

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS – UFG
REGIONAL CATALÃO – RC
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TRATAMENTO DE MINÉRIOS – CETM

JAKSCELLE DORNELAS DA SILVA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE COLETORES
ASSOCIADOS NA REDUÇÃO DOS TEORES DE CÁDMIO E CHUMBO
NA FLOTAÇÃO DE ZINCO E CHUMBO**

CATALÃO/GO

Novembro, 2015.

JAKSCELLE DORNELAS DA SILVA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE COLETORES
ASSOCIADOS NA REDUÇÃO DOS TEORES DE CÁDMIO E CHUMBO
NA FLOTAÇÃO DE ZINCO E CHUMBO**

Monografia apresentada ao curso de pós-graduação em Tratamento de Minérios da Universidade Federal de Goiás – UFG, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Tratamento de Minérios.

Orientadora: Profa. MSc. Elenice Maria Schons Silva

CATALÃO/GO

Novembro, 2015.

FICHA CATALOGRÁFICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

JAKSCELLE DORNELAS DA SILVA

Estudo da eficiência da utilização de coletores associados na redução dos teores de cádmio e chumbo na flotação de zinco e chumbo

Monografia apresentada à Universidade Federal de Goiás – UFG, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Tratamento de Minérios.

BANCA EXAMINADORA

Nome do membro da banca
Instituição

Nome do membro da banca
Instituição

Nome do professor orientador
Instituição

Aprovado em ____/____/____

RESUMO

Essa pesquisa apresenta como tema central o estudo da eficiência do coletor AG585 da Piet Float, associado aos demais reagentes utilizados na etapa de concentração (flotação) da empresa Votorantim Metais, unidade de Morro Agudo, que tem como objetivo reduzir os níveis de cádmio e chumbo presentes no pó calcário agrícola, um dos seus produtos finais do processo de flotação que é destinado para aplicação na agricultura como corretivo de acidez do solo. Tendo em consideração as exigências para comercialização desse produto por órgãos fiscalizadores, como Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), a baixa eficiência dos reagentes já utilizados na empresa e o desejo da mesma em adequar o seu produto dentro dessas especificações, fez se necessário desenvolver um reagente e técnicas de controle para tal redução. A metodologia aplicada se trata de uma pesquisa de campo de natureza quantitativa e qualitativa. Quanto à coleta de dados, foi realizada a partir dos resultados de ensaios de flotação em escala de bancada e industrial. Tendo em vista a importância dessas garantias e a busca da produção ecologicamente sustentável, o estudo de experimentos com associação de coletor auxiliar na flotação de zinco e chumbo dessa empresa de mineração propiciou na redução dos índices de chumbo e cádmio (metais pesados) na ordem de 35 a 40%, sem afetar a qualidade dos demais produtos gerados como concentrados de zinco e chumbo, em consequência, conseguiu elevar a recuperação metalúrgica.

Palavras-chave: Flotação. Pó Calcário Agrícola. Recuperação Metalúrgica. Metais Pesados.

ABSTRACT

This research has as its central theme the study of AG585 collector efficiency of Piet Float, combined with other reagents used in the concentration step (flotation) company Votorantim Metais, Morro Agudo unit, which aims to reduce the cadmium and lead levels present in powdered agricultural lime, one of its final products of the flotation process that is intended for application in agriculture as corrective of soil acidity. Taking into account the requirements for marketing of this product by regulatory agencies such as Ministry of Agriculture Livestock and Supply (MAPA), low reagent efficiency already used in the company and the desire of it to tailor your product within these specifications, made if necessary develop a reagent and control techniques for such reduction. The methodology applied is not a quantitative and qualitative field research. The data collection was held from the results of flotation tests in bench-scale and industrial. Given the importance of these guarantees and the pursuit of environmentally sustainable production, the study of experiments with collector association assist in zinc flotation and lead this mining company led to the reduction of the levels of lead and cadmium (heavy metals) in the order of 35 to 40% without affecting the quality of other products generated as zinc and lead concentrates therefore able to increase the metal recovery.

Keywords: Flotation, Agricultural limestone powder, Metalurgic recovery, Toxic Metal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de Calcário no Brasil	21
Figura 2 - Índices de Produção Mineral (IPM) do 1º/211 ao 1º/2014. Base: mesmo semestre do ano anterior.....	29
Figura 3 - Localização da Votorantim Metais unidade de Morro Agudo	33
Figura 4 - Imagem da Mina (câmaras e pilares)	35
Figura 5 - Fluxograma da britagem	37
Figura 6 - Pilha de homogeneização.....	37
Figura 7 - Fluxograma da moagem e classificação	38
Figura 8 - Fluxograma da flotação do circuito de chumbo.....	39
Figura 9 - Fluxograma da flotação do circuito de zinco.....	40
Figura 10 - Imagem das colunas de flotação	41
Figura 11 – Imagem das células mecânicas de flotação	41
Figura 12 - Área da filtragem	42
Figura 13 - Visão aérea da empresa e localização das barragens	43
Figura 14 - Fluxograma Ensaio de Bancada.....	46
Figura 15 - Fluxograma com indicação dos pontos de dosagens do reagente coletor auxiliar Piet float AG585	48
Figura 16 - Resultados de recuperação de Zn.....	55
Figura 17 - Resultados dos teores de Zn no concentrado final gerado dos testes	56
Figura 18 - Resultados do Pb no rejeito final gerado dos testes.....	56
Figura 19 - Resultados de Cd no rejeito final gerado dos testes.....	57
Figura 20 - Testes de Lixiviação Padrão e com AG 585	58
Figura 21 - Teor de Zn na Alimentação da Planta.....	59
Figura 22 - Teor de Pb na alimentação da planta	60
Figura 23 - Teor de Pb no rejeito final da flotação de zinco	60
Figura 24 - Teor de Cd no rejeito final da flotação de Zn	61
Figura 25 - Recuperação de Pb.....	61
Figura 26 - Recuperação de Zn.....	62
Figura 27 - Teor de Pb no concentrado final de chumbo	62
Figura 28 - Teor de Zn no concentrado final de Zn.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exigências mínimas dos calcários para granulometria, que se refere à dados do agronegócio	20
Tabela 2 - Exigências mínimas dos calcários para qualidade química PN, que se refere à dados do agronegócio	20
Tabela 3 - Exigências mínimas dos calcários para qualidade agronômica PRNT por tipo, que se refere à dados do agronegócio.....	20
Tabela 4 - Exigências mínimas dos calcários para qualidade PN e PRNT, que se refere à dados do agronegócio	20
Tabela 5 - Exigência do Ministério da Agricultura para metais pesados	21
Tabela 6- Reserva brasileiras medidas e indicadas de chumbo para o ano de 2008	30
Tabela 7 - Produção anual de concentrado de chumbo/metal contido (2011 a 2013).....	30
Tabela 8 - Reservas Minerais de Zinco (t) em Zn contido 2008	31
Tabela 9 - Evolução da Produção de Zinco contido(t) – 1996-2013.....	32
Tabela 10 - Reagentes utilizados no processo de flotação	42
Tabela 11 - Visão aérea da empresa e localização das barragens	44
Tabela 12 - Especificações do cliente para o concentrado final de Pb.....	44
Tabela 13 - Especificações do Pó Calcário Agrícola, conforme registro junto ao Ministério da Agricultura.....	45
Tabela 14 - Condições dos ensaios de bancada.....	47
Tabela 15 - Dosagem de reagentes por ensaios de bancada	47
Tabela 16 - Principais análises, metodologias e equipamentos	49
Tabela 17 - Resultados do teste 1 (padrão).....	50
Tabela 18 - Resultados do teste 2	51
Tabela 19 - Resultados do teste 3	51
Tabela 20 - Resultados do teste 4	51
Tabela 21 - Resultados do teste 5	52
Tabela 22 - Resultados do teste 6 Padrão com etapa cleaner	52
Tabela 23 - Resultados do teste 7	53
Tabela 24 - Resultados do teste 8	53
Tabela 25 - Resultados do teste 9	54
Tabela 26 - Resultados do teste 10	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CL	Cleaner
CCL	Concentrado da Cleaner
CRG	Concentrado da Rougher
IPM	Índice Produção Mineral
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
PCA	Pó Calcário Agrícola
PCI	Pó Calcário Industrial
PN	Potencial de neutralização
PRNT	Potencial relativo de neutralização total
SCV	Scavenger
RCL	Rejeito da Cleaner
RRG	Rejeito da Rougher
RSCV	Rejeito de Scavenger
RG	Rougher
ROM	Run Of Mine

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. JUSTIFICATIVA	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
4.1 Agricultura.....	16
4.2 Calcário agrícola.....	17
4.2.1 Produção de calcário mundial	21
4.3 Fertilizantes.....	22
4.3.1 Macronutrientes (NPK)	23
4.3.2 Micronutrientes.....	24
4.4 Metais pesados.....	25
4.3.1 Cádmio (Cd)	26
4.3.2 Chumbo (Pb)	27
4.4 Extração mineral.....	28
5. METODOLOGIA.....	33
5.1 Caracterização da empresa Votorantim Metais – Unidade Morro Agudo	33
5.1.1 Geologia	34
5.1.2 Método de lavra	34
5.1.3 Processamento mineral	36
5.2 O processo de flotação.....	45
5.2.1 Amostragem e premissas para dosagem do coletor auxiliar.....	45
5.2.2 Condições dos testes de flotação	46
5.3 Condições dos ensaios de lixiviação	48
5.4 Análises físicas e químicas	48
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
6.1 Ensaios de flotação em bancada	50
6.2 Ensaios de lixiviação em bancadas.....	57
6.3 Resultados industriais.....	59
7. CONCLUSÕES	64
8. REFERÊNCIAS	65
ANEXO 1	67

1. INTRODUÇÃO

Além de produzir alimentos que satisfaçam a premente necessidade do combate à fome e à subalimentação, principais alvos, a agroindústria tem de atender à forte demanda quantitativa resultante do crescimento populacional, à mudança do padrão alimentar nos países em desenvolvimento, à progressiva procura por produtos de melhor qualidade (LAPIDO-LAPIDO-LOUREIRO *et al.*, 2009).

Para atender aos três pilares fundamentais da agroindústria - produtividade, qualidade e sustentabilidade - a agricultura brasileira terá de considerar, além da correta utilização de fertilizantes, os caminhos da agricultura de conservação/plantio direto, agricultura orgânica, rotação de culturas, desenvolvimento de variedades de plantas perenes (substituição de culturas de uma única estação por perenes), calagem, gessagem e remineralização dos solos, com aplicação direta de vários materiais sob a forma de ‘pó de-rocha’ (rochagem / ‘rocks-for-crops’), envolvendo diversas rochas, minerais, minérios pobres e rejeitos de diferentes indústrias, biofertilização e biotecnologia (LAPIDO-LAPIDO-LOUREIRO *et al.*, 2009).

A contaminação de solos por metais pesados compromete a sustentabilidade agrícola e ambiental, podendo apresentar sérias consequências à saúde humana em decorrência da contaminação da cadeia trófica via absorção vegetal. Em uma lista de 20 substâncias tóxicas consideradas mais perigosas pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA, o chumbo (Pb) e o cádmio (Cd) ocupam lugar de destaque, sendo o segundo e o quarto, respectivamente, entre os metais pesados (ATSDR, 1997). Contaminação de solos por esses elementos pode causar diversos problemas, incluindo contaminação de lençol freático e toxidez em plantas e animais (FREITAS, 2009).

Devido aos teores relativamente baixos dos metais Cd e Pb em fertilizantes comerciais, muitos pesquisadores têm recomendado sua utilização sem restrições quanto a problemas de contaminação ambiental. No entanto, pouca informação está disponível sobre a absorção desses metais por plantas em solos adubados com diferentes fertilizantes fosfatados e o efeito de acumulação desses elementos no solo a longo prazo (FREITAS, 2009).

A utilização racional dos insumos agrícolas, em busca do aumento da produtividade vem adquirindo importância crescente nas atividades ligadas à agropecuária brasileira. No que

diz respeito aos fertilizantes e corretivos agrícolas aspectos relacionados às características do produto são primordiais (CARDOSO, 2005).

Este estudo apresenta o seguinte problema: o uso de um coletor auxiliar Pietfloat Ag 585 do fornecedor Pietschemicals Com. Imp. Exp. Ltda é eficiente para a redução dos níveis de contaminantes (Pb e Cd) do subproduto na etapa final de flotação do zinco e chumbo gerado do processamento mineral da empresa Votorantim Metais, unidade Morro Agudo?

Para que a utilização racional desses insumos seja atingida, torna-se necessário um conhecimento cada vez mais abrangente dos diversos fatores que afetam o uso eficiente desses insumos, dentre eles entender se o produto a ser utilizado no solo oferece as garantias exigidas pelos órgãos fiscalizadores de tais produtos como, por exemplo, o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), bem como os índices de contaminantes presentes nas produções e comercialização de produtos.

Por outro lado, existe a preocupação e responsabilidade das empresas em atender essas exigências, para isso faz-se necessário investir em tecnologias e novas rotas de processo que propiciem melhorias em seu desempenho. Estes caminhos terão de apoiar-se em estudos intensos, para tornar efetivo e economicamente viável o desenvolvimento social e sustentável da agroindústria no Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Mostrar a eficiência do uso do coletor auxiliar Pietfloat Ag 585, fornecido pela Pietschemicals Com. Imp. Exp. Ltda, para redução dos níveis de contaminantes (Pb e Cd) do subproduto na etapa final de flotação do zinco e chumbo gerado do processamento mineral da empresa Votorantim Metais, unidade Morro Agudo.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- ✓ Evidenciar, através de testes de bancada e em escala industrial, o desempenho do coletor Pietfloat Ag 585 associado aos demais já utilizados na empresa Votorantim Metais, unidade Morro Agudo;
- ✓ Avaliar a qualidade dos concentrados gerados e do rejeito após a utilização do reagente auxiliar AG585;
- ✓ Realizar testes de lixiviação no concentrado de zinco gerado dos ensaios para garantir o controle de espumação após a entrega do concentrado ao cliente;
- ✓ Padronizar a utilização das dosagens em escala industrial e avaliar as especificações de comercialização (concentrado de zinco, chumbo e rejeito final pó calcário agrícola).

3. JUSTIFICATIVA

O Brasil, em escala mundial, é um dos maiores produtores agrícolas, e o seu potencial de crescimento é enorme: dos 330 milhões de hectares de área agricultável, apenas 14% (45 milhões) estão em produção. Poderá ser, cada vez mais, um dos grandes produtores mundiais de alimentos no cenário de crescimento/desenvolvimento de uma agricultura que se quer competitiva, ecoeficiente e sustentável, dentro das perspectivas conceituais de "ciclo de vida". Neste cenário os fertilizantes e corretivos de acidez do solo terão importante função a desempenhar (LAPIDO-LOUREIRO, 2009).

Para Alcarde (2005), a qualidade dos corretivos de acidez no Brasil poderia ser superior a que tem se apresentado se houvesse maior exigência do setor agronômico. As compras, de uma maneira geral, são feitas pelo menor preço apenas; o critério de qualidade normalmente fica fora das negociações. A qualidade tem preço, mas tem retorno e deve-se procurar avaliar bem a relação benefício/custo da qualidade. Para tanto, os conhecimentos sobre os atributos de qualidade dos corretivos e seus efeitos na produção agrícola são indispensáveis.

Os maiores desafios tecnológicos para o setor de mineração estão na busca de um custo cada vez menor da produção para atender a uma realidade do esgotamento das jazidas de maior teor e de mineralizações mais complexas, as exigências, cada vez maiores, de um produto final de alta qualidade e a pressão ambiental da sociedade.

Para muitas empresas produtoras ou não de corretivo de acidez, o maior desafio está na questão ambiental. Provavelmente nos próximos anos, como exemplo as mineradoras deverão passar por uma profunda transformação na reavaliação dos seus processos de lavra e processamento. Caso contrário, os custos advindos das leis que regulam as questões ambientais poderão inviabilizar a grande maioria dos projetos de minerações.

Devido aos altos custos e a baixa eficiência na remoção de contaminantes presentes nos rejeitos, para atendimento às exigências dos órgãos ambientais se torna indispensável a busca por soluções tecnológicas para a adequação dos produtos, conforme as normas ambientais vigentes no país.

A base para esse trabalho foi motivada pelo interesse em reduzir os níveis de contaminantes de um corretivo de acidez para garantir a geração de produtos com grande qualidade e, além disso, estender a vida útil da barragem de depósito de Pó Calcário,

possibilitando a geração de valor com a comercialização de produto já estocado (adequação) do material não conforme e, como consequência, aumentar a recuperação metalúrgica do mineral nos seus concentrados.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Agricultura

A agricultura brasileira experimentou um grande desenvolvimento durante os últimos 100 anos, obtendo aumentos significativos na produtividade de um grande número de culturas, notadamente nas últimas três décadas. Isto foi resultado de uma série de inovações tecnológicas que surgiram baseadas em inúmeras pesquisas e também na difusão do uso dessas técnicas.

Um dos componentes mais importantes para esse desenvolvimento da agricultura, principalmente no que diz respeito ao aumento da produtividade agrícola, sem esquecer os outros fatores de produção, foi a pesquisa em fertilidade do solo e as inovações científicas e tecnológicas que permitiram o uso eficiente de corretivos e de fertilizantes na agricultura brasileira. Segundo dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), cada tonelada de fertilizante mineral aplicado em um hectare, de acordo com princípios que permitam sua máxima eficiência, equivale à produção de quatro novos hectares sem adubação. É, portanto, indissociável a estreita inter-relação entre fertilidade do solo e produtividade agrícola (LAPIDO-LAPIDO-LOUREIRO, 2009).

Embora a disciplina “Fertilidade do Solo”, como parte das ciências agrárias e afins, seja de implantação relativamente recente nas escolas e universidades, é cada vez mais acentuada a importância que ela tem para a segurança alimentar no Brasil e no mundo. Entretanto, estudantes dessa disciplina geralmente desconhecem relatos pertinentes às observações práticas, aos trabalhos de pesquisa e a outros fatos importantes que, pela sua evolução através dos tempos, permitiram que se alcançasse o patamar de conhecimento em que nos situamos hoje, no mundo e no Brasil (LAPIDO- LOUREIRO, 2009).

Conforme Cardoso (2005), em seu livro de “Fertilidade do solo e produtividade agrícola”, um dos componentes mais importantes para esse desenvolvimento da agricultura, principalmente no que diz respeito ao aumento da produtividade agrícola, sem esquecer os outros fatores de produção, foi a pesquisa em fertilidade do solo e as inovações científicas e tecnológicas.

O desenvolvimento da agricultura no Brasil, desde o seu descobrimento, está diretamente, mas de forma de empírica no passado, ligada à fertilização do solo. O grande

ciclo da fertilização se fez na evolução nas lavouras de cana-de-açúcar e de café, tornando a fertilização mais efetiva e constante para uma melhoria maior das terras (CARDOSO, 2005).

A agricultura moderna deve ser voltada ao desenvolvimento sustentável, criando e mantendo a produtividade do solo em longo prazo. Os sistemas agrícolas empregados no Brasil, de uma maneira geral, começam a ser questionados, quando relacionados aos conceitos de sustentabilidade, isto é usar sem depredar, de modo a que os recursos naturais, notadamente o solo e a água, possam ser transferidos às gerações futuras, com um legado usufruto, em condições de capacidade produtiva (NAHASS, 2009).

4.2 Calcário agrícola

Segundo Silva (2009), o calcário é encontrado extensivamente em todos os continentes, e é extraído de pedreiras ou depósitos que variam em idade, desde o Pré-Cambriano até o Holoceno. Esses depósitos são geralmente formados pelas conchas e pelos esqueletos de microrganismos aquáticos, comprimidos sob pressão para formar as rochas sedimentares que chamamos calcário. O calcário representa aproximadamente 10% de todas as rochas sedimentares. Há também os depósitos de calcário precipitado diretamente de águas com elevados teores de sais minerais. As reservas de calcário, ou rochas carbonatadas, são praticamente intermináveis, porém a sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos de 10% das reservas de carbonatos lavradas em todo mundo.

Silva (2009) ainda comenta que, desde a Renascença, a acidez do solo tem sido reduzida através da adição de cal (calcário calcinado) aos solos ácidos. Como todo calcário, o principal constituinte mineralógico do calcário agrícola é a calcita (carbonato de cálcio - CaCO_3), podendo conter menores quantidades de carbonato de magnésio, sílica, argila e outros minerais. A dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) pode representar parcela significativa das rochas carbonáticas utilizadas para fins agrícolas.

O calcário é a mais útil e versátil de todas as rochas e minerais industriais, possuindo uma expressiva disponibilidade e baixo custo. Na indústria, é uma matéria-prima essencial na fabricação do cimento, ferro e aço. É também importante na fabricação de papel e de lentes. De numerosos processos químicos. Como *filler* nas pinturas, plásticos, borracha, asfalto e forros de tapetes, no tratamento da água e como agente preventivo de incêndios nas minas de carvão (NAHASS, 2009).

A aplicação do calcário, com tecnologia apropriada, na calagem dos solos protege o ambiente, incrementa a eficácia dos nutrientes e dos fertilizantes. O uso de calcário traz benefícios inestimáveis à agricultura.

A técnica de correção de solo é estudada por órgãos de pesquisa agrícola no Brasil e no mundo há décadas. De acordo com a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), da Universidade de São Paulo, é possível até mesmo dobrar a produtividade de determinada área, em poucos anos, com a utilização da técnica de calagem, que pode ser considerada muito simples, barata e acessível (LOPES e GUILHERME, 2008).

A aplicação de calcário nos solos é capaz de, além de corrigir a acidez, fornecer cálcio e magnésio, disponibilizar nutrientes e neutralizar o excesso de alumínio e manganês do solo, que são elementos tóxicos para as plantas, tornando-o mais apropriado para as culturas (PEREIRA, 2007).

Segundo Lopes e Guilherme (2008) a falta do calcário não só compromete o desenvolvimento de uma agricultura empresarial, como também induz a uma agricultura familiar e de subsistência altamente degradativa, na medida em que a mesma cumpre o indesejável ciclo: derrubada, exaustão, abandono, mais derrubada. A evidência maior da importância do calcário tem sido a constatação de um dos mais famosos pesquisadores brasileiros, Dr. Eurípedes Malavolta, da ESALQ, que demonstrou em 1958, em experimento com a cana de açúcar do estado de São Paulo que:

- O calcário sem fertilizante faz aumentar a produtividade em 64%;
- O fertilizante sem o calcário faz aumentar a produtividade nos mesmos 64%;
- Calcário e fertilizantes combinados aumentam a produtividade em 235%.

Constatou-se, mediante análises, que a não utilização do calcário, ou a utilização em doses inadequadas, verifica-se em todo o território nacional, em níveis diferentes, segundo cada região.

Segundo Silva (2009), os problemas verificados no mercado de calcário agrícola foram principalmente relacionados aos seguintes fatores:

- Altos preços dos produtos e do custo do frete;
- Inadequação das condições de crédito para aquisição de comercialização do calcário agrícola;
- Falta de conhecimento por parte dos agricultores, sobre a importância e os benefícios do uso dos corretivos de solos (calagem).

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (BRASIL, 2014), a solução para incrementar o consumo de calcário agrícola provavelmente está na adoção de programas que atinjam três barreiras simultaneamente, ou seja, programas de apoio e extensão agrícola, aliados a programas de financiamento à aquisição de calcário agrícola, e implementação de medidas para melhorar a infraestrutura logística do país.

Na intenção de alertar o produtor rural sobre a importância da calagem para a agricultura brasileira, a Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo do Mapa (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) promoveu no dia 23 de maio de 2013 o primeiro Seminário sobre o Dia Nacional do Calcário Agrícola. A data comemorativa foi instituída pela Lei nº 12.389/11 e é celebrada, anualmente, no dia 24 de maio em todo o território nacional (BRASIL, 2014).

Além disso, a Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola - ABRACAL elaborou na segunda metade da década de 90 o Plano Nacional de Calcário Agrícola - PLANACAL que permanece, apesar do tempo, inalterado. O Plano objetiva, entre outros, esclarecer os agricultores sobre os benefícios da calagem à agricultura (BRASIL, 2014).

Dois programas do governo federal incentivam o uso do calcário agrícola no solo: o Programa de Modernização da Agricultura e Conservação dos Recursos Naturais - MODERAGRO e o Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura (Programa ABC), ambos financiando, entre outras, a aquisição, transporte, aplicação e incorporação de corretivos agrícolas (calcários e outros). Os dois programas possuem vigência até 30 de junho de 2014 (BRASIL, 2014).

A classificação brasileira atual dos calcários agrícolas é dada pela Instrução Normativa SDA/Nº 35, de 04 de julho de 2006, e seu anexo, da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que dividem os calcários agrícolas nas seguintes categorias, em relação ao teor de MgO (óxido de magnésio):

- Calcário Calcítico - menos de 5% de MgO;
- Calcário Magnesiano - de 5% a 12% de MgO;
- Calcário Dolomítico - acima de 12% de MgO (BRASIL, 2014).

No Brasil, o calcário agrícola, de acordo com a legislação (extrato de minuta de Portaria do Ministério da Agricultura, 30/05/86, publicada no DOU, em 16/06/96, página

8673) é caracterizado pelas seguintes exigências mínimas, conforme segue nas tabelas de 1 a 4, que se refere aos dados do agronegócio (LAPIDO-LOUREIRO, 2009).

Tabela 1 – Exigências mínimas dos calcários para granulometria, que se refere à dados do agronegócio

100% (ou 95%)	< peneira 10#
70%	< peneira 20#
50%	< peneira 50#

Fonte: Lapido-Loureiro (2009).

Tabela 2 - Exigências mínimas dos calcários para qualidade química PN, que se refere à dados do agronegócio

Qualidade química PN	(% CaCO ₃)	\sum Óxidos (% CaO+MgO)
Escórias	60	30
Calcários	67	38
Calcário calcinado	80	43
Cal hidratada	94	50
Cal Virgem	125	68
Outros	67	38

Fonte: Lapido-Loureiro (2009).

Tabela 3 - Exigências mínimas dos calcários para qualidade agronômica PRNT por tipo, que se refere à dados do agronegócio

Qualidade agronômica – PRNT	
Tipo A	45 a 60 %
Tipo B	60,1 a 75 %
Tipo C	75,1 a 90 %
Tipo D	> 90 %

Fonte: Lapido-Loureiro (2009).

Tabela 4 - Exigências mínimas dos calcários para qualidade PN e PRNT, que se refere à dados do agronegócio

Qualidades mínimas admitidas	
PN	$\geq 67\%$
PRNT	$\geq 45\%$

Fonte: Lapido-Loureiro (2009).

Conforme a instrução normativa nº 27, 2006 do Ministério da Agricultura Agropecuária e Abastecimento, os limites máximos para de metais pesados tóxicos admitidos em corretivos de acidez, de alcalinidade e sodicidade e para silicato de cálcio, silicato de cálcio e magnésio, carbonato de cálcio e magnésio são: para cádmio (20ppm) e para o chumbo (1000 ppm) como segue na tabela 5, o descumprimento para comercialização acima desses valores podem acarretar uma série de sanções previstas no Decreto nº 4.954, de 2004, podendo até mesmo a empresa perder a licença de comercialização dos seus produtos.

Tabela 5 - Exigência do Ministério da Agricultura para metais pesados

Metal Pesado	Valor Máximo admitido (mg/kg)
Cádmio	20,00
Chumbo	1.000,00

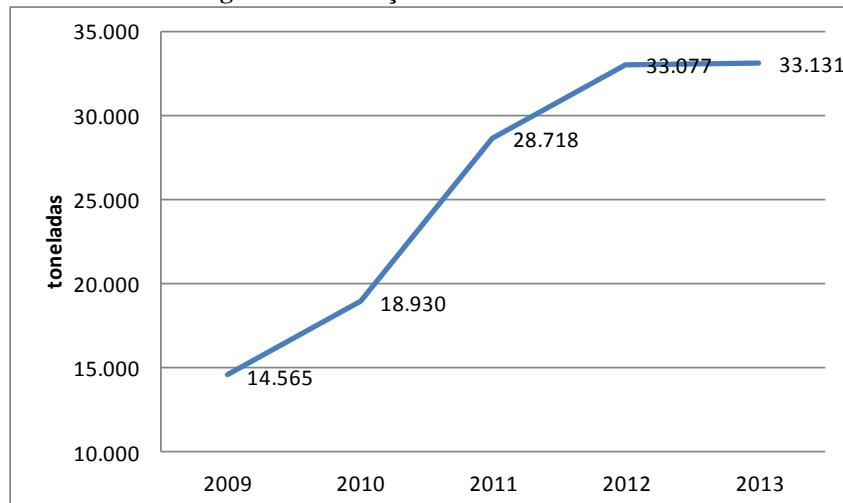
Fonte: Instrução Normativa Nº 27/2006.

4.2.1 Produção de calcário mundial

Junior (2014) comenta que a produção nacional de calcário agrícola em 2013, quando comparado a 2012, mostrou um crescimento inexpressivo (inferior a 0,2%), apesar da safra brasileira de grãos ter sido 16,2% superior ao ano de 2012, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Na figura 1, encontram-se os dados de produção de calcário agrícola no Brasil:

Figura 1 - Produção de Calcário no Brasil



Fonte: Júnior (2014).

O Plano Nacional de Mineração (PNM-2030) prevê que o consumo de calcário agrícola deverá crescer mais que os demais agrominerais. As projeções para a produção de calcário agrícola são da ordem de 34,1 Milhões de toneladas em 2015, 54,8 Mt em 2022 e 94,1 Mt em 2030 (JÚNIOR, 2014).

4.3 Fertilizantes

Para Lapido Lapido-Loureiro *et al.* (2009), os fertilizantes, são usados, na agricultura, para:

- Complementar a disponibilidade natural de nutrientes do solo com a finalidade de satisfazer a demanda das culturas que apresentam um alto potencial de produtividade e de levar a produções economicamente viáveis;
- Compensar a perda de nutrientes decorrentes da remoção das culturas, por lixiviação ou perdas gasosas;
- Melhorar as condições não favoráveis, manter boas condições do solo para produção das culturas ou contribuir para recuperar solos.

Conforme Lapido-Lapido-Loureiro *et al.* (2008), os fertilizantes são produtos ou substâncias que, aplicados aos solos, fornecem às plantas os nutrientes necessários ao seu bom desenvolvimento e produção.

As substâncias - nutrientes - que constituem os fertilizantes podem ser divididos em dois grandes conjuntos: macronutrientes e micronutrientes ou oligoelementos.

O nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) - macronutrientes principais - são os nutrientes mais importantes para o bom desenvolvimento das plantas. São consumidos em grandes quantidades. Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) - macronutrientes secundários - as plantas também os absorvem em quantidades consideráveis.

Os micronutrientes ou microelementos são: Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mo, Cl, B e TR (na China). Embora sejam aplicados em quantidades reduzidas e dentro de limites muito apertados, são elementos-chave para o crescimento das plantas. Sua função pode ser comparada à das vitaminas na alimentação humana.

São 17 os nutrientes (elementos) considerados essenciais para o crescimento da grande maioria das plantas. Provêm do ar, da própria água e do solo.

- Do ar: carbono (C) sob a forma de dióxido (CO_2).

- Da água: hidrogênio (H) e oxigênio (O), na forma de água (H_2O).
- Do solo e dos fertilizantes químicos (minerais e orgânicos): nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe) manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e níquel (Ni).

4.3.1 Macronutrientes (NPK)

Existem inúmeros componentes que as plantas precisam para se desenvolverem de forma saudável. Neste processo de crescimento, três fertilizantes compostos por três macroelementos: NPK, sendo a sigla N Nitrogênio, P - Fósforo e K - Potássio. Estes macroelementos são utilizados em grande quantidade pelas plantas e indispensáveis em todas as fases, tanto no crescimento como no florescimento e na frutificação.

O N é um dos componentes primordiais para o desenvolvimento das proteínas vegetais, uma vez que as plantas com *déficit* em nitrogênio encontram dificuldade para respirar e não conseguem efetuar a fotossíntese. O principal efeito do N é que ele atua diretamente no crescimento e na germinação da planta. Sem a presença desse componente a planta não se desenvolve normalmente, e o índice que indica a falta do mesmo são os sinais de folhas amareladas, uma vez que uma planta rica em nitrogênio se mantém sempre verde (ALCARDE, 2005).

Já Lapiro-Lapiro-Loureiro (2009) diz que o nitrogênio, motor do crescimento da planta, é retirado do solo (e também do ar), sob a forma de nitrato (NO_3^-) ou de amônio (NH_4^+). É o constituinte essencial das proteínas. Uma correta aplicação de nitrogênio é também importante para a absorção dos outros nutrientes pelas plantas.

O fósforo (F) desempenha um importante papel na transferência de energia. Como tal, é essencial para a fotossíntese e para outros processos químico-fisiológicos. O problema é ser deficiente na maioria dos solos naturais.

O último dos nutrientes é o potássio (K) tem muitas funções: ativa mais de 60 enzimas (substâncias químicas que regulam a vida), desempenha um papel vital na síntese dos carboidratos e das proteínas, melhora o regime hídrico das plantas e, desta forma, aumenta a sua tolerância às secas, geadas e salinidade. As plantas bem providas de potássio são mais resistentes a doenças.

É ele que tem ligação direta no tamanho e na qualidade final dos frutos, na resistência a doenças e na falta de água da mesma. Quando a planta começa a apresentar um crescimento mais lento, menor desenvolvimento nas raízes, caules com flexibilidade avançada

e fracos e com a sua formação de sementes e com os frutos menos desenvolvidos são marcas evidentes de que a mesma necessita de reposição de potássio (ALCARDE, 2005).

A composição dos fertilizantes fosfáticos e potássicos podem exprimir-se, tanto sob a forma elementar, P e K, como na dos respectivos óxidos, P_2O_5 ou K_2O . O nitrogênio é sempre apresentado como elemento.

Os macronutrientes são aplicados habitualmente na proporção de kg/ha e os micronutrientes em g/ha.

A FAO/IFA na 4^a edição da publicação, *Los Fertilizantes y Su Uso*, sintetiza bem a função/importância dos nutrientes (FAO/IFA, 2002). Referem-se "ao uso apropriado dos fertilizantes" e como esse uso "deveria ser parte de um programa integrado de boas práticas agrícolas tendentes a melhorar a produção dos cultivares". Acentuam ainda que os nutrientes, necessários tanto em pequenas quanto em grandes quantidades, desempenham funções específicas no crescimento da planta e na produção alimentar. Nenhum nutriente pode ser substituído por outro (PEREIRA, 2007).

O magnésio é o constituinte central da clorofila, o pigmento verde das folhas que funciona como um receptor da energia solar. Por isso, 15 a 20% do magnésio contido na planta se encontra nas partes verdes. Também atua nas reações enzimáticas relacionadas às transferências de energia da planta (SILVA, 2009).

O enxofre é o constituinte essencial das proteínas e, além disso, intervém na formação da clorofila. Desempenha uma função tão importante como o fósforo ou o magnésio no crescimento das plantas, mas o seu papel é muitas vezes subestimado (TSUTIVA, 1999).

O cálcio é indispensável para o crescimento das raízes e como constituinte dos materiais da membrana celular. Embora seja abundante na maioria dos solos como cálcio assimilável, nas regiões tropicais pode-se verificar forte carência. A sua principal aplicação na agricultura é na calagem dos solos ácidos, para corrigi-los (TSUTIVA, 1999).

4.3.2 Micronutrientes

Os micronutrientes (Fe-Mn-Zn-Cu-Mo-Cl-B) são absorvidos em quantidades minúsculas e com uma escala de aplicação muito apertada. Embora sejam substâncias-chave para o crescimento das plantas, comparáveis às vitaminas na nutrição humana, alguns podem ser tóxicos, como o Al e o Mn nos solos ácidos (PEREIRA, 2009).

É consenso geral que as condições naturais de fertilidade são insuficientes para atender ao consumo necessário para um bom desenvolvimento das plantas. Estudos desenvolvidos por várias entidades, incluindo a FAO, mostraram que a fertilização balanceada provoca um aumento na produtividade de 35 a 50%, em média, e que *one kg of mineral fertilizer can achieve, under farmer's conditions, about 10 kg additional yield* (PEREIRA, 2007).

4.4 Metais pesados

Os metais compõem um grupo de elementos químicos sólidos no seu estado puro (com exceção do mercúrio, que é líquido) caracterizados pelo seu brilho, dureza, cor amarelada a prateada, boa condutividade de eletricidade e calor, maleabilidade, ductibilidade, além de elevados pontos de fusão e ebulição (CARDOSO, 2014).

Dentre estes elementos existem alguns que apresentam uma densidade ainda mais elevada do que a dos demais, e, por isso são denominados metais pesados. Além da densidade elevada, o que, em números, equivale a mais de 4,0g/cm³, os metais pesados também se caracterizam por apresentarem altos valores de número atômico, massa específica e massa atômica (CARDOSO, 2014).

As principais propriedades dos metais pesados, também denominados elementos traço, são os elevados níveis de reatividade e bioacumulação. Isto quer dizer que tais elementos, além de serem capazes de desencadear diversas reações químicas, não metabolizáveis (organismos vivos não podem degradá-los), o que faz com que permaneçam em caráter cumulativo ao longo da cadeia alimentar (TSUTIVA, 1999).

Comenta Ávila-Campos (2014), que os metais pesados diferem de outros agentes tóxicos porque não são sintetizados nem destruídos pelo homem. A atividade industrial diminui significativamente a permanência desses metais nos minérios, bem como a produção de novos compostos, além de alterar a distribuição desses elementos no planeta.

A presença de metais muitas vezes está associada à localização geográfica, seja na água ou no solo, e pode ser controlada, limitando o uso de produtos agrícolas e proibindo a produção de alimentos em solos contaminados com metais pesados.

Para Ávila-Campos (2014) todas as formas de vida são afetadas pela presença de metais dependendo da dose e da forma química. Muitos metais são essenciais para o

crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo o ser humano, mas eles são requeridos em baixas concentrações e podem danificar sistemas biológicos.

Conforme Tsutiy (1999), as principais fontes de contaminação em solos agrícolas têm sido os adubos minerais e os corretivos (calcários, gesso) que podem conter metais pesados, micronutrientes e outros. O uso desses produtos pode levar, portanto, a um aumento no teor desses elementos no solo (fase sólida e solução) de onde passaria à planta e desta, como forragem ou alimento, ao animal e ao homem.

4.3.1 Cádmio (Cd)

De acordo com o departamento de Microbiologia da Universidade de São Paulo, o cádmio é encontrado na natureza quase sempre junto com o zinco, em proporções que variam de 1:100 a 1:1000, na maioria dos minérios e solos. É um metal que pode ser dissolvido por soluções ácidas e pelo nitrato de amônio. Quando queimado ou aquecido, produz o óxido de cádmio, pó branco e amorfo ou na forma de cristais de cor vermelha ou marrom. É obtido como subproduto da refinação do zinco e de outros minérios, como chumbo-zinco e cobre-chumbo-zinco (DI TOPPI e GABRIELLI, 1999).

O cádmio existente na atmosfera é precipitado e depositado no solo agrícola na relação aproximada de 3 g/hectares/ano. Rejeitos não-ferrosos e artigos que contêm cádmio contribuem significativamente para a poluição ambiental. Outras formas de contaminação do solo são através dos resíduos da fabricação de cimento, da queima de combustíveis fósseis e lixo urbano e de sedimentos de esgotos (DI TOPPI e GABRIELLI, 1999).

Ávila-Campos (2014) comenta que na agricultura, uma fonte direta de contaminação pelo cádmio é a utilização de fertilizantes fosfatados. Sabe-se que a captação de cádmio pelas plantas é maior quanto menor o pH do solo. Nesse aspecto, as chuvas ácidas representam um fator determinante no aumento da concentração do metal nos produtos agrícolas e que a água é outra fonte de contaminação e deve ser considerada não somente pelo seu consumo como água potável, mas também pelo seu uso na fabricação de bebidas e no preparo de alimentos. Sabe-se que a água potável possui baixos teores de cádmio (cerca de 1 g/L), o que é representativo para cada localidade.

O cádmio é um elemento de vida biológica longa (10 a 30 anos) e de lenta excreção pelo organismo humano. O órgão alvo primário nas exposições ao cádmio a longo prazo é o rim. Os efeitos tóxicos provocados por ele compreendem principalmente distúrbios

gastrointestinais, após a ingestão do agente químico. A inalação de doses elevadas produz intoxicação aguda, caracterizada por pneumonite e edema pulmonar (ÁVILA-CAMPOS, 2014).

A capacidade com que as plantas podem absorver este metal do solo vai depender de fatores como concentração e biodisponibilidade, os quais são determinados pelo teor de matéria orgânica presente no solo, pH, temperatura e a presença de outros elementos (DITOPPI e GABRIELLI, 1999).

4.3.2 Chumbo (Pb)

Segundo Ávila-Campos (2014) há mais de 4.000 anos o chumbo é utilizado sob várias formas, principalmente por ser uma fonte de prata. Antigamente, as minas de prata eram de galena (minério de chumbo), um metal dúctil, maleável, de cor prateada ou cinza-azulada, resistente à corrosão. Os principais usos estão relacionados às indústrias extractiva, petrolífera, de baterias, tintas e corantes, cerâmica, cabos, tubulações e munições.

O Pb é um constituinte comum da crosta terrestre, com cerca de 20 mg/kg, sendo considerado inofensivo quando não explorado ou transformado para utilização humana. Origina-se de fontes naturais ou também antropogênicas, sendo atualmente utilizado como revestimento de cabos, proteção contra radiação, em ligas, baterias, pigmentos e vidros. Pode ser absorvido e acumulado nos diferentes órgãos das plantas, e sua absorção dependerá de fatores como pH, tamanho de partículas e da capacidade de trocas catiônicas do solo, uma vez que este metal é fortemente adsorvido nas partículas do solo, com consequente redução da sua disponibilidade para os organismos (LUZ, 1999).

Compostos de chumbo são absorvidos por via respiratória e cutânea. Os chumbos tetraetila e tetrametila também são absorvidos através da pele intacta, por serem lipossolúveis.

O sistema nervoso, a medula óssea e os rins são considerados órgãos críticos para o chumbo, que interfere nos processos genéticos ou cromossômicos e produz alterações na estabilidade da cromatina em cobaias, inibindo reparo de DNA e agindo como promotor do câncer (CASAS e SORDO, 2006).

A relação chumbo - síndrome associada ao sistema nervoso central depende do tempo e da especificidade das manifestações. Destaca-se a síndrome encéfalo-polineurítica (alterações sensoriais, perceptuais, e psicomotoras), síndrome astênica (fadiga, dor de cabeça, insônia, distúrbios durante o sono e dores musculares), síndrome hematológica (anemia

hipocrômica moderada e aumento de pontuações basófilas nos eritrócitos), síndrome renal (nefropatia não específica, proteinúria, aminoacidúria, uricacidúria, diminuição da depuração da uréia e do ácido úrico), síndrome do trato gastrointestinal (cólicas, anorexia, desconforto gástrico, constipação ou diarreia), síndrome cardiovascular (miocardite crônica, alterações no eletrocardiograma, hipotonía ou hipertonia, palidez facial ou retinal, arteriosclerose precoce com alterações cerebrovasculares e hipertensão) e síndrome hepática (interferência de biotransformação) (FRANCALANZA, 2000).

4.4 Extração mineral

O Brasil tem um território completamente rico em minério, tornando-se assim um dos maiores exploradores do mundo, juntamente com a Rússia, Estados Unidos, Canadá, China e Austrália. Boa parte das mineradoras que exploram minérios no Brasil é de origem estrangeira, sendo a maioria delas associadas aos Estados Unidos, Canadá, Japão e Europa (ALVES, 2005).

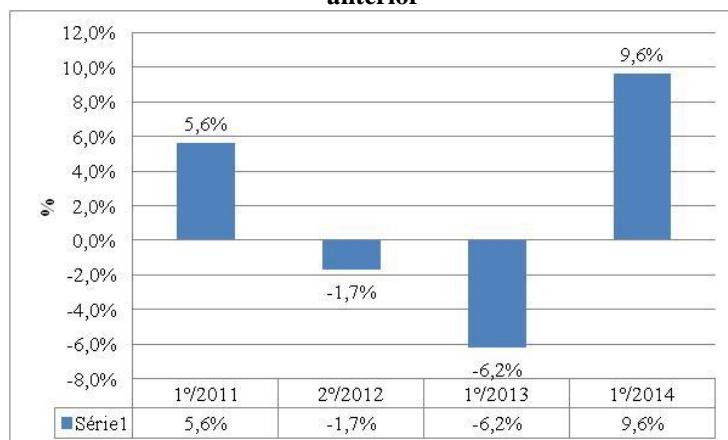
As empresas estrangeiras que se instalaram no Brasil foram atraídas por incentivos oferecidos pelo próprio governo brasileiro, como os recursos minerais que são meramente abundantes, os incentivos fiscais, os financiamentos bancários e os descontos em pagamentos de energia e impostos. Atualmente, no Brasil os principais minérios que têm sido explorados são: ferro, bauxita alumínio, manganês, níquel, zinco e nióbio (TEIXEIRA, 2014).

Conforme o Informe Mineral 2014, a produção nacional da indústria extrativista mineral registrou expansão de 9,57% no primeiro semestre de 2014, na comparação com o mesmo período do ano anterior, conforme o Índice de Produção Mineral (IPM) mostrado na figura 2, foi o melhor desempenho do setor desde 2011. Este crescimento aconteceu principalmente em função do aumento na produção dos minérios de ferro (14,5%) e ouro (10,5%) conforme Apêndice 1 (BRASIL, 2014).

Também tiveram destaque as variações positivas na produção do amianto (5,17%), nióbio (8,8%) e cromo (0,7%). O saldo positivo da produção no setor mineral foi influenciado, sobretudo por melhores condições climáticas nas principais regiões produtoras de minério de ferro, e pela entrada de novas unidades de produção desta substância, mas por outro lado, outros bens minerais apresentaram variações negativas na produção, como carvão mineral (-16,8%), zinco (-13,3%), níquel (-11,2%), potássio (-11,9%), caulim (-9,5%), fosfato (-8,6%), alumínio (-7,6%), manganês (-4,8%), cobre (-4,5%) e grafita (-2,2%). As quedas na

produção no primeiro semestre de 2014 estão principalmente associadas a problemas operacionais nas minas/usinas ou reduções de demanda (BRASIL, 2014).

Figura 2 - Índices de Produção Mineral (IPM) do 1º/2011 ao 1º/2014. Base: mesmo semestre do ano anterior



Fonte: Brasil (2014).

Fazendo uma análise mensal do IPM no primeiro semestre de 2014, com base no mesmo mês do ano anterior, percebe-se um desempenho positivo em todos os meses do primeiro semestre de 2014, em relação ao mesmo período de 2013.

Haverá um enfoque nos minérios de zinco e chumbo, devido o presente trabalho se tratar de mineração de zinco e chumbo, onde se busca explorar a produção, geração e reservas dos mesmos pelos pais e mundo. Teixeira e Silva (2014) comentam que o chumbo é um dos metais mais antigos usados, pelo homem, e muitas das primitivas aplicações têm persistido através dos séculos.

O chumbo raramente é encontrado no seu estado natural, mas sim, em combinações com outros elementos, sendo os mais importantes minérios a galena, cerussita, anglesita, piromorfita, vanadinita, crocroíta e a wulfenita (FREITAS, 2015).

A galena (PbS), um sulfeto de chumbo ($Pb = 86,6\%$ e $S = 13,4\%$), é o seu mineral-minério mais importante e geralmente ocorre associada com a prata. O zinco, o cobre, ouro e antimônio são outros metais que também aparecem associados ao chumbo (FREITAS, 2015).

O chumbo é o sexto metal de maior utilidade industrial. O seu uso principal é na construção de baterias para automóveis e estacionárias, que consomem em torno de 90% em todo mundo.

Francalanza (2000) em suas citações diz que o chumbo pode ser reciclado seguidas vezes, obtendo-se um metal secundário similar ao metal primário, desde que seja utilizada a tecnologia apropriada.

De acordo com o Júnior (2014) as reservas do país aprovadas (medidas mais indicadas) alcançaram 35,3 milhões de toneladas, em 2008, com o teor médio de 1,90% e as reservas por estado segue conforme tabela 6.

Tabela 6- Reserva brasileiras medidas e indicadas de chumbo para o ano de 2008

Reserva Medida +			
	Indicada	(t)	
UF	Minério	Contido	Teor
BA	997.033	1.558	0,16%
MG	8.866.435	107.616	1,21%
MT	1.194.887	16.967	1,42%
PR	2.033.941	99.105	4,87%
RS	22.228.754	444.575	2,00%
SP	16.591	1.335	8,05%
TOTAL	35.337.641	671.156	1,90%

Fonte: Brasil (2008).

Segundo Teixeira e Silva (2014), existem as reservas, mas no país o único concentrado processado é o subproduto do zinco produzido na empresa onde este estudo foi desenvolvido Votorantim Metais, unidade de Morro Agudo, pois o Brasil não possui jazimento de chumbo com teor, quantidade e qualidade do minério para direcionar a exploração da mina. As usinas metalúrgicas que beneficiavam o concentrado foram desativadas, em dezembro de 1995. A mina de Morro Agudo detém uma reserva (medida mais indicada) de 1,9 milhões de toneladas, com teor médio de 1,88% e contido de 36 mil toneladas de chumbo.

A tabela 7 apresenta dados oficiais do DNPM e Votorantim Metais da produção de concentrado no Brasil de 2011 a 2013.

Tabela 7 - Produção anual de concentrado de chumbo/metal contido (2011 a 2013)

Ano	Concentrado de Chumbo (t)	Contido do Concentrado chumbo (t)
2011	15.100	8.545
2012	16.953	8.922
2013	19.468	9.124

Fonte: Sumário Mineral (2014).

Já o zinco, conforme comenta Neves (2014), é metal do grupo dos não ferrosos e que ocorre em abundância na crosta terrestre e os depósitos de sulfetos representam importante

fonte desse metal. Os principais minerais dos quais se extrai o zinco são: calamina, esfalerita, franklinita, hidrozincita smithsonita, willemita, wurtzita e zincita.

As reservas brasileiras, que representam 1,2% das mundiais, são da ordem 6,5 milhões de toneladas de zinco contido no minério (tabela 8), das quais 45,3% são medidas, 40,5% são indicadas e 14,2% são inferidas. Deste total, o minério silicatado predomina com 5,6 milhões de toneladas (NEVES, 2014).

Tabela 8 - Reservas Minerais de Zinco (t) em Zn contido 2008

UF	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	TOTAL
BA	7.205	4.061	3.828	15.094
MG	2.835.121	2.211.614	698.749	5.745.484
MT	45.259	54.693	3.876	103.828
RGS	63.769	364.496	216.881	645.146
TOTAL	2.951.354	2.634.864	923.335	6.509.553

Fonte: DNPM, (2008).

Estando as principais ocorrências de zinco localizadas nos Estados da Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso, Pará e Rio Grande do Sul, contudo somente os depósitos localizados em Minas Gerais e Mato Grosso têm importância econômica.

A Votorantim Metais Zinco S/A, empresa de capital nacional integrante do Grupo Votorantim, cita Neves (2014), é a principal produtora de zinco no País. Suas unidades industriais estão localizadas no Estado de Minas Gerais: dois empreendimentos mineiros, em Vazante e em Paracatu e duas usinas metalúrgicas, situadas em Três Marias e Juiz de Fora.

A tabela 9 apresenta a produção nacional de concentrado de zinco em metal contido, evoluindo de 117 mil toneladas em 1996 para 174 mil toneladas em 2008, registrando um incremento médio anual de 3,3%. Esse crescimento não foi contínuo, verificando-se anos em que a produção apresenta redução. A queda da produção em 1998 é resultado da paralisação das atividades da Mineração Areiense S/A, subsidiária da Cia Mercantil Ingá.

Tabela 9 - Evolução da Produção de Zinco contido(t) – 1996-2013

ANO	MINÉRIO	CONCENTRADO	METAL
			PRIMÁRIO
1996	1.325.952	117.341	186.338
1997	1.649.883	152.634	185.701
1998	1.261.783	87.475	176.806
1999	1.290.773	98.590	187.010
2000	1.309.353	100.254	191.777
2001	1.355.070	111.432	197.037
2002	1.523.554	136.339	249.434
2003	1.857.572	152.822	262.998
2004	1.962.703	158.962	265.987
2005	2.207.864	171.434	267.374
2006	2.438.961	185.211	272.438
2007	2.623.022	193.899	265.126
2008	2.420.254	173.933	248.874
2011	2.302.760	197.840	284.770
2012	2.392.366	164.258	246.526
2013	2.368.505	152.147	242.000

Fonte: DNPM (2008 e 2014)

Neves (2014) comenta que o consumo de zinco refinado no mercado brasileiro atingiu 248,9 metros em 2013, o que representou aumento de 3,8% em relação às 239,8 metros referentes a 2012.

5. METODOLOGIA

5.1 Caracterização da empresa Votorantim Metais – Unidade Morro Agudo

A empresa na qual o estudo foi realizado é do Grupo Votorantim Metais, unidade de Morro Agudo, mineração situada ao noroeste de Minas Gerais, na zona rural da cidade de Paracatu.

A figura 3 apresenta a localização da unidade.

Figura 3 - Localização da Votorantim Metais unidade de Morro Agudo



Fonte: Arquivos Votorantim Metais.

A jazida foi descoberta em 1952, na Fazenda Traíras, junto à comunidade rural de Morro Agudo, quando se iniciou o trabalho de exploração a partir de lavra rudimentar de minério de chumbo. Iniciou suas atividades em 1981, com a exploração de Pb e Zn, através de perfuração de túneis na terra (mineração subterrânea), sendo o Zn seu insumo de maior volume, o Pb como o segundo e também produz calcário dolomítico, como consequência do processo de beneficiamento.

Em 1988, a empresa assumiu todo o controle acionário da mineração do local e a mesma conta com uma usina de beneficiamento, uma pilha de estéril e três depósitos de rejeito. As Barragens 1 e 3 servem de depósito de calcário dolomítico, comercializado como corretivo de acidez do solo para agricultores rurais. A Barragem 2 contém Pó Calcário Industrial (PCI), material considerado resíduo industrial do processo produtivo. O minério concentrado de Zn produzido na empresa é enviado para a unidade de Três Marias, também

pertencente ao grupo. O minério concentrado de Pb é comercializado para o mercado internacional.

5.1.1 Geologia

A jazida é constituída de rocha sedimentar do tipo dolarenito, tendo o corpo mineralizado um comprimento de 1km e uma largura de 500 m, aproximadamente, com um mergulho de 20°. A rocha encaixante é um calcário dolomítico. O mineral de zinco é a esfalerita e o de chumbo é a galena.

Os tipos de minérios encontrados na jazida são:

- Minério disseminado, caracterizado por uma dispersão fina dos sulfetos nos clastos dolomíticos;
- Minério cimento, apresentando os sulfetos cimentando os clastos dolomíticos preservados;
- Minério remobilizado, preenchendo fraturas e/ou espaços entre os clastos dolomíticos e cimento dolomítico.

5.1.2 Método de lavra

A lavra do minério é subterrânea (figura 4), o método de lavra empregado é o de câmara e pilares, com as galerias de acesso ao corpo mineralizado separadas entre si em níveis de, aproximadamente, 33 m de espaçamento vertical. A etapa de desenvolvimento atual já atingiu o nível de 650 m. O acesso de pessoas é feito por uma rampa e a extração de minério e de estéril, por um *skip* com capacidade de 10 t num poço com profundidade de 330 m.

O minério e o estéril são desmontados utilizando-se explosivos e, em seguida, carregados em carregadeiras frontais e transportados por caminhões até as passagens (*winzes*) de minério ou de estéril, equipadas na alimentação com uma grelha com abertura de 500 mm. Cada passagem possui um silo, com capacidade de 1.400 t para o minério e de 1.000 t para o estéril. Os silos estão situados no nível 283 m e deles, o minério ou o estéril, é alimentado no *skip* por meio de transportador de correia. A razão média de estéril/minério na lavra é de 1:5.

Figura 4 - Imagem da Mina (câmaras e pilares)



Fonte: Arquivos fotográficos Votorantim Metais

O material transportado pelo *skip* é descarregado em uma calha com a finalidade de direcioná-lo, se minério ou estéril, para as etapas subsequentes. O estéril segue para um silo, onde posteriormente é carregado com carregadeira frontal e transportado em caminhões para o bota-fora; caso o material seja minério, este é descarregado em um alimentador vibratório e em seguida submetido ao beneficiamento.

Nos estudos geológicos detectados um minério com baixos teores e má qualidade do material desmontado, ele pode ser armazenado (arquivados) nas câmaras lavradas previamente. O acesso à mina é feito por duas estruturas escavadas em rocha:

- Túnel de acesso principal: por esta rampa são transportados os funcionários, matérias-primas, combustíveis, explosivos, matérias de consumo e os equipamentos. Foi desenvolvido em *zig zag*, desde a superfície ao nível atual 560 m.
- Poço de içamento do minério: foi escavado verticalmente desde a superfície ao nível 330 m, com diâmetro de 5 m. Por este poço são içados à superfície o minério e o estéril extraído da mina.

É feita também a perfuração na mina para o carregamento de explosivos. O desmonte do minério (ou estéril) é efetuado por explosivos, em tiras de 3,0 em 3,0 m dentro das câmaras de cada nível de extração. A largura de cada câmara é de 10,0 m e a altura é variável de acordo com a presença do corpo lavrado, sendo no mínimo 3,0 m e no máximo 25 m. A

primeira tira é aquela mais próxima do teto. Após a lavra de cada tira são feitos o serviço de estabilização da escavação com ancoragem mecânica, quando necessário. Com o passar do tempo são recuperados os pilares entre uma câmara e outra.

5.1.3 Processamento mineral

A planta de beneficiamento compreende as seguintes etapas:

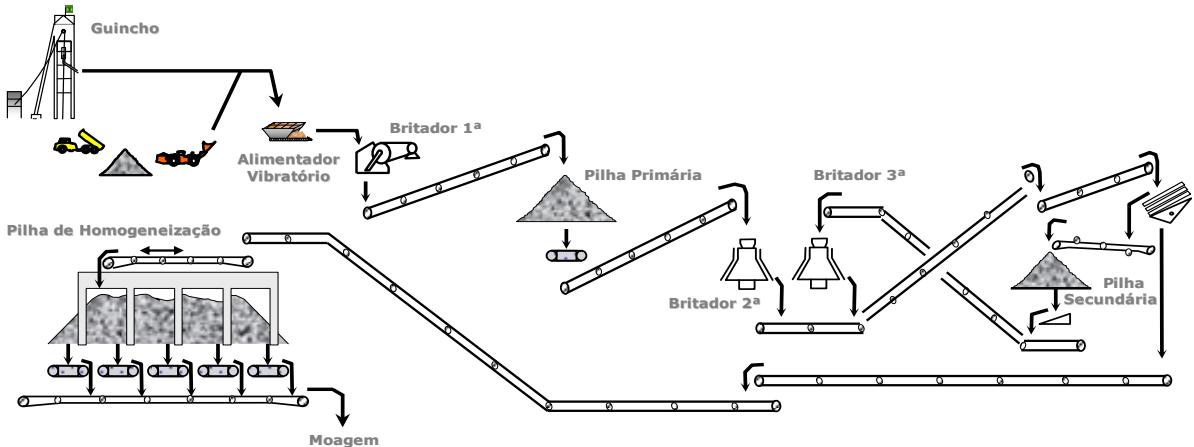
- Britagem e peneiramento;
- Homogeneização;
- Moagem e ciclonagem;
- Flotação;
- Filtragem;
- Pátio de expedição;
- Barragens e depósitos de pó calcário agrícola.

5.1.3.1 Britagem e peneiramento

O circuito de britagem é constituído em quatro partes e na figura 5 é possível visualizar todo o circuito.

1. O *run of mine* (ROM) é içado com granulometria fixa abaixo de 500 x 500 mm é descarregado no alimentador vibratório;
2. O minério então é conduzido através do alimentador ao britador primário. O britador primário, possui uma abertura de 3.1/2" na posição aberta e 4" na posição fechada. O tamanho máximo passante neste é de 90 mm. Após ser britado, o minério é conduzido por correias transportadoras até a pilha primária;
3. Em seguida, através de um alimentador de sapatas, em uma correia o minério é transportado ao britador secundário, modelo 1352 cônicos, o qual reduz o minério a tamanho máximo passante em 20 mm. Após britagem secundária o minério é transportado por correias até a etapa de classificação;
4. O peneiramento é constituído por uma peneira Haver de duplo deck, sendo a primeira com abertura de 20 mm e a segunda com abertura de 8mm. O minério abaixo de 8mm é transportado para a pilha de homogeneização e o minério acima deste tamanho é empilhado e alimenta um britador terciário cônicos, com capacidade de 400 t, sendo que a britagem terciária se encontra em circuito fechado com a etapa de peneiramento. A capacidade de britagem gira em torno de 180 t/h.

Figura 5 - Fluxograma da britagem



Fonte: Arquivos da Votorantim Metais.

5.1.3.2 Homogeneização

O minério britado e peneirado abaixo de 8mm é transportado através de correia transportadora até a pilha de homogeneização conforme visualização na figura 6, a qual possui um *tripper* que se movimenta promovendo a formação da pilha e a homogeneização. O pátio de homogeneização possui cinco alimentadores de correias, o que possibilita a formação de duas pilhas tipo cônicas, sendo que, quando uma está alimentando a usina a outra está sendo formada. A capacidade total dos pátios é de 10.000 t, o suficiente para alimentar a usina por três dias.

Figura 6 - Pilha de homogeneização



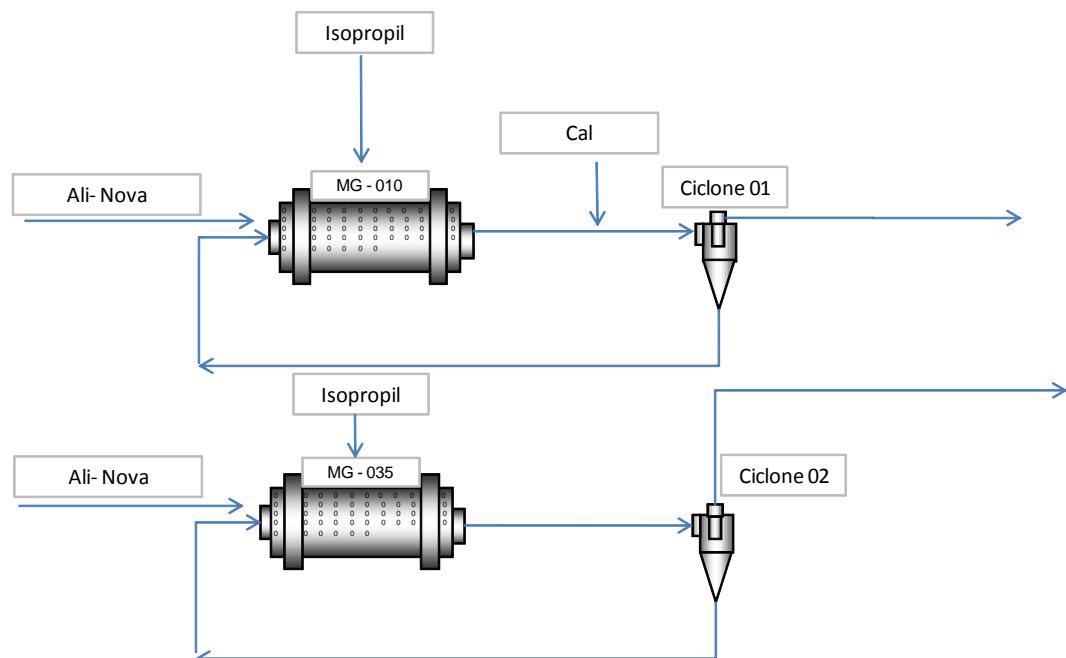
Fonte: Arquivos da Votorantim Metais

5.1.3.3 Moagem e classificação

A moagem é realizada a úmido e em circuito fechado. Ela ocorre em duas linhas paralelas, empregando-se um moinho de bolas, com capacidade para 150 t/h e outro moinho de bolas, com capacidade para 50 t/h. A descarga nos moinhos é do tipo *overflow* e o grau de enchimento do moinho é controlado em torno de 38%. O moinho 1 trabalha em circuito fechado com uma bateria de 12 hidrociclos de classificação (normalmente opera-se 9 hidrociclos), existindo três outros hidrociclos idênticos em *stand-by*. O moinho 2 também trabalha em circuito fechado com uma bateria de 8 hidrociclos de classificação (normalmente opera-se 4 hidrociclos), existindo quatro outros hidrociclos idênticos em *stand-by*.

O *overflow* dos hidrociclos (produto final da moagem) alimenta o circuito de flotação, e o *underflow* retorna ao moinho constituindo a carga circulante. O produto final da moagem contém aproximadamente 65% das partículas passantes em malha 325 # (44 μ), sendo que a granulometria típica do minério que alimenta o moinho é 100% menor que 11,0 mm. A figura 7 apresenta o fluxograma do processo de moagem e classificação.

Figura 7 - Fluxograma da moagem e classificação



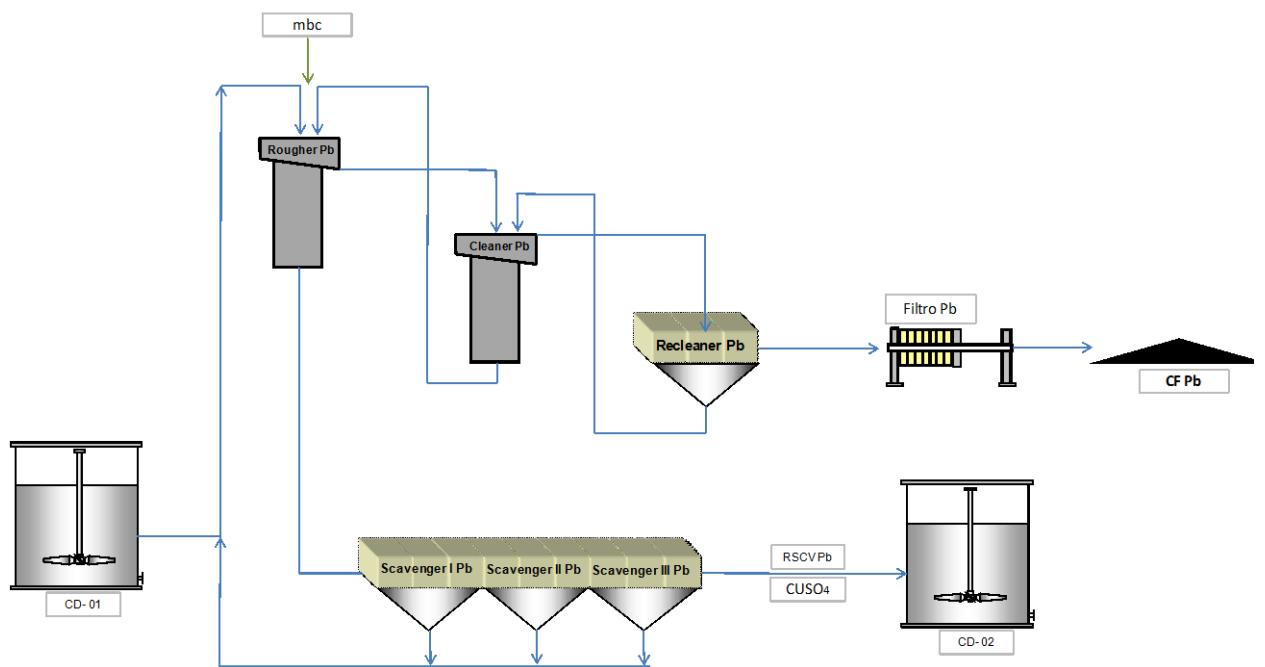
Fonte: autoria própria

5.1.3.4 Flotação

O *overflow* do ciclone da moagem vai para o condicionador 01, o coletor (Isopropil) já é dosado na moagem, pois o sistema de agitação do condicionador não funciona corretamente. Após dosagem de reagente e condicionamento a polpa é bombeada até a etapa *rougher* de Pb onde é flotado com pH natural em torno de 9,5. O concentrado da *rougher* alimenta por gravidade a etapa *cleaner* de Pb e seu concentrado vai para uma etapa *recleaner* de Pb (célula convencional). O flotado é o concentrado final de Pb, que passa por um processo de filtragem e é armazenado num pátio de estocagem até ser exportado.

O rejeito da etapa *cleaner* de Pb volta em contra corrente no circuito da *rougler*. O rejeito da etapa *rougher* de Pb alimenta as células *scavenger's* de Pb sendo que o concentrado desta etapa recircula na etapa *rougher* e o rejeito da flotação de Pb alimenta o circuito de flotação de zinco. Nas *scavenger's* de chumbo dosa-se o coletor de Pb (Isopropil) e espumante (Mibcol), a fim de melhorar o desempenho da flotação de Pb. Na figura 8 é possível visualizar o fluxograma da etapa de flotação de Pb.

Figura 8 - Fluxograma da flotação do circuito de chumbo

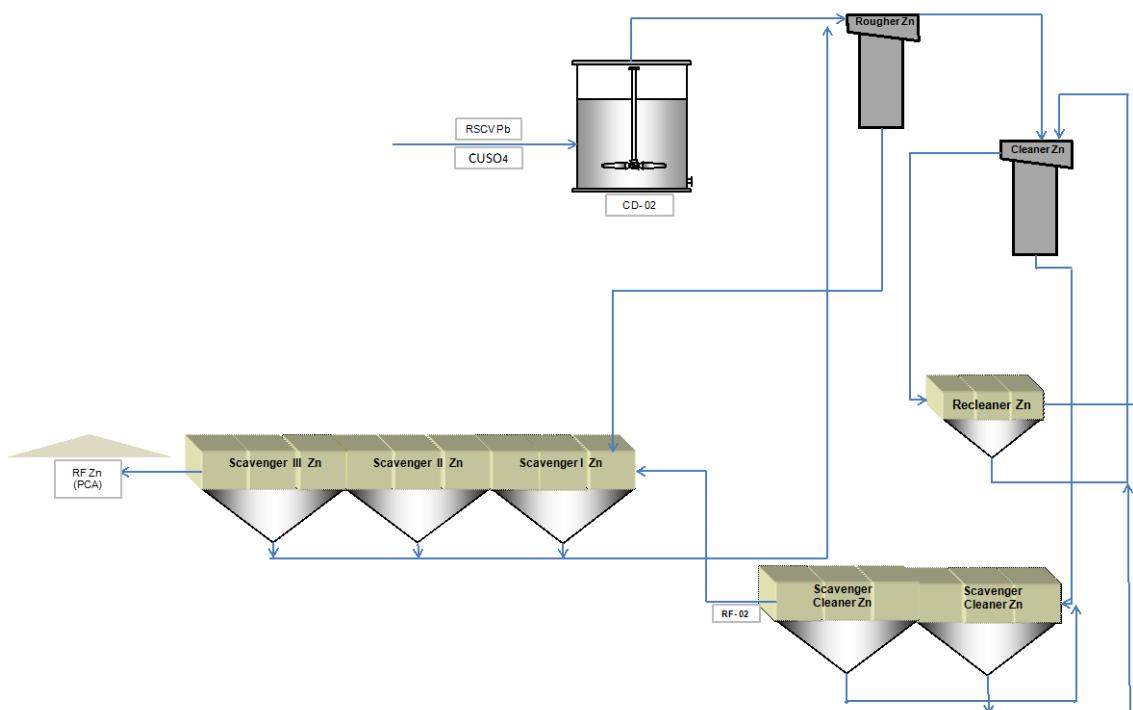


Fonte: autoria própria.

Após flotação de Pb inicia-se o processo de concentração no circuito de Zn. A polpa sai das células de flotação de Pb e alimenta os tanques de condicionamento de Zn, onde é dosado ativador e coletor de Zn (sulfato de cobre e isobutil xantato, respectivamente). Depois de condicionada a polpa é bombeada até a coluna *rougher* de zinco, onde a flotação é realizada com pH em torno de 10,2 a 10,5, utilizando-se cal hidratada para regular o mesmo. O concentrado da coluna *rougher* vai para a coluna *cleaner*, e o seu rejeito vai para as *scavenger's* de Zn. O concentrado da *cleaner* vai para dois bancos de células convencionais na etapa *recleaner* e o seu rejeito retorna na etapa *rougher* em contra-corrente ou tem a opção de ir para uma etapa considerada *scavenger's de cleaner*. O concentrado gerado na *recleaner* vai para o sistema de filtragem, onde é filtrado, blendado e expedido para Três Marias e o seu rejeito volta na *cleaner*, em contra-corrente. A figura 9 apresenta o fluxograma de flotação do Zn.

O rejeito das *scavenger's* de zinco é o rejeito final 01 e constitui o pó calcário adequado para agricultura que é bombeado para barragem, para posterior preparação, análise e comercialização. Abaixo é possível visualizar fotografias da flotação, a figura 10 são as colunas de flotação e na figura 11 as células convencionais.

Figura 9 - Fluxograma da flotação do circuito de zinco



Fonte: autoria própria

Figura 10 - Imagem das colunas de flotação



Fonte: Arquivo fotográfico da Votorantim Metais

Figura 11 – Imagem das células mecânicas de flotação



Fonte: Arquivo fotográfico da Votorantim Metais

Os reagentes utilizados na usina encontram-se na tabela 10, bem como a descrição das suas funções.

Tabela 10 - Reagentes utilizados no processo de flotação

Circuitos	Reagentes	Função
Círculo Chumbo	Metilisobutil Carbinol (Mibcol)	Espumante
	Aero Xantato 343 (Isopropil)	Coletor da galena
	Cal virgem	Regulador de pH
Círculo Zinco	Metilisobutil Carbinol (Mibcol)	Espumante
	Aero Xantato 317 (Isobutil)	Coletor da esfalerita
	Sulfato de Cobre	Ativador da esfalerita

Fonte: autoria própria.

5.1.3.5 Filtragem

A filtragem visualizada na figura 12 é a última etapa do processo industrial de Morro Agudo e tem a função de aumentar a porcentagem de sólidos da polpa concentrada, reduzindo sua umidade para valores próximos a 9% no concentrado de Pb e 11% no concentrado de Zn. A filtragem em Morro Agudo conta com três filtros tipo prensa (Andritz), sendo um com 45 placas de 1,0 x 1,0m para o circuito de chumbo e dois com 66 placas de 1,2 x 1,2 m para o circuito de zinco.

Figura 12 - Área da filtragem



Fonte: Arquivos fotográficos da Votorantim Metais

5.1.3.6 Barragens de rejeito e depósito de pó calcário

Existem três barragens de depósitos de calcário na unidade: duas destinadas a receber calcário agrícola, adequado para a agricultura e uma para calcário industrial (material não conforme para agricultura). A figura 13 mostra uma foto da localização das barragens.

Figura 13 - Visão aérea da empresa e localização das barragens



Fonte: Arquivo fotográfico da Votorantim Metais

O pó calcário é constituído da polpa final do processo de processamento. É destinado às barragens I e III. Atualmente o processo de retirada para comercialização é realizado na barragem I com utilização de três ciclos:

- Lançamento e estocagem;
- Secagem;
- Carregamento para estocagem em pátio.

Para acelerar o processo de secagem, o pó calcário passa por um processo de preparo com gradeamento, esparramamento, com uso de enxadas rotativas agrícolas, e em seguida é retirado com auxílio de carregadeira e caminhão.

O processo de controle de qualidade é realizado após a preparação do material para expedição e, caso o mesmo não apresente as especificações exigidas pelo Ministério da

Agricultura para comercialização, retorna para adequação, onde utiliza-se de blendagem com pó calcário com melhor qualidade para que assim o mesmo possa ser comercializado.

5.1.3.7 Produtos finais

A Votorantim Metais, unidade de Morro Agudo, obtém quatro produtos: os concentrados de Zn e Pb, que são estocados em pátios independentes com capacidade de 6.000 t para Pb e 3.000 t para Zn; Pó Calcário adequado para a Agricultura e Pó Calcário inadequado para a Agricultura, os quais são estocados em barragens diferentes com capacidade total de 6.000.000 t.

O concentrado final de Zn é o principal produto da empresa, sendo enviado para a unidade de Três Marias onde será transformado em Zinco Metálico. A tabela 11 apresenta as especificações do concentrado de Zn.

Tabela 11 - Visão área da empresa e localização das barragens

Elemento	Teor (%)
Zn	> 36,00
Pb	< 2,00
Cao	< 9,60
MgO	< 5,80

Fonte: autoria própria.

O concentrado final de Pb vai para o mercado externo, através de embarcações. A tabela 12 apresenta as especificações do concentrado de Pb.

Tabela 12 - Especificações do cliente para o concentrado final de Pb

Elemento	Teor (%)
Pb	> 51,00
Zn	< 4,50

Fonte: autoria própria.

O Pó calcário é o rejeito do processo que é vendido como um subproduto, utilizado na agricultura como corretivo de solo. A tabela 13 apresenta as especificações do pó calcário agrícola.

Tabela 13 - Especificações do Pó Calcário Agrícola, conforme registro junto ao Ministério da Agricultura

Elemento	Teor (%)
Zn	< 0,50
Pb	< 0,10
Cd	< 0,0020
CaO	> 27,00
MgO	> 15,00
PRNT	> 74,82
PN	> 85,53

Fonte: autoria própria.

5.2 O processo de flotação

Para beneficiamento do minério da mina de Morro Agudo, já se havia estabelecido reagentes e dosagens padrões com apenas os reagentes (mibcol, amil xantato, isobutil xantato e sulfato de cobre) deixando os contaminantes do rejeito muito próximos e algumas vezes até acima dos limites que a legislação permite para comercialização.

Para redução dos contaminantes no rejeito final havia necessidade de estudar um novo reagente auxiliar que fortalecesse o desempenho de coleta do zinco e chumbo nas etapas de concentração para reduzir drasticamente os teores de chumbo e cádmio no rejeito final, de modo que não deixasse de atender as qualidades exigidas pelos clientes dos concentrados finais de zinco e chumbo, dessa forma, realizou-se uma bateria de ensaios de flotação em bancada, simulando a flotação da usina, variando os pontos de dosagem nas etapas, inclusive o padrão já realizado.

Os testes foram realizados em duplicatas e as análises químicas e físicas foram realizadas no laboratório químico da própria empresa. Após os resultados em escala de bancada, as mudanças propostas foram implementadas em escala industrial e avaliaram-se os resultados.

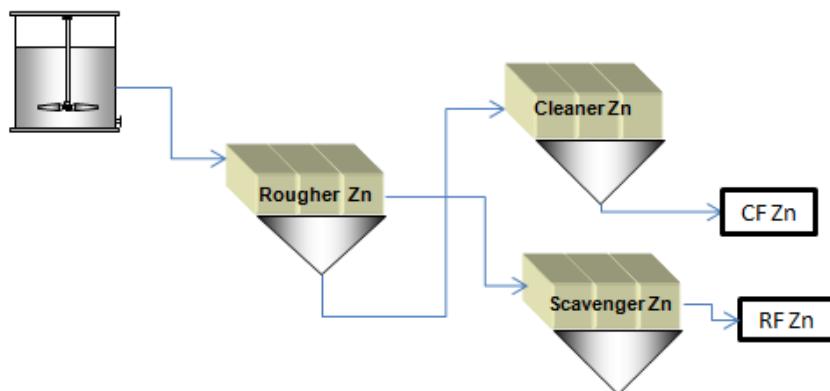
5.2.1 Amostragem e premissas para dosagem do coletor auxiliar

Inicialmente foi realizada a coleta nos pontos propostos para realização dos ensaios em bancada:

- Rejeito da *rougher* de Pb que alimenta o circuito de zinco (RRG);
- Concentrado das *scavengers* de Zn (SCV).

Na figura 14, pode-se visualizar fluxograma simplificado do ensaio de bancada.

Figura 14 - Fluxograma Ensaio de Bancada



Fonte: autoria própria.

Para realizar a coleta utilizou-se amostrador automático para o ponto de RRG e manual para o ponto de concentrado das SCV.

Foram coletadas as amostras quando a usina estava com boa estabilidade, a fim de se ter amostra bem representativa do processo. Os incrementos foram coletados de 15 em 15 minutos, compondo a amostra de 40kg. A coleta foi realizada com 4h de duração.

Para a escolha dos pontos propostos foi levado em consideração a ação de recuperação em massa que o Pietfloat AG585 proporcionava, não sendo dosado na etapa *cleaner*, pois era necessária a elevação do teor do concentrado de Zn, devido à sua especificação.

Como a base do reagente era de ditiofosfato de dialquila, que conferia um grau de espumação ligeiramente alto, era necessário realizar análise de lixiviação do concentrado gerado dos testes para verificar a influência do mesmo no processo posterior, já na etapa de hidrometalurgia.

Os testes de lixiviação também foram realizados com base nos padrões realizados na hidrometalurgia e o objetivo era verificar o processo de lixiviação, pH alcançado e performance de espumação do concentrado de zinco.

5.2.2 Condições dos testes de flotação

Os primeiros testes foram realizados apenas na etapa *rougher* e a segunda batelada incluiu o estágio *cleaner*. Os ensaios foram realizados baseados em padrão de ensaio utilizado na empresa e segue resumo das condições na tabela 14.

Tabela 14 - Condições dos ensaios de bancada

Etapas	Tempo Cond (s)	Tempo Flot. (s)	pH inicial:	Reagentes g/t				Mibcol 100%	nº Gotas
				Sulfato de Cobre 50g/l	Amil 25g/l	Mibcol 100%			
				g/t	ml	g/t	ml	g/t	
Moagem	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rougher	180	300	10,5	300	1,6	40	1,8	23	4
Scavenger I	160	300	-	300	-	20	0,6	17	3
Cleaner	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Consumo Total de reagentes em g/t				80		60		40	

Fonte: autoria própria.

As dosagens do coletor auxiliar Pietfloat AG585 variou conforme tabela 15 abaixo, onde também apresenta as dosagens dos ensaios padrões:

A adição do Pietfloat AG585 foi realizada junto com o coletor Amil Xantato, não havendo aumento no tempo de condicionamento.

Tabela 15 - Dosagem de reagentes por ensaios de bancada

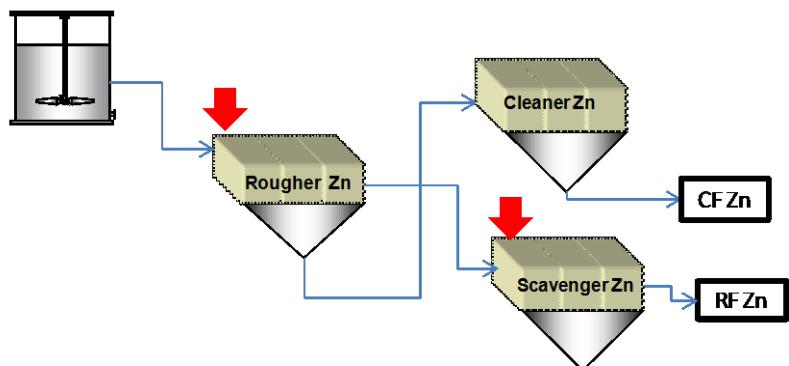
Data	Teste	Reagentes						
		Sulfato Cobre (g/t)	Amil Rougher Zn (g/t)	Amil Scavenger de Zn (g/t)	Ag 585 Rouquer de Zn (g/t)	Ag 585 Scavenger de Zn (g/t)	Mibicol Rougler de Zn (Gotas)	Mibicol Scavenger de Zn (Gotas)
01/04/2013	Padrão	80	40	20	-	-	4	3
01/04/2013	2	80	40	20	100	100	4	3
01/04/2013	3	80	40	20	-	100	4	3
01/04/2013	4	80	40	20	100	50	4	3
01/04/2013	5	80	40	20	150	-	4	3
	Padrão Cleane							
02/04/2013	r	80	40	20	-	-	4	3
02/04/2013	7	80	40	20	-	200	4	3
02/04/2013	8	80	40	20	100	100	4	3
02/04/2013	9	80	40	20	100	50	4	3
02/04/2013	10	80	40	20	50	50	4	3

Fonte: autoria própria.

A figura 15 apresenta os pontos de dosagem propostos (setas em vermelho) nos testes de bancada e escala industrial.

A configuração das dosagens conforme segue na figura 15, foi em consideração aos resultados do teste 10.

Figura 15 - Fluxograma com indicação dos pontos de dosagens do reagente coletor auxiliar Piet float AG585



Fonte: autoria própria.

5.3 Condições dos ensaios de lixiviação

Para os ensaios de lixiviação separou-se parte das amostras (concentrado de Zn) obtidas dos ensaios de flotação, mantendo em torno de 100g de amostra com 45% de sólido.

Os ensaios foram realizados para todos os concentrados gerados, padrões e com adição de AG585. Manteve-se uma agitação constante para garantir uma boa homogeneização e interação do ácido sulfúrico (H_2SO_4) com as partículas minerais. O pH utilizado foi de 2,0 a 2,5 (com adição moderada de solução ácido sulfúrico), com evolução de espuma pouca agressiva, mantendo um tempo de 30 minutos para lixiviação.

Após esse período foi utilizado uma pisseta com água para quebrar as bolhas geradas do processo, observando-se a qualidade da espuma, sendo que a mesma não poderia ser muito densa e também tinha de ser bem dissipada e facilmente quebrada com o jato de água da pisseta.

O concentrado gerado dos testes industriais foram segregados e embarcados separadamente para o cliente, a fim de que o mesmo validasse o desempenho encontrado nos testes de lixiviação em bancada.

5.4 Análises físicas e químicas

A Votorantim Metais, unidade Morro Agudo, onde os ensaios foram realizados, conta com laboratório químico capacitado para realização de análises químicas e físicas. O

mesmo é registrado junto ao Ministério da Agricultura para análise química do seu corretivo de acidez. As principais análises realizadas e suas metodologias são apresentadas na tabela 16.

Tabela 16 - Principais análises, metodologias e equipamentos

Ensaio	Método	Equipamento
Zinco, chumbo, cádmio, óxido de cálcio e magnésio	Espectrômetro de Raios X Espectrofotômetro de Absorção Atômica	Espectrômetro de Raios X (Shimadzu – EDX 720) Espectrofotômetro Absorção Atômica (Perkin Elmer – Analyst 200)
Potencial de Neutralização (PN)	Titulação	pHmetro digital (Digimed/DM-20) Titulador automático (Metrohm 715-773 Dosimat) Chapa aquecedora (Marconi MA 239)
Potencial Relativo de Neutralização Total PRNT	Análise Granulométrica	Peneiras 10,20 e 50# (Bertel e Abronzinox) Peneirador Vibratório Suspenso (CDC/P-V-08) Balança Analítica (Gehaka-AG200)
Flotação	Flotação convencional	Célula Flotação Pneumática (CDC/CFB-1000-EEPN)
Lixiviação	Lixiviação com ácido sulfúrico	Agitador Magnético (MARCONI/MA089)

Fonte: autoria própria.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série de testes em bancada foram primordiais e conclusivos para tomada de decisões e definição de qual melhor ponto de dosagem para se conseguir um bom desempenho.

6.1 Ensaios de flotação em bancada

1º Ensaio: Padrão

A finalidade da realização do teste padrão foi obter dados e compará-los aos demais testes. Consegiu-se uma boa performance, ou seja, um concentrado que atendesse a especificação, porém os teores de contaminantes no rejeito final ficam muito próximos dos limites máximos permitido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária MAPA (BRASIL, 2009) (<20ppm de Cd e <1000ppm de Pb). A tabela 17 apresenta tais resultados.

Tabela 17 - Resultados do teste 1 (padrão)

Teste Padrão Rougher					Rec. Metal	Rec. Massa
		%				
Produtos	ZN	% Pb	% Fe	Cd PPM		
Alimentação	5,26	0,23	1,6			
CRG ZN	36,98	0,882	1,7	20	95,82%	20%
CSCV ZN	3,8	0,646	2,2			
RF ZN	0,244	0,097	1,61	20		

Fonte: autoria própria.

2º Ensaio

Utilizando as dosagens de 100g/t estagiadas (*rougher* e *scavenger*) e comparado com o teste padrão, conseguiu-se uma melhoria da recuperação, tanto em massa quanto metalúrgica, os contaminantes reduziram em 28% para o Pb e 45% para o Cd; porém o teor de Zn no concentrado ficou abaixo do esperado que era em torno de 32 a 35%. A tabela 18 apresenta esses resultados.

Tabela 18 - Resultados do teste 2

Amil Padrão+ AG 585 (100 g/t RG E 100 G/T SCV)					Rec.	Recp.
		%			Metal	Massa
Produtos	ZN	% Pb	% Fe	Cd PPM		
Alimentação	5,26	0,23	1,6			
CRG ZN	25,84	1	4,76		97,14%	31%
CSCV ZN	0,414	0,328	2,16			
RF ZN	0,139	0,073	1,58	11		

Fonte: autoria própria.

3º Ensaio

Utilizando-se o coletor AG585 (150g/t) apenas na *scavenger*, verificou-se que houve um aumento na recuperação de zinco, flotando Pb e reduzindo os teores de contaminantes no rejeito final em 19% para o Pb e 35% para o Cd; porém o teor de zinco no concentrado ficou baixo (30,98%). A tabela 19 apresenta esses resultados.

Tabela 19 - Resultados do teste 3

Amil Padrão+ AG 585 100 g/t Dosado SCV					Rec. Metal	Recp. Massa
		%				
Produtos	ZN	% Pb	% Fe	Cd PPM		
Alimentação	5,26	0,23	1,6			
CRG ZN	30,98	0,842	3,52		96,15%	24%
CSCV ZN	2,31	0,534	3,2			
RF ZN	0,206	0,08	1,55	13		

Fonte: autoria própria.

4º Ensaio

Utilizando as dosagens do AG585 150 RG e 50 SCV, aumentou mais ainda as recuperações e arrastou mais chumbo dessa fez reduzindo os teores de contaminantes no rejeito final em 40% para o chumbo e cádmio, porém o teor de zinco no concentrado ficou muito abaixo. Na tabela 20 encontram-se os resultados.

Tabela 20 - Resultados do teste 4

Amil Padrão+ AG585 (150 g/t RG E 50G/T SCV)					Rec.	Recp.
		%			Metal	Massa
Produtos	ZN	% Pb	% Fe	Cd PPM		
Alimentação	5,26	0,23	1,6			
CRG ZN	19,04	0,643	1,87		97,70%	37%
CSCV ZN	0,642	0,195	1,63			
RF ZN	0,143	0,058	1,53	12		

Fonte: autoria própria.

5º Ensaio

Quando se comparado utilizando os testes dosando AG585 150 apenas no RG, aumentou mais ainda as recuperações e arrastou chumbo dessa fez reduzindo os teores de contaminantes no rejeito final em 25% para o chumbo e 45% para o cádmio, porém o teor de zinco no concentrado ficou baixo. A tabela 21 apresenta esses resultados.

Tabela 21 - Resultados do teste 5

Amil Padrão + AG585 150 g/t Dosado RG					Rec. Metal	Recp. Massa
Produtos	ZN %	% Pb	% Fe	Cd PPM		
Alimentação	5,26	0,23	1,6		97,84%	31%
CRG ZN	18,94	0,889	4,19			
CSCV ZN	0,825	0,43	2,27			
RF ZN	0,138	0,073	1,58	11		

Fonte: autoria própria.

Utilizando duas etapas de limpeza para melhor a performance do teor de zinco no concentrado, sem interferir nos resultados do rejeito final que apresentaram boa performance.

6º Ensaio: Padrão com etapa *cleaner*

Quando se utiliza uma etapa de limpeza para teste padrão, melhorou o teor do concentrado de zinco, porém os níveis de contaminantes de cádmio e chumbo continuam bem próximos do limite de especificação do MAPA e as recuperações se mantiverem conforme esperado. Na tabela 22 seguem os resultados.

Tabela 22 - Resultados do teste 6 Padrão com etapa cleaner

(Padrão) Etapa Cleaner					Rec. Metal	Recp. Massa
Produtos	% ZN	% Pb	% Fe	Cd PPM		
Alimentação	Alimentação	Alimentação	Alimentação			
CCL ZN	42,58	0,643	3,26		95,49%	10%
RCL ZN	4,34	0,541	2,65			
RF ZN	0,253	0,098	1,63	16		

Fonte: autoria própria.

7º Ensaio

Quando utilizado as dosagens do AG585 200g/t apenas na *scavenger*, teve elevação da recuperação, reduziu os teores de contaminantes no rejeito final em 35% para o chumbo e 40% para o cádmio, e o teor de zinco no concentrado deu uma performance boa (tabela 23).

Tabela 23 - Resultados do teste 7

Amil Padrão +AG 585 SCV 200 g/t					Rec. Metal	Recp. Massa
		%				
Produtos	ZN	% Pb	% Fe	Cd PPM		
Alimentação	4,68	0,177	1,67			
CCL ZN	30,15	0,668	3,7		97,26%	12%
RCL ZN	3,23	0,427	2,33			
RF ZN	0,119	0,063	1,48	12		

Fonte: autoria própria

8º Ensaio

Utilizando as dosagens de 100g/t nas estagiadas (*rougher* e *scavenger*) e com mais uma etapa de limpeza em comparado com os testes padrões, conseguiu-se uma melhoria da recuperação, redução dos contaminantes em 36% para o chumbo e 50% para o Cd, porém o teor de zinco no concentrado ficou muito abaixo (tabela 24).

Tabela 24 - Resultados do teste 8

Amil Padrão + AG 585 (RG 100 g/t e SCV 100g/t)					Rec. Metal	Recp. Massa
		%				
Produtos	ZN	% Pb	% Fe	Cd PPM		
Alimentação	4,68	0,177	1,67			
CCL ZN	25,54	0,744	3,76		98,12%	17%
RCL ZN	1,08	0,353	2,07			
RF ZN	0,106	0,062	1,43	10		

Fonte: autoria própria

9º Ensaio

Quando utilizado as dosagens do AG585 100 RG e 50 SCV com mais uma etapa de limpeza, aumentou mais ainda as recuperações e arrastou mais chumbo dessa fez reduzindo os teores de contaminantes no rejeito final em 40% para o chumbo e cádmio, o teor de zinco no concentrado ficou já elevou um pouco mais (tabela 25).

Tabela 25 - Resultados do teste 9

Amil Padrão + AG 585 (RG 100 g/t e SCV 50 g/t)					Rec. Metal	Recp. Massa
Produtos	ZN	% Pb	% Fe	Cd PPM		
Alimentação	4,68	0,177	1,67		97,23%	12%
CCL ZN	30,53	0,755	3,71			
RCL ZN	1,61	0,431	2,26			
RF ZN	0,123	0,07	1,48	12		

Fonte: autoria própria.

10º Ensaio

Quando utilizado as dosagens do AG585 50g/t na RG e 50g/t na SCV, aumentou mais ainda as recuperações e arrastou mais chumbo dessa fez reduzindo os teores de contaminantes no rejeito final em 30% para o chumbo e 45% para o cádmio, o teor de zinco no concentrado deu uma performance muito boa. Na tabela 26 pode-se visualizar tal resultado.

Tabela 26 - Resultados do teste 10

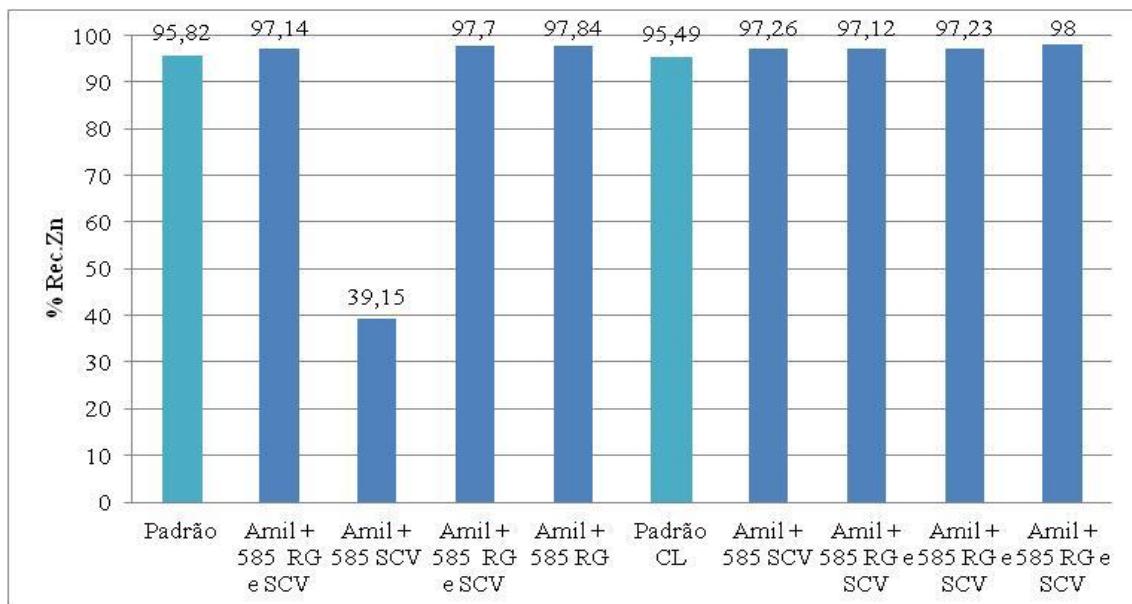
Amil Padrão+ AG 585 (RG 50 g/t e SCV 50 g/t)					Rec. Metal	Recp. Massa
Produtos	ZN	% Pb	% Fe	Cd PPM		
Alimentação	4,68	0,177	1,67		98,00%	16%
CCL ZN	37,34	0,683	3,51			
RCL ZN	1,75	0,442	2,26			
RF ZN	0,148	0,069	1,5	11		

Fonte: autoria própria

Após os resultados das análises químicas foi possível realizar um diagnóstico da efetividade do reagente AG585 usado para auxiliar na performance da flotação, reduzindo os contaminantes do rejeito, elevando a recuperação do concentrado e atendendo ao cliente quanto à qualidade dos produtos gerados.

Na figura 16 consegue-se visualizar as recuperações obtidas com o uso do AG585 no circuito de zinco onde se observa uma obtenção de recuperações maiores quando usado o AG585 associado ao amil xantato, apenas o terceiro teste não obteve uma boa performance, como foi pontual, o mesmo foi desconsiderado a título de tomada de decisão.

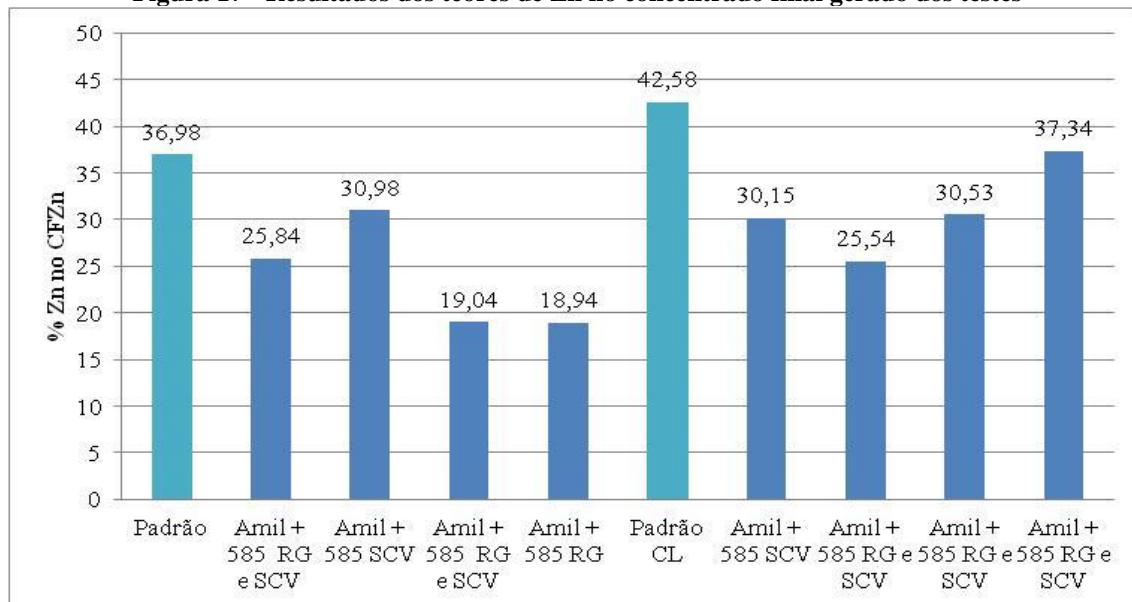
Figura 16 - Resultados de recuperação de Zn



Fonte: autoria própria

Os resultados obtidos dos teores de zinco no concentrado final merecem um pouco mais de atenção na etapa em escala industrial, conforme ilustra a figura 17, pois nos resultados em bancada os mesmos ficaram um pouco abaixo do esperado, mas tem de se levar em conta que na planta industrial tem-se outras variáveis de processo que podem ser alteradas a fim de garantir os teores nos concentrados finais, como: nível das colunas, vazão, cargas circulantes, inserção de mais etapas de limpeza, etc. Esses resultados não foram impeditivo para realização dos testes em escala maior.

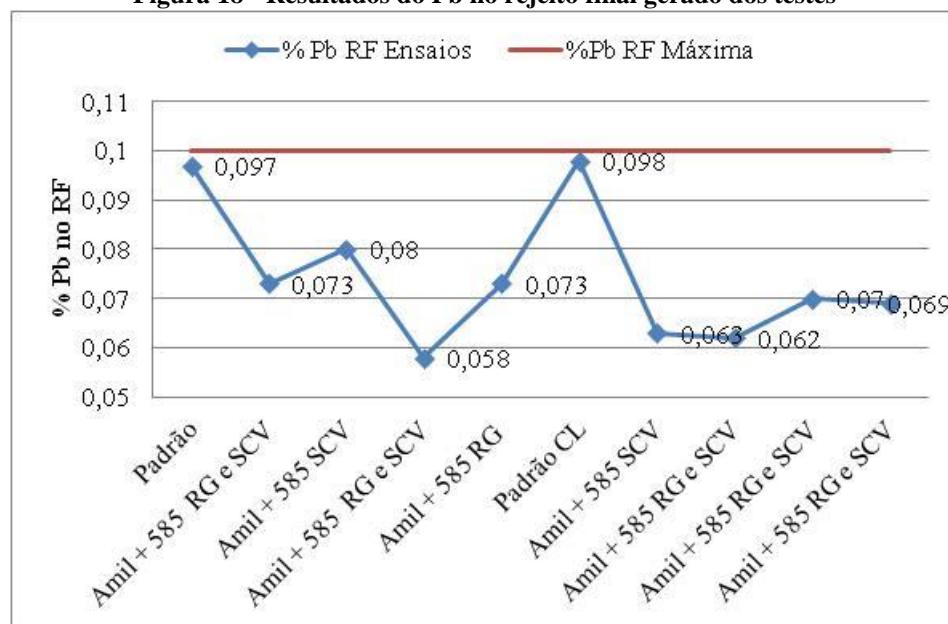
Figura 17 - Resultados dos teores de Zn no concentrado final gerado dos testes



Fonte: autoria própria

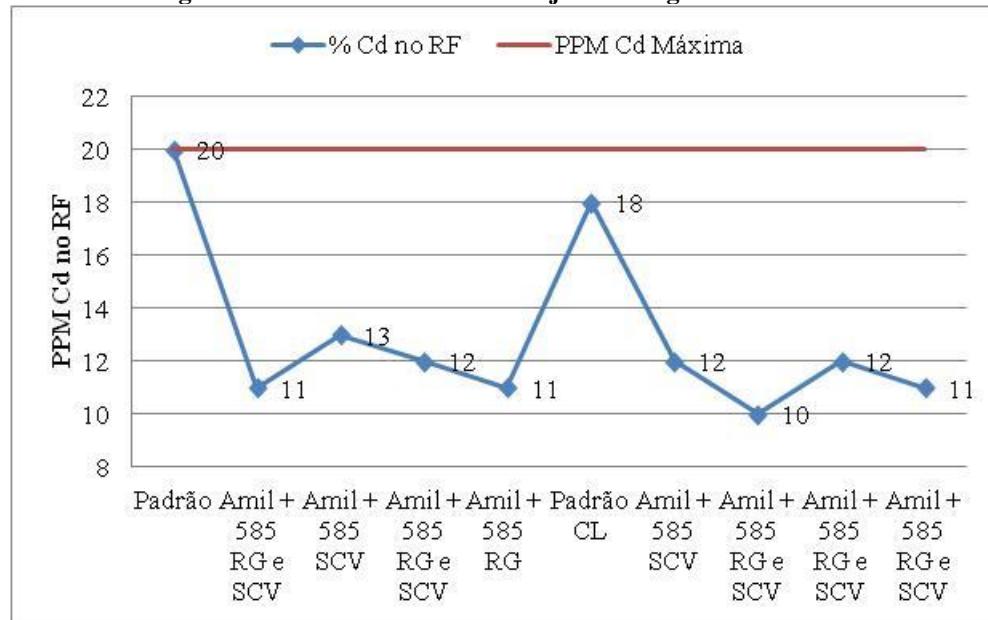
Para os contaminantes no rejeito (pó calcário agrícola), observa-se uma redução considerável em todos os testes em que foi dosado o reagente 585, obtendo redução média de 35% no chumbo e 40% de cádmio, conforme as figuras 18 e 19 apresentam.

Figura 18 - Resultados do Pb no rejeito final gerado dos testes



Fonte: autoria própria

Figura 19 - Resultados de Cd no rejeito final gerado dos testes



Fonte: autoria própria

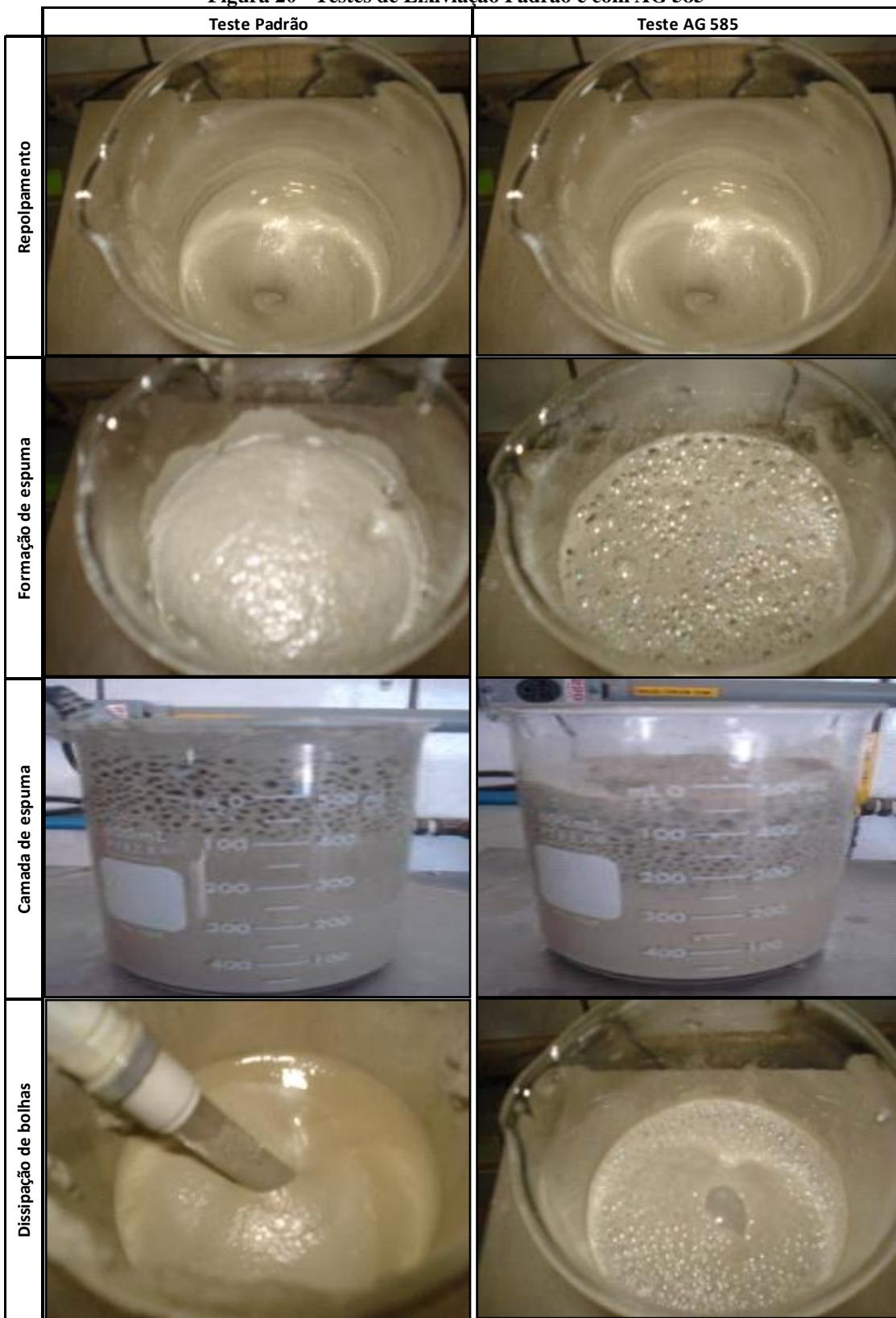
Observando os resultados dos testes realizados pode-se explorar quase todos em escala industrial, no entanto optou-se por iniciar em escala industrial o teste nº 10, onde-se conseguiu redução dos contaminantes, aumento de recuperação e uma boa qualidade do concentrado de zinco. Além disso, a dosagem do AG585 foi uma das menores.

6.2 Ensaios de lixiviação em bancadas

Na etapa posterior à flotação, o concentrado de zinco passa por processo de lixiviação e reduzir ainda mais os contaminantes (MgO, CaO, Pb etc.) para etapa de ustulação. Sendo assim além dos ensaios de flotação em bancada, se fazia necessário realizar testes de lixiviação com o concentrado gerado, para garantir a qualidade de acordo com os requisitos do cliente, os testes têm objetivo de avaliar a geração de espuma e quanto a mesma se rompia facilmente. Tais ensaios foram realizados os ensaios e os mesmos apresentaram resultados satisfatórios.

Todos apresentaram conformidade quanto a qualidade de espuma gerada, bem dissipada e de fácil rompimento das bolhas. Nas figuras 20, lado direito, são fotos do teste com o concentrado gerado dos ensaios de flotação padrão comparado às figuras da esquerda com teste gerado com o concentrado da flotação de zinco com a adição do AG585.

Figura 20 - Testes de Lixiviação Padrão e com AG 585

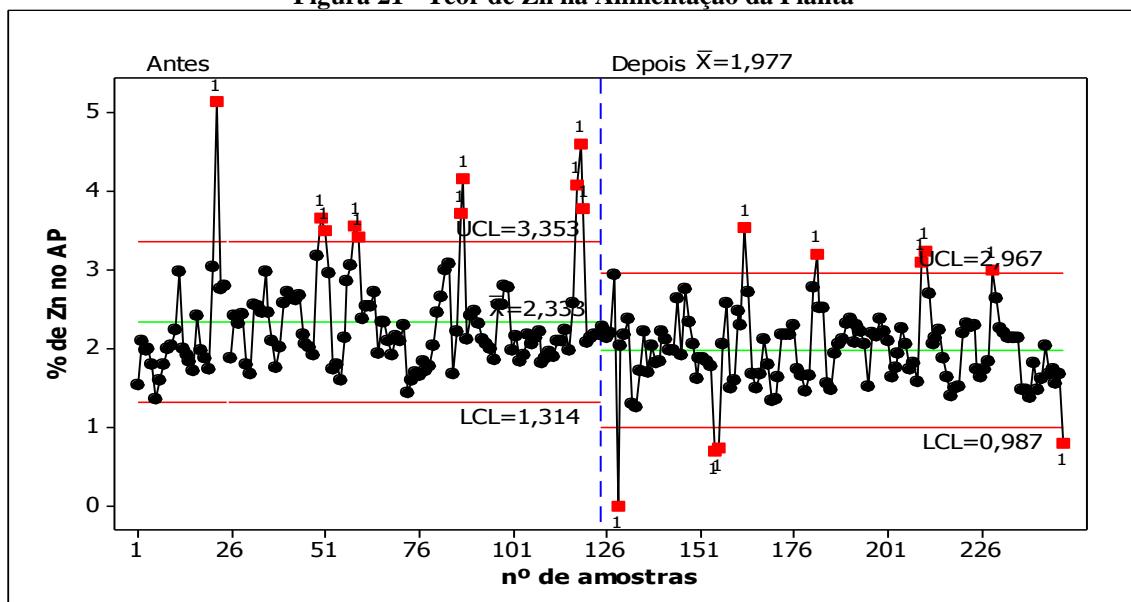


Fonte: autoria própria

6.3 Resultados industriais

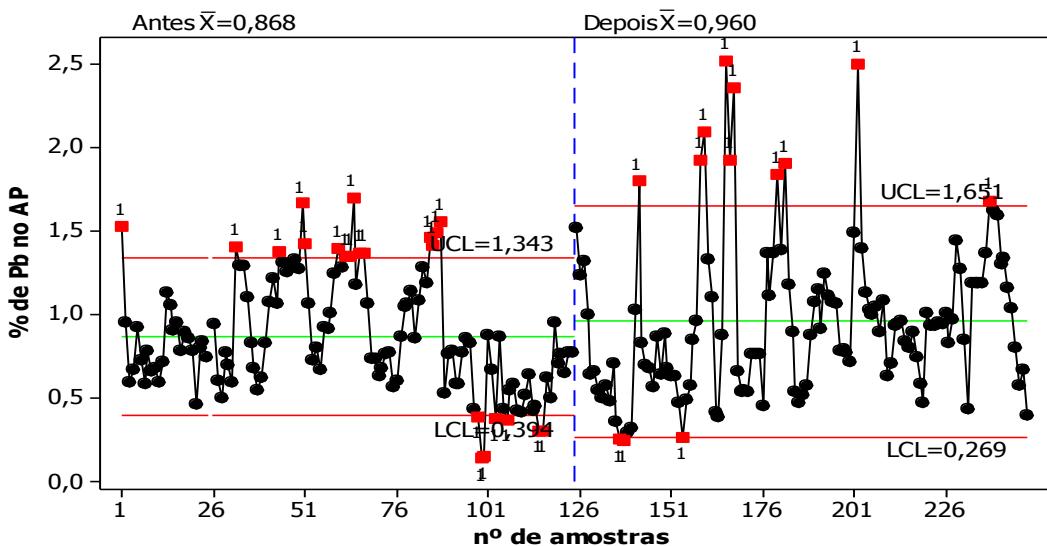
No período em que o teste foi realizado os teores de Zn na alimentação da planta reduziu e o teor de chumbo elevou, aumentando mais o desafio de retirada do teor de chumbo no contaminante, e implicando no maior desafio de trabalho para garantir o teor de Zn no CF Zn, a variabilidade do processo aumentou, o desvio padrão para alimentação de Zn de 0,47 para 0,51 e para o Pb de 0,28 para 0,47, porém mesmo assim conseguiu-se excelente desempenho com a associação do AG585 na flotação de Zn e Pb, conforme figura 21. No período anterior o teor médio do período estava com 2,33% e no período do teste reduziu-se para 1,99%. O teor de chumbo na alimentação manteve normalmente como na figura 22.

Figura 21 - Teor de Zn na Alimentação da Planta



Fonte: autoria própria.

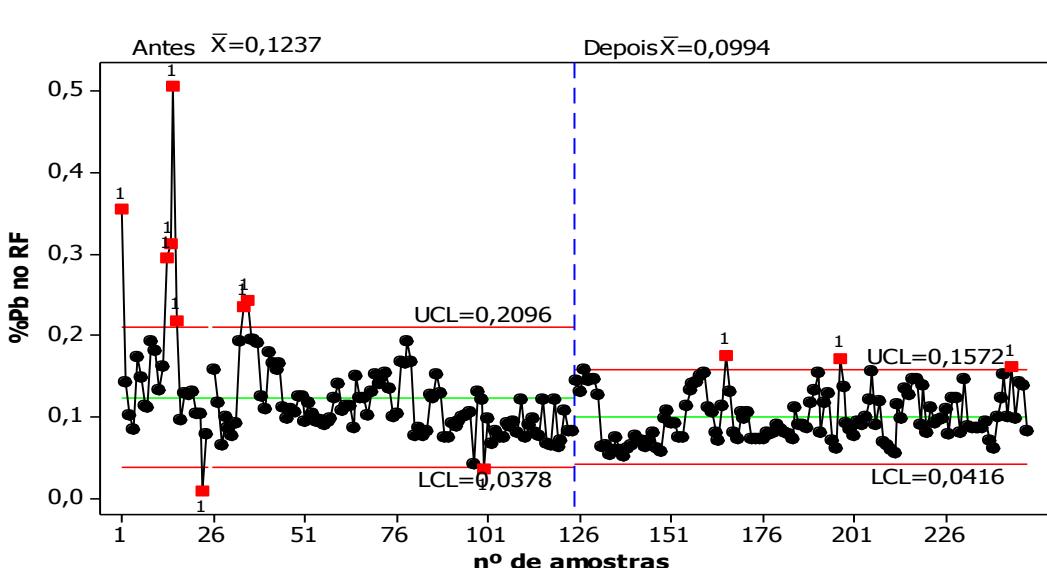
Figura 22 - Teor de Pb na alimentação da planta



Fonte: autoria própria.

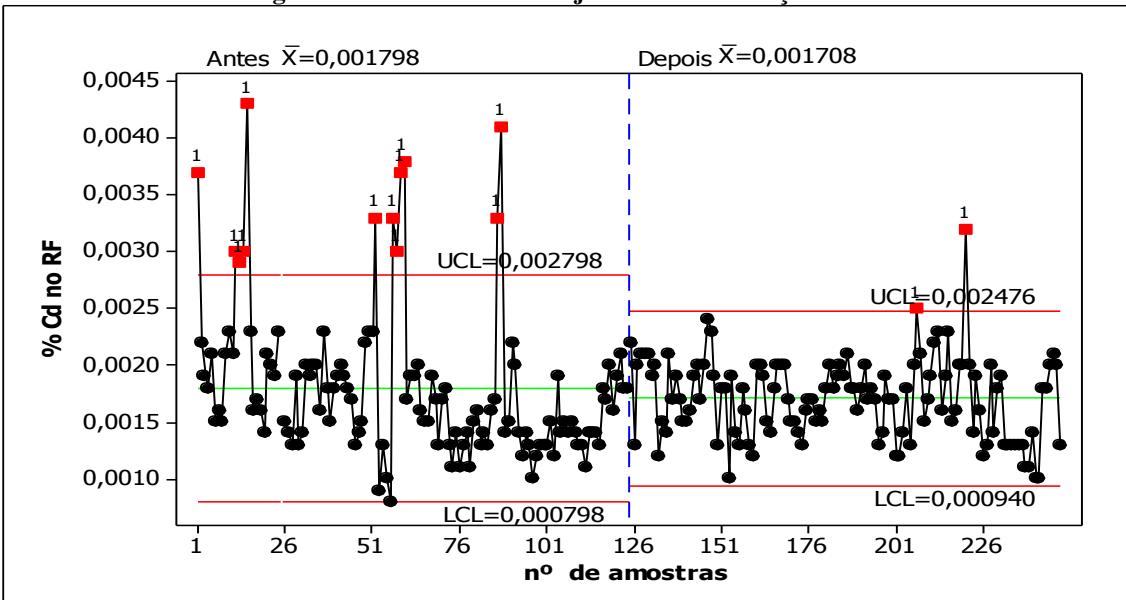
Conseguiu-se a redução dos contaminantes do calcário como segue as figuras 23 e 24 o Pb de 0,13% passou para 0,094% e o Cd apresentava uma média de 0,018%, reduziu para 0,017% que ficou dentro da faixa estabelecida pelo Ministério da Agricultura de 20ppm para Cd e 1000ppm para Pb. Além de tudo conseguiu-se estabilizar o processo, o desvio padrão antes de associar o AG 585 era para Cd 0,0004, após a associação foi para 0,0002 e para o Pb antes 0,04 e depois 0,03.

Figura 23 - Teor de Pb no rejeito final da flotação de zinco



Fonte: autoria própria.

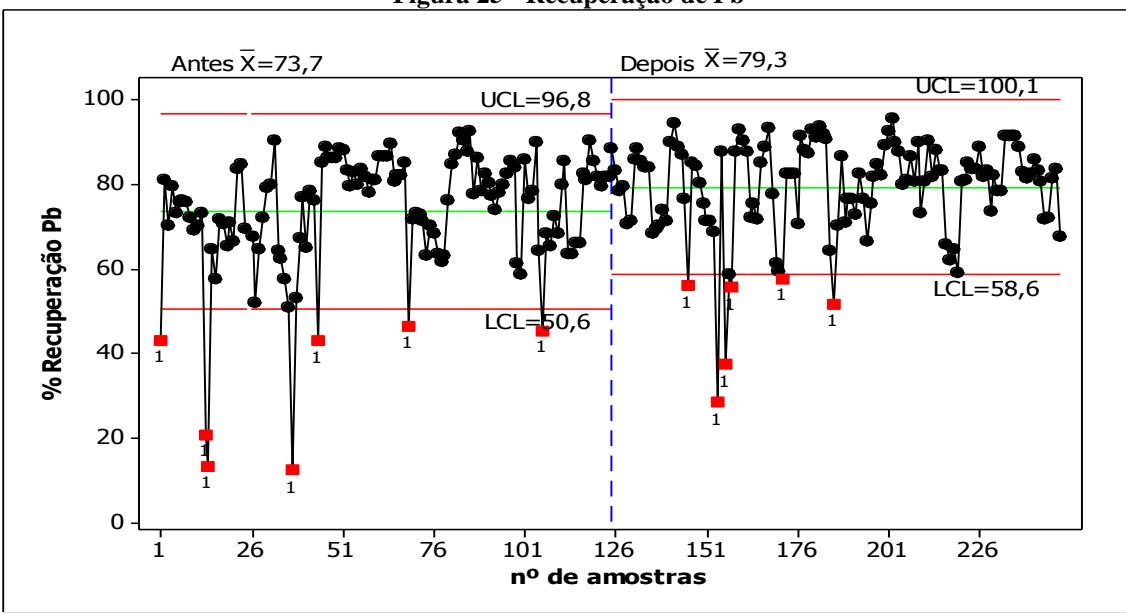
Figura 24 - Teor de Cd no rejeito final da flotação de Zn



Fonte: autoria própria.

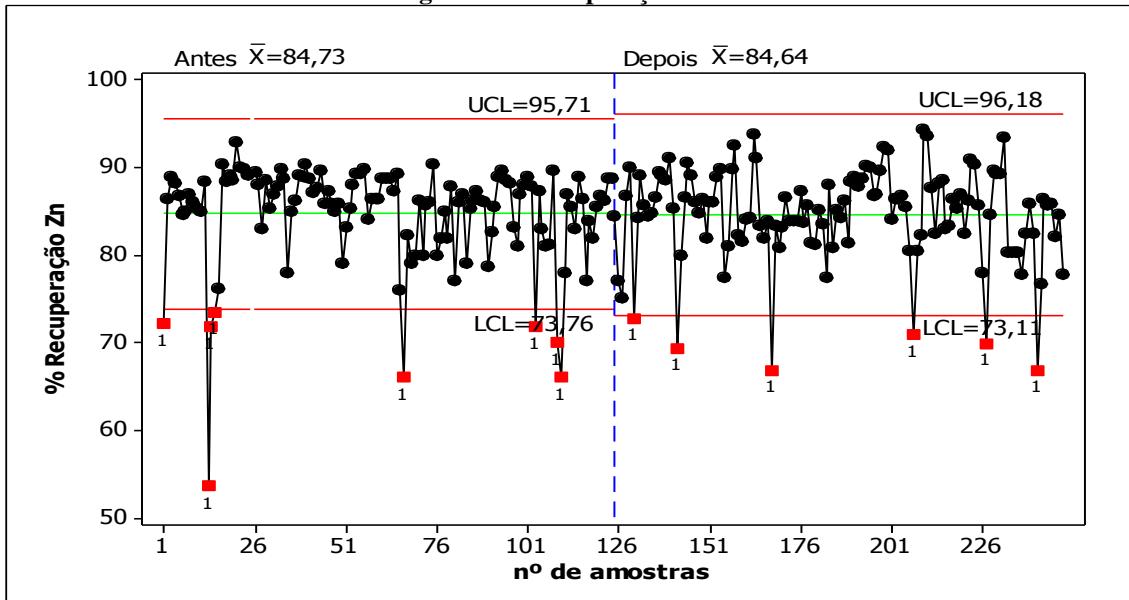
Os bons resultados também vieram nas recuperações metalúrgicas, o chumbo apresentou uma elevação de 6,3% após associação do reagente, como mostra na figura 25 e o zinco permaneceu na faixa 84,5%, figura 26. Deve ser mais explorado no circuito de zinco.

Figura 25 - Recuperação de Pb



Fonte: autoria própria.

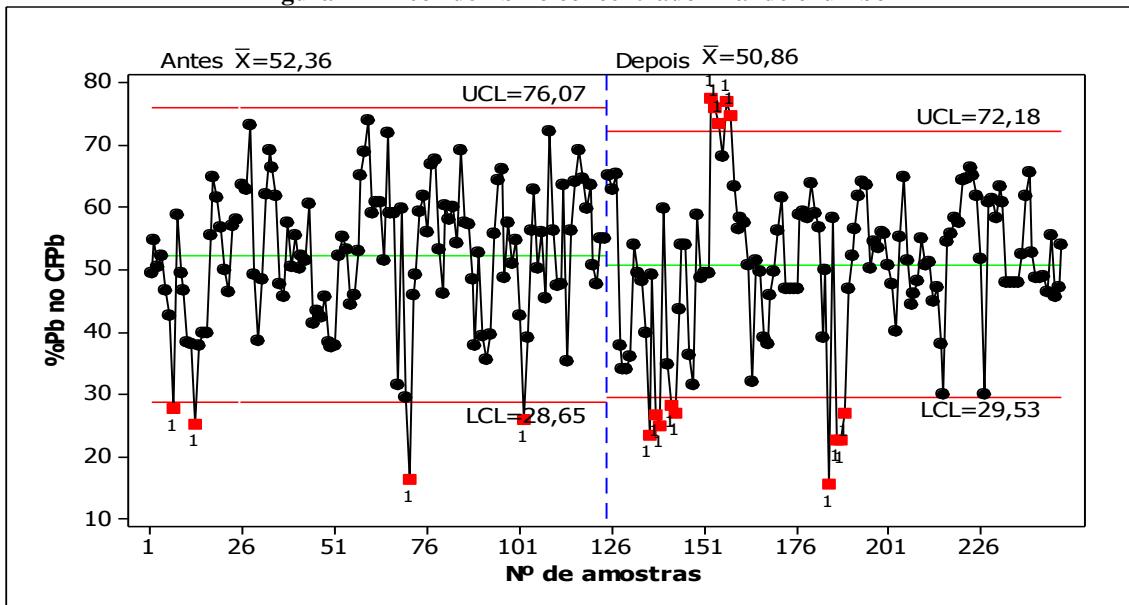
Figura 26 - Recuperação de Zn



Fonte: autoria própria.

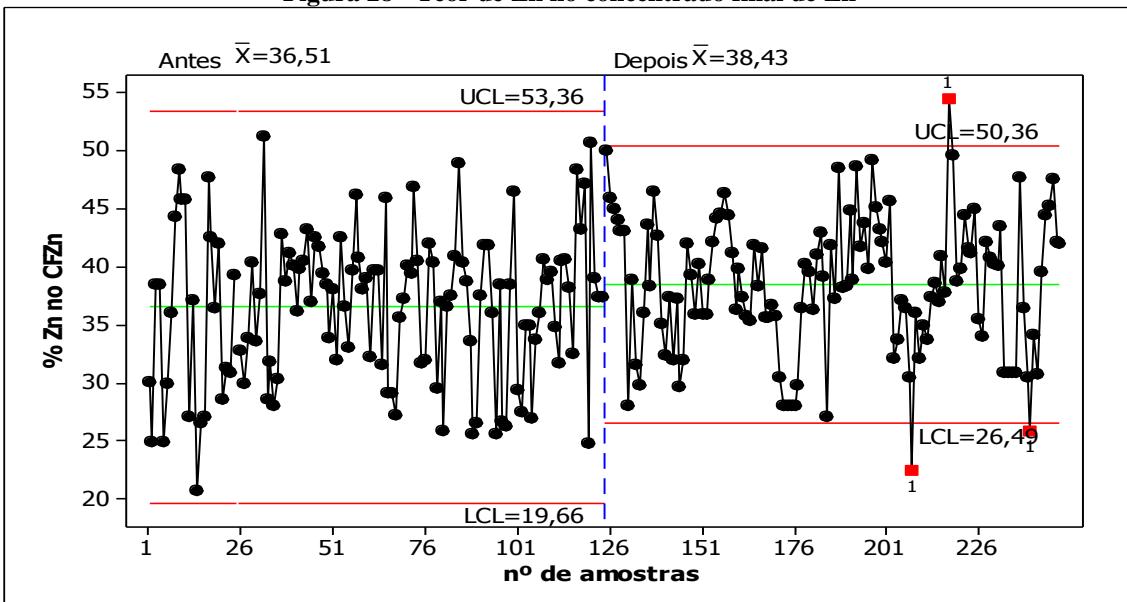
Os concentrados finais ficaram dentro das especificações, e ainda tiveram aumento nos teores, conforme figuras 27 e 28.

Figura 27 - Teor de Pb no concentrado final de chumbo



Fonte: autoria própria.

Figura 28 - Teor de Zn no concentrado final de Zn



Fonte: autoria própria.

Os ensaios de laboratório, foram base para aplicabilidade em uma escala maior e os resultados, mostram uma certa aderência quando se compara os dois.

O controle refinado na flotação com a dosagem do coletor AG585 e nos demais permitiu redução dos contaminantes e atendimento às especificações dos teores de concentrado.

7. CONCLUSÕES

Através dos ensaios de laboratório, foi possível ter uma prévia, os resultados positivos foram subsídios para aplicação em escala industrial, onde se observou o excelente desempenho do reagente investigado para potencializar os processos.

A associação do reagente pré-determinado junto ao processo trouxe ganhos tanto na qualidade do rejeito, reduzindo mais ainda os níveis de contaminantes (Pb e Cd); em consequência, elevou as recuperações de Zn e Pb sem prejudicar a qualidade dos concentrados garantindo o atendimento as especificações dos clientes.

Os resultados obtidos com os testes de lixiviação com o concentrado de Zn gerado dos ensaios de flotação com o coletor AG585 mostrou-se positivo, que é possível manter o controle da espumação no processo hidrometalúrgico.

A pesquisa com o uso do reagente auxiliar de flotação no processamento mineral da empresa em questão proporcionou melhorias significativas no processo de flotação de Pb e Zn com a adequação dos parâmetros que interferiam na qualidade do rejeito final, constituído de Pó Calcário Agrícola. Embora a redução do Cd na escala industrial não tenha sido tão expressiva do ponto de vista do período, mas conseguiu-se reduzir a variabilidade do processo, garantindo assim um processo sem grandes variações de teores e com isso tornando o processo mais estáveis.

Após a aplicação em escala industrial, foi possível confirmar o desempenho do uso do AG585 para auxiliar na coleta dos minerais de interesse, elevando suas recuperações e reduzindo os níveis de Cd e Pb do Pó Calcário Agrícola, sem prejudicar a qualidade dos concentrados obtidos com a sua associação no processo. Além disso, foi possível obter ganhos com redução de custos evitando a nova construção de barragem, pois com o baixo teor do contaminante no produto gerado permitiu-se que o mesmo fosse blendado com o Pó Calcário Industrial (PCI) e fosse comercializado, liberando espaço na barragem para deposição de novo rejeito.

8. REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: Características e interpretações técnicas**, São Paulo, ANDA, 2005.

ALVES, F. **Mineração mais que dobra participação no PIB Nacional**. *Revista Brasil Mineral*. Ano 22, n. 240, 2005.

ÁVILA-CAMPOS, Mario Julio. **Metais Pesados: Um Perigo Eminente. (2014)** Disponível em:

http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com_content&view=article&catid=13%3Atemas-de-interesse&id=33%3Ametais-pesados-um-perigo-eminente&Itemid=56&lang=br; Acesso em: 20/11/2014.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, **Informe Mineral 1º/2014**. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=9328>. Acesso em: 14/11/2014.

BRASIL. MAPA – **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2009. Instrução Normativa Nº 35, de 04 de julho de 2006. Disponível em <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=17043>, acessado em 15-07-2009.

CARDOSO, Mayra Lopes. **Artigo informativo**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/quimica/metais-pesados/>>. Acesso em: 06/11/2014.

CASAS, J.S.; SORDO, J. (65ds.) 2006. **Lead: chemistry, analytical aspects, environmental impact and health effects**. Editora Elsevier, The Netherlands. 354p.

DI TOPPI, SANITÁ, L.; GABBRIELLI, R. **Response to cadmium in higher plants**. Environmental and Experimental Botany, v.41, p.105-130, 1999. Disponível em: <http://www.uesc.br/cursos/pos_graduacao/mestrado/ppgpv/dissertacoes20121/carolineneryjezler.pdf>. Acessado em: 06/11/2014.

FRANCALANZA, H., 2000, **Coleta e Reciclagem de baterias de chumbo: problemas ambientais e perspectivas**, Seminário de reciclagem de Metais Não Ferrosos.

FREITAS, Eduardo. **Equipe Brasil Escola**. Disponível em: <<http://www.brasilescola.com/brasil/principais-areas-produtoras-minerio.htm>>. Acesso em: 06/11/2014.

FREITAS, Eriberto Vagner de Souza et al. **Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados**. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000600039. Acesso em 28/03/2015.

LOUREIRO, Francisco E. V. L.; MELAMED, Ricardo; NETO, Jackson F.; NASCIMENTO, Marisa. Fertilizantes: **Agroindústria e sustentabilidade/Eds.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

LUZ, A. B. Possa; M. V., ALMEIDA, S. L. **Tratamento de minérios**, 2^a Ed, revisada e ampliada. Capítulo 10 - CETEM - Centro de Tecnologia Mineral - CNPq/MCT, 1999.

JUNIOR, F.L.M. DNPM **Sumário Mineral 2014**. Disponível em: http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com_content&view=article&catid=13%3Atemas-de-interesse&id=33%3Ametais-pesados-um-perigo-eminente&Itemid=56&lang=br; Acessado em: 16/02/2015.

JÚNIOR, Fábio Lúcio Martins. **DNPM/TO Sumário Mineral 2014**, Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2009/Fertilizantes.pdf>. F.E. LAPIDO-LOUREIRO, R. MELAMED E J. FIGUEIREDO NETO; FERTILIZANTES agroindústria & sustentabilidade.

NAHASS, Samir. Fertilizantes: **Agroindústria e sustentabilidade/Eds** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

TEIXEIRA, J.A.B; SILVA O.A. DNPM. **Sumário Mineral 2014**. Disponível em: Acessado em: 16/01/2015.

NEVES, C.A.R. DNPM, **Sumário Mineral 2014**. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2009/Fertilizantes.pdf>. Acessado em: 16/02/2015.

SILVA, José Otávio da. **Produto RT 55 perfil do calcário agrícola**. 2009. Disponível em: Downloads/P29_RT55_Perfil_do_Calcario_Agricola%20(1).pdf

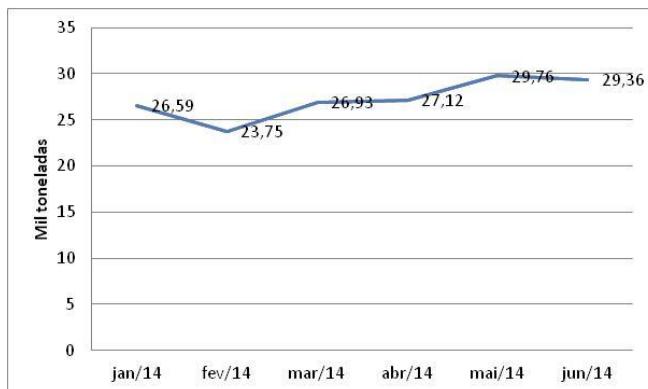
PEREIRA, C de M., 2007. **Política de Uso de Calcário Agrícola e a Sustentabilidade da Agricultura no Brasil**. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. Disponível em <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000419726>, acessado em 17-06-2009

TEIXEIRA, J.A. de A. B.; SILVA B. C, Eugênio, Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=3981>. Acessado em: 06/11/2014.

TSUTIVA, Milton Tomoyuki. Artigo, Metais Pesados: O principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. (1999). **20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/i-140.pdf>>. Acessado em: 06/11/2014.

ANEXO 1

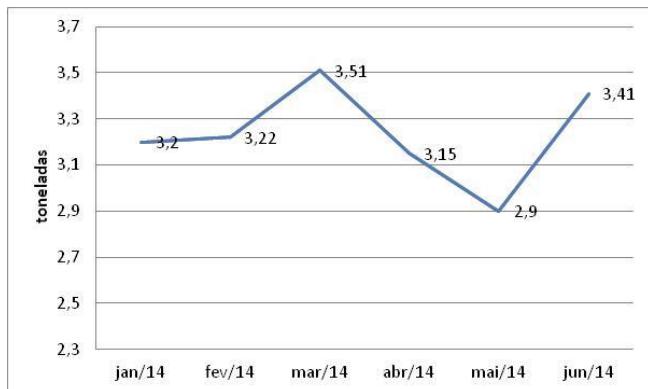
Minério de Ferro



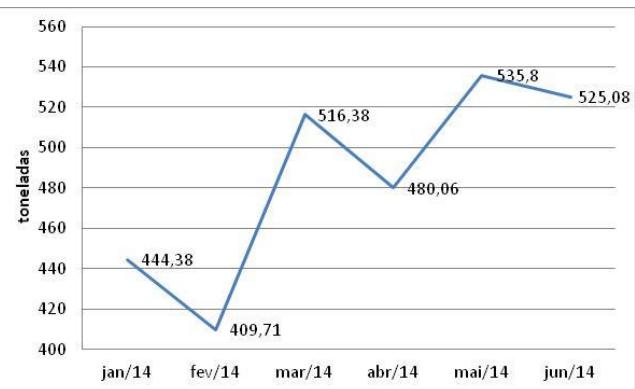
Bauxita



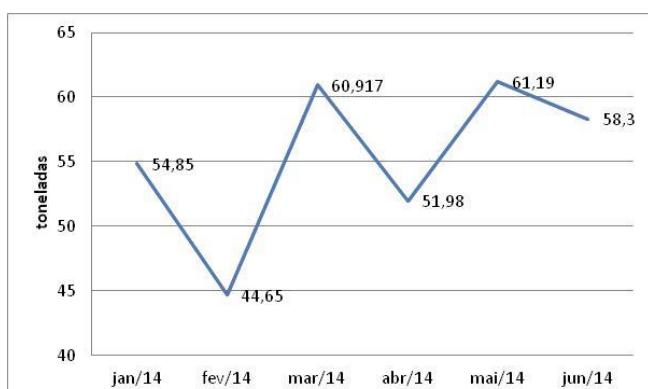
Ouro (exclui a produção de garimpo)



Fosfato



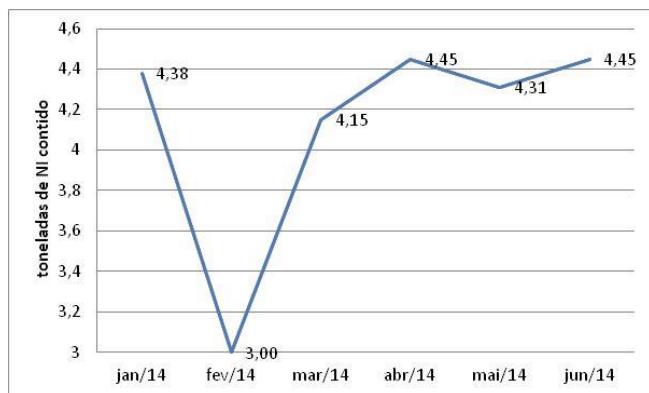
Cobre



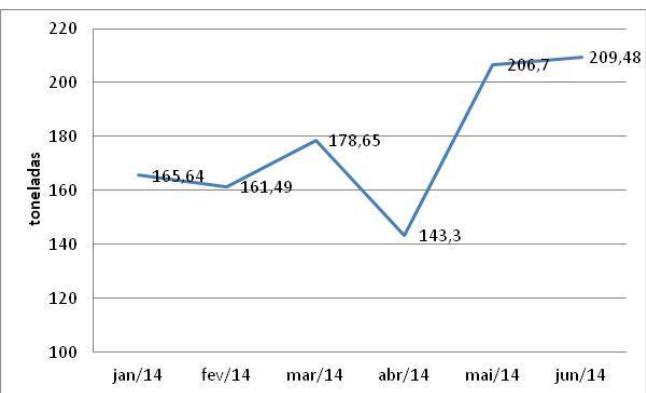
Carvão Mineral



Níquel



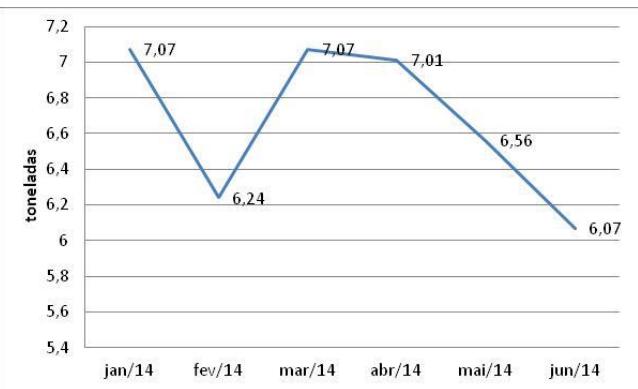
Manganês



Nióbio (Pirocloro)



Grafita



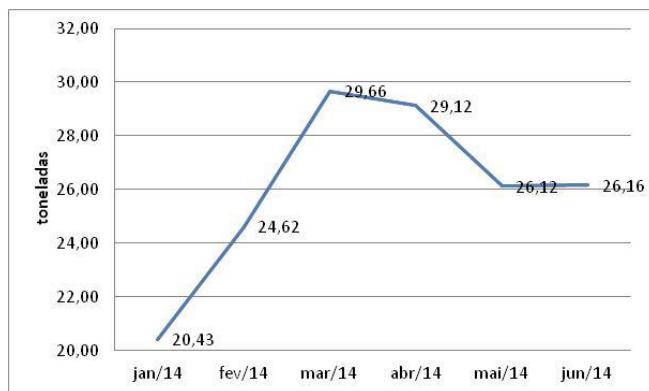
Potássio



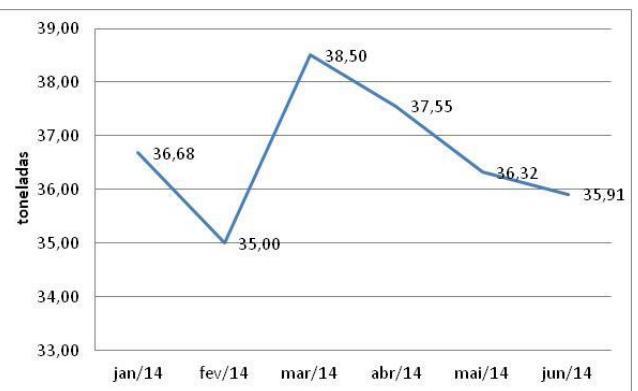
Cromo



Amianto



Zinco



Caulim

