assim esse incentivo foi uma alternativa positiva para o governo, porém sem levar em conta dos possíveis impactos que o mesmo traria com tempo (GUGLIELMI, 1979).

O principal impacto negativo de um incentivo desordenado do governo e sem planejamento fora o âmbito econômico, foi o ambiental. As lavras ocorreram de forma predatória, resultando em um grande passivo ambiental. Isso foi intensificando-se com a potência e velocidade de extração das novas tecnologias aplicadas a mineração (POSSA, 2008).

As atividades de mineração têm causado um aumento significativo na geração de resíduos, uma vez que há movimentação e extração de grandes volumes de materiais. A quantidade de resíduos gerados nestes processos depende fundamentalmente do método designado para a extração do minério, da proporção mineral de interesse hospedada na rocha

matriz e da localização da jazida junto à superfície. Os rejeitos são resultantes do beneficiamento aplicado às substâncias minerais, já os estéreis são gerados durante o processo de lavra, composto de rochas para as quais não há nenhum valor ou interesse econômico, ficando a maioria dispostos em pilhas à superfície (IPEA, 2012).

Portanto, as empresas mineradoras devem planejar a médio e longo prazo, juntamente com seu plano diretor, novas soluções que assegurem a disposição de seus rejeitos gerados de modo mais seguro, sustentável e economicamente viável. Assim, temos neste cenário o emprego de rejeitos no enchimento de minas subterrâneas (backfill) como alternativa e solução à deposição destes em superfície (Torres, 2005 citados por Vissotto, 2013).

## 1.1 PROBLEMA

Nesse contexto, o estudo tem a seguinte pergunta de pesquisa: Como a tecnologia *backfill* pode auxiliar a melhoria dos impactos ambientais na destinação dos rejeitos na mineração do carvão mineral?

## 1.2 OBJETIVOS

Serão apresentados os objetivos que vão servir como base para elaborar a pesquisa científica, os objetivos devem auxiliar o que se almeja ao final da pesquisa.

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é analisar a viabilidade da redução dos impactos ambientais na mineração do carvão mineral por meio da aplicação do backfill.

#### 1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- a) Analisar o processo de mineração;
- b) Analisar as técnicas existentes para tratamento já implantada;

- c) Pesquisar a técnica do *backfill* na redução dos rejeitos provenientes da mineração de carvão;
- d) Analisar a viabilidade da técnica na redução dos impactos ambientais.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A maior importância para o ser humano é a vida, e o meio ambiente que estamos deixando no processo produtivo ao longo da industrialização. O engenheiro de produção é tão qual responsável pelo meio ambiente, trabalho seguro, saudável e motivante, quanto a redução dos tempos do processo de produção, exatidão dos planejamentos e a execução de um excelente produto e ou serviço.

Este trabalho visa promover a responsabilidade da engenharia de produção no âmbito ambiental, apresentando soluções viáveis e almejando custos compatíveis sem deixar de lado a eficiência da qual é esperada diante a situação problema. Esse trabalho, procura dar contribuição a esse aspecto importante que é o ambiental, dentro da área que a engenharia de produção.

Com o aumento dos danos ambientais em nosso país, houve conseqüentemente uma cobrança maior dos Órgãos fiscalizadores em relação as atividades mineradoras. É de fundamental importância que as empresas tenham uma gestão que englobe todos os processos, melhorando os já existentes e também procurando novas alternativas.

Devido ao cenário de recessão do carvão mineral e perante a concorrência local entre Estados e Países vizinhos é de suma importância para Carbonífera Metropolitana, melhorar seus processos e inovar, sempre buscando o melhor para seus colaboradores, sobretudo esse crescimento alinhado ao meio ambiente. As empresas de um modo geral procuram investir na gestão dos resíduos e rejeitos provenientes da lavra, beneficiamento, processo produtivo em geral, buscando a redução dos custos operacionais e assim aumentando seus lucros.

A herança da lavra do minério para o Estado de Santa Catarina e sociedade da região carbonífera, é visível e gozada até os dias de hoje como a criação da Ferrovia Tereza Cristina, inicialmente criada para escoamento de minério e nos dias de hoje utilizada para importação e exportação de outros produtos até o Porto de Imbituba, este que também foi viabilizado por conta do minério.

Outro ponto importante para a região carbonífera, foi a fundação da Escola Técnica, hoje também Universidade SATC, criada há sessenta anos, com foco na capacitação da mão de obra, para atender as demandas técnicas das mineradoras da região. Até os dias de hoje, a assim Faculdade é subsidiada pelas mineradoras.

Este trabalho visa apresentar as técnicas de tratamento usadas para disposição final dos rejeitos, e investimentos relacionados a mesma. Pois o crescimento e o meio ambientes estão interligados ao desenvolvimento da região carbonífera, este estudo tem intuito de diminuir os danos ambientais, ilustrando um processo ecologicamente correto e sustentável para as próximas gerações.

#### 1.4 LIMITAÇÃO OU ESCOPO DO TRABALHO

Este trabalho se limita aos quesitos relacionados aos sólidos da extração do minério, não abrangendo os aspectos hidro ambientais, apesar da coexistência entre DAM e os rejeitos sólidos da extração.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho de pesquisa aborda a questão do desenvolvimento de um novo método pouco usado no Brasil de tratamento de rejeito do carvão mineral, este trabalho teve a estrutura montada para facilitar a compreensão do tema, conforme segue abaixo.

- Capítulo 01 – No primeiro capítulo é realizada a introdução do tema do trabalho e a problemática da pesquisa. Logo após, abordado o objetivo geral do trabalho e os objetivos específicos com intuito de guiar o estudo, em seguida são apresentados a justificativa, limitações do trabalho e a estrutura do estudo.
- Capítulo 02 – O segundo capítulo temos a revisão bibliográfica, onde são apresentados fundamentos dos autores relacionados ao tema do estudo, carvão mineral, extração, processo de lavra, processo de beneficiamento, rejeitos gerados no processo de beneficiamento, tratamento de rejeitos, método de backfill.
- Capítulo 03 – Nesse capítulo vamos abordar os procedimentos metodológicos possíveis e também os adotados nessa pesquisa, assim como os métodos de coleta e

interpretação dos dados pesquisado e a caracterização da empresa, histórico do grupo e divisão hierárquica da mineradora.

- Capítulo 04 – Desenvolvimento dos estudos, relacionados ao backfill na carbonífera.
- Capítulo 05 – Conclusão: são apresentadas as possibilidades referentes aos estudos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Este capítulo apresentará os principais conceitos necessários e opiniões de autores, sobre o tema analisado no estudo, dando sustentação literária necessária aos métodos de lavra e disposição de rejeito já conhecido.

### 2.1 CARVÃO MINERAL

O carvão mineral é um combustível fóssil sólido, oriundo a partir da deposição da matéria orgânica de vegetais provenientes de bacias sedimentares. Devido a ação de temperatura e pressão em ambiente sem contato com o ar, abaixo da superfície da terra, em decorrência de soterramento e atividade orogênica, os restos vegetais ao longo do tempo geológico se solidificam, perdendo oxigênio e hidrogênio e se enriquecem em carbono, em um processo chamado de carbonificação (HULSE, 1983).

Segundo Borba (2001) o carvão mineral é abundante em regiões de clima frio ou temperado, em que os vegetais são carbonizados antes do seu apodrecimento, comumente em zonas pantanosas ou em terrenos terciários. Sua formação em relação aos outros minerais fosseis energéticos é considerada vantajosa, pois o mesmo é encontrado em todos os continentes.

A qualidade do carvão ou ranking (determina a maturidade geológica deste mineral), atingido pelo processo de carbonificação é definido por três fatores, sendo eles a pressão, temperatura e tempo. A partir da maior intensidade de pressão e temperatura a qual a camada de matéria vegetal for submetida, e quanto maior for o tempo de duração desse processo, melhor será a qualidade ou poder energético do carvão (BORBA, 2001).

O minério é classificado conforme seu nível de desenvolvimento. Segundo o Branco (2014), ele é indicado por quatro camadas distintas, sendo elas, a turfa que é a composição inicial, caracterizada pelo reduzido teor de carbono, o linhito sendo estágio mínimo para utilização do carvão, e a hulha e o antracito seguem, de acordo com o rank, respectivamente.

Outro índice qualitativo do carvão é o grade, que mensura de forma inversamente proporcional o percentual em massa de matéria mineral incombustível, ou seja, as cinzas, presente na camada carbonífera. Um baixo grade significa que o carvão possui um alto percentual de cinzas misturado à matéria carbonosa, conseqüentemente, empobrecendo sua qualidade (BORBA, 2001).

Segundo Süffert (1998) no Brasil, o alto teor de cinzas e a composição petrográfica, introduzem distorções nos resultados e dificuldades comparativas entre os carvões brasileiros e os de outros países.

## 2.2 IMPORTÂNCIA DO CARVÃO MINERAL COMO FONTE DE ENERGIA

O cenário do uso do carvão mineral no Brasil e no mundo é um tema atual e sem perspectivas de alteração de sua importância num futuro próximo. Apesar de ser um combustível especialmente poluente, não renovável, o carvão deverá continuar desempenhando um importante papel como fonte de energia no cenário mundial, tendo em vista o quadro geral de dependência de muitos países (BARBOSA, 2017).

Como cenário mundial, somente na China, nos últimos 20 anos, a eletricidade foi disponibilizada para cerca de 700 milhões de pessoas. A taxa de eletricidade atual é de 99%, sendo 79% com o emprego do carvão. O processo de eletrificação foi vital na política de redução da miséria social. Deve ser lembrado que a China, nos últimos 15 anos, mantém uma taxa anual de crescimento da economia, na média de 9,1%. A taxa de eletrificação na África do Sul, foi quase dobrada em uma década, de 35% para 66%, com 93% da geração elétrica com base no carvão mineral (BP, 2015).

Segundo o Balanço Mineral Brasileiro (2001), o carvão mineral, no cenário global da matriz energética, está posicionado em segundo lugar, perdendo apenas para o petróleo. Sendo que no mercado de geração de eletricidade passa ao largo à condição de principal recurso mundial, conforme tabela 01.

Tabela 01: Recursos energéticos.

Recurso	Consumo global de energia	Geração global de eletricidade
Carvão	23,30%	38,40%
Petróleo	35,70%	8,90%
Gás natural	20,30%	16,10%
Nuclear	6,70%	17,10%
Combustíveis renováveis	11,20%	--
Hídricos	2,30%	17,90%
Outros	0,40%	1,60%

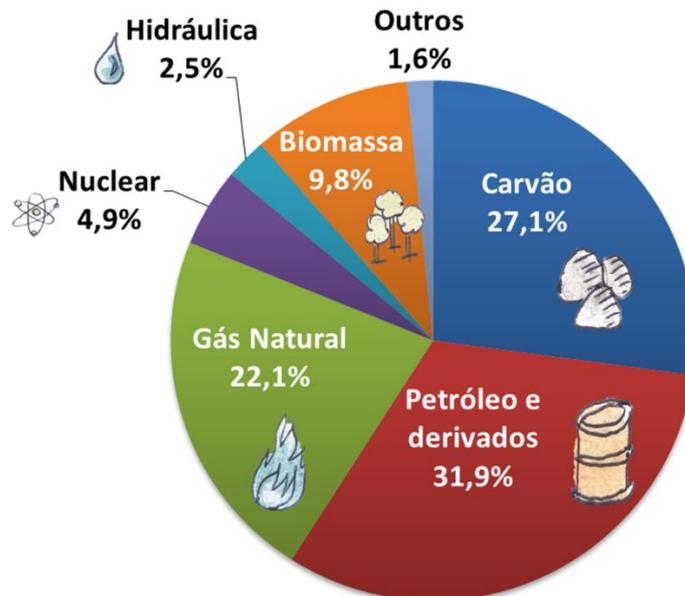
Fonte: World Coal Institute, 2001.

Atualmente a produção no sul do Brasil, abastece principalmente o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda – ENGIE, situado em Capivari de Baixo, estando nos planos da Carbonífera Metropolitana a continuidade e a ampliação da lavra em função do projeto de instalação de uma termelétrica na cidade de Treviso, situada aproximadamente a 30 km do município de Criciúma, próximo à mina, denominada Usina Termelétrica Sul – Catarinense (USITESC).

Ao final do ano de 2017, aconteceu o leilão da Usina Termelétrica Sul, pelo Ministério de Minas e Energias, e mesmo com todos requisitos legais preenchidos, o projeto da nova estação de energia, esbarrou na falta de investimento, a obra está orçada em aproximadamente R\$ 2 bilhões (Zancan, 2019).

Existe uma confusão entre a matriz energética com a matriz elétrica, pois elas são diferentes. Enquanto a matriz energética (gráfico 01), representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os carros, gerar eletricidade e preparar a comida no fogão a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis somente para a geração de energia elétrica (International Energy Agency, 2018).

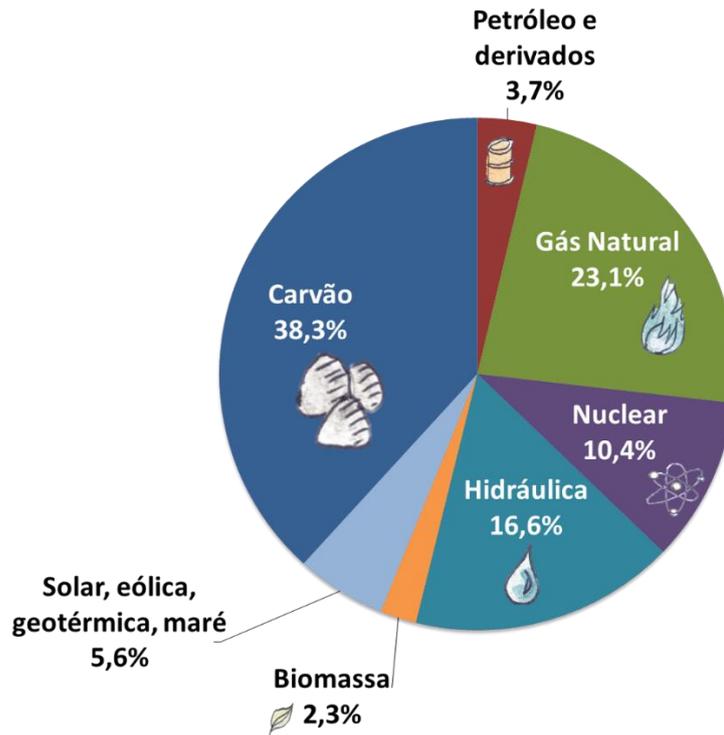
Gráfico 01: Matriz Energética Mundial



Fonte: IEA, 2018.

As principais fontes para geração de energia elétrica no mundo têm como base principal, o combustível fóssil que são o carvão, petróleo, gás natural, esta energia principalmente gerada em termelétricas. O gráfico 02, mostra a divisão dos recursos utilizados para geração de energia elétrica.

Gráfico 02: Matriz Elétrica Mundial



Fonte: IEA, 2018.

### 2.3 EXTRAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

O carvão mineral marcou momentos decisivos na história do Brasil e no mundo, como na primeira revolução industrial, desde a sua descoberta, aproximadamente na idade da pedra lascada. Na época ele era utilizado como fonte de calor para aquecer os primeiros habitantes do planeta em cavernas. Assim, o carvão mineral foi ganhando nome e reconhecimento, se fortificando como fonte de energia e tornou-se a base principal da industrialização no planeta (PERES, 2006).

Aproximadamente em 1880 o carvão foi a maior fonte geradora de energia. Cerca de 97% da energia consumida era gerada pelo carvão mineral, no âmbito nacional, grande parte

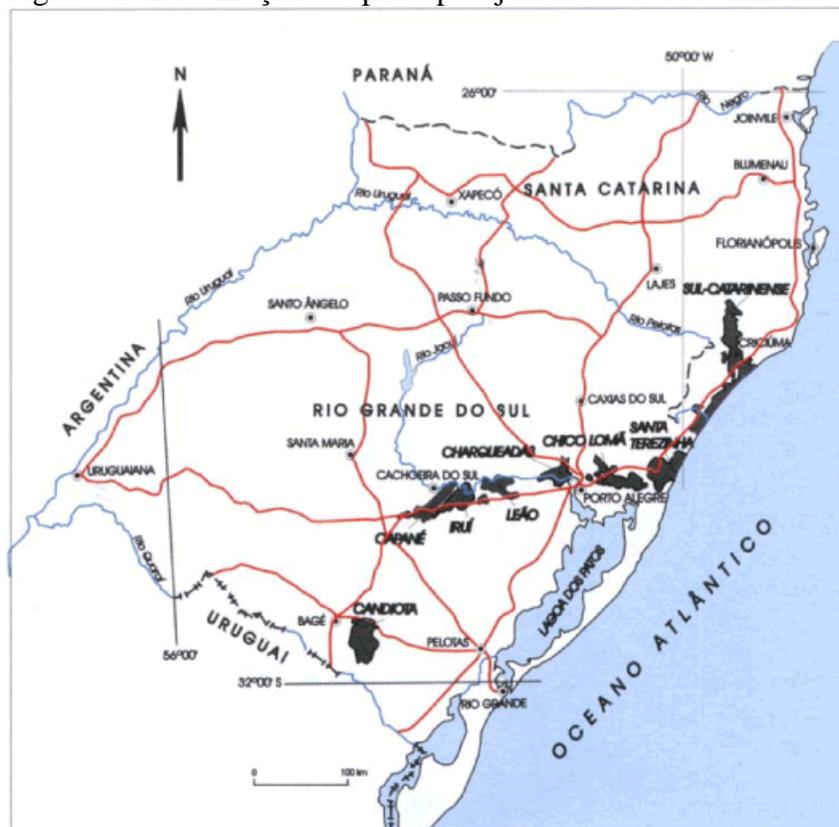
devido os incentivos governamentais do início a metade dos anos oitenta, via Plano de Mobilização Energética – PME (LOPES, 2014).

Passados 100 anos, depois do seu ápice de utilização, o carvão mineral perdeu muito espaço e passou a gerar apenas 12% de tal energia, perdendo espaço assim para o petróleo. No passar dos anos adveio uma grande recessão e maiores custos no petróleo, com isso o carvão mineral voltou a ganhar espaço novamente no cenário global e gerar energia onde teve sua maior escala em 23% de energia para o mundo (BORBA, 2001).

No Brasil esse minério negro, é minerado desde 1827 e continua aquecendo a indústria nacional, no estado de Santa Catarina, quem iniciou a extração desse minério foi uma empresa inglesa. Entretanto a primeira jazida de carvão mineral oficialmente foi aberta em 1855, na localidade de Arroio dos Ratos no estado do Rio Grande do Sul (Marcos Lopes, 2014).

Segundo Lopes (2014), a maior concentração de mineração desse minério negro no âmbito nacional está localizada na região sul, nos estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná, porém existem grandes concentrações do minério também nas regiões dos estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia e em outros estados que produzem o carvão em baixa quantidade, como demonstrado na figura 01.

Figura 01: Localização das principais jazidas de carvão mineral.



Fonte: Gomes, 2001.

Segundo o Presidente da Associação Brasileira de Carvão Mineral, Zancan (2019), a bacia carbonífera situada em Criciúma e toda região, mantém reserva para no mínimo meio século de extração a partir do ano de 2019.

Nos últimos cinco anos, o carvão mineral nacional vem reconquistando o seu espaço no mercado, em especial na geração de energia, recorrente à necessidade de atender as possíveis escassezes de energia elétrica geradas ocasionalmente por falta de recursos hídricos. Essa escassez vem sendo ocasionada pela falta de chuva, ou seja, de água nos reservatórios, já o carvão mineral consegue manter o abastecimento de energia nos estados do Sul do País (Oliveira, 2013).

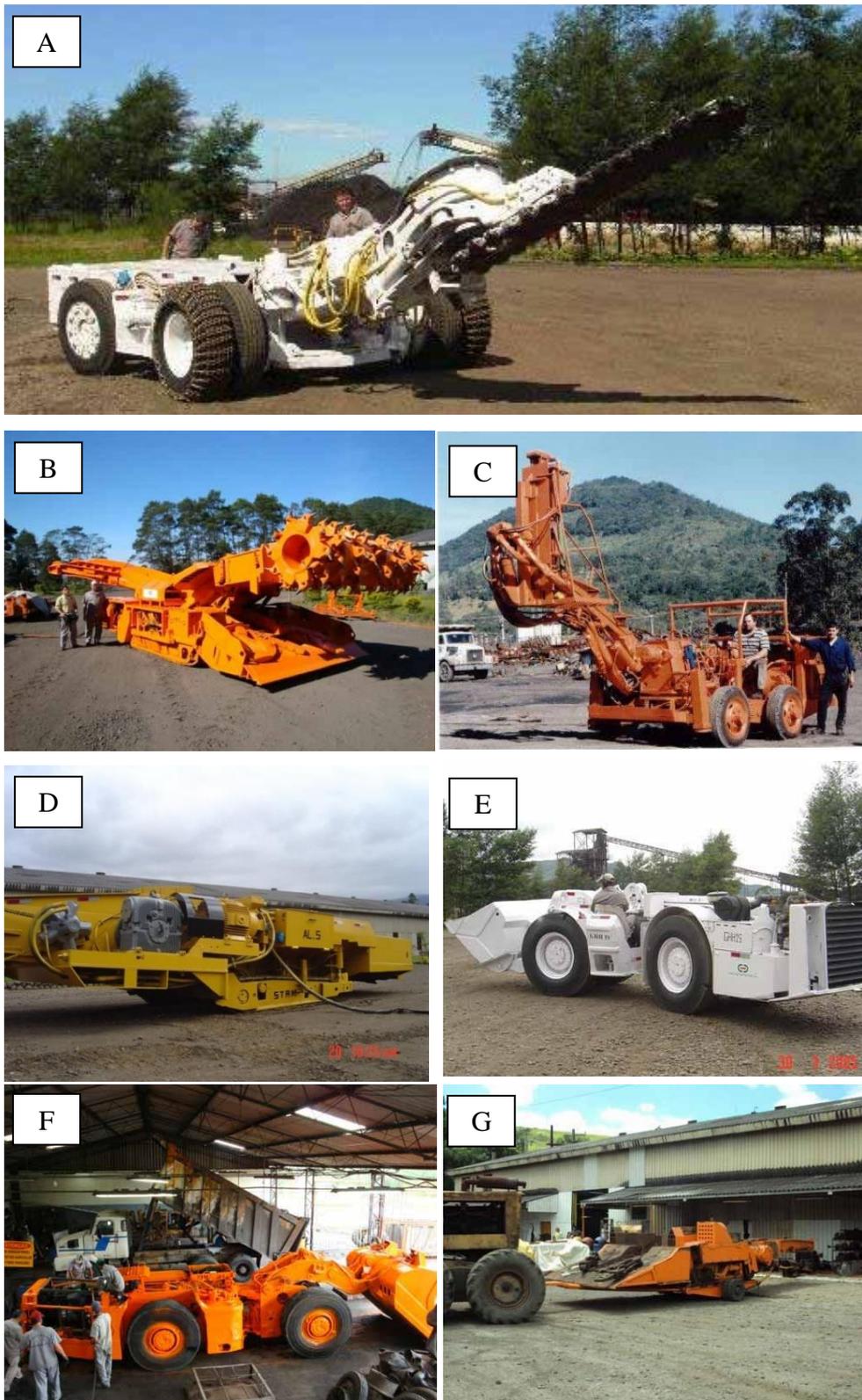
#### 2.4 PROCESSO DE LAVRA DO CARVÃO MINERAL

As minas de carvão mineral podem ser classificadas em minas de subsolo e minas a céu aberto. As minas de subsolo são divididas em três tipos principais, sendo designadas como minas de encosta, minas em plano e minas em poço vertical. Elas recebem essa classificação de acordo com a forma de se alcançar a camada de carvão mineral a ser lavrado (BORTOT 2002).

Assim, como os principais processos produtivos no mundo são automatizados a mineração de carvão mineral não é diferente. O processo é todo mecanizado, em cada frente de extração é utilizado máquinas para fazer a lavra do solo, sendo que cada uma possui um operador capacitado para sua operação específica (LANDMANN, 1984).

Esse processo é composto por um conjunto de máquinas que fazem tarefas complementares, umas às outras, sendo assim as principais máquinas conhecidas nessa etapa do processo, conforme figura 02 (MLIOLI, 2009).

Figura 02: A) Cortadeira, B) Perfuratriz de Frente, C) Perfuratriz de Teto, D) Alimentador, E) Alimentador e Cortador, F) Carregadeiras frontais, G) Mineradores contínuos.



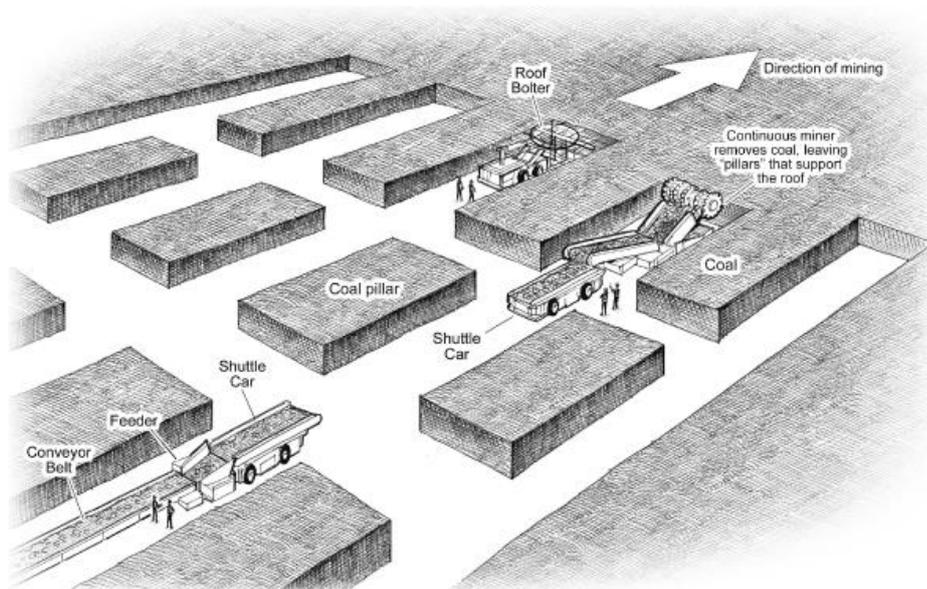
Fonte: Carbonífera Metropolitana, 2019.

As principais mineradoras das minas situadas na região carbonífera de Santa Catarina, faz uso do método de mineração de Câmaras e Pilares. Tal método envolve mecanização, e dessa forma o comprimento (largura e altura) da camada da frente de extração deve permitir a operação de equipamentos em seu interior (MONTENEGRO, 1974).

Esse método vem avançando na extração do carvão mineral, aonde não ocorre a recuperação de pilares, para que assim seja extraído o ROM - Run-of-Mine - carvão bruto, sem beneficiamento. A mina Esperança produz aproximadamente 5 toneladas de carvão ROM ao dia, sendo que essa produção em maior parte é consumida na geração de energia elétrica. A mina opera a uma profundidade média de 260 metros.

Segundo Kooper (2008), a lavra com método de Câmaras e Pilares consiste na abertura de um corredor principal de movimentação que pode ser de duas ou mais galerias paralelas e perpendicularmente a este. São desenhadas as linhas de produção, onde são abertas galerias ou câmaras de mineração. Na etapa de extração e entre elas são planejados pilares, que devem permanecer intactos, garantindo assim a segurança dos operadores, conforme figura 03.

Figura 03: Mineração pelo Método de Câmaras e Pilares.



Fonte: United States Securities and Exchange Commission, 2007.

O ciclo produtivo do método de Câmaras e Pilares operando com conjuntos mecanizados convencionais consiste nas etapas (PEREIRA, 2010):

- Escoramento do teto;
- Corte da camada de carvão;
- Furação de frente;
- Desmonte com uso de explosivos;
- Ventilação;
- Limpeza (remoção do minério) da frente de lavra.

O ciclo produtivo tem início com o escoramento de teto, em seguida é realizada a limpeza da frente de lavra. Após a limpeza e o teto escorado, é feita uma abertura horizontal próxima ao piso da galeria, pois o desmonte da camada de carvão é feita por explosivos. Após a detonação o minério de carvão é removido por meio de maquinários. O minério fragmentado é transportado até um alimentador da correia transportadora, que por seguinte o encaminha para a superfície.

Como relata Possa (2008), não é somente a dificuldade da distância vertical em relação a profundidade nas minas subterrâneas, como também os locais de mineração que se afastam rapidamente da boca ou entrada das rampas de acesso conforme o carvão mineral extraído.

A logística de transporte dos colaboradores, das máquinas e o próprio ROM (minério bruto) minerado, torna-se caro, por esse motivo a mineradora, com o avanço da lavra, implantou sistemas de correias, reduzindo os custos de transporte até o pátio da mina onde acontece a etapa de separação do carvão mineral, do rejeito e o tratamento do mesmo (VALENTE 2008).

Contudo, Chaves e Peres (2006), descrevem que para transportar o minério, não beneficiado, com o auxílio de transportadores de correia, este necessita estar reduzido a um tamanho que comporte a largura da correia. Porém, a mina de carvão com um pé direito baixo e a frente de extração do minério movendo-se continuamente, é difícil acomodar a ferramenta de britadores de impacto em uma caverna de tamanho suficiente.

Com tudo, foram desenvolvidos alimentadores, quebradores (Feeder Breakers) e britadores (Sizer), que são mecanismos que forçam a passagem do carvão ROM (minério bruto), por uma espécie de engrenagem desencontrada que tritura e diminuem o minério. Os equipamentos lutam contra as difíceis características do material que é grudento, pegajoso e viscoso, como mostra os modelos indicados na figura 04.

Figura 04: Britador Sizer.



Fonte: Carvão Brasileiro: Tecnologia e meio ambiente, 2008.

## 2.5 PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO CARVÃO MINERAL

Segundo Sampaio (2002), o beneficiamento tem objetivo de separar o carvão mineral dos materiais indesejáveis, algumas substâncias como argila são responsáveis pelo teor de cinza após a combustão. A pirita possui alto nível de enxofre, prejudicando o meio ambiente e as atividades que necessitam de baixo teor do mesmo.

Muller et. Al. (1987) afirma que são vários os processos de beneficiamento do carvão sendo que todos tem em comum a utilização da densidade entre a matéria mineral e a matéria carbonosa, principalmente nas frações grosseiras, para obter as parcelas ricas em carbono.

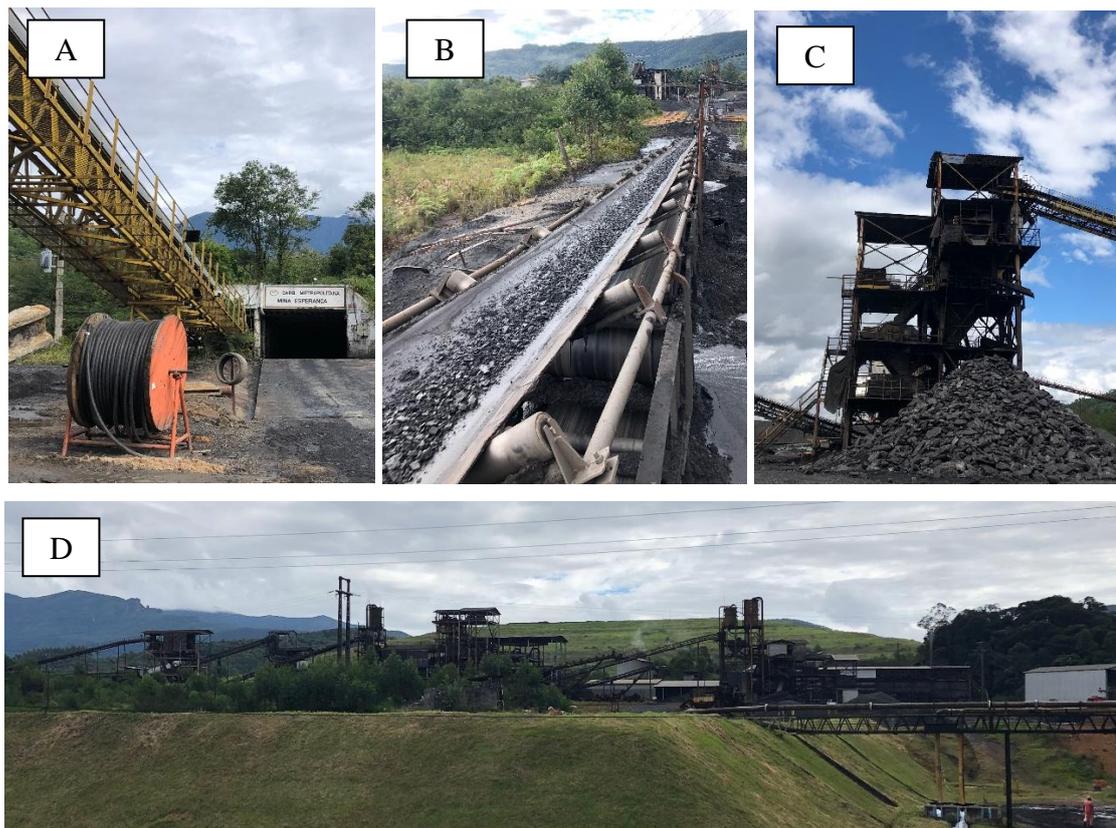
Cancelier (2009) afirma que os processos de beneficiamento são divididos de acordo com a granulometria empregada. Estas granulometrias variam de acordo com a especificação do cliente:

- Inferior a 0,1mm – ultrafinos de carvão, tem como processo de beneficiamento mais utilizado, a flotação;
- Entre 0,1 e 2mm – finos de carvão, são utilizadas para a separação dos materiais indesejáveis usando o sistema de mesas concentradoras e espirais concentradoras;
- De 2mm a 50mm – grossos de carvão, utilizam o processo de jigagem;
- Superior a 50mm – grosseiros de carvão, seu processo de beneficiamento utiliza jngues, meios densos dinâmicos, meios densos estáticos.

Segundo a empresa Metropolitana (2019) a unidade responsável pelo beneficiamento do carvão extraído do subsolo é flexível, pois pode atuar utilizando apenas o processo de jigagem, com capacidade de alimentação de 650 t/h, ou processo completo que permite alimentação de 400 t/h.

A mineradora vem extraindo em média 5 mil toneladas por dia de ROM (minério bruto), porém o rejeito é muito significativo e oneroso no processo, a usina apresenta uma utilização na ordem de apenas 40% o refugo, não aproveitado, de cinzas, pirita e demais rebarbas do processo ainda precisam ser devidamente destinado o que maximiza os custos da operação, esteiras são utilizadas desde a frente de mineração até o pátio da mina e posteriormente o processo de beneficiamento, do minério, figura 05 (MILIOLI, 2009).

Figura 05: A) Boca da mina; B) Esteira de transporte do minério; C) ROM; D) Processo de beneficiamento do carvão mineral.



Fonte: Metropolitana, 2019.

Possa (2008) ressalta que o processo é bem definido e padronizado, as etapas descritas são parte do fluxograma Anexo 01 da mineradora Metropolitana:

Etapa 01– Britagem: Instalação com grelhas e peneiras vibratórias, para classificação granulométrica do minério e britadores com rolo duplo, para garantir a diminuição correta da granulometria para a etapa de concentração.

Etapa 02 – Jigue ou Separação densitária: Este equipamento pode-se tanto produzir um concentrado final com 43% de cinzas como também um pré-concentrado, cujo processo será complementado com uma etapa posterior. Nesta segunda situação o processo é finalizado com a utilização dos ciclones meio denso.

A escolha do processo está relacionada com a dificuldade da concentração gravimétrica do carvão bruto alimentado. Independente da opção de processo, nesta etapa de jigagem se descarta as frações de rejeito mais pesadas, como por exemplo, a pirita.

Etapa 03 – Ciclone meio denso: O pré-concentrado obtido no processo de jigagem, depois de desaguado em peneiras com abertura de 1 mm é dirigido até o tanque de meio denso, cuja densidade relativa é controlada com a adição de magnetita ou água, onde é finalmente bombeado para os ciclones que separam um produto final (CE 4500) e descarte de mais uma fração de rejeito.

Etapa 04 – Circuito de finos: Os finos de carvão mineral desaguados no final da jigagem são separados em um circuito próprio para carvões de baixa granulometria. Este circuito é composto por hidrociclones, flotação, espirais de Humphrey e peneiras circulares.

Etapa 05 – Estocagem do carvão e realização de mistura entre carvão de melhor qualidade quando necessário.

Segundo Buogo (2019), posteriormente o carvão bruto (ROM) ter passado pela usina de beneficiamento e ter sido separado o carvão energético do rejeito, o carvão mineral é alocado no caminhão até a caixa de embarque em Fiorita que é embarcado no vagão de Trem e segue até a Usina termoeletrica de Capivari.

## 2.6 REJEITOS GERADOS NO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO CARVÃO MINERAL

Em geral o carvão mineral é visto pela população como um grande vilão ao meio ambiente. Um dos fatores é o desconhecimento da população, segundo Koope (2008) no passado a atividade de lavra a céu aberto em Santa Catarina, foram desenvolvidas sem nenhum planejamento, e sem observar os padrões de recuperação necessários para manter a qualidade do meio ambiente.

Segundo Reis (2000), essa visão de certa forma equivocada se dá ao fato de a atividade extrair um recurso mineral não renovável, o que não acontece em outras indústrias e setores que utilizam esses recursos naturais como parte do seu processo de transformação ou beneficiamento.

De acordo com IPEA (2012), estima-se que o montante anual de rejeitos gerados pelo processo de mineração irá quase que dobrar, passando dos 348 milhões de toneladas em 2010 para 684 milhões em 2030, sendo o ferro a principal substância geradora (41,38%), seguido do fosfato que passa a ter (9,89%), o ouro (9,74%) e o titânio (8,93%). Estes fatores criam uma imagem negativa frente as questões ambientais comparada aos demais setores econômicos, sendo apontada, prioritariamente como um setor poluidor apesar de normas e legislações ambientais serem extremamente cumpridas.

O carvão nacional, ou mais especificamente o carvão lavrado em Santa Catarina e Paraná, apresenta um elevado teor de enxofre, este encontra-se sob forma de pirita ou sulfeto de ferro. É aglutinado no rejeito, separado no processo de beneficiamento, assim como outros constituintes julgados inconvenientes e que comprometem o bom desempenho do carvão mineral para utilização em termelétrica ou siderúrgicas (MONTENEGRO, 1974).

Após o processo de beneficiamento e separação do carvão bruto o rejeito pode ser classificado em três classes denominadas como R1, R2 e R3. A classificação R1, denominada piritoso é retirado em primeiro lugar, no processo de diferenciação de densidade em meio aquoso pulsante, no “JIG” dos lavadores e que contém a pirita constituída por sulfeto de ferro. Já os rejeitos R2, nomeados xistoso e R3 betuminoso, são compostos de siltitos e aluminatos, estes desde que separados dos rejeitos piritosos, os rejeitos R2 e R3, podem ser alocados com a apenas a preocupação estética (BORTOTO, 2002).

Para classificação dos rejeitos, é realizado teste para previsão do potencial de geração de acidez (AP) e de alcalinidade (NP) seguindo a metodologia Sobek, a partir da qual são tabulados o potencial de neutralização líquido (NNP) e a razão do potencial de neutralização (NPR), conforme evidenciado na Tabela 02 (SOARES, 2008).

Tabela 02: Classificação dos rejeitos

Parâmetros	R1	R2	R3
NP	4,85	10,63	29,53
AP	300,31	177,81	214,69
NNP	- 295,46	- 167,18	- 185,16
NPR	0,016	0,060	0,137

Fonte: Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente, 2008.

Ressaltando que a NBR 10004:2004 que normatiza e adota classificação para os procedimentos de tratamento e destinação de resíduos sólidos divididos pelo grau de periculosidade, os mesmos podendo ser enquadrado em duas classes principais: Classe I (resíduos perigosos) e Classe II (resíduos não perigosos), contudo, esta última subdivididos em B (inertes) e A (não inertes).

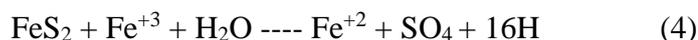
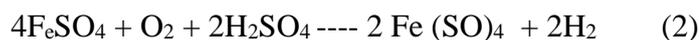
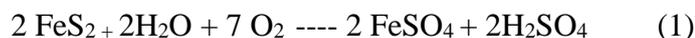
Os testes que avaliaram o grau de lixiviação e solubilização destes rejeitos, conforme determina a norma, supracitada chegou aos resultados que levaram ao enquadramento destes rejeitos (R1, R2 e R3) na Classe II A, ou seja, resíduos não perigosos e não inertes (SANTOS, 2008). Outros autores, classificam e caracterizam também os rejeitos de forma química conforme tabela 03 (BOLLMANN, 1990).

Tabela 03: Caracterização química dos rejeitos

%	REJEITO R <sub>1</sub>		REJEITO R <sub>2</sub>		REJEITO R <sub>3</sub>	
	NATURAL	INTEMPE- RIZADO	NATURAL	INTEMPE- RIZADO	NATURAL	INTEMPE- RIZADO
SiO <sub>2</sub>	43,27	54,65	59,14	56,72	58,19	58,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,33	31,09	33,49	33,31	34,35	34,45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,72	9,00	3,16	4,85	2,97	2,43
TiO <sub>2</sub>	2,11	2,04	2,47	2,27	2,37	2,27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,42	0,36	0,05	0,09	0,07	0,06
CaO	0,70	0,42	0,21	0,56	0,49	0,42
MgO	0,63	0,49	0,42	0,25	0,25	0,40
Na <sub>2</sub> O	0,61	0,57	0,31	0,33	0,23	0,23
K <sub>2</sub> O	1,82	1,2	0,63	1,45	0,92	1,17

Fonte: Bollmann, 1990.

Estudos apontam que a oxidação da pirita (FeS<sub>2</sub>) resulta na produção de sulfato de ferro e ácido sulfúrico, conforme indica nas equações 1, 2, 3 e 4:



As reações químicas (1) e (4) demonstram a oxidação da pirita em sulfato ferroso e ácido sulfúrico (BOLLMANN 1990).

O risco de contaminação, chamada de Drenagem Ácida de Mina - DAM é sem dúvida o problema ambiental mais preocupante que ronda a região carbonífera, principalmente

por sua agressividade e intensidade com que contaminam o solo e a água. A acidificação das águas, apesar de fenômeno natural é rapidamente desencadeado quando os minerais sulfetados ficam expostos ao oxigênio atmosférico nos diversos ambientes da mineração, como lavras a céu aberto, bacias de decantação, galerias subterrâneas, pilhas de rejeito ou de estéreis e estradas de acesso à mina. Durante esse processo, minerais como a pirita ( $\text{FeS}_2$ ) são quimicamente modificados, liberando ferro e enxofre no meio ambiente (MILIOLI, 2009).

Essa situação é comumente encontrada no processo de beneficiamento do carvão, especificamente nos lavadores, onde ocorre a separação entre os produtos comercializáveis e os rejeitos de diferentes granulometrias. Os resíduos grosseiros são levados diretamente para depósitos a céu aberto, enquanto os finos, com partículas variando em torno de  $1\ \mu\text{m}$  a  $1\text{mm}$ , são normalmente conduzidos a bacia de decantação sob a forma de polpa como mostra a figura 06 (LOPES, 2004).

Figura 06: Bacia de decantação.



Fonte: Metropolitana, 2019.

Dentre os rejeitos da lavra do carvão mineral, os que podem ser utilizados ainda que pouco expressivos são o Selênio, a Argila, o Alcatrão e as Cinzas. O Selênio tem um maior significado em termos de tecnologia do que como produto comercial, este elemento químico é encontrado principalmente em sensores e vidros especiais. A argila que é encontrada após o processo gravitacional, pode ser usada na produção de cerâmica vermelha como a aplicação dos produtos de construção como telhas e tijolos (BOLLMANN, 1990).

Segundo Soares (2008), no Alcatrão de carvão mineral, encontra-se aproveitamento de componentes químicos, que extraídos e purificados são utilizados como matéria prima básica para a indústria química. As cinzas do carvão mineral podem ser utilizadas para pavimentação de estradas e na construção civil, também em cerâmicas que indicam o uso como carga.

## 2.7 TRATAMENTOS DE REJEITOS

A disposição inadequada dos rejeitos oriundos do processo de beneficiamento do carvão mineral, juntamente com a deposição de materiais do estéril provenientes do decapeamento superficial da lavra, soma as principais fontes de degradação ambiental (IPEA, 2012).

Em relação ao estéril, ele tem uma função de extrema importância no que cabe a recuperação de áreas degradadas. Dessa forma todo material retirado da primeira camada do solo, deve ser armazenado para ser utilizado para contenção de erosão e afim de manter a estabilidade geotécnica da área explorada (MILIOLI, 2009).

Segundo o IPEA (2012) o sistema de disposição dos rejeitos deve ser projetado como uma estrutura que abranja a contenção e deposição de resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes. Os resíduos podem ser pilhas de rejeitos sólidos (minérios pobres, estéreis, rochas, sedimentos de cursos d'água e solos), as lamas de decantação de efluentes, rejeitos finos e ultrafinos não aproveitados no beneficiamento, a geração de drenagem ácida de mina de carvão e minérios sulfetados.

Além dos resíduos resultantes da atividade de mineração, que devem ser adequadamente dispostos, inclusive considerando a previsão de aumento futuro da geração, existe também um passivo não totalmente conhecido, e que deve ser também considerado (IPEA, 2012).

Um dos maiores passivos ambientais da mineração brasileira está localizado em Santa Catarina e é decorrente da mineração de carvão. Diversos rios na região sul do estado receberam, ao longo de mais de um século, rejeitos ricos em pirita, produzindo a acidificação das águas (Brasil, 2010).

O Ministério Público Federal (MPF) promoveu ação civil pública, no início dos anos 1990, contra as mineradoras e o poder público, buscando a recuperação dos danos ambientais. A sentença do Superior Tribunal de Justiça (STJ), de 2007, obrigou a União e as

mineradoras a recuperar as áreas degradadas, o que vem ocorrendo desde então (Diário de Justiça da União, 2008).

### 2.7.1 Método de tratamento de rejeitos

Na disposição dos rejeitos, além da preocupação com construção e segurança, pode ser requerido pelos órgãos ambientais que o reservatório formado para conter o material seja estanque, para impedir a infiltração dos efluentes danosos à qualidade das águas, contendo metais pesados ou com pH muito ácido (IPEA, 2012).

Existem inúmeros métodos para a disposição final dos rejeitos oriundos do beneficiamento do carvão mineral, sendo eles:

- O método no qual os rejeitos são dispostos embaixo da água é conhecido como disposição subaquática. Rejeitos com alto teor de finos são dispostos subaquaticamente, ativando uma baixa densidade, uma baixíssima resistência ao cisalhamento e conseqüentemente tornando-se muito compressíveis

- O método no qual os rejeitos são descartados diretamente em praia e deixados secar naturalmente expostos ao ar é conhecido como disposição em superfície.

- O método mais comumente utilizado no país é a disposição de rejeitos em reservatórios criados por diques ou barragens. Estas barragens ou diques podem ser de solo natural ou construídos com os próprios rejeitos, sendo classificadas, neste caso, como barragens de contenção alteadas com rejeitos e no outro caso como barragens convencionais, como mostra a figura 07.

Figura 07: Barragem



Fonte: VALE, 2019.

Muitos dos rejeitos são transportados para a área de disposição com um alto teor de água – 10% a 25% de sólidos –, por meio de tubulações, com ou sem a utilização de bombas e descartados nos pontos de descargas – canhões ou spiggotings. A água que acompanha os rejeitos frequentemente contém sais dissolvidos, metais pesados e outros resíduos químicos do processo mineralógico, podendo causar impactos ambientais nas áreas de disposição de rejeito do empreendimento (IPEA, 2012).

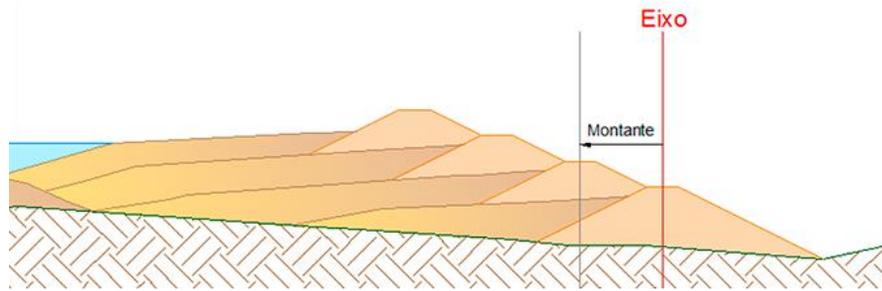
Segundo o Vick (1983), controlar as condições piezométricas de forma a obter resistência adequada e estabilidade, e conter os impactos ambientais envolve a engenharia de barragens que predomina otimizar as pilhas de rejeitos para que sejam armazenadas em áreas particulares.

Vale salientar que a construção por alteamentos sucessivos torna-se atraente e viável, pois além de diluir os custos envolvidos, flexibiliza a operação, pois possibilita adaptar a construção da barragem às necessidades de alterar taxas de produção devido às flutuações do mercado de minérios, o que resulta em maiores ou menores volumes de rejeitos a serem armazenados (IPEA, 2012).

Segundo Ferraz (1992) destacam os três métodos mais comuns de alteamento de barragens de rejeitos: o de montante, o de jusante e o da linha de centro. Vale ressaltar que uma barragem pode ser alteada com mais de um método – iniciando-se com alteamentos pelo método da linha de centro e sendo alteada para montante nos últimos alteamentos, por exemplo –, o que confere maior flexibilidade ainda às obras.

O método de montante, figura 08, busca principalmente reduzir o custo de barramento, aproveitando-se os rejeitos depositados como parte da estrutura de contenção. A estrutura do barramento é iniciada a partir de uma barragem piloto ou dique de partida. O dique de partida é essencialmente um aterro e um suporte para a linha de rejeitos descartados. Ele é construído com materiais permeáveis para assegurar a drenagem do fluxo de água e controlar a erosão (FERRAZ, 1992). Contudo, pode ser construído com materiais impermeáveis.

Figura 08: Método de montante

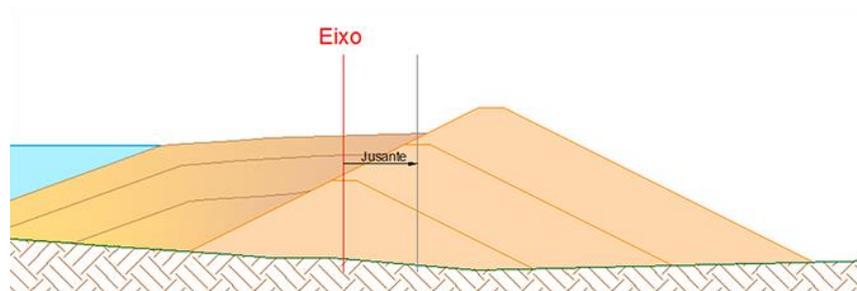


Fonte: VALE, 2019

Após a conclusão do dique de partida, o rejeito é lançado à montante, formando uma praia, a qual será a fonte de material de construção do próximo alteamento. Durante o lançamento, ocorrem segregações granulométricas, ficando a fração grossa depositada próximo ao maciço para servir de suporte ao próximo alteamento. A descarga do rejeito é, geralmente, controlada pelos spiggotings (canhões) para assegurar que o rejeito arenoso seja depositado próximo ao dique de partida. Quando o nível dos rejeitos no reservatório estiver próximo ao máximo, um novo dique é executado – sobre os rejeitos – para a montante do dique do alteamento anterior. Este processo é repetido com alteamentos sucessivos até a elevação final prevista, sendo que o eixo da crista sempre se desloca para montante (VICK, 1983).

O método de jusante, figura 09 consiste no alteamento da barragem para jusante do dique de partida, inicialmente construído, de tal forma que o eixo da crista se mova para jusante. A construção pode ser feita empregando o próprio rejeito, solos de empréstimo ou estéril proveniente da lavra (POSSA, 2008).

Figura 09: Método de jusante



Fonte: VALE, 2019

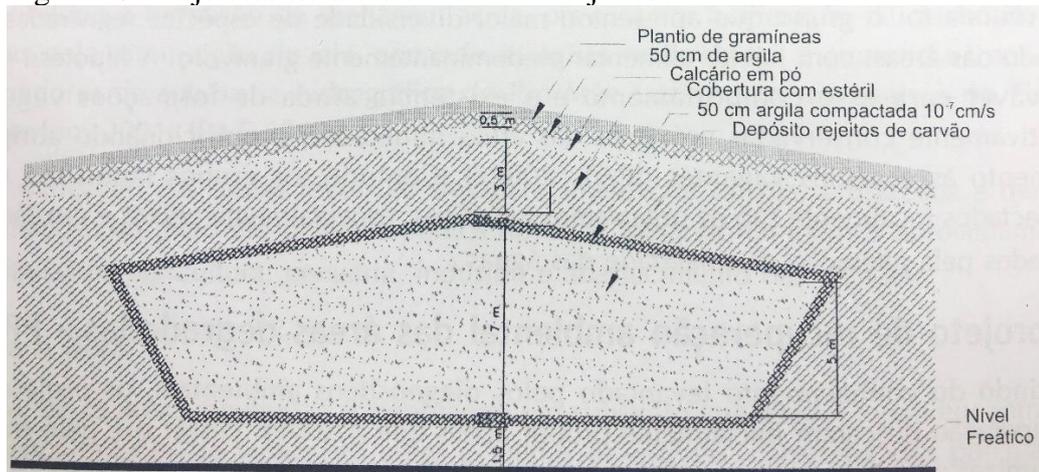
Quando a barragem é executada com rejeito, ele pode ser separado com emprego de ciclones, de forma que no maciço da barragem seja utilizada apenas a fração grossa. Esse método representa uma solução mais segura, visto que se pode controlar a qualidade do maciço

e a posição da linha freática pela construção de um sistema contínuo de drenagem interna. O risco de ruptura por liquefação e piping é bem reduzido (BLICHT, 1994).

Chammas (1989) apresenta também algumas vantagens e desvantagens desse método. As vantagens são: resiste a efeitos dinâmicos, escalona a construção sem interferência na segurança, não interfere na operação dos rejeitos, facilita a execução da drenagem interna, aproveita integralmente as técnicas de barragens convencionais e a construção pode obedecer a todas as hipóteses de projeto. A principal desvantagem é o alto custo, relacionado ao grande volume de maciço.

As células de depósito de rejeitos, armazenam os refugos da mineração do carvão mineral no interior do solo, confinados em compartimentos especialmente erguidos, conhecidos como “células de rejeitos”, teve por objetivo o isolamento destes do contato com o oxigênio e a água, evitando a geração de DAM e a consequente solubilização de seus constituintes, são planejadas e executadas conforme modelo apresentado na Figura 10 (SOARES, 2008).

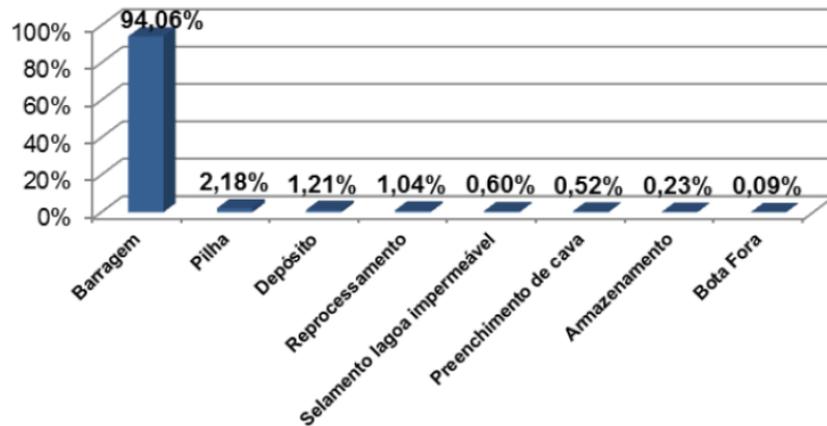
Figura 10: Projeto construtivo da célula de rejeitos



Fonte: Soares, 2008

Conforme FEAM, 2013 apesar de outras formas de tratamento de rejeito no Brasil a principal técnica utilizado continua sendo as barragens, conforme gráfico 03.

Gráfico 03: Destinação dos Rejeitos de Mineração.



Fonte: FEAM, 2013.

## 2.8 METODO DO BACKFILL

O backfill refere-se a qualquer material colocado nos vazios de minas subterrâneas, a fim de aumentar a estabilidade estrutural da mina. A utilização de preenchimento é comum em muitos países como no Canadá, Austrália, Polônia, África do Sul e Estados Unidos, entre outros aplicam essa técnica há muitos anos. No Brasil há históricos da utilização dessa técnica nas minerações de fluorita - Santa Catarina, na mineração de ouro - Goiás, na mineração de potássio - Alagoas, mineração de cobre – Bahia, além da mineração de carvão mineral em Santa Catarina (POSSA, 2008).

A preparação “engenheirada” do método de preenchimento da mina com material de rejeito, que não era comum no século XIX, foi parte de uma estratégia de extração ou para estabilizar uma área. McLeod (1992) relatou que no início de 1900, a colocação de preenchimento seco ganhou popularidade na Austrália.

Na década de 1970, a ênfase dos países industrializados estava na mecanização e no alto nível de produção, liberando o caminho para métodos de mineração em massa. Isso significava uma correlação que as pesquisas por preenchimento (backfill), estavam se tornando importantes e que a pressão para projetos de massas aglutinantes de enchimento estruturalmente estáveis a um baixo custo foi aumentando (ACG, 2014).

Com a necessidade de se minerar adequadamente dentro das normas ambientais, ocorre a crescente utilização da tecnologia de preenchimento, em relação a danos estruturais no solo, meio ambiente, além de recuperações de lavra maiores. Tradicionalmente, backfill é uma técnica de sustentação do maciço rochoso, comumente usada no método de lavra Cut-and-fill.

Essa técnica é crescente em outros métodos de lavra como, por exemplo, room and Pillar e long wall (KARAS, 2009).

Em termos ambientais (Costa, 2008), devido às baixas recuperações da camada total de carvão nas unidades de beneficiamento (podendo ser inferiores a 30%), há excesso de geração de rejeitos na região. O grande volume de rejeitos gerados demanda uma extensiva atividade de deposição de resíduos em superfície. Os custos de manutenção somados aos riscos ambientais inerentes ao processo de deposição tornam as operações complementares de *backfill* de extrema relevância.

Por outro lado, o principal risco ambiental relacionado ao preenchimento com rejeitos de carvão mineral é a chance de geração de drenagem ácida de mina conhecida como DAM, e infecção devido a variações sazonais do nível do lençol freático. O contato com o ar do rejeito da mineração a pirita, pode ocasionar a oxidação e geração de minerais secundários aos processos que ocorrem durante e após o ciclo de produção-beneficiamento e preenchimento mineral em subsolo como é o caso do backfill (POSSA, 2009).

## 2.9 TIPOS DE BACKFILL

De acordo com Veenstra, 2015, os principais tipos de preenchimentos utilizados para a realização do backfill, podem ser classificados levando-se em consideração o material utilizado na mistura e o método de transporte dele. A mistura do enchimento pode ser realizada com cimentado ou não, com dois ou mais tipos de aglutinantes. Pode se assim dizer que as técnicas mais utilizadas, podem ser divididas em três, que são o hydraulicfill, pastefill e rockfill. A mistura deve ser realizada com materiais que mantenha a característica inerte ao meio que será aplicado e efetuada em condições adequadas, que garanta sua estabilidade química e a não alteração de sistemas aquíferos.

### 2.9.1 O Hydraulicfill

O Hydraulicfill ou enchimento hidráulico tem como principal composição os rejeitos finos relacionados aos percentuais sólidos, com variação entre 50% a 70%, são transportados por um sistema de tubulação hidráulica movido por bombas e fluxo turbulento. Na ausência de qualquer porcentagem fina de argila ou ligante de cimento para absorver a água, haverá substancial excesso de água presente quando a lama for instalada, os pontos onde

recebem ou são aplicados o hydraulicfill, as galerias horizontais são bloqueadas por barricadas de tijolos porosos de cimento que garantem a sua sustentação em superfícies verticais, e passagem do rejeito, como mostra a figura 11 (VEENSTRA, 2015).

Figura 11: Barricada de tijolos porosos para preenchimento hidráulico.



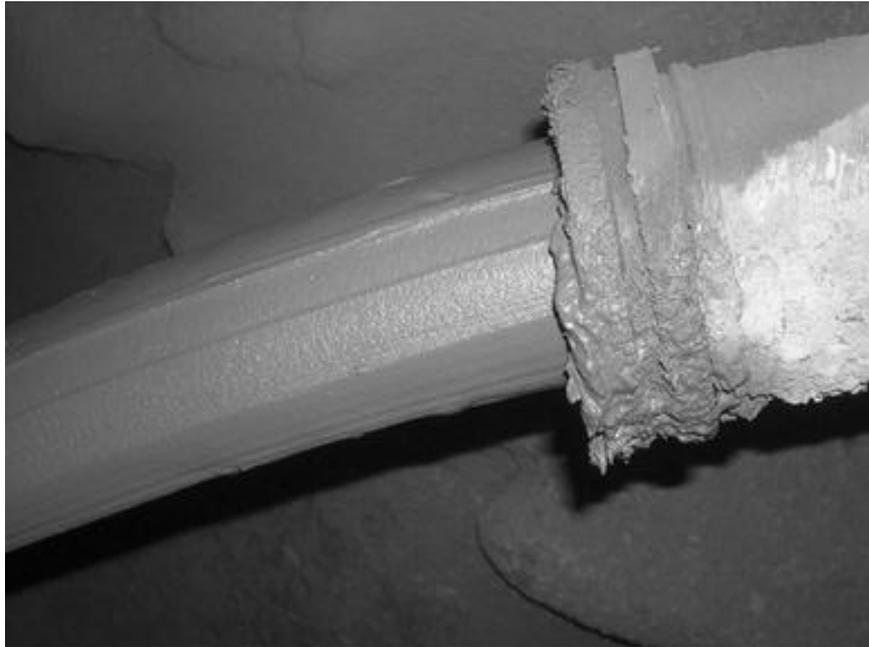
Fonte: VEENSTRA 2015

Ainda em relação ao enchimento hidráulico, este também pode ser empregado como apoio primário do maciço de longo termo e para o ajuste da subsidência em minas que oferecem rochas resistente, uma vez que esta deriva a se fluir e preencher as lacunas geradas, distribuindo as tensões (GOMES, 2016).

### **2.9.2 O Pastefill**

O processo de Pastefill, enchimento de pasta, como mostra a figura 12 é também gerado por rejeitados finos, possui uma menor quantidade de água. A porcentagem de sólidos entre 78% e 87% e é considerado um material não drenante usando a água que encontrasse na sua constituição para hidratar o aglutinante, este geralmente cimento do modelo portland que proporciona maior rendimento que os demais cimentos, e cinza leve, proveniente da queima do carvão em termoelétricas, como aglutinante. A quantidade do ligante cimento acrescentada geralmente é de 3% a 5% do peso (GOMES 2016).

Figura 12: Pastfill sendo aplicado em uma mina via tubulação.



Fonte: VEENSTRA 2015

Por ser uma pasta a cura geralmente é mais rápida, porém depende da proporção de sólidos, cimento, água e aglutinante, sendo assim o processo de catalisação ocorre entre 7 à 24 dias. A pasta não exerce pressão tão elevada nas portas de enchimento, o mesmo não apresenta expansão significativa, não gera excesso de águas na mina e o seu modal de transporte geralmente é um sistema mais flexível até o enchimento, contudo a pasta não catalisa no transporte mesmo quando esse é interrompido por várias horas, essa por te característica de um fluido plástico. Geralmente o sistema de transporte é mais caro que o sistema de transporte do enchimento hidráulico, contudo em geral, os custos de operação são mais baratos (GOMES 2016).

### 2.9.3 O Rockfill

Na técnica rockfill, são utilizados materiais provenientes do desenvolvimento da lavra ou até mesmo rejeito advindos da etapa de beneficiamento do minério. A granulometria do material geralmente é avantajada, superior ao diâmetro de 40 mm. É possível a utilização de cimento na formação do rockfill com o intuito fim de aumentar a coesão. A logística de transporte para dentro da mina é realizada por carregadeiras, caminhões, o bombeamento como as técnicas anteriores é impossível devido a sua forma não viscosa, por outro lado com esse método, não se faz necessário construção de barricadas o que faz com que o mesmo tenha um

custo de implantação baixo, porém os custos de transporte maiores que as anteriores (KARAS, 2009).

A abundância do rejeito advindo da mineração, dita o tamanho da chamada assim rocha que será utilizada para o preenchimento que pode variar das proporções de uma brita ao tamanho de um pedregulho. O marcador amarelo na figura 13, é de 350mm de comprimento o que representa a oscilação das medidas (Sivakugan, 2015).

Figura 13: Rockfill usado em uma mina subterrânea em Queensland na Austrália



Fonte: Sivakugan, 2015

Por ser cimento o aglutinante mais comum de mistura, agregado ao preenchimento de rocha, Souza observou que uma empresa de mineração pode consumir até 100.000 toneladas de cimento por ano. O cimento adiciona um custo significativo aos preenchimentos, mesmo que em misturas com doses tão pequenas da ordem de 3-6%. As minas têm tentado substituir o cimento por cimentos misturados, que consistem em cimento misturado com cinza volante e/ou escória, com sucesso considerável.

## 2.10 BENEFÍCIOS DO BACKFILL

Sendo um processo de preenchimento mineral em minas de subsolo, o backfill apresenta como principais vantagens a: minimização significativa da deposição de rejeitos em superfície; confinamento dos pilares de carvão evitando a detrimento de área devido à queda progressiva de laterais; minimização dos riscos e efeitos de subsidência em superfície

aumentando a estabilidade em subsolo; e aumento das taxas de extração de carvão (HEEMANN, 2008).

Independente da técnica de backfill adotada as principais vantagens e desvantagens econômicas, de segurança e ambiental advindos da utilização do preenchimento mineral nas atividades de mineração são listados na tabela 04 de forma resumida (SOARES 2008).

Tabela 04: Comparativo benefícios em relação ao custo e risco

Benefícios	Custos & Riscos
<p>ECONÔMICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permitem aumentar as taxas de extração de minérios</li> <li>• Reduzem a diluição</li> <li>• Auxiliam a recuperação de pilares</li> </ul>	<p>ECONÔMICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maiores custos se o <i>backfill</i> utilizar agregantes</li> <li>• Atrasos no ciclo operacional da mina</li> <li>• Mão-de-obra e estrutura adicionais</li> <li>• Custos adicionais de drenagem</li> <li>• Diluição devido ao <i>backfill</i></li> </ul>
<p>SEGURANÇA:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoram a estabilidade regional da mina</li> <li>• Podem reduzir riscos de caimentos</li> </ul>	<p>SEGURANÇA:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco devido à quebra de barreiras e liquefação dos rejeitos (Aref, 1989)</li> <li>• Risco devido ao colapso das paredes consolidadas do <i>backfill</i></li> </ul>
<p>MEIO AMBIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispõem resíduos em subsolo minimizando os distúrbios em superfície</li> </ul>	<p>MEIO AMBIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Risco de contaminação de água subterrânea</li> </ul>

Fonte: SOARES, 2008.

Invariavelmente dependendo do objetivo a ser almejado, o preenchimento mineral pode representar a melhor alternativa técnica em relação ao custo e benefício, para uma situação específica de lavra, tanto a curto como a médio e longo prazo (SOARES 2008).

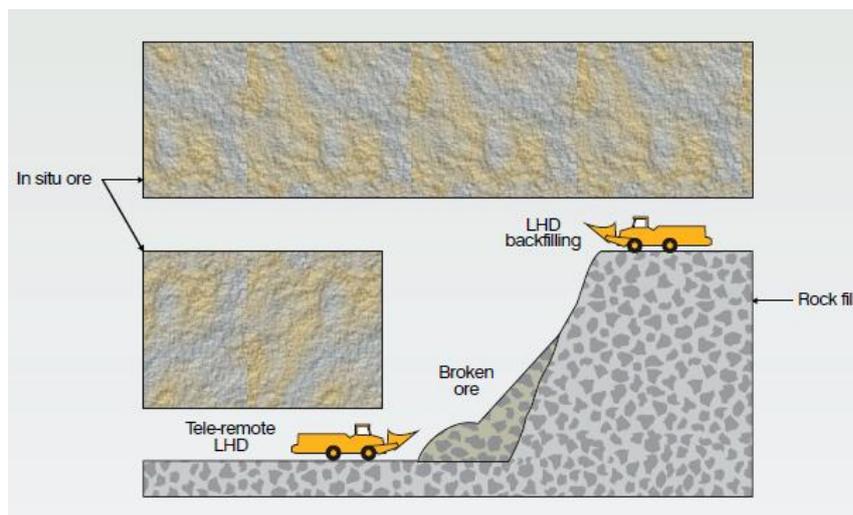
Por se tratar de uma reposição de áreas mineradas, a resistência à compressão é importante por esse modo são utilizados corpos de prova cilíndricos e realizados testes em lavatórios (GOMES 2016).

Os impactos ambientais recorrentes da atividade de preenchimento mineral em subsolo estão especialmente relacionados ao processo de oxidação da pirita em contato com o ar e posterior etapa de drenagem ácida de mina (DAM) em subsolo. O surgimento de DAM gerada pelo processo de inundação da mina, após o fechamento ou flutuações do nível freático, pode iniciar a etapa de contaminação do lençol freático (MILIOLI 2009).

Pesquisas realizadas no Canadá e Austrália, levaram ao desenvolvimento de uma variedade de preenchimentos cimentados com capacidade estrutural. Por exemplo, a adição de

rocha residual, rocha extraída ou agregado a rejeitos cimentados com a proporção de 2 para 1 em paredes que excedam 200m de altura por 40m de largura como demonstra figura 14. As pesquisas levaram a novas reduções no custo do preenchimento cimentado através da substituição de cimento, muito eficiente, porém o mais caro ligante, por insumos mais baratos, como refugos de forno e cinzas. Embora essa substituição possa refletir em um preenchimento com baixa resistência estrutural a longo das pesquisas, o preenchimento foi adequado para a necessidade de aplicação (ACG, 2014).

Figura 14: Vista esquemática de uma operação de preenchimento



Fonte: ACG, 2014.

### 3 PROCESSO METODOLÓGICO

O capítulo apresentara os procedimentos metodológicos utilizados na elaboração deste estudo, desde a classificação da pesquisa utilizada até os métodos específicos para a conclusão dos objetivos apontados na introdução do trabalho, assim como o histórico da empresa analisada.

#### 3.1 TIPO DE PESQUISA

Segundo Andrade (2003), metodologia tem a seguinte definição “conjunto de métodos ou caminhos que são percorridos na busca da informação.” Nada mais é que a metodologia, um roteiro a ser seguido pelo pesquisador, dando fundamento necessário para defender o tema abordado. O pesquisador necessita ter preocupação com os procedimentos a serem seguidos, para que no futuro a pesquisa possa ser reproduzida.

Para Gil (2010), a pesquisa pode ser definida como um processo formal e sistemático de construção de um método científico e tem o objetivo de descobrir respostas para problemas através do emprego de procedimentos científicos e tem o objetivo de descobrir respostas para problemas através da aplicação de procedimentos científicos.

Este estudo será desenvolvido seguindo uma abordagem qualitativa, a qual possui a vantagem de facilitar a descrição da complexidade de determinada hipótese ou problema (OLIVEIRA, 1999). Para Leonel (2011) o objetivo primordial da pesquisa qualitativa é conhecer as percepções dos autores pesquisados sobre o problema pesquisado, e do objeto da investigação.

A pesquisa é classificada como descritiva, está principalmente interessada em criar um modelo que descreva de forma adequada as relações causais que podem existir na realidade, o que leva a uma compreensão dos processos reais (MIGUEL, 2012).

#### 3.2 FERRAMENTAS DE COLETA DE DADOS

Como ferramenta de coleta de dados foram utilizadas, neste trabalho, as técnicas de pesquisa bibliográfica, documental e estudo de caso. A pesquisa bibliográfica é uma sinopse, a mais completa imaginável, que se refere ao trabalho e aos dados ligados ao tema em estudo, seguindo uma sequência lógica na visão de outros autores (LAKATOS, 2003). Para o mesmo

autor, a pesquisa bibliográfica compreende toda a bibliografia pertinente ao tema em estudo que já foi tornada pública, com a finalidade de colocar o pesquisador em contato direto com estas publicações.

O método de pesquisa utilizado é o estudo de casos, pois este garante o conhecimento mais profundo do objeto pesquisado, investigando determinada situação dentro de um contexto real, já aplicado. O estudo de casos pode descrever uma situação no contexto de determinada investigação, e auxilia na formulação de hipóteses ou no aperfeiçoamento de teorias (GIL, 2002).

Conforme Vergara (2006), a pesquisa bibliográfica é um estudo sistematizado desenvolvido em documentos publicados como livros, redes eletrônicas, revistas, jornais, materiais estes que estão disponíveis ao público em geral e podem ser de fontes primárias ou secundárias. A pesquisa bibliográfica fornece conteúdo analítico para outros tipos de pesquisa ou pode esgotar-se em si mesma.

Outra ferramenta utilizada no presente trabalho é a pesquisa documental. Esta pesquisa é aquela que é realizada em fontes como cartas, tabelas estatísticas, mapas, pareceres, fotografias, atas, relatórios, obras originais de qualquer natureza, escultura, desenho, notas, diários, ofícios, projetos de lei, discursos, testamentos, inventários, informativos, documentos informativos arquivados em repartições públicas, associações, igrejas, sindicatos, hospitais, e todo o tipo de documentos originais (SANTOS, 2000).

Godoy (1995) comenta que o estudo de caso consiste em avaliar e interpretar profundamente um tipo de pesquisa cujo objetivo é detalhar um ambiente em uma situação particular. Estudos ocorridos nas empresas para justificar o motivo de ocorrerem as mais determinadas situações. Os dados de estudo de caso são coletados pelo pesquisador por fonte primária ou secundária da observação do problema ou em entrevistas, os dados devem ser coletados de maneira qualitativa, o que isso não reflete que não possa ser usado a maneira quantitativa porém isso dependerá da situação e do que será pesquisado.

São abordagens que utilizam técnicas não quantitativas. Privilegiam estudos teóricos e análise de documentos e textos. Suas propostas são críticas e geralmente têm marcado interesse de 'conscientização' dos indivíduos envolvidos na pesquisa e manifestam interesse por práticas alternativas. Buscam relação entre o fenômeno e a essência, o todo e as partes, o objeto e o contexto. A validação da prova científica é buscada no processo lógico da interpretação e na capacidade de reflexão do pesquisador sobre o fenômeno objeto de seu estudo (MARTINS, 1994, p.26/ 27).

Segundo Triviños (1995), quando desenvolver um procedimento metodológico de estudo de caso, as consequências são corretas para o caso que se está analisando. De acordo que

o resultado da pesquisa também é importante para outras situações, com medidas aprofundadas em uma realidade cujo resultado permite encaminhar hipótese e soluções em outras pesquisas com situações similares.

### 3.3 FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DADOS

O processo de análise de dados é esclarecido por Kerlinger (1980) como “a categorização, ordenação, manipulação e sumarização de dados”. Tem por objetivo reduzir grandes quantidades de dados brutos a uma forma compreensível e mensurável.

Para analisar os dados é utilizada a técnica de análise de dados qualitativa categorial. Segundo Lüdke (1986), analisar os dados qualitativos constitui em “trabalhar” todo o material adquirido durante a pesquisa, ou seja, os relatos das observações, as transcrições de entrevistas, as análises de documentos e as demais informações disponíveis.

Bardin (1977) elucida que a categorização é uma operação de agrupamento de elementos que constituem um conjunto, por diferenciação e seguidamente por classificação segundo gênero, com critérios anteriormente estabelecidos. Dessa forma as divisões desse estudo são os objetivos específicos já definidos.

Para Oliveira (2008) a análise categorial considera o conteúdo em sua totalidade, passando por uma classificação que acompanha a frequência de presença ou ausência de itens de sentido. E a ideia inicial da análise qualitativa consiste em avaliar textos de forma sistemática, por meio de um sistema de divisões, desenvolvido a partir do material e guiado pela teoria.

### 3.4 HISTÓRICO DA EMPRESA

A Empresa, é registrada no seu acervo, em diários, sendo o primeiro datado de “Nova Veneza, 04 de janeiro de 1891”, atualmente a empresa completa 128 anos. O livro com as movimentações é mantido no acervo da Carbonífera Metropolitana, registrado no mesmo a movimentação financeira daqueles primeiros tempos de exercício da Companhia Colonizadora Metropolitana na Região de Nova Veneza.

O Diário tem como destaque, em sua primeira página o nome de Miguel Nápoli, diretor da companhia colonizadora em Santa Catarina, este agrimensor que atuava realizando a

divisão das terras em lotes e vendia aos povoadores imigrantes. Este primeiro registro de movimentação financeira, tem seu último lançamento registrado no dia 31 de janeiro de 1895.

Pesquisas apontam que aproximadamente no ano de 1894, um ano após a inauguração oficial da Colônia de Nova Veneza pelo Governo Federal, a Companhia Metropolitana começava a diversificação de suas atividades, inicialmente colonizadora e vendedora de terras passou a explorar de maneira ainda rudimentar o carvão mineral na região Sul do Estado Catarinense.

Por volta de 1941, entretanto, com inscrição de mina datado no ano de 1936, a Companhia iniciou a extração de carvão mineral em Santa Catarina. Neste ano, sua denominação passava para Carbonífera Metropolitana Ltda.

Já no início dos anos 40, estavam em atividades as minas abertas por famílias, como se observa pelos nomes das mesmas, Bratti, Colombo, De Brida, Colonial, Moretti e Zanette, estas foram abertas por colonos imigrantes italianos em suas propriedades.

A Carbonífera Metropolitana teve sua primeira mina aberta com o nome Dom Pedro, no bairro “Garagem”, próximo a região do Rio Maina e Boa Vista, também no início dos anos 40. A Carbonífera Metropolitana, tinha como seu representante Artur Albino e pertencia, na época, à família de Euvaldo Lodi.

Em 1945, em plena segunda Guerra Mundial, a família de Euvaldo Lodi encampou as minas próximas dos colonos italianos supracitados, indenizando as famílias e incorporando-as ao potencial de lavra da Carbonífera Metropolitana. Em julho de 1945, é enviado documento com plantas de várias minas, com assinatura do Engenheiro de Minas Euvaldo Lodi ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), onde iniciou a exploração de carvão pela Mineradora.

O jovem Santos Guglielmi, nascido em Morro da Fumaça em 28 de março de 1912, teve seu primeiro contato com a indústria carbonífera através de José João Vasconcelos, o José Meirinho, proprietário de uma empreiteira de carvão localizada entre Urussanga Velha e Esplanada, atual município de Içara. A segunda oportunidade foi com seu tio Pedro Guglielmi, morador de Vila Nova, que também empreitava uma pequena mineração que ficava no bairro Napolini, em Criciúma, e se chamava “Mina do Tonin” e minerava para Companhia Carbonífera Brasileira Araranguá.

Em 1948, Santos Guglielmi começa sociedade com Diomício Freitas, vendendo a “moinha”, considerada na época um rejeito do carvão, a pirita nos tempos atuais, que se nomeava como Sociedade Carbonífera Rio Caeté, localizada em Urussanga. Após dez anos

adquiriram a Carbonífera Cocal, com uma boca de mina em Cocal e Vila Visconde, em Criciúma.

Depois de quase três décadas de sociedade em 1969, as famílias Freitas e Guglielmi decidiram separar os negócios. Além de empresas em outros segmentos, foram divididas as carboníferas, ficando Carbonífera Metropolitana com a família Guglielmi e a Carbonífera Criciúma com a família Freitas.

Na década de 70, em 1974, foi implantado o projeto de mecanização na Mina União, no município de Criciúma, a primeira de suas unidades de extração totalmente mecanizada. A implantação das minas Esperança e Fontanella ocorreram em 1981, tendo-se iniciado a produção na Mina Esperança em 1984 e na Mina Fontanella, em 1985, ambas situadas no município de Treviso.

A partir de junho de 2011, a mineradora implantou uma inovação, com o processo de beneficiamento em meio denso, sendo pioneira no polo carbonífero de Santa Catarina. A empresa, já atuava com o processo de jigagem, associou este equipamento ao de meio denso. Com esta inovação e mais investimentos em novos equipamentos, como a gigantesca máquina Toro 400, trazida de uma mina de ouro do estado do Pará, e os investimentos na melhoria da produtividade e ambiente de trabalho, a Mina Fontanella chegou em 2012 assumir a liderança na produção no setor carbonífero catarinense. O foco da produção na mineradora atualmente é o abastecimento do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda – ENGIE, situado em Capivari de Baixo, estando nos planos da empresa a continuidade e a ampliação da lavra em função do projeto de instalação de uma termelétrica próximo à mina, denominada Usina Termelétrica Sul Catarinense – USITESC.

Até os dias de hoje o controle acionário da mineradora permanece à família, que mantém o Conselho de Administração e trata de outros negócios do então formado grupo de empresas da família Guglielmi.

Em busca da excelência no desempenho ambiental a empresa é certificada na Norma ISO14001 que segue padrões internacionais e nacionais, o que garante a qualidade do seu Sistema de Gestão Ambiental. Anualmente auditores avaliam as ações desenvolvidas pela empresa no cumprimento aos requisitos da norma.

Apesar do processo ser mecanizado a operação de lavra do carvão mineral exige expressivo número de colaboradores, atualmente fazem parte do processo cerca de 700 funcionários, destes 14 são Engenheiros, uma média de 50 colaboradores por Engenheiro, este quadro de pessoas é organizado através do organograma hierárquico da empresa que pode ser visto no ANEXO B.

## 4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Nesse capítulo do estudo será feita a apresentação do desenvolvimento dos estudos realizados na empresa pesquisada.

### 4.1 CARACTERÍSTICA DO REJEITO NA METROPOLITANA

De acordo com o trabalho da Geovita (2008), o atual depósito de resíduos sólidos da Carbonífera Metropolitana possui em torno de  $30,5 \text{ t} \times 10^6 \text{ t}$  e pode ser considerado como tendo duas fases distintas de formação no que se refere à caracterização do rejeito.

A primeira fase, que engloba dos anos 1984 a 1990, o rejeito depositado continha maior quantidade de carvão energético em função da necessidade se produzir carvões com poder calorífico mais elevado, predominantemente o denominado CPL – Carvão pré lavado, com teor médio de cinzas de 32,0% e PCS de 5.600 kcal/kg, para atendimento do mercado à época

Na segunda fase, de 1991 até metade de 2001, o rejeito passou a conter menos carvão devido à obtenção no lavador de carvão energético vendável com poder calorífico no intervalo de 5.200 a 4.500 kcal/kg, predominando o carvão energético para atendimento do Complexo Jorge Lacerda – TRACTEBEL, com teor de cinzas de 43,0% e PCS – Poder Calorífico Superior de 4.500 kcal/kg

As características predominantes dos rejeitos existentes no atual depósito de resíduos sólidos da Carbonífera Metropolitana são descritos na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**05 e tabela 06. A análise se divide em duas categorias: a primeira correspondendo aos rejeitos depositados até 1990 e a segunda representativa dos rejeitos depositados de 1991 em diante

Tabela 05: Características dos rejeitos

Parâmetro (base seca)	Rejeitos Grossos (até 1990)	Rejeitos Finos (até 1990)	Rejeitos Totais (até 1990)	Rejeitos Grossos (após 1990)	Rejeitos Finos (após 1990)	Rejeitos Totais (após 1990)
Cinza (%)	77,0 a 79,0	59,0 a 63,0	76,4	79,0 a 81,0	59,0 a 63,0	78,2
Matéria Volátil (%)	12,0 a 14,0	16,0 a 19,0	12,9	12,0 a 14,0	16,0 a 19,0	12,9
Enxofre (%)	5,0 a 7,0	1,7 a 3,0	5,7	5,0 a 7,0	1,7 a 3,0	5,7
PCS (kcal/kg)	900 a 1100	2550 a	1153	800 a 1000	2550 a	1063
PCS (BTU/lb)	1620 a 1980	4590 a	2075	1440 a 1800	4590 a	1913

Fonte: Geovita, 2008.

Tabela 06: Distribuição granulométrica dos rejeitos.

Classe de Tamanho	Grosso (%)	Fino (%)	Total (%)
> 1 ½"	2,3		2,1
1 ½" x 1"	13,5		12,2
1" x ½"	40,5		36,7
½" x ¼"	20,0		18,1
¼" x 0.6 mm	22,5		20,4
0.6 mm x 0.15 mm	1,2	5,0	1,6
0.6 mm x 0.74 mm		3,0	0,3
< 0.74 mm		92,0	8,6
			<b>100,0</b>

Fonte: Geovita, 2008.

Esta divisão reflete a mudança no processo de beneficiamento do carvão que resultou da alteração das características do carvão beneficiado por força do perfil do mercado após 1990.

Os dados dos rejeitos da Carbonífera Metropolitana são apresentados em base seca. Na descarga do lavador, o rejeito apresenta teor de umidade total de 8,0%. Na pilha de rejeito, os teores de umidade total variam de 3,0% a 6,0%, sendo 5,0% considerado teor típico de umidade.

#### 4.2 MÉTODO DE TRATAMENTO DE REJEITOS METROPOLITANA

O formato do depósito de rejeitos da Carbonífera Metropolitana é de um trapézio de formato irregular, com comprimento maior no sentido norte-sul, com aproximadamente 800 metros, e largura média com cerca de 400 metros. A leitura da planta do depósito de rejeito fornecida pela empresa mostra que o referido depósito possui topo relativamente plano, com cota máxima de 270 metros em sua porção norte. Na base a cota é de 208 metros em seu vértice sudeste.

Considerando-se a diferença entre a cota máxima e a cota mínima, o depósito possui altura de 62 metros. O mesmo se constitui de doze bancadas com aproximadamente 05 metros cada e possui inclinação dos taludes na ordem de 22°. A figura 15, ilustra uma das bancadas do

depósito de rejeito. Atualmente os dois depósitos de rejeitos juntos constituem cerca de 60 milhões de m<sup>3</sup>.

Figura 15: Bancada de rejeito sem cobertura vegetal



Fonte: Do autor, 2019.

Na base de cada bancada é implantado um patamar chamado de berma, sobre o qual é construído um sistema de drenagem superficial com a função de captar as águas pluviais que escoam no talude de cada bancada.

Para a retirada das águas superficiais do depósito, é construído escadas em alvenaria, como mostra a figura 16, que recebem a água em pontos específicos de cada bancada, as transportando até a base do depósito de rejeito, da qual parte é drenada por gravidade para a bacia de acumulação e parte é bombeada para as bacias de decantação, retornando também à bacia de acumulação.

Figura 16: Escada em alvenaria para condução das águas superficiais.



Fonte: Metropolitana, 2019.

Posteriormente, os taludes e as bancadas são blindados com material argiloso de uma determinada espessura, e sofrem um processo de compactação realizado por máquinas, até essa cama atingir aproximadamente 0,5 metros de espessura. Tal processo é realizado a fim de impermeabilizar o depósito de rejeito mineral com material argiloso, tendo como objetivo minimizar a infiltração das águas pluviais para o interior da pilha de rejeitos, dessa forma evitando a geração de drenagem ácida de mina, conhecida como DAM.

Os taludes já blindados com o material argiloso, passam pelo processo de semeadura, ou seja, implantação da cobertura vegetal. Essa cobertura vegetal tem como principal função conter a atuação de processos erosivos, como também melhorar o aspecto paisagístico do local.

Na etapa de revegetação do local, inicialmente é aplicado camadas de materiais férteis, que ajudam no crescimento da vegetação, sendo elas a cama de aviário e a turfa ambiental e por fim semeado as sementes de gramíneas. A figura 17, demonstra o depósito de rejeito, já totalmente cobertos pela vegetação ao fundo e sua formação antes de ser coberto por material argiloso.

Figura 17: Ao fundo da imagem, área totalmente coberto por vegetação gramínea. Também sendo vista uma bancada em processo de construção.



Fonte: Do autor, 2019.

Atualmente, grande parte dos taludes pertencentes a Mina Esperança encontram-se cobertos por vegetação e com escadas de alvenaria para drenagem superficial. Sendo que estes taludes são periodicamente vistoriados por ocasião do monitoramento geotécnico como demonstra figura 18.

Figura 18: Monitoramento de erosão.

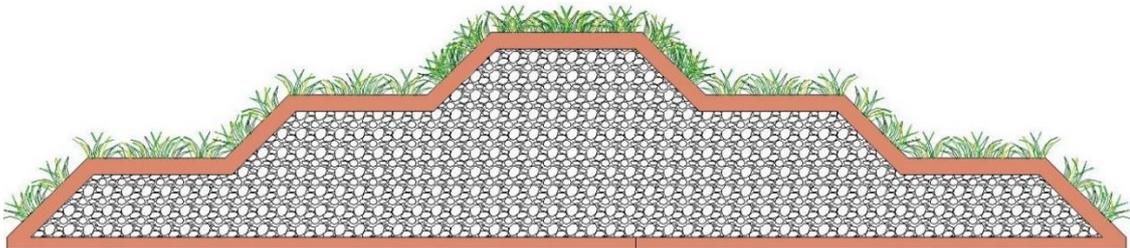


Fonte: Carbonífera Metropolitana, 2019.

E para todos os locais onde se identificam sulcos de erosão ou quaisquer outras inconformidades, o setor de meio ambiente da empresa empreende ações a fim de corrigi-los.

Como final da etapa, a figura 19 demonstra a representação esquemática do resultado e aparência final da célula de rejeitos. No topo temos a vegetação gramínea, seguida da camada de material argiloso e adubo, no centro o hatch na cor escura, representa o rejeito do carvão mineral. Com o material inerte ao meio aquoso e contato com o oxigênio o material não apresenta risco ao meio ambiente.

Figura 19: Corte, figura esquemática da célula de rejeitos.



Fonte: Do autor, 2019.

A Carbonífera já instituiu um novo local para os depósitos de rejeitos da Mina Esperança, conforme figura 20, área destacada em vermelho. Tal área encontra-se um pouco afastada da mina, dificultando a logística de transporte do rejeito de carvão mineral, sendo assim aumentando os custos operacionais.

Figura 20: Área de depósito de rejeitos atual e a nova em vermelho.

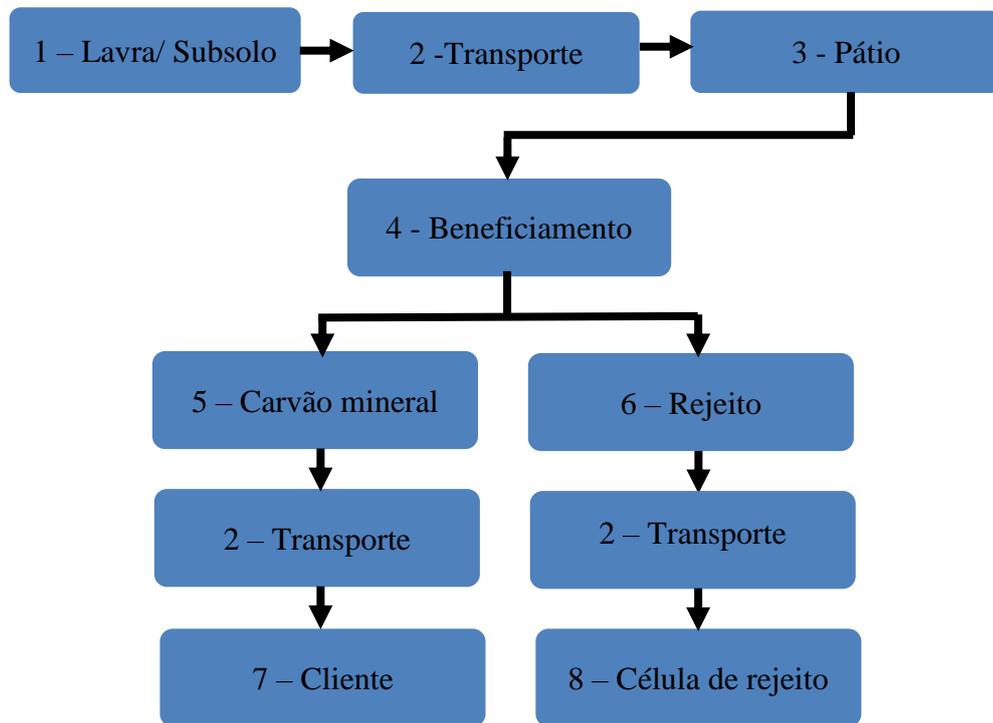


Fonte: Do autor, 2019.

#### 4.3 LOGÍSTICA DOS REJEITOS

O rejeito sólido atualmente segue o fluxograma demonstrado na figura 21, da frente de lavra, onde ainda misturado com o carvão, posteriormente é transportado na maior parte por esteiras, pode percorrer até 7 km até o beneficiamento, onde é separado do carvão que segue para o cliente, agora apenas rejeito esse é transportado por esteira até uma espécie de caixa de rejeitos, conforme Figura 22, embarcado no caminhão até a célula de rejeitos que fica a uma distância de aproximadamente 0,5 km. Já o projeto da nova célula de rejeitos Figura 20 fica em torno de 2,5 km do beneficiamento onde o rejeito é coletado.

Figura 21: Fluxograma atual do rejeito.



Fonte: Do autor, 2019.

Figura 22: Caixa de transporte de rejeitos.

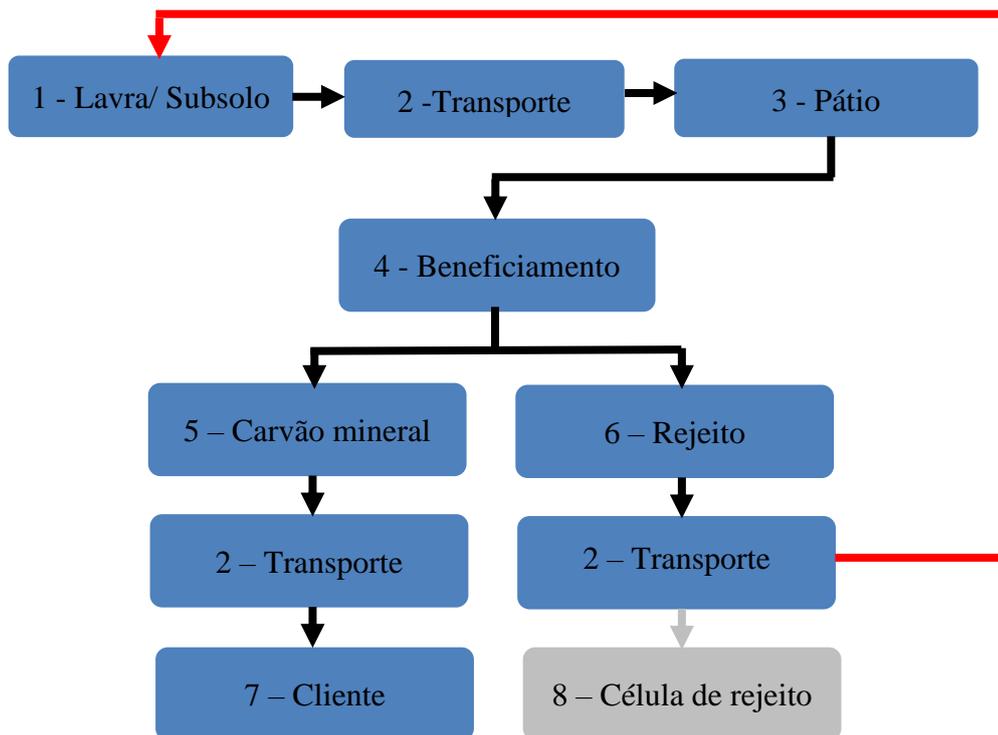


Fonte: Do autor, 2019.

Pela principal característica do Backfill, ser uma técnica de retorno do rejeito até as galerias já lavradas as distâncias, logo os custos de transporte do rejeito mudam consideravelmente pois a logística antes realizado por caminhões até a célula de tratamento de rejeitos, não ocorre mais (em cinza na figura 23), sendo substituído por outro percurso (em

vermelho na figura 23), esse de uma distância curta ao ar livre, e uma distância longa no subsolo, até as frentes já lavradas, onde será realizado o backfill. As passagens, do percurso no subsolo até as frentes de lavra (galerias), geralmente são estreitas e baixas, por esse motivo o transporte do rejeito será utilizado esteiras ou dutos, dependendo da mistura que o rejeito receber.

Figura 23: Fluxograma rejeito com a implementação do backfill.



Fonte: Do autor, 2019.

#### 4.4 PROJETO BACKFILL METROPOLITANA

Assim como a mineração o beneficiamento do carvão mineral e consequentemente a geração de rejeitos é consequência direta do processo produtivo do minério. Do carvão bruto ROM extraído e beneficiado, consequentemente ocorre a geração de aproximadamente 55% de rejeitos que atualmente são dispostos em células de rejeitos.

Considerando a produção mensal atual em cerca de 50.000 toneladas de ROM por mês, e esta deverá se manter para os próximos meses, tendo em vista o histórico de lavra conforme tabela 07 está prevista a geração de cerca de 27.500 toneladas mensais de rejeitos

equivalentes a geração de um volume de rejeito na casa dos 20.370 m<sup>3</sup> mensais, considerando como fator de conversão a densidade do rejeito 1,35 tonelada/m<sup>3</sup>.

Tabela 07: Produção bruta de minério, produto, rejeito em massa e volume.

Produção	2015	2016	2017	2018	Mai/19
ROM (tonelada)	1.180.000	1.150.000	1.200.000	1.180.000	50.000
Carvão (tonelada)	531.000	517.500	540.000	531.000	22.500
Rejeito (tonelada)	649.000	632.500	660.000	649.000	27.500
Rejeito (m <sup>3</sup> )	480.741	468.519	488.889	480.741	20.370

Fonte: Do autor, 2019.

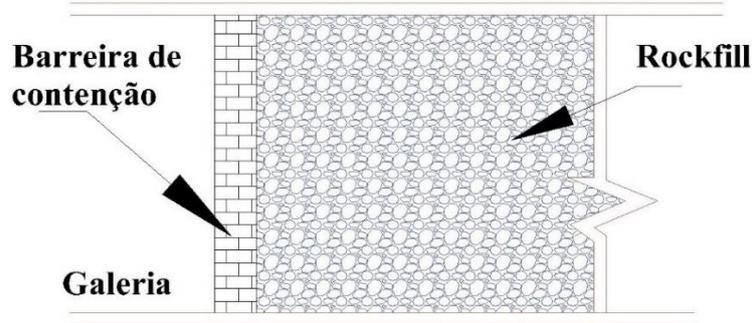
Atualmente a mineradora dispõe de muitas áreas já mineradas, entretanto, as áreas escolhidas para o início do projeto, pois são as áreas nas quais a execução do projeto não interfere nas rotinas de produção, de logística do ROM, e de manutenção das galerias da mina. Além disso, ficam praticamente equidistantes do furo de alimentação.

Estas áreas já lavradas, somam juntas 180.018,49 m<sup>3</sup> de volume disponível em subsolo, ou cerca de 243.024,96 toneladas em massa. Em tese, temos cerca de 8 meses e 25 dias para preencher todo este volume, considerando que a totalidade do rejeito gerado pelo beneficiamento seja inserida de volta no subsolo, desconsiderando a utilização de aglutinantes para geração do Rockfill.

O projeto prevê o preenchimento de rejeitos de forma tecnicamente orientada (Figura 24 e 25), onde serão dispostos nas galerias já lavradas no subsolo, iniciando o processo pelo transporte do rejeito via furo de alimentação. Após o transporte do material até as galerias (áreas lavradas), acontecerá o processo de depósito do resíduo, isolamento do mesmo com o contato do oxigênio e água através de muros.

Figura 24: Galeria recebendo o rockfill – vista lateral.

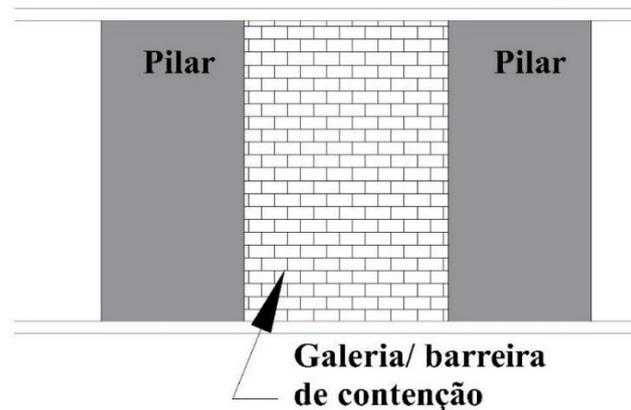
**Teto sobre a camada de carvão e sustentação das galerias**



Fonte: Do autor, 2019.

Figura 25: Galeria recebendo o rockfill – vista frontal.

**Teto sobre a camada de carvão e sustentação das galerias**



Fonte: Do autor, 2019.

Após a realização do preenchimento o processo não acaba pois o local segue sendo monitorado continuamente e medições serão feitas para aferirem a qualidade do ar, temperatura, DAM – Drenagem ácida de mina, ventilação, análise da operação como um todo e do material depositado.

#### 4.4.1 Escolha do local no subsolo

O local escolhido no subsolo para receber o preenchimento rockfill, leva em conta os seguintes fatores:

- Permite reestabelecer o circuito de ventilação necessária à operação;

- Situa-se em região próxima ao baricentro da jazida, possibilitando assim um melhor aproveitamento do furo por onde o material será inserido na mina;
- Não interfere as rotinas operacionais da mina de modo geral.

Desse modo, a proposta vem diretamente de encontro à minimização dos problemas acima expostos e pretende dar outra garantia a mineração, um melhor aproveitamento da jazida como um todo, ou seja, uma melhor recuperação da jazida via possível redução do tamanho dos pilares imediatamente e/ou no decorrer da execução do projeto de backfill.

#### **4.4.2 Material na superfície.**

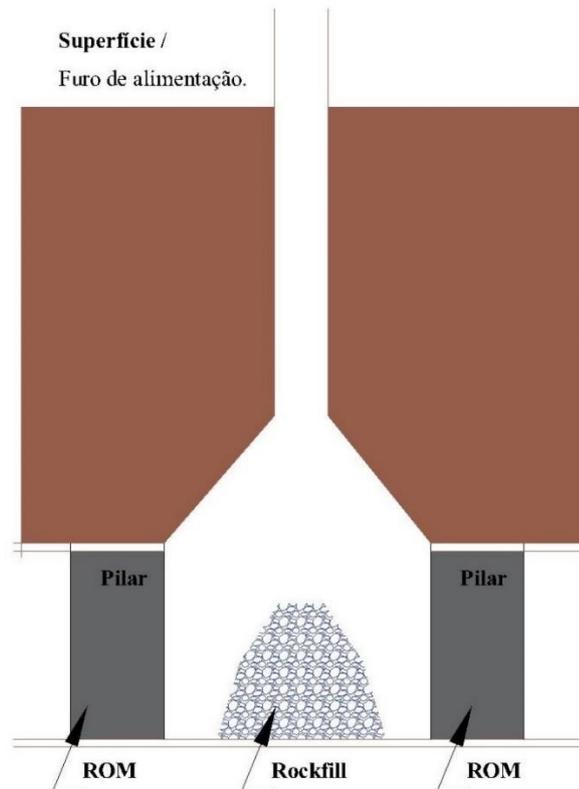
O início do processo é realizado na superfície, onde o rejeito é carregado em caminhões caçamba com capacidade para até 20 toneladas da usina de beneficiamento. A partir daí o material é transportado até o furo de alimentação, onde foi construído um silo para descarga do material, e uma correia transportadora que conduz o material até a boca do furo, por onde cai por gravidade até o subsolo.

O acionamento da correia transportadora é realizado pelo próprio motorista do caminhão, bastando ligar a correia em um painel simples de liga/desliga. Caso seja necessário interromper o processo em subsolo, esta correia possui sistema de bloqueio que permite a sua paralisação, com sistema de emergência, podendo ser acionada novamente após o seu desbloqueio.

#### **4.4.3 Material no subsolo.**

Em subsolo, na região onde o furo de alimentação foi implantado, um realce de 4,50m de altura foi feito no teto para criar mais espaço de deposição do rejeito trazido da superfície, de tal modo que o número de caminhões necessários para o transporte, fosse o menor possível sem a paralisação de todo o processo, ou seja, foi criado em subsolo espaço para um “pulmão” para o processo, como demonstra a Figura 26.

Figura 26: Transporte rejeito superfície até subsolo.



Fonte: Do autor, 2019.

Devido à distância do local do furo até o local de que será alocado o rockfill em subsolo, foram instaladas correias transportadoras e um alimentador para que o número de equipamentos fosse o menor possível e o processo ganhasse agilidade e velocidade.

No final da segunda correia transportadora, o material é descarregado diretamente sobre um caminhão de capacidade 20 toneladas. O caminhão, possui caçamba com sistema de ejetor, pois apesar da mina ter altura média de 3,50 metros, não é possível fazer a caçamba bascular o material.

Após o carregamento, o caminhão segue para as áreas indicadas, para receber o rockfill e descarrega o material, o mais perto do final da galeria possível. Um trator de esteira ou trator de carregadeira, empilha o rejeito na galeria, tal qual como um processo de aterro a céu aberto, alteando as camadas de material visando ocupar o máximo de espaço possível, tanto verticalmente como lateral.

Este processo é repetido até que toda galeria esteja totalmente preenchida com o rockfill. Conseqüentemente à medida que as áreas forem sendo ocupadas pelo rejeito, a correia

transportadora será encurtada gradativamente até as proximidades do furo de alimentação, dando continuidade ao processo.

#### 4.4.4 Cronograma de execução

Partindo da produção de ROM da Mina, que está em torno de 3.000 toneladas/dia e a recuperação do lavador está em torno de 45%, temos cerca de 1.650 toneladas/dia rejeito a ser depositado na mina, um volume de 1.222 m<sup>3</sup>. Considerando-se 21 dias úteis trabalhados, temos um total de 34.450 toneladas/mês de rejeito um volume de 25.667m<sup>3</sup> a ser alocado na célula de rejeitos ou no subsolo da mina.

O processo de execução está dividido em seis fases distintas, definidas de acordo com a área a ser preenchida. Ao final de cada fase, a correia transportadora será encurtada em seu comprimento e a área preenchida será lacrada com paredes de alvenaria, para evitar renovação de oxigênio em contato com o rejeito.

O cronograma proposto na tabela 08, prevê que toda a área proposta seja preenchida até o mês de abril do corrente ano, embora os dados indiquem que a área disponível nos permita apenas oito meses de trabalho. Neste cronograma estão considerados os tempos de parada para redução do comprimento das correias e sua reconstrução, problemas mecânicos com equipamentos, problemas com correias, com caminhões na superfície, problemas no beneficiamento, entre outros.

Tabela 08: Cronograma backfill

Etapas do Projeto	Meses												
	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago
Inst. correias													
Inst. alimentador													
Inst. ventilação													
Teste geral													
Início da operação													
Monitoramento													

Fonte: Do autor, 2019.

#### **4.4.5 Sistema de isolamento**

O sistema de isolamento realizados com tijolos de cimento, tem o objetivo de minimizar o contato do rockfill com o oxigênio e água, pois a alteração da qualidade da água pela oxidação do rejeito poderá ocorrer em função da estocagem e beneficiamento do carvão ROM, transporte e disposição final de rejeitos.

Quando exposto ao ar e à água, o rejeito da origem inicialmente ao sulfato de ferro e ácido sulfúrico, depois disso, a uma série de compostos ácidos e de ferro, responsáveis pelo baixo pH, alta acidez e altos conteúdos de ferro e sulfatos das águas, derivadas da drenagem das minas subterrâneas, dos efluentes de beneficiamento, e da drenagem das minas a céu aberto e dos depósitos de rejeitos, em operação ou abandonados. Por esses motivos supracitados é necessário garantir o isolamento do material ao meio aquoso e ao ar.

#### **4.4.6 Monitoramento**

O plano de monitoramento tem principal finalidade, acompanhar os efeitos do rockfill no depósito quanto as reações químicas e solubilização dos metais na presença de ar e da água. Verificar a eficiência do sistema de isolamento, ventilação, qualidade do ar, permeabilidade, temperatura, infiltração. Acompanhar também a evolução das reações químicas, bem como a necessidade de medidas.

## 5 CONCLUSÃO

Uma vez estabelecidas todas as garantias operacionais necessárias, a deposição do rejeito no subsolo, além das vantagens acima expostas, sugerirá a eliminação dos depósitos a céu aberto, largamente utilizados há muitos anos, o que representará um ganho visual e ambiental de grandes proporções, tanto no presente quanto no futuro.

Os primeiros testes na Mina mostraram que podem ser depositadas cerca de 600 a 900 toneladas/dia de rejeito, com um turno de operação. Isso corresponde entre 45% a 61% da produção de rejeito da usina de beneficiamento em dois turnos, ou seja, um dia útil. Vale ressaltar que o teste foi feito somente com um caminhão, o que sugere que quando o segundo caminhão estiver em operação, é provável que todo o rejeito gerado em um dia normal de operação seja colocado de volta no subsolo, minimizando muito a necessidade de células de rejeito de dimensões faraônicas em superfície, reduzindo enormemente os impactos ambientais, os custos de aquisição de terrenos para depósitos e os custos de manutenção e monitoramento dos depósitos.

Por se tratar de um volume restrito para realização do preenchimento o projeto de retorno de rejeito, será interrompido até as galerias serem lavradas, as operações finalizadas, podendo assim serem “invadidas” pela operação de backfill nas galerias. É importante ressaltar que a atividade de monitoramento não é interrompida, esta segue sem interrupções.

A técnica Backfill utilizada foi do tipo Rockfill, sem blend, ou seja, mistura, este por conta da característica geométrica do rejeito. A não utilização de aglutinantes foi devido ao alto custo dos mesmo e a não perspectiva de utilizar o Rockfill como pilar para maximizar a lavra já que os pilares deixados na maioria das vezes é o próprio minério ROM.

É pertinente ressaltar que o estudo mais aprofundado do uso de aglutinantes e planejamento da lavra em função de novos locais para preenchimento está em evidência devido a alteração da distância da célula de rejeitos, gerando assim maiores gastos de logística, tendo em vista o custo operacional elevado da operação.

Diante do tempo de estudo deste trabalho e custos envolvidos em relação aos assuntos abordados no objetivo geral e específico, ambos foram alcançados, através de estudo de caso na empresa estudada e bibliografias aqui descritas no trabalho. Entretanto se o espaço de tempo para a pesquisa fosse maior, haveria pontos mais abrangentes em relação a disposição final dos rejeitos de carvão mineral, em especial o estudo dos rejeitos em relação as

características mecânicas e estruturais, para assim auxiliar a recuperação de pilares, permitindo aumentar das taxas de extração de minérios.

Sendo assim fica a lacuna, indagação e sugestão do autor quanto a trabalhos futuros envolvendo rejeito misturado com aglutinantes e cimento, estes realizados através de amostras e testes em laboratórios, para que assim o rejeito possa servir como pilar das galerias já mineradas.

## 6 REFERÊNCIAS

ACG, Australian Centre for Geomechanics, 2014. Disponível em: [https://acg.uwa.edu.au/wp-content/uploads/2014/11/MF2005\\_Handbook\\_Mine\\_Fill.pdf?x61109](https://acg.uwa.edu.au/wp-content/uploads/2014/11/MF2005_Handbook_Mine_Fill.pdf?x61109) Acesso em: 22 mai. 2019.

ANEEL, Fontes não-renováveis 2019. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par3\\_cap9.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par3_cap9.pdf) Acesso em: 02 mar. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CARVÃO MINERAL – ABCM. Fernando Luiz Zancan. Disponível em: [http://www.carvaomineral.com.br/interna\\_noticias.php?i\\_conteudo=726](http://www.carvaomineral.com.br/interna_noticias.php?i_conteudo=726) Acesso em: 05 abr. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CARVÃO MINERAL – ABCM. Fernando Luiz Zancan. Disponível em: <http://www.engeplus.com.br/tv/diretoaponto/fernando-zancan-presidente-da-abcm-02-04-19> Acesso em: 05 abr. 2019.

B.D. Thompson, W.F. Bawden, and M.W. Grabinsky. In situ measurements of cemented paste backfill at the Cayeli Mine. Disponível em: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/t2012-040%40cgj-ec.2015.01.issue-1> Acesso em: 03 mar. 2019.

Barbosa Ferreira Filho, Carlos Augusto Ramos Neves. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/santa-catarina/anuario-mineral-estadual-santa-catarina-2017-anos-base-2014-2015-e-2016.pdf/view> Acesso em: 20 mar. 2019.

BARDIN, L. Análise de Conteúdo. Lisboa: Edições 70, 1979.

BOLLMANN, Arno, Diagnóstico do Carvão Mineral Catarinense, 1990.

BORTOT, Adhyles, O Cadastro Técnico Multifinalitário Na Avaliação De Impactos E Na Gestão Ambiental, 2002.

BP, Análise Estatística da BP sobre a Energia Mundial. Disponível em: [https://www.bp.com/pt\\_br/brazil/sala-de-imprensa/noticias/analise-estatistica-da-bp-sobre-a-energia-mundial-2018.html](https://www.bp.com/pt_br/brazil/sala-de-imprensa/noticias/analise-estatistica-da-bp-sobre-a-energia-mundial-2018.html) Acesso em: 19.ma. 2019.

CERVO, Amado L.; BERVIAN, Pedro A. Metodologia científica. 5ª ed. São Paulo:

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM, Balanço Mineral Brasileiro 2001, Luís Paulo de Oliveira Araújo, Roberto Ferrari Borba. Disponível em: [www.anm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/balanco-mineral-brasileiro-2001](http://www.anm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/balanco-mineral-brasileiro-2001) Acesso em: 01 mar. 2019.

FERRAZ, F. Aperfeiçoamento técnico dos serviços de engenharia em atividades de mineração: 2o trabalho, 3o relatório, disposição de rejeitos. Belo Horizonte, 1992. 62 p

GEOVITA 2008. Projeto executivo do depósito de rejeito. Fonte: Banco de Dados da Carbonífera Metropolitana S/A. Inédito.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e Técnicas de Pesquisa Social. 5.ed. São Paulo: Atlas,1999.

GOMES, Aramis Pereira. FERREIRA José Alcides F. ALBUQUERQUE Luiz Fernando. SUFFERT Telmo. – Carvão Fóssil. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40141998000200006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141998000200006) Acesso em: 05 mar. 2019.

GOMES, T. M. H. Estudo da Estabilidade de Portas de Enchimento. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689244997255727/Dissertacao%20Portas%20de%20Enchimento.pdf> Acesso em: 03 mar. 2019.

GUGLIELMI, Realdo. Carvão. Santa Catarina. jan. 1980.

HEEMANN, R.; COSTA. J. C. F., 2008, Emprego da tecnologia de backfilling na gestão de resíduos sólidos da mineração de carvão. CETEM, RJ –Brasil.

HULSE, José Correa. OLIVEIRA, Ronê de. Aspectos sobre carvão mineral. 2. Ed. Santa Catarina. jan. 1985.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA, Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas, Ana Paula Moreira da Silva João Paulo Viana André Luís Brasil Cavalcante. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7702/1/RP\\_Diagn%C3%B3stico\\_2012.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7702/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf) Acesso em: 11 abr. 2019.

IPE, Empresa de Pesquisa Energética, Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> Acesso em: 21. ma. 2019.

IPEA, Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas. Disponível em:

[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7702/1/RP\\_Diagn%C3%B3stico\\_2012.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7702/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf)

Acesso em: 25 mar. 2019.

KARAS, FLE / SIECESC - SINDICATO DA INDÚSTRIA DE EXTRAÇÃO DE CARVÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA - Relatório de atividades Relatório de atividades - Parcial 2009. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/rede-carvao/Projeto11-Backfill.pdf> Acesso em: 04 mar. 2019.

LANDMANN, Peter, Método De Lavra De Carvão No Brasil Subsolo E Céu Aberto, 1984

LEONEL, Vilson. Ciência e pesquisa: livro didático. Palhoça : UnisulVirtual, 2011.

LOPES, Marcos. Disponível em: <https://tecnicoeminerao.com.br/carvao-mineral-no-brasil-e-no-mundo/> Acesso em: 08 mar. 2019.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, Gilberto de Andrade. Manual para elaboração de monografias e dissertações. 3 ed. São Paulo:Atlas, 1994.

McLeod, A. (1992). Arnold Black and Hydraulic Fill: Mineral Heritage Oration, AusIMM Annual Conference, Broken Hill, Australia,

METROPOLITANA – CARBONÍFERA METROPOLITANA S/A. Banco de Dados da Carbonífera Metropolitana S/A. Treviso, 2019

MIGUEL, Paulo a. Cauchick, Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.

MILIOLI, Geraldo, Mineração de Carvão Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável no Sul de Santa Catarina, 2009.

Montenegro Danilo, O Enxofre do Carvão – Sua Recuperação e Industrialização, ICC Agosto de 1954.

Pearson Prentice Hall, 2002.

Pércio de Moraes Branco, 2014 Companhia de pesquisa de recursos de Minerais. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Carvao-Mineral-2558.html> Acesso em: 07 mar. 2019.

Possa, Mario V. Desempenho de Cobertura Seca em Escala Piloto para Abatimento de DAM Gerada Por Rejeito de Carvão. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/images/congressos/2009/CAC01930009.pdf> Acesso em: 08 mai. 2019.

SOARES, Paulo Sérgio Moreira. SANTOS, Maria Dionisia Costa dos. POSSA, Mario Valente. Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

SOCIEDADE DE ASSISTÊNCIA AOS TRABALHADORES DO CARVÃO – SATC. Base de Dados. Disponível em: <http://www.biblioteca.satc.edu.br/pergamum/biblioteca/index.php> Acesso em: 07 mar. 2019.

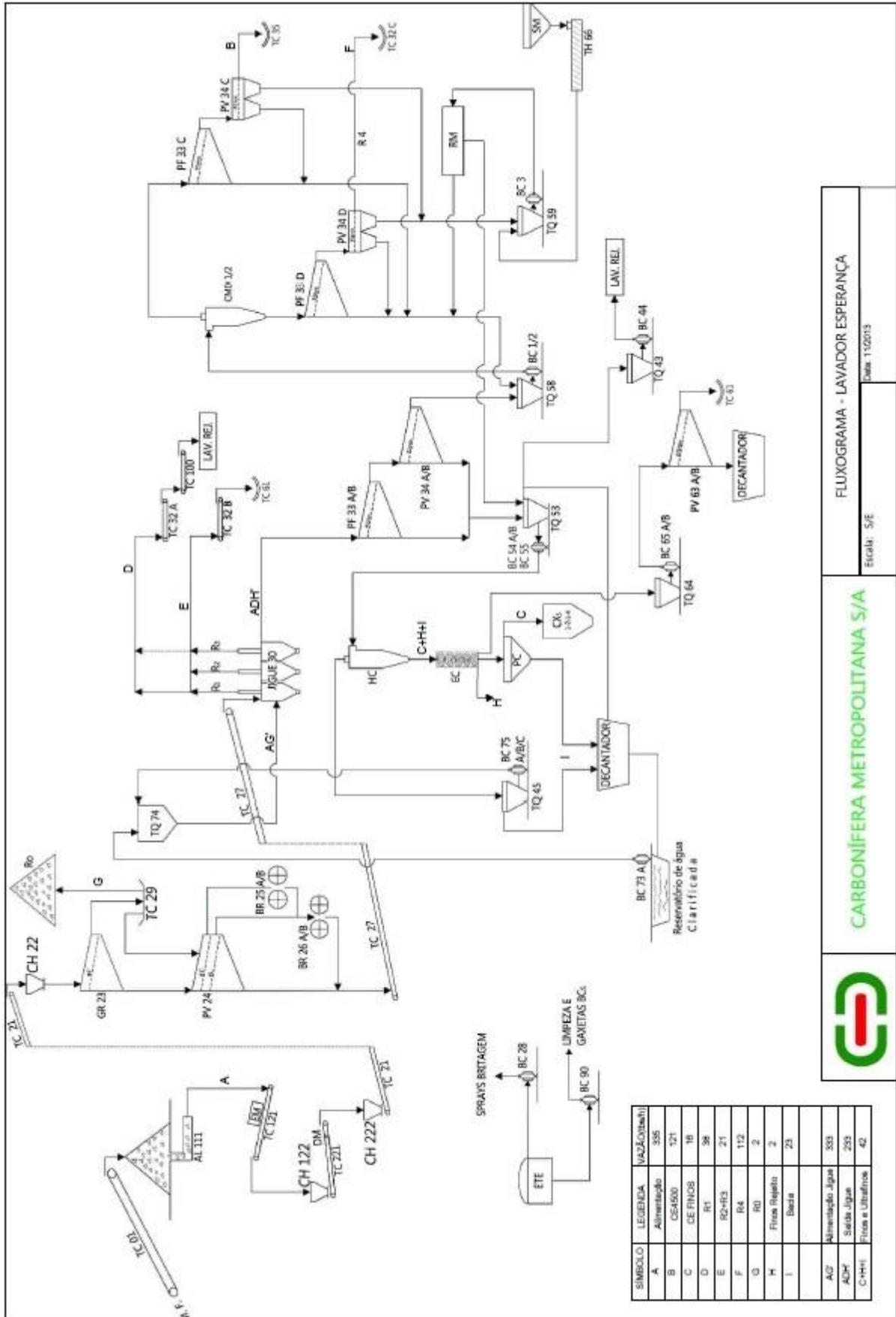
VALE, Disponível em: [http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/atualizacoes\\_brumadinho/Paginas/Entenda-as-barragens-da-Vale.aspx](http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/servicos-para-comunidade/minas-gerais/atualizacoes_brumadinho/Paginas/Entenda-as-barragens-da-Vale.aspx) Acesso em: 03 mar. 2019.

VEENSTRA, Ryan - Underground Mine Backfilling in Australia Using Paste Fills and Hydraulic Fills – 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40891-015-0020-8> Acesso em: 04 mar. 2019.

VERGARA, Sylvia Constant. Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração. São Paulo: Atlas, 2006.

**ANEXOS**

ANEXO A - Fluxograma do Beneficiamento do Carvão



SÍMBOLO	LEGENDA	VAZÃO (t/h)
A	Alimentação	335
B	CS4000	121
C	DE FINOS	16
D	R1	38
E	R2+R3	21
F	R4	112
G	R0	2
H	Finos Rejeito	2
I	Bacia	23
AG	Alimentação água	333
ADH	Seda água	253
C+HH	Finos e Ultrafinos	42



**CARBONIFERA METROPOLITANA S/A**

FLUXOGRAMA - LAVADOR ESPERANÇA

Escala: 5/E

Data: 11/02/13

ANEXO B – Organograma Hierárquico

