

Silverblatt, I. "Dioses y Diablos. Idolatrías y evangelización". *Allpanchis*. Nº 19. 1982. Págs. 31-47.

Silverblatt, I. "El arma de la hechicería". En *Stolcke, V. (Comp.) Mujeres invadidas. La sangre de la conquista de América*. Madrid. 1993. Págs. 121-170.

Solórzano, J. *Política Indiana*. Tomo I. Madrid. 1996.

Soto, F.J. *El Señor de la oscuridad. La leyenda del Tío y otros seres de las profundidades*. Monografías.com.

www.monografias.com/trabajos19/el-tio/el-tio.shtml. 2005. Consultada el 18 de julio de 2011.

Taylor, G. "Supay". *Amerindia*. Vol. 5. 1980. Págs. 47-63.

Toledo, F. *Disposiciones gubernativas para el virreinato del Perú, 1569-1574*. Sevilla. 1986.

Vargas Luza, J.E. *La Diablada de Oruro*. La Paz. 1998.

Vargas, R. *Concilios limenses (1551-1772)*. Tomo I. Lima. 1951.

Wachtel, N. "Los límites de la evangelización". En *Wachtel, N. Los vencidos: los indios del Perú frente a la conquista española (1530-1570)*. Madrid. 1976. Págs. 231-242.

Wicky, J.C. *Mineros*. Madrid-Barcelona. 2002.

Zárate, A. "Historia del descubrimiento y conquista de la provincia del Perú". En *Vedia, E. Historiadores primitivos de Indias*. Madrid. 1947. Págs. 459-574.

Artículo recibido en: 15.05.2024

Artículo aceptado: 31.06.2024

POSTERGAÇÃO DE FECHAMENTO DE MINAS DE HIERRO, UM ESTUDO DE CASO NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO (QF) – BRAZIL

Geraldo Yasujiro Omachi

Eng. de Minas, Mestrando do PPGEM, EM, UFOP

Adilson Curi

Eng. de Minas, Doutor, PPGEM, EM, UFOP

E-mail: curi@ufop.edu.br

Carlos Enrique Arroyo Ortiz

E-mail: carroyo@ufop.edu.br

RESUMO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) sempre foi a principal província produtora de minério de ferro no Brasil. Dependendo da necessidade de matéria-prima para a siderurgia nacional e internacional, a lavra do minério hematita foi o grande diferencial para atender a demanda. Porém, para atender à demanda externa, tornou-se imprescindível a lavra de outros maciços rochosos com conteúdo de ferro em específico lavrar itabiritos. Este artigo é proposto com o objetivo de avaliar o aumento da vida útil de uma mina de minério de ferro localizada no Quadrilátero Ferrífero (MG). Para ilustrar a proposta foi feito um estudo comparativo real entre um Plano Diretor de Mineração (DMP) de material hematítico e um DMP de material itabirito para uma mesma mina em momentos diferentes, com base em seus respectivos Planos de Exploração Econômica (PAE's). A partir deste estudo busca-se avaliar as necessidades de aumento da vida útil das minas de minério de ferro e conseqüentemente postergar o fechamento de minas

Palavras-chave: minério de ferro, itabiritos, hematita, mina de vida.

ABSTRACT

The Iron Quadrangle (QF) has always been the main iron ore producing province in Brazil. Depending on the need for raw materials for the national and international steel industry, the mining of hematite ore has been the great differentiator in meeting demand. However, in order to meet foreign demand, it has become essential to mine other rock masses with iron content, specifically itabirites. The aim of this article is to evaluate the increase in the useful life of an iron ore mine located in the Iron Quadrangle (MG). To illustrate the proposal, a real comparative study was carried out between a Mining Master Plan (DMP) for hematite material and a DMP for itabirite material for the same mine at different times, based on their respective Economic Exploitation Plans (PAE's). The aim of this study is to assess the need to increase the useful life of iron ore mines and consequently postpone mine closures

Keywords: iron ore, itabirites, hematite, life mine.

1. INTRODUÇÃO

Em virtude da exaustão das jazidas com alto teor de ferro, somada à necessidade de atendimento ao mercado transoceânico têm-se a necessidade de lavar material itabirítico, anteriormente considerado estéril. Apesar da queda do preço, há a necessidade em se manter o *Market share* baseando-se nas premissas de atendimento da qualidade do produto.

Dos anos 1940 ao fim da década de 1960, a primeira fase da mineração de ferro em Minas Gerais se baseou na exploração da hematita. A escassez desse tipo de jazimento nos anos 1970 impulsionou o aproveitamento dos chamados itabiritos friáveis.

A elevada exploração das reservas levou ao esgotamento dos minérios de alto teor de ferro em Minas Gerais, culminando com a necessidade de lavra dos itabiritos pobres. Alguns projetos têm sido desenvolvidos para o aproveitamento destes itabiritos, enquanto outros projetos são desenvolvidos para adequação de usinas existentes para tratamento dos itabiritos pobres do QF. (Carlos, J. G., *at al* 2013).

Todo Projeto Mineral necessita de um Plano Diretor de Lavra (PDL), que leve em consideração os parâmetros técnicos, econômicos,

sociais e ambientais. E estes PDL's são apresentados a Agência nacional de Mineração (ANM). O PDL é apresentado na forma de um PAE. Neste estudo deseja-se apontar as principais diferenças entre dois PAE's de uma mesma mina em diferentes períodos.

2. METODOLOGIA

Revisão dos PAE's para levantamento dos dados de: recursos e reservas lavráveis (quantidade e qualidade), escala de produção, investimentos necessários, arranjo geral dos projetos, preço e qualidade dos produtos, índices econômicos dos projetos e evidenciar as principais diferenças dos empreendimentos.

3. DADOS DOS PAE'S

3.1 RECURSOS E RESERVAS LAVRÁVEIS

No PAE- I, conforme Tabela 1, “foi projetado a lavra de canga, rolados ricos e hematita friável; do itabirito friável será lavrado apenas a parte cuja remoção se faz necessária para liberar os tipos de minério acima citados. Esta parcela de reserva de itabirito friável será estocada na área da mina para posterior concentração, constituindo no plano de lavra, um material temporariamente considerado como estéril”.

Tabela 1.- Recursos disponíveis no PAE-I

	Tipo de Minério	Medida (t)		Indicada (t)	Inferido (t)	Total (t)
		toneladas	%Fe	toneladas	toneladas	
PAE 1995	Canga/rolado ricos	85.758.000	62,14	5.958.000	3.702.000	95.418.000
	Hematita friável	110.709.600	62,14	10.362.000	3.684.000	124.755.600
	Itabirito friável	353.423.200	46,88	75.441.600	517.472.800	946.337.600
Total Geral		549.890.800	52,33	91.761.600	524.858.800	1.166.511.200

De acordo com o plano de lavra da Tabela 2, a reserva lavrável é de 79,23Mt, sendo necessária a remoção de 14,3 Mm³ de estéril franco e 6,4 Mm³ de estéril formação ferrífera que

serão dispostos em separado de modo a viabilizar o seu aproveitamento futuro.

Tabela 2.- Reserva Lavrável do PAE-I

Reservas Lavráveis						
Litologia	Massa (tons)	Teor (%)				
		Fe	SiO2	Al2O3	P	P F
Canga/rolados ricos	20.212.500	61,98	2,69	3,01	0,11	4,97
hematita friáveis	59.016.250	62,99	4,89	1,59	0,063	3,02
Total	79.228.750	62,73	4,33	1,95	0,075	3,52

No PAE-II, visa o aproveitamento da jazida remanescente de itabiritos friáveis/pobres, que nas pesquisas complementares e atualização das reavaliações de recursos foram estimadas em aproximadamente 48 Mt de hematita e 1,04 Bt

(bilhões de toneladas) de itabiritos, totalizando aproximadamente 1,1 Bt (bilhões de toneladas) de itabiritos, totalizando de minério de ferro, conforme Tabela 3.

Tabela 3.- Recurso disponível no PAE-II

TIPO	Medido		Indicado		Inferido		Total	
	Mt	Fe (%)	Mt	Fe (%)	Mt	Fe (%)	Mt	Fe (%)
Hematita	33.94	64.00	14.48	64.15	1.10	63.67	49.52	64.04
Itabirito	517.88	44.95	518.68	42.30	511.07	40.42	1,547.64	42.57
TOTAL	551.82	46.12	533.16	42.90	512.17	40.47	1,597.15	43.23
Estéril	6,943.9							

No PAE-II, é considerada a lavra de hematitas e itabiritos, com uma nova planta de beneficiamento e disposição de parte do estéril dentro da área exaurida da cava. Ainda, contempla a alimentação em 4 destinos e disposição controlada. Na Tabela 4 constam os destinos, a massa, qualidades e REM.

PLI – Planta adaptada do PAE I
PLT – Planta de beneficiamento de outra mina em processo exaustão
PL ITA – Planta de beneficiamento do PAE-II
ESTOQUE IC – Material a ser estocado da litologia IC (Itabirito Compacto)

Tabela 4.- Tabela de Reserva, PAE-II.

Reserva – MINA Cenário II						
	RESERVA PROVADA		RESERVA PROVÁVEL		TOTAL	
PLANTA	Mt	FEGL(%)	Mt	FEGL(%)	Mt	FEGL(%)
PLI	16.8	61.28	4.8	59.68	21.7	60.93
PLT	124.2	50.12	11.1	45.86	135.2	49.77
PL ITA	697.6	41.02	235.2	39.78	932.8	40.70
EST. IC	60.1	40.00	37.8	38.78	97.9	39.53
Min.Total	898.7	42.59	288.9	40.21	1 187.6	42.01
INFERIDO			PDE	79.1	40.50	
			EFF	PDE	147.1	
			EFR	PDE	409.2	
Estéril Total			635.4			
REM			(t/t)	0.54		

3.2 ESCALA DE PRODUÇÃO

O programa de produção do PAE-I prevê o escalonamento da produção partindo de 460 mil t anuais até atingir 2,3 Mtpa, conforme Tabela 5.

Este plano considera um período de 20 anos de produção em que serão lavradas 22,9 Mt e REM geral de 0,80.

Tabela 5.- Programa de produção informado no PAE- I

Períodos	Anos	Produção (t/ano, base natural)		REM (t/t)
		Minério	Estéril	
PAE -I	1 ao 5	460.000	506.000	1,1
	6 ao 10	690.000	690.000	1,0
	11 ao 15	1.145.000	1.030.050	0,9
	16 ao 20	2.290.000	1.832.000	0,8

A alimentação estimada do PAE-II está na ordem de 55 Mtpa com uma REM médio de

0,54 (t/t), a Tabela mostra a qualidade e massa do ROM.

Tabela 6.- Programa de produção informado no PAE-II

Ano	Faixa Granul.	Massa (Mt)	G (%)	FE (%)	SIO2 (%)	AL (%)	P (%)	MN (%)	PPC (%)
02 a 18	G1	11.77	21.2	47.24	29.42	0.36	0.045	0.105	2.40
	G2	10.31	18.6	54.31	19.06	0.49	0.049	0.207	2.39
	G3	1.28	2.3	55.73	16.39	0.77	0.055	0.283	2.57
	G4	7.97	14.4	32.32	51.84	0.44	0.028	0.124	1.22
	G5	24.10	43.5	33.50	49.22	0.95	0.034	0.141	1.51
	Global	55.42	100.0	40.63	39.02	0.66	0.039	0.147	1.84

3.3. INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS

Para o PAE-I, foram dimensionadas apenas as operações de lavra, portanto, as unidades de apoio são: escritório de campo, oficina de reparos de equipamentos móveis,

almoxarifado, vestiário, postos de serviços e captação de água. E as operações de beneficiamento, estocagem e embarque de produtos suportados pelas instalações de apoio existentes na mina em operação nas proximidades.

Tabela 7.- Investimentos de capital, PAE-I

Item	Valor (Real)	Valor (US Dólar)	Valor atualizado (US Dólar)
Estrada de acesso	R\$ 801.705,00	\$ 956.688,54	\$ 1.482.434,10
Deslocamento do mineroduto	R\$ 556.870,00	\$ 664.522,67	\$ 1.029.709,28
Adaptação da IB-II	R\$ 3.003.280,00	\$ 3.583.866,35	\$ 5.553.370,22
Pesquisa complementar	R\$ 1.706.168,00	\$ 2.036.000,00	\$ 3.154.878,19
Linha de transmissão	R\$ 90.765,00	\$ 108.311,46	\$ 167.833,72
Aquisição de terrenos	R\$ 184.362,00	\$ 220.002,39	\$ 340.904,09
Total	R\$ 6.343.150,00	\$ 7.569.391,41	\$ 11.729.129,59

Taxa de câmbio em 1995. R\$ 0,838/US\$ 1,00

Para o PAE-II, o investimento será de grande monta, devido a instalação de uma nova planta de beneficiamento, barragem de rejeito, aquisição de equipamentos de médio e grande porte e área de estoque e expedição. O processo

de beneficiamento necessita de cominuição por etapas sucessivas de britagem em britador de mandíbulas (britagem primária) e britador cônico nas etapas subsequentes (britagem secundária, britagem terciária e quaternária), a classificação

será realizado em peneiramentos vibratórios inclinadas, de alta frequência, hidrociclones, concentração em colunas de flotação e filtração. Além dos testes em andamento com a inserção da etapa de separação magnética (CCM- Circuito Com separação Magnética). Isso se deve a qualidade do minério com baixo teor de ferro.

As etapas que envolvem a cominuição e classificação compreendem duplo estágio de moagem, dupla classificação, triplo estágio de deslamagem em hidrociclones, concentração por flotação em três estágios (Rougher, Cleaner e Recleaner), peneiramento de alta frequência para

o concentrado, filtração do concentrado, flotação do rejeito arenoso e espessamento de lamas.

No circuito CCM os rejeitos das flotações Rougher, Cleaner e Recleaner serão processados por concentração magnética, garantindo o teor de Fe no rejeito de no máximo 8%.

Será preciso a instalação de Pilha de Disposição de Estéril, barragem de rejeitos, uma nova planta de concentração, um mineroduto desde a planta de concentração até a planta de filtração (nova) de produto, do pátio de produtos, da tubulação de retorno da água extraída na filtração e da nova pera ferroviária de expedição.

Tabela 8.- Investimentos PAE2014

Investimento de capital em estruturas		
Mina	R\$ 475.200.000,00	\$ 264.000.000,00
Planta Beneficiamento	R\$ 5.087.016.000,00	\$ 2.826.120.000,00
Barr. rejeitos, diques e PDE's	R\$ 304.128.000,00	\$ 168.960.000,00
Pera ferroviária, material rodante	R\$ 225.720.000,00	\$ 125.400.000,00
Total	R\$ 6.092.064.000,00	R\$ 3.384.480.000,00

4. ARRANJO GERAL DOS PAE'S

Comparando os arranjos gerais, podemos observar a diferença na geometria da cava final, do tamanho da barragem de rejeitos, Segue na Figura o arranjo geral dos PAE's de 1995 e 2014.

Taxa de câmbio do dólar em 2014. R\$ 1,8/ US\$ 1,00
necessidades da pilha de estéril em função da maior escala de movimentação necessária para o PAE2014, além do sistema de expedição necessária para o aumento da produção.

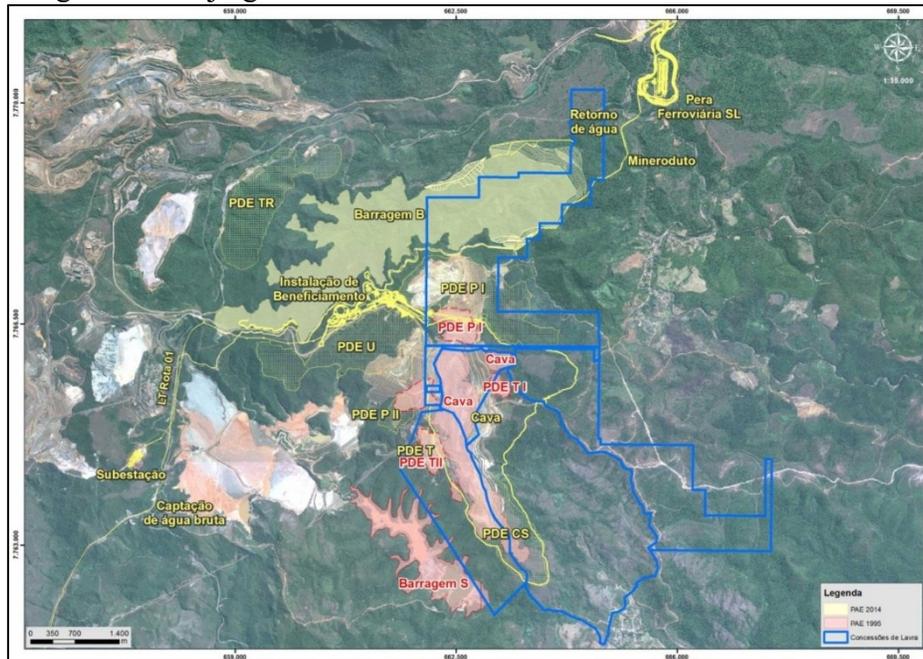


Figura 1.- Arranjo comparativo entre os PAE's Cenário I e II.

4.1 PREÇO E QUALIDADE DOS PRODUTOS

No PAE-I o processo de beneficiamento consta essencialmente de cominuição por etapas sucessivas de britagem em britador de mandíbulas, britador de cone e britador de rolos, classificação por peneiramento em peneiramentos vibratórios inclinadas e classificador espiral e concentração em colunas de flotação. O rejeito é

encaminhado para decantação na barragem de rejeito já existente. Os produtos: granulado (NPO) e o *sinter-feed* (SF) são estocados em pilhas cônicas e o concentrado vendidas a empresas que adquirem finos de minério de ferro.

A produção e a recuperação em massa podem ser verificadas na Tabela 9. A qualidade dos produtos é evidenciada na Tabela.

Tabela 9.- Produção estimada no PAE 1995

Anos	NPO	SF	Concentrado	TOTAL	Rec. massa
1 ao 5	79,8	197,4	79,8	357.000	85%
6 ao 10	126	289,8	126	541.800	86%
11 ao 15	220	462	241,5	924.000	88%
16 ao 20	512	821	600	1.932.000	92%

Tabela 10.- Qualidade dos produtos PAE 1995

Produto	Granulometria (mm)	Fe (%)	SiO2 (%)	P (%)
NPO	-31 +10	64,00	1,20	0,085
SF	-10 +0,15	65,00	3,50	0,050
Concentrado	-0,15 (máximo de 5%) +0,15	68,00	0,80	0,038

O preço dos produtos do PAE1995, mesmo atualizados com a inflação americana alcança valores pouco expressivos, por não

considerar os aumentos significativos dos preços obtidos na evolução do mercado global do minério de ferro.

Tabela 11.- Preço dos produtos por tonelada, PAE 1995

Produto	Preço do produto (US Dólar)	Preço do produto atualizado
NPO	\$ 9,00	\$ 13,95
SF	\$ 14,26	\$ 22,10
Concentrado	\$ 4,00	\$ 6,20

No PAE 2014, o processo de beneficiamento à úmido produzirá 27 Mtpa de

minério de ferro de alta qualidade na fração PFF (*pellet feed*). A

Tabela mostra a qualidade deste PFF.

Tabela 12.- Qualidade do Produto PAE 2014.

Período	Fe	SiO2	P	Al2O3	Mn	PPC
Ano 1	66,43	1,18	0,0581	0,39	0,115	2,97
Ano 2	66,46	1,18	0,0634	0,39	0,110	2,92
Ano 3	66,58	1,18	0,0606	0,39	0,153	2,70
Ano 4	66,78	1,18	0,0544	0,39	0,154	2,43
Ano 5	66,98	1,18	0,0511	0,39	0,132	2,18
Ano 6 em diante	67,00	1,18	0,0510	0,39	0,167	2,10

Apesar da necessidade de um desembolso de grande monta, a evolução do preço do minério de ferro alicerça o investimento, além da necessidade em atender a demanda do mercado mundial.

Tabela 13.- Preço do produto PAE 2014

Produto	Preço	
	R\$ / t	US\$ / t
PFF	162,00	90,00

4.2 ÍNDICES ECONÔMICOS DOS PAE'S

Os principais índices econômicos dos PAE1995/ 2014 seguem na Tabela .

Tabela 14.- Índices econômicos dos PAE's

Índices	PAE 1995	PAE 2014
VPL (US\$ x 1.000,00)	7.945,37	3.477,45
TIR	37,17%	26,95%
TMA	10%	8%

4.3 PRINCIPAIS DIFERENÇAS DOS EMPREENDIMENTOS

A diferença das escalas de produção é bastante significativa, justificadas pela mudança no volume necessário para atendimento ao mercado mundial global. Devido à exaustão ou a proximidade da exaustão, o teor de alimentação é reduzido, acarretando na diminuição da recuperação em massa e maior produção de rejeito, o que aumenta a área necessária para disposição. Isto reduz a REM, pois o material considerado estéril devido ao baixo teor de ferro passa a ser considerado minério, reduzindo o volume necessário para a disposição de estéril.

No novo cenário, é necessário que seja reavaliado o recurso remanescente dessa jazida, redimensionar os equipamentos de lavra e beneficiamento, desenvolver rota de processo e a

infraestrutura necessária para a execução de um novo projeto mineral.

O aumento na escala de produção aumenta o número de mão de obra em números absolutos, mas aumenta a produtividade (t/homem) do trabalhador.

O baixo teor de alimentação e o aumento na escala de produção se fazem necessário uma planta de beneficiamento com maiores equipamentos e aumento nas etapas de processamento, o que aumenta o investimento de capital.

Devido à localização necessita-se que seja utilizado um sistema de escoamentos como ferrovia para o porto exportador. Pois, quanto maior o volume de produção, mais se faz necessário uma estrutura de logística que possibilite o escoamento com maior produtividade e confiabilidade.

O estudo comparativo baseado nos valores financeiros torna-se extremamente complexo, pois seria necessário levar em consideração a inflação brasileira, a inflação americana (para os custos do dólar americano), o valor dos insumos e seus respectivos valores nas respectivas situações econômicas dos respectivos períodos (o minério de ferro há vinte anos não seria tão impactante na inflação brasileira quanto nos dias atuais, e para valorar o preço do minério em relação aos insumos, seriam necessárias outras considerações), desta forma, os números atualizados servem apenas de forma ilustrativa. O item financeiro que podemos comparar é a Taxa Interna de Retorno (TIR) nos seus respectivos empreendimentos, pois este item considera cada investimento de capital na situação econômica nos seus respectivos momentos. Deste modo, podemos considerar que o empreendimento PAE-I teve uma oportunidade de investimento de capital melhor que o PAE-II. A

Tabela apresenta os itens levantados nos dois PAE's.

Tabela 15.- Itens de comparação entre os PAE's

Itens	PAE-I	PAE-II
Vida útil do empreendimento (anos)	20 ou mais	17
Teor de Fe da Reserva Lavrável (%)	62,73	40,73
Reserva para atendimento ao projeto (t)	22.950.000	1.187.600.000
Escala de Alimentação no Beneficiamento (Mtpa)	2,3	55
Escala de produção (Mtpa)	1,9	27
Teor de (Ferro / SiO ₂ / P) do produto (%)	68,00 / 0,8 / 0,038	67,00 / 1,18 / 0,051
Recuperação em massa (%)	~ 84	~ 46
Equipamentos de mina	Pequeno porte	Médio/grande porte
REM (t/t)	0,88	0,54
Volume de estéril (m ³)	33.231.584	388.000.000
Área de servidão requerida (ha)	887,9	1.702,98
Preço do produto (US\$ / t)	14,26	90,00
Investimento (US\$)	7.569.391,41	3.384.480.000,00
VPL (US\$)	7.945.369,52	3.477.446.920,64
Taxa Interna de Retorno (TIR) %	37,17	26,95
Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	10%	8%
Nº de empregos gerados	208	913

5. Conclusões

Comparando as duas situações, podemos afirmar que para a continuidade de um empreendimento mineral aproveitando um recurso remanescente com mais baixo teor de ferro e maior escala de produção, seriam necessários:

* investimento de capital de maior aporte, devido a: i) necessidade de equipamentos de maior porte; ii) instalação de tratamento de minério com mais etapas de processo; iii) instalação de sistemas de expedição e iv) maior sistema de rejeitos.

* maior área superficial impactada pelas instalações de: i) sistemas de carregamento; ii) sistemas de rejeitos; iii) linhas de transmissão e iv) instalação de tratamento de minério.

Para que haja o aumento da vida útil de uma mina devem-se desenvolver tecnologias que viabilizem o aproveitamento de minérios de baixo teor, realizar pesquisas minerais para aumentar e conhecer os recursos. Os investimentos governamentais que podem incentivar são as melhorias nas infraestruturas disponíveis (logística de transporte/escoamento) e a implementação de uma política mineral favorável, entre outros.

A continuidade de um empreendimento mineral acarreta ainda em continuidade do retorno a sociedade, em função do número de empregos diretos, geração de recolhimento dos impostos (diretos e indiretos), fomento ao giro de capital na região do empreendimento, possibilitando desta maneira a continuidade nos investimentos sociais e ambientais.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, Antônio José Rodrigues do. & LIMA FILHO, Clóvis Ático. Mineração. In: Geologia e Mineração. Recife: 4º Distrito do DNPM-Pernambuco. Disponível em: <<http://dnpm-pe.gov.br/Geologia/Mineracao.php>> Acesso em: 29 de Agosto de 2014.
- CARLOS, J. G., NEYMAYER, P. L., NILTON, T., SELMIR, S., JOSEMAR, C. (2013). ROTA DE PROCESSO OTIMIZADA PARA CONCENTRAÇÃO DE ITABIRITOS POBRES DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINÉRIOS & MINERALES.
- CHEMALE, F. e ROSIÉRE, C.A. (2008). ITABIRITOS E MINÉRIOS DE FERRO DE ALTO TEOR DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO – UMA VISÃO GERAL E DISCUSSÃO.
- SOUZA, N. (2010). ANÁLISE CRÍTICA DE ROTAS DE PROCESSAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO ITABIRÍTICOS. Projeto de Graduação - UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Metalúrgica, Rio de Janeiro.

Artículo recibido en: 15.05.2024

Artículo aceptado: 04.06.2024

BASES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL SUSTENTABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE LITIO DE LAS SALMUERAS DEL SALAR DE COIPASA

¹ Dr.- Ing. Gerardo Zamora E.

² M. Sc. Ing. Jorge Gutierrez

³ Ing. Omar Conde

¹ Docente - Carrera de Metalurgia y Ciencia de Materiales - Universidad Técnica de Oruro

² Docente – Carrera de Geología - Universidad Técnica de Oruro

³ Gerente – Laboratorios de Análisis Químicos Conde Morales

gerardozamorachenique@yahoo.es

omarconde@hotmail.com

fni.jorge@gmail.com

RESUMEN

En Bolivia, el altiplano es una cuenca endorreica de $\pm 200000 \text{ km}^2$ ubicada a 4000 msnm que se encuentra entre la Cordillera Occidental y Oriental, y que por sus características meteorológicas que presenta dicha cuenca, tiene las condiciones ideales para la formación de ambientes evaporíticos. Dos amplias costras de sal llenan el centro Altiplano: se les conoce como Salar de Uyuni (10000 km^2 , 3653 m) y Salar de Coipasa (2500 km^2 , 3656 m). El Salar de Coipasa ($68^\circ 8' \text{W}$, $19^\circ 23' \text{S}$), es el segundo salar más grande del Altiplano boliviano, y se encuentra al noroeste del Salar de Uyuni. El salar de Coipasa tiene mayor significancia como recurso estratégico de litio para el departamento de Oruro en Bolivia. En el marco de la Federal Direction for International Cooperation (DGCI) (1996-2000), la Universidad belga de Liege y la Universidad Técnica de Oruro, han efectuado una prospección del Salar de Coipasa sistemática con una malla de 2 por 2 km y extraído muestras de salmueras cuyos resultados de análisis químicos arrojaron una concentración media de litio de 339.1 mg/L y relaciones de Mg/Li y SO_4/Li de 42.74 y 83.14, respectivamente, previéndose extracciones de litio por el proceso convencional por piscinas de evaporación y posteriores etapas de eliminación de impurezas hasta la obtención de LiCO_3 por debajo del 20 % por el arrastre del litio en los productos de la etapa de enriquecimiento por cristalización y en la eliminación de impurezas de precipitación. Por otra parte, la evaporación en la zona del Salar de Coipasa es menor a 1500 mm y las precipitaciones fluviales oscilan entre 100 y 200 mm; por lo que para alcanzar una producción mayor a 15000 t de LiCO_3 se requerirían más de 3000 Has en piscinas de evaporación, con tiempos de tratamiento más largos que 18 meses de operación. Por tanto, se califica de “técnicamente difícil la posibilidad de extracción de litio de las salmueras de Coipasa a través de procesos convencionales”. Es decir, la extracción de litio del salar de Coipasa debe efectuarse por el método de extracción directa, considerando sus ventajas competitivas de mayor eficiencia, tiempos cortos de extracción, costos competitivos y significativamente una menor huella hídrica. El proceso propuesto involucra el proceso de adsorción – desorción, membranas y ósmosis inversa, se constituiría en el proceso más adecuado para la obtención de LiCO_3 de las salmueras del salar de Coipasa, zona de alta escases hídrica.

Palabras Clave: Salar de Coipasa - Extracción de litio de salmueras – EDL de salmueras de Coipasa