



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS E DE PETRÓLEO

POSTERGAÇÃO DE FECHAMENTO DE MINA ATRAVÉS DE INICIATIVAS  
SUSTENTÁVEIS

Trabalho apresentado para a Disciplina Sustentabilidade na Indústria Extrativa, do Programa de Pós-Graduação (PPGEMin) do Departamento de Engenharia de Minas e do Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Prof. Dr Luís Enrique Sanchez

Equipe Técnica:  
Brena Barros Cavalcante  
Lucas Zucchi Silva

São Paulo

2019

<sup>1</sup>BRENA BARROS CAVALCANTE

<sup>2</sup>LUCAS ZUCCHI SILVA

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo  
Rua Professor Mello Moraes, 2373. Butantã, São Paulo.  
[brenabarros@gmail.com](mailto:brenabarros@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo  
Rua Professor Mello Moraes, 2373. Butantã, São Paulo.  
[l.zucchi@gmail.com](mailto:l.zucchi@gmail.com)


## POSTPONING MINE CLOSURE THROUGH SUSTAINABLE INITIATIVES


Trabalho apresentado para a Disciplina Sustentabilidade na Indústria Extrativa, do Programa de Pós-Graduação (PPGEMin) do Departamento de Engenharia de Minas e do Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.


São Paulo

2019

## RESUMO

A mineração, por ser um empreendimento de larga escala e utilizar recursos não renováveis, tem inúmeros impactos conhecidos para a sociedade e para a natureza. Ao longo dos últimos anos, a consciência de que uma mineração sustentável era necessária aumentou. 

Dentro deste contexto, as empresas de mineração viram que aproveitar melhor o recurso mineral já existente, de modo a postergar o fechamento das minas atuais, é uma excelente maneira de ser sustentável  reduzir impactos para a sociedade.

Neste artigo, o objetivo é embasar conceitualmente as práticas utilizadas nos empreendimentos mineiros, para postergar o fechamento das minas, e mostrar um caso de sucesso de gerenciamento adequado do recurso mineral e consequente adiamento do fechamento da mina, com práticas sustentáveis utilizadas ao longo dos anos. 

Palavras Chave: Mineração Sustentável; Fechamento de mina; Recuperação de Pilares; Lavra de baixo teor; Recurso Mineral

## **ABSTRACT**

Mining is a large scale business and uses non-renewable resources causing numerous impacts to community and environment. Throughout last years, sustainable mining consciousness has increase among mining companies.

Following this context, companies are looking to better manage your mineral resources in a way that could postpone mine closure. This approach output as a good initiative to reduce environment and community impacts from mining activities.

In this paper, the aim is to put in perspective the concepts of practices that are being used by mining companies to postpone mine closure and show a case study that successfully postpone mine closure through good mineral resources management and sustainable mining practices.

**Keywords:** Sustainable Mining; Mine Closure; Pillar recovery; Low grade recovery; Mineral Resources

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1. A sustentabilidade nas indústrias extrativas</b> .....	1
<b>1.2. As atividades da Votorantim Metais Zinco e localização</b> .....	1
<b>1.3. Aproveitamento de rejeitos e a sustentabilidade nas indústrias extrativas</b> .....	3
<b>1.4. Objetivo</b> .....	4
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	4
<b>2.1. Recuperação de pilares</b> .....	5
<b>2.2. Mineração de áreas de baixo teor</b> .....	6
<b>2.3. Reaproveitamento de resíduos</b> .....	7
<b>2.4. Exploração “Brownfield”</b> .....	7
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	8
<b>4. DADOS LEVANTADOS</b> .....	9
<b>5. DISCUSSÕES</b> .....	14
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	16
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	17

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. A sustentabilidade nas indústrias extrativas**

A sustentabilidade, hodiernamente, é empregada nos mais diversos setores industriais, visto que é de interesse de todos respeitar e preservar o meio ambiente (fauna, flora, comunidades, etc.), preservando-o para gerações futuras.

De acordo com Elkington (1994), a sustentabilidade é a interação controlada do meio ambiente com a sociedade e a economia. Esses pilares auxiliam as empresas no quesito de estabilidade de mercado, com uso de tecnologias específicas para direcioná-las ao desenvolvimento sustentável (ELKINGTON, 2001).

A indústria mineral lida com certa dificuldade ao se associar com o termo sustentabilidade, por se tratar da extração de bens naturais não renováveis. Contudo várias práticas vêm sendo adotadas, com a colaboração de novas tecnologias, para amenizar os efeitos negativos da exaustão dos recursos, a perturbação da paisagem, saúde e segurança dos trabalhadores e comunidades vizinhas.

### **1.2. As atividades da Votorantim Metais Zinco e localização**

A mina Morro Agudo da Votorantim Metais Zinco tem seu endereço local em Paracatu/MG (Figura 1). Suas operações compõe toda a cadeia produtiva para a obtenção dos produtos finais, Zinco e Chumbo: mina, unidade de concentração, tratamento metalúrgico do zinco, concentrado sulfetado de chumbo direcionado diretamente ao mercado externo (visto que não existe nenhuma planta de processamento metalúrgico de chumbo no Brasil).




Figura 1: Mapa de localização da área em estudo.

Fonte: Votorantim Metais Zinco, 2012.

Segundo informações da Ibram, o Brasil é o décimo segundo maior produtor de Minério de Zinco, com produções acima de 199 mil toneladas de concentrado. Este volume representa 1,8% da produção mundial. A Votorantim Metais é o único produtor de zinco no Brasil. Os principais setores consumidores de chapas zincadas a quente e chapas eletrolgalvanizadas foram: automobilístico (48%); construção civil (10,6%); utensílios domésticos e comerciais (6,5%), com destaque para os eletrodomésticos (DNPM, 2012).

Em 2009, as reservas mundiais atingiram 79 Mt e as brasileiras somam 22 kt toneladas, representando 0,03% da reserva global. A produção brasileira de concentrado de chumbo está restrita à mina de Morro Agudo. Os consumidores de chumbo por ordem decrescente de importância de consumo são: os fabricantes de baterias ácidas automotivas e industriais, responsáveis por 95,24% do consumo do chumbo metálico em 2008 e os de óxidos, 4,76%. (DNPM, 2012).

### 1.3. Aproveitamento de rejeitos e a sustentabilidade nas indústrias extrativas

O planejamento das fases de exploração, operação e fechamento de mina requerem um aprimoramento constante para manter um desenvolvimento sustentável levando em consideração o meio socioeconômico e ambiental (HILSON e MURCK, 2000). Quando existe a polarização das visões com interesses distintos, o resultado é prejudicado por causa do intenso gasto com energia interna (Figura 2). Por outro lado, quando há cooperação das três forças, buscando o alinhamento, é possível promover o desenvolvimento social (Figura 3). (PASSOS ET AL, 2016) 

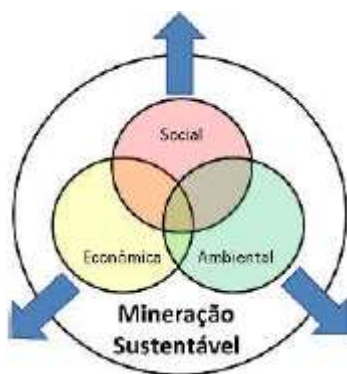


Figura 2: Polarização de Forças e a Mineração Sustentável  
Fonte: PASSOS et al (2016)



Figura 3: Alinhamento de Forças e a Mineração Sustentável  
Fonte: PASSOS et al (2016)



Um dos principais motivos para tornar as empresas sustentáveis é a necessidade de sobrevivência em ambientes de mercado competitivo, que exige produtos de qualidade sem ameaçar o ambiente (CASTRO, 2012). Diante disto, incorporando os três pilares, uma das alternativas de meio sustentável aplicado à mineração é a postergação do encerramento das atividades da mina, aumentando sua “vida útil”, trazendo benefícios em toda a cadeia que vão ao encontro dos conceitos de sustentabilidade.

#### 1.4. Objetivo

O presente trabalho tem o objetivo expor casos ocorridos na mina de Morro Agudo em Paracatu-MG que buscaram algumas iniciativas sustentáveis para retardar o fechamento de mina.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Morro agudo é uma mina subterrânea localizada no município de Paracatu, noroeste de Minas Gerais, que explora e beneficia minério sulfetado contendo zinco e chumbo nos minerais-minérios, esfarelita e galena respectivamente. No rejeito do processamento desses minerais tem-se como coproduto calcário dolomítico.

Esta mina utilizou métodos alternativos para postergar o seu fechamento como a lavra de pilares antigos em áreas abandonadas, mineração de áreas de baixo teor que antes não possuía valor econômico e o reprocessamento do rejeito da barragem para ser vendido como pó agrícola.

No âmbito econômico esta iniciativa é altamente sustentável. Do ponto de vista ambiental é responsável pela preservação de recursos naturais, economia de energia, redução do custo no controle ambiental, aumento da durabilidade de materiais, além da geração de empregos e renda no aspecto social.

Essas iniciativas também reduzem o efeito residual nas comunidades. Novos empreendimentos mineiros vêm com novas oportunidades de empregos diretos, porém estes efeitos positivos diminuem ao longo do tempo (M. BOECHERS et

al, 2018). A recorrente postergação do fechamento e melhorias no plano de aproveitamento mitiga a queda da economia da comunidade ao longo do tempo.

### **2.1. Recuperação de pilares**

No método de lavra “câmaras e pilares” a parte valiosa do corpo mineral é parcialmente extraída, deixando porções para sustentação natural do teto e das paredes da galeria. Nessa fase operacional, conduzem às mais baixas recuperações na jazida (CURI, 2017).

A baixa recuperação resulta numa vida de mina menor, com isso, novas minas devem ser abertas em curto espaço de tempo. Isto reflete em custo mais alto para as empresas e consequências ambientais. A abertura de uma nova mina impacta em novos desmatamentos de áreas, novas estruturas, mais produção de rejeito e etc.

Uma solução para este caso é, após a extração da rocha nas câmaras, iniciar a lavra dos pilares abandonados (total ou parcialmente, mediante enchimento ou abatimento do céu da mina) visando à maior recuperação possível do minério e o maior aproveitamento da vida útil da jazida. (WEISS et al, 2017).

Com novas tecnologias, dimensionamento de pilares feitos antigamente se tornam obsoletos pois o fator de segurança utilizado antigamente geralmente pode ser reduzido. Baseado nisso tamanho de pilares dimensionados anteriormente podem ser reduzidos.

Dimensionamento de pilares define-se por cálculo, através da tentativa e erro, de um arranjo estável dos pilares garantindo um fator de segurança. Calcula-se as tensões médias e atuantes nos pilares e a resistência por fórmulas empíricas (SOUZA. F.B.B, 2011).

Destes novos dimensionamentos de pilares, áreas antigas e abandonadas podem ser retomadas e lavradas maximizando o recurso mineral existente e conhecido nos empreendimentos mineiros.

## **2.2. Mineração de áreas de baixo teor**

O teor de corte é um parâmetro usado para distinguir minério de estéril, usando como premissa o teor capaz de pagar os custos de mineração, processamento mineral, assim como os custos diretos e indiretos, sem gerar lucro e sem suportar a remoção de quaisquer estéreis associados. Em suma o teor de corte representa o valor mínimo necessário para que seja viável a extração de um mineral (MARANHÃO, 1982)

Minérios com o teor baixo tendem a ser classificados como teor de corte de mina e apresentam dificuldade no processamento e, em geral, baixa recuperação devido à não ter uma boa adequação granulométrica à maioria dos processos de beneficiamento (ENGELHARDT et al., 2005).

Torna-se necessário que as empresas de mineração desenvolvam estudos e técnicas para viabilizar novas reservas minerais a partir de teores mais baixos, bem como adaptar seus processos de beneficiamento mineral a essa nova realidade (CARVALHO, 2012)

Em certos casos se torna viável realizar a técnica de blendagem, ou seja, a mistura de matérias de teores baixos com os de alto teor para satisfazer as especificações do beneficiamento. Isto ocorre quando há escassez de minério com teores mais elevados, levando as empresas buscarem tecnologias de aproveitamentos de minério.

O teor de corte não é constante no tempo, ele é influenciado por inúmeros fatores que podem impactá-lo. Dentre alguns destes fatores estão recuperação metalúrgica, custo de transporte, custo de processamento, preços dos metais, custo de lavra, etc. (ASSIS, 2016)

Devido a esta flutuação do teor de corte o valor que poderia ser considerado a 20 anos atrás já não é o mesmo. Com as melhorias nos processos e reduções de custo ao longo dos anos faz com que seja possível a lavra de teores mais baixos do que praticados antigamente. Esse fator viabiliza no futuro a lavra de teores mais baixos.

### **2.3. Reaproveitamento de resíduos**

Os rejeitos da mineração têm características diferentes e dependem do tipo de minério que foi processado na usina de beneficiamento. Podem ocasionar prejuízos econômicos, sociais e ambientais, como também é possível ter perspectivas sustentáveis ao recuperar a fração valiosa de bens minerais.

Por muito tempo o material da barragem de rejeito ficou em desuso, até que as empresas de mineração, para se tornarem mais competitivas, investiram esforços em práticas alternativas para o reprocessamento dos resíduos, visto que se apresentam em grande volume e baixo valor agregado.

A reutilização configura o reaproveitamento de um bem mineral que já passou por etapas de beneficiamento em um subproduto diferente do original. (MANSOR et al, 2010). Em alguns casos podem tornar-se subprodutos e matérias-primas para alguns segmentos, como o setor agrícola.

Essa prática considera, dentre alguns fatores, a granulometria do minério e do rejeito, bem como o teor do mineral de interesse e dos contaminantes (FERRANTE, 2014). A recuperação oportuniza uma maior taxa de recuperação, maiores ganhos na produção e na receita para a indústria mineral. Além do mais diminui a quantidade de resíduos para o meio ambiente.

Um exemplo desse processo de disposição de resíduos ambientalmente correto e economicamente viável é o uso do pó de rochas como fonte de potássio, silício, micronutrientes e corretivos da acidez do solo na agricultura brasileira para maximizar o efeito dos fertilizantes (MESQUITA et al., 2009).

### **2.4. Exploração Mineral “Brownfield”**

A exploração mineral é algo imprescindível para a atividade mineira e constitui uma sequência de atividades variadas que possibilitam a descoberta de depósitos e recursos minerais que possam ser comercialmente explorados.

Hoje em dia as áreas de exploração mineral no Brasil são escassas tanto em explorações greenfield e brownfield. A diferenciação de exploração greenfield ou

brownfield é feita dependendo da taxa, menor ou maior, de trabalhos de exploração realizados anteriormente na região de interesse. Portanto possuir áreas já conhecidas e com grande possibilidade de presença mineral é um passo grande na busca pelo depósito mineral. Na região de Paracatu existem vários alvos conhecidos, porém não explorados, próximos à mina de Morro Agudo. Portanto, qualquer exploração em um raio de 100 km próximas à mina de Morro Agudo, podem ser considerados Exploração Brownfield (ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 2016).

### **3. METODOLOGIA**

A revisão de literatura é constantemente empregada como ferramenta para gerenciar a gama de conhecimentos sob investigação e permitir que estudiosos e/ou pesquisadores observem como se encontra o cenário intelectual e apontem questões de pesquisa para que se desenvolva o conhecimento adicional, conforme afirmar Tranfiel et al. (2003) sendo assim uma atividade científica fundamental (MORLEY & THOMPSON, 2006).

Uma revisão bibliográfica foi empregada para realização deste estudo, conforme recomenda a literatura (TRANFIELD et al. 2003). As revisões de literatura fornecem uma visão geral do estado da pesquisa sobre um tópico específico e proporciona uma avaliação de qualidade dos estudos individuais, possibilitando também a avaliação em conjunto de diferentes linhas de estudo, segundo os pesquisadores Rensing et al. (2009).

Na etapa demonstrou-se como a Mina de Morro Agudo aplicou esses conceitos descritos para aumentar a vida útil da mina e conseqüentemente postergar o fechamento do empreendimento mineiro. Este artigo tem como base relatórios de aproveitamento econômico fornecido pela empresa e dados históricos de produção que comprovam que as iniciativas tiveram participação no sucesso das iniciativas sustentáveis.

A pesquisa foi conduzida conforme as etapas observadas na Figura 4, descritas a seguir.

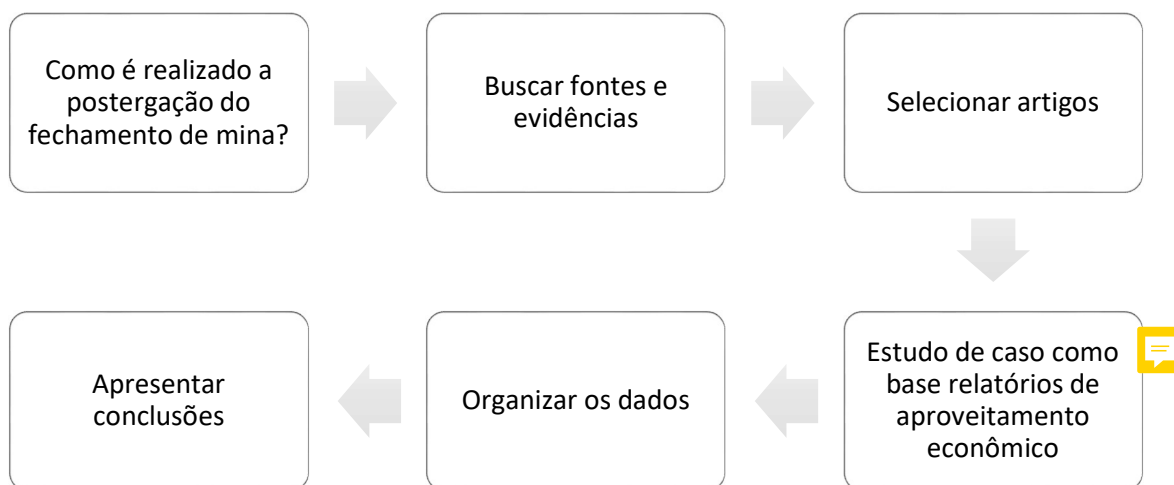


Figura 4 - Descrição geral sobre a metodologia.

#### 4. DADOS LEVANTADOS

Com o objetivo de expor os impactos positivos de iniciativas sustentáveis para postergar o fechamento de mina será mostrado o caso da Mina de Morro agudo.

O levantamento das informações foi feito através de Planos de Aproveitamento Econômico (PAE) realizados pela empresa para a mina de Morro Agudo.

Morro agudo é uma mina subterrânea localizada no município de Paracatu, noroeste de Minas Gerais, próximo à divisa do Estado de Goiás, a 30 quilômetros em linha reata a sul de Paracatu, que explora e beneficia minério sulfetado contendo zinco e chumbo nos minerais-minérios, esfarelita e galena respectivamente. No rejeito do processamento desses minerais tem-se como coproduto calcário dolomítico.

As mineralizações de zinco do distrito de Vazante (MG) estão hospedadas nas rochas do Grupo Vazante, o qual é composto por uma espessa sequência metassedimentar marinha, argilo-dolomítica.

##### 4.1 PAE 1974

A mina de Morro Agudo pelo histórico começou a ser operada no ano de 1974. No PAE (Plano de Aproveitamento Econômico) deste ano a lavra subterrânea não foi considerada viável. Estimava-se apenas a lavra a céu aberto. A reserva foi estimada em 48.000 t com teores de 15% de Chumbo e 12% de Zinco. Para este estudo de reserva estimou-se uma vida útil de 6 anos produzindo aproximadamente 6.000 t por ano e a lavra seria feita por cata manual.

Não foi possível conseguir as informações de 1974 até 1994, porém sabe-se que a mina operou com baixa produção com os dados históricos da mina. A produção atingiu um máximo anual de aproximadamente 200.000 t no ano e parou ao longo dos anos de 1991 até 1994 (Figura 5).

ANO	LAVRA (ton)	DESENV. (ton)	TEOR %		TOTAL (ton)
			AP Zn	AP Pb	
ANTERIOR 1988		160,000	4.25	1.82	160,000
1988	111,278		4.58	1.96	111,278
1989	200,064		4.56	2.31	200,064
1990	208,541		4.73	2.74	208,541
1991	9,283		4.73	2.74	9,283
1992					
1993					
1994					
1995	330,649		4.43	2.87	330,649
1996	416,296		4.76	2.27	416,296
1997	501,947		4.80	2.26	501,947
1998	559,243		4.87	2.00	559,243
1999	597,940		5.02	2.20	597,940
2000	628,015		5.09	2.06	628,015
2001	613,253		5.30	2.10	613,253
2002	649,479		5.27	1.90	649,479
2003	681,567		5.03	2.17	681,567
2004	812,160		4.86	2.29	812,160
2005	919,675		4.73	2.20	919,675
2006	973,992		4.30	2.03	973,992
2007	989,249		3.99	1.95	989,249
2008	962,811		3.31	1.80	962,811
2009	707,045		3.22	1.49	707,045
2010	1,013,229		2.99	1.26	1,013,229
2011	970,063		3.03	0.99	970,063
2012	981,831		2.76	1.02	981,831
2013	986,118		2.20	0.94	986,118
2014	1,006,595		2.53	0.94	1,006,595
2015	1,007,717		2.48	0.98	1,007,717
<b>TOTAL</b>	<b>16,838,040</b>	<b>160,000</b>	<b>3.87%</b>	<b>1.71%</b>	<b>16,998,040</b>

Figura 5: Histórico de Produção de Morro Agudo  
Fonte: Controle NEXA Morro Agudo

Levando-se em consideração o PAE de 1994, estava se planejando a lavra dos blocos A B e C que eram os três únicos blocos conhecidos na época. Estes três blocos estavam presentes em apenas dois níveis distante 33m um do outro. Desde esta época o método de lavra aplicado já era o Câmaras e Pilares. As reservas declaradas (indicada e medida) estavam em torno de 2.905.275 t com teor de 3,29% de Zinco e 1,37% de Chumbo. Na época, de acordo com o plano de lavra proposto, esperava-se uma produção de 200.000 t anuais. Desta maneira, levando-se em consideração toda a reserva, a vida útil estimada era de aproximadamente 15 anos. Isso faria com que o fechamento da mina fosse realizado em 2015 aproximadamente.

Através do histórico de produção é possível analisar que um aumento de produção foi implantando desde 1997, atingindo um patamar 800 mil toneladas em 2004.

#### 4.2 PAE 2004

Com base na informação do PAE de 2004 a situação da mina já mudou consideravelmente. A reserva estava em 9.4 milhões de toneladas com teores de Zinco em 5,05% e Chumbo 1,67%, contabilizada até a cota 583 m de profundidade.


No PAE de 2004 ainda não estava planejado o rejeito zero que consiste na venda completa do pó calcário, sem produção de rejeito.

#### 4.3 PAE 2012

No PAE de 2012 alguns novos corpos de minério foram encontrados com novas sondagens. O Bloco E foi um importante corpo encontrado que postergou o fechamento da mina. A reserva protocolada neste novo documento estava na ordem de 4,3 milhões de toneladas com teores de 3,72% de Zinco e 1,42% de Chumbo. A previsão de fechamento da mina neste PAE era para 2016. Do relatório anterior houve um aumento de 1 ano da vida útil da mina.


No PAE de 2012 já pode-se visualizar a perspectiva de vender o material da pilha de estéril como brita para comerciantes locais. O material que teoricamente não possuía nenhum valor agregado estava sendo vendido e gerando valor.



A partir deste PAE é possível notar que a reserva de Morro Agudo já se aproximava da exaustão. Com esse fechamento eminente em vista já está contabilizado um plano de fechamento no relatório com as atividades necessárias para tal. 

Algumas ações começaram a ser tomadas pela unidade para postergar ao máximo o fechamento. A primeira ação tomada pela companhia foi a melhoria da planta de beneficiamento para retomar o rejeito da Barragem. Na mina de Morro Agudo existiam dois tipos de rejeito: o rejeito agrícola, que possuía uma especificação adequada para venda direta como pó calcário e o rejeito industrial, o qual não tinha a especificação adequada para venda como pó calcário devido a sua classificação de resíduo classe I, ou seja, um resíduo perigoso. O rejeito industrial era armazenado em uma barragem de rejeitos separada e impermeabilizada pelo fato de ser considerado perigoso.

Com o intuito de aumentar o ROM e com a iniciativa sustentável de não produzir rejeito foram estudadas e realizadas adequações na planta de Morro agudo para que pudesse ser reprocessado o rejeito industrial. A partir desta iniciativa nasceu o projeto resíduo zero em 2010.

Na entrevista realizada com Ricardo Barbosa, gerente de sustentabilidade da então Votorantim Metais, para a FGV  pode-se entender melhor todo o projeto que teve um investimento de R\$300 mil e uma economia de R\$ 20 milhões, evitando a construção de uma nova barragem e ainda aumentando a vida útil do empreendimento. Atualmente é planejado o processamento de 150 mil toneladas de minério da barragem de rejeitos por ano, com um teor de aproximadamente 1,0% de Zinco.

#### 4.4 Reserva 2015 – Base “*Technical Report 2017*”

A reserva de 2015 teve uma queda significativa em relação aos valores de 2012. Não houve uma renovação dos recursos minerais e adição de novos blocos de lavra. Em 2015 declarou-se uma reserva de aproximadamente 2.560.000 milhões de toneladas com teores de 3.92% de Zinco e 1.14% de Chumbo.

Outra iniciativa extremamente importante para a sustentabilidade da mina e que possibilitou postergar o fechamento da mina foi a recuperação de pilares. A partir de 2015, vislumbrou-se a recuperação de pilares antigos da mina. No estágio inicial de Morro Agudo os fatores de segurança adotados para os pilares eram maiores do que os necessários. Com isto em vista, foi realizado um mapeamento de pilares que possuíam dimensões superiores ao que se pensava necessário.

Após feito o mapeamento foi contratado uma empresa especializada para estudar a lavra dos pilares mapeados e verificar se após lavrados os pilares iriam manter a estabilidade geotécnica da mina. Após isso foi constatada a possibilidade de recuperar aproximadamente 830 mil toneladas de pilares. Devido às incertezas geológicas e a perda de informações ao longo do tempo não era possível estimar os teores desses pilares com precisão, porém após lavrados foram constatados altos teores provenientes destes pilares.

A escala de produção em 2015 se encontrava na casa de 1 milhão de toneladas incluídos minérios da recuperação de pilares e do reprocessamento da barragem.

#### 4.5 Reserva 2017 - “*Technical Report 2017*”

No reporte técnico realizado para a bolsa de Nova Iorque em 2017 a mina de Morro Agudo declarou que produzirá até 2021. Foram considerados neste reporte minério de outros depósitos minerais que alimentarão a planta de Morro Agudo, porém não estão considerados na reserva de Morro Agudo apresentada para manter a correlação da comparação.

No reporte, calculou-se uma reserva estimada de 2.046.000 milhões de toneladas com teor de Zinco de aproximadamente 2.80% e de Chumbo de 0.81%

Os outros depósitos minerais fazem parte de uma iniciativa sustentável muito importante para postergar o fechamento da mina de Morro Agudo que é a exploração “Brownfield”, ou seja, a exploração mineral em áreas próximas à mina já existente.

A possibilidade real de fechamento levou a novas explorações minerais ao redor da região. Desta exploração surgiu novos depósitos como Ambrosia Sul, Ambrosia Norte e Bom Sucesso. Ambrósia Sul é peça chave para postergar o fechamento para 2021 pois complementa a produção de Morro Agudo.

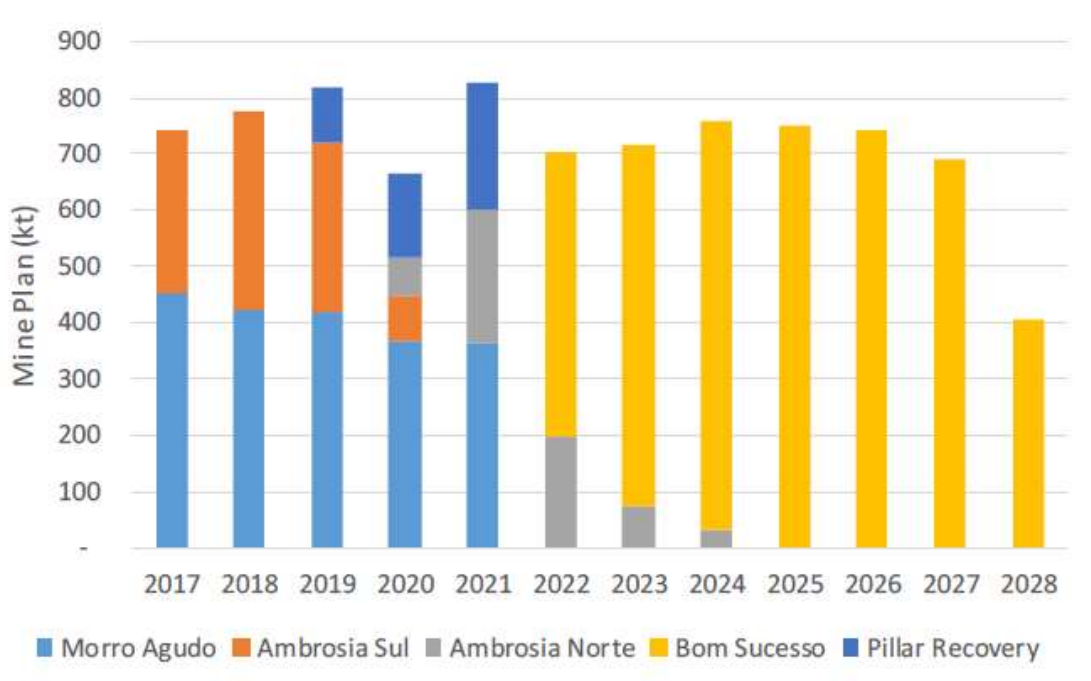


Figura 6: Plano de Produção de Morro Agudo  
Fonte: Morro Agudo NI43101

Mesmo após a exaustão da mina de Morro Agudo será possível utilizar as instalações da planta de beneficiamento e demais infraestruturas para processar o minério das outras fontes minerais. Essa iniciativa está possibilitando a postergação do fechamento total da unidade em mais 7 anos, até 2028.

## 5. DISCUSSÕES

Através dos dados levantados dos PAE's da mina de Morro Agudo foi possível construir a tabela abaixo que permiti a visualização da evolução e comparação da vida útil da mina ao longo dos anos em relação à sua reserva e escala de produção.

	PAE1974	PAE 1994	PAE 2004	PAE2012	Reserva 2015	Reserva 2017
Vida Útil até	1980	2015	2015	2016	2017	2021
Reserva	48,000	2,905,275	9,400,000	4,300,000	2,560,000	2,046,000
Escala de Produção	6,000	200,000	950,000	980,000	1,000,000	500,000

Figura 7: Tabela comparativa  
Fonte: produzida pelos autores


Pode-se ver pela tabela que a partir de 2012 a mina já vislumbrou o fechamento da unidade. Apenas quatro anos de produção, previsão de fechamento em 2016, é um período curto para um empreendimento mineiro.

Deste modo, foi a partir de meados deste período, mas especificamente em 2010, que as iniciativas sustentáveis começaram a surgir. De encontro com a possibilidade de fechamento a partir de 2010 também é visualizada uma queda nos teores da mina como mostrado na figura 5.

O PAE de 2012 mostrou a iniciativa de comercializar o estéril produzido através da produção de brita. Isso ajuda no fluxo de caixa em um cenário com menores teores.

Outra iniciativa crucial para a saúde do empreendimento foi o projeto resíduo zero que possibilitou o reprocessamento de material da barragem com baixos teores de zinco, aumentando a massa alimentada à um custo baixo.

A reserva de 2015 mostra a postergação do fechamento em um ano em comparação ao PAE 2012. Além do resíduo zero outra iniciativa que ajudou a postergação neste ano foi a recuperação de pilares. O estudo de 2015 possibilitou a adição de 830 mil toneladas de minério a mais. O que é praticamente um ano a mais de vida.

Em 2017 no documento Morro Agudo NI43101 apresentou-se outra iniciativa de extrema importância para o postergar o fechamento que é a exploração de novas áreas próximas. A alimentação de Ambrósia  em conjunto com Morro Agudo é uma excelente iniciativa pois aumentou em mais 4 anos a vida útil da mina de Morro Agudo.



## 6. CONCLUSÕES

Apesar de a indústria mineral ter certa dificuldade ao se associar com o termo sustentabilidade, as empresas de mineração vêm tentando utilizar iniciativas sustentáveis. Essas iniciativas se mostram extremamente rentáveis reduzindo custos e preservando recursos naturais além de postergar o fechamento das minas. A compreensão, por parte das empresas, de que a sustentabilidade pode trazer benefícios financeiros é essencial para essa mentalidade se difunda na indústria.

As iniciativas praticadas pela Mina de Morro Agudo como recuperação de pilares, reprocessamento de resíduos, lavra de baixo teor e exploração mineral “Brownfield” mostram-se como um grande sucesso na aplicação da sustentabilidade para melhorar a rentabilidade do empreendimento e postergar por mais alguns anos a operação da mina.

Isso é um excelente exemplo de atuação nos 3 pilares da sustentabilidade, social, ambiental e econômico, pois, maximizou a rendimento do empreendimento, viabilizou o emprego de todos os envolvidos no empreendimento por mais tempo e reduziu danos ambientais intrínsecos da atividade mineira.

De maneira geral, essas iniciativas permitiram eliminar a necessidade de barragem de rejeitos, o que na mineração é um passivo enorme e um dos maiores problemas de solucionar nos empreendimentos mineiros e maximizar a utilização do recurso natural que é, dentro da mineração sustentável, um dos maiores desafios.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, A. H, **Teores de Corte: Uma Análise da Influência no resultado econômico de um empreendimento mineiro.** 2016

BOECHERS, M.; SINCLAIRS, A.J.; GIBSON, R.B.; HALDEN, N.M.; **Sustainability is finding the next mine: The complicated relationships among legacies, sustainability, and EA.** Jan, 2018

CARVALHO, B. C. L. **Aproveitamento de Minérios de Ferro Baixo teor.** 2012. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 2012.

CASTRO, A. E. de. **Investimentos socioambientais para posicionamento da marca: Um estudo sobre imagem organizacional.** Revista Gestão & Tecnologia, Pedro Leopoldo, v.12, n.3, p.258-286, set/dez 2012.

CURI, A. **Lavra de minas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

DNPM **Série estatísticas e economia mineral.** Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/4-2-chumbo>> Acesso em: 15 de Abril de 2019

DNPM **Plano de Lavra e de Aproveitamento Econômico da Jazida de Chumbo e Zinco,** junho 1974

DNPM 802.822/74 **Plano de Aproveitamento Econômico, Mineração Morro Agudo,** janeiro 1992

DNPM 806.973/68 **Plano de Aproveitamento Econômico,** Companhia Mineira de Metais, abril 2004

**Morro Agudo NI43101** , Votorantim Metais Zinco, Setembro 2017

DNPM 806.973/1968 e DNPM 802.822/1974 **Novo Plano de Aproveitamento Econômico,** Votorantim Metais Zinco, outubro 2012

ELKINGTON, J. **Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development.** California Management Review, v.36, n.2, p.90-100, 1994.

ELKINGTON, J. **Canibais com garfo e faca.** São Paulo: Makron Books, 2001.

ENGELHARDT, D., ELLIS, K., LUMSDEN, B. **Improving fine sulfide mineral recovery – Plant evaluation of a new technology.** In: Proceedings of the Centenary of Flotation Symposium, Brisbane, QLD, p. 829-834, 2005.

FERRANTE, F. **Estudo de viabilidade para recuperação de minério de ferro em rejeitos contidos em barragens** [dissertação]. Ouro Preto: Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto; 2014.)

FGV EAESP. Disponível em: <<http://pagina22.com.br/2011/12/09/lixo-metalico-vira-negocio-na-votorantim-metais/>> Acesso em: 15 de Abril de 2019

HILSON, G., MURCK, B. **Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective**. Resources Policy, v. 26, n. 4, p. 227–238, 2000.

IBRAM **Produção de Zinco**. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000047.pdf>> Acesso em: 15 de abril de 2019.

IBRAM **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002797.pdf>> Acesso em: 15 de abril de 2019.

MANSOR, M.T.C et al. **Caderno de Educação Ambiental 6- Resíduos Sólidos**, 2014.

MARANHÃO, R.J **Introdução a pesquisa Mineral**. Fortaleza: Imprensa Universitária da UFC. 1982

MESQUITA, L.F.; FILHO, J.C.; ANDRADE, F.V. **Calcário marinho e resíduo de marmoraria como corretivos alternativos da acidez em latossolos**. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XIII., 2009, São José dos Campos - SP. Anais... São José dos Campos: UNIVAP, 4 p. 2009.

MLF – RT VM008 - 2016 **Projeto de recuperação de pilares Morro Agudo**, novembro 2016.

MORLEY, C., THOMPSON, K. **Extreme reconciliation - a case study from Diavik diamond mine**, Canada. In: INTERNATIONAL MINING GEOLOGY CONFERENCE. Melbourne: AusIMM: 313-321, 2006.

PASSOS. A, TOMI. G, NADER. B, TRIGUEIRO. W, RODOVALHO. E, TICHAUER. R, FRASCINO. F. **Capítulo Mineração Sustentável**. Jan, 2016.

**Projeto Resíduo Zero**, Votorantim Metais Zinco S.A

RESSING, M.; BLETTINER, M.; KLUG, S. J. **Systematic Literature Reviews and Meta-Analyses**. *Dtsch Arztebl International* 106: 456-463, 2009.

SANCHES, J.G; NETO, D.J; BERGERMAN, M.G, **Impacto da pré-concentração em um minério de Zinco Silicatado**. 2016

SOUZA, F.B.B **Dimensionamento ótimo de realces abertos/câmaras inclinadas e pilares via programação matemática não linear**, 2011  
Dissertação de Mestrado – UFOP

TRANFILD, D., DENYER, D., SMART, P. **Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge Means of Systematic Review**. British Journal of Management 14: 207–222, 2003.

WEISS, A. L, SCHNEIDER, N. D. B, ZINGANO, A. C., **Lavra de Carvão pelo Método Câmaras e Pilares em Recuo**. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2017. Belém-PA. 5 p.

ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, **Recursos Minerais no Brasil – problemas e desafios**, 2016