



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE MINAS E CONSTRUÇÃO CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

RAMON VINHAS OLIVEIRA LIMA

**AVALIAÇÃO DO CIRCUITO DE AMOSTRAGEM DE UMA MINERADORA DE
OURO DO NOROESTE MINEIRO: UM ESTUDO DE CASO.**

Araxá - MG

2015

RAMON VINHAS OLIVEIRA LIMA

**AVALIAÇÃO DO CIRCUITO DE AMOSTRAGEM DE UMA MINERADORA DE
OURO DO NOROESTE MINEIRO: UM ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Comissão examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Graduado em Engenharia de Minas.

Orientador(a): Prof. Me. Leandro Henrique Santos.

Coorientador(a): Prof.(a), Dr^a. Michelly dos Santos Oliveira

Araxá - MG

2015

RAMON VINHAS OLIVEIRA LIMA

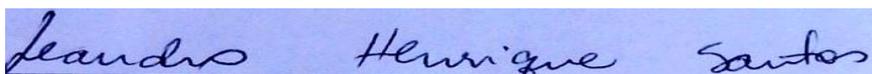
**AVALIAÇÃO DO CIRCUITO DE AMOSTRAGEM DE UMA MINERADORA DE
OURO DO NOROESTE MINEIRO. UM ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Comissão examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Graduado em Engenharia de Minas.

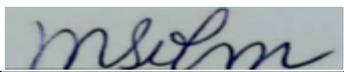
Orientador(a): Prof. Me. Leandro Henrique Santos.

Coorientador(a): Prof.(a), Dr^a. Michelly dos Santos Oliveira

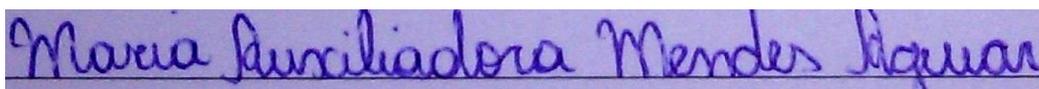
Data de aprovação: 14 / 08 / 2015



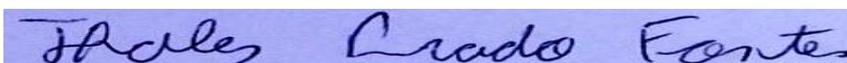
Me. Leandro Henrique dos Santos – Presidente da Banca Examinadora
Professor – CEFET-MG – orientador



Dra. Michelly dos Santos Oliveira
Professor – CEFET-MG – coorientador(a)



Ma. Maria Auxiliadora Mendes Aguiar
Professor – CEFET-MG



Esp. Thales Prado Fontes
Professor – CEFET-MG

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção e força para superar os desafios. Aos meus pais, Ivanildo e Emilia, minha eterna gratidão pela confiança, amor, apoio incondicional, e por fazerem dos meus sonhos os seus. Ao meu irmão Ygor, pelo apoio, incentivo e amizade. A minha namorada Nayline, pelo amor, paciência, compreensão, dicas, orações, e por sempre estar ao meu lado, por me incentivar, apoiando minhas decisões, e acreditando que sou capaz.

Aos meus amigos e colegas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial aos amigos Whálex Mendes e Silmara Rosseti, Luis Alberto, Luciana, Victor Leonardo, Patrick Teixeira.

A professora Alaine Moreira Imbelloni, pelas discussões iniciais e auxílio na escolha do tema do trabalho.

Aos professores e orientadores Leandro Henrique Santos e Michelly dos Santos Oliveira, competentes, atenciosos, receptivos e que além de orientadores se tornaram amigos, dedicando parte do seu tempo para me ajudar a realizar e desenvolver este trabalho, sempre com palavras encorajadoras.

À Kinross Paracatu, na pessoa do gerente de desenvolvimento tecnológico Getúlio Gomes Junior, pela autorização para realização deste trabalho na indústria.

Ao Engenheiro de Processos responsável pela amostragem da planta II, Wanderson Toledo da Silva, pela disponibilidade, direcionamento, materiais disponibilizados, troca de emails e telefonemas a fim de sanar qualquer dúvida nesse período.

Ao colaborador Marcio Barbosa, e toda equipe de amostragem, pela receptividade, abertura que possibilitaram a caminhada dessa experiência, da maior importância para meu crescimento profissional e humano.

"A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original".

Albert Einstein

RESUMO

Diante da grande importância da amostragem para o bom andamento e conformidade dos processos na indústria, objetivou-se neste trabalho a verificação das principais práticas de amostragem de polpas na indústria mineral de ouro. Além disso, foi realizada uma análise com ênfase nas principais dificuldades, desafios e perspectivas, e a partir de um estudo de caso, buscou-se exemplificar as práticas de amostragem, comparar os resultados gerados pela amostragem manual e automática, e ainda propor melhorias no processo de amostragem. O andamento deste trabalho foi feito em três etapas. A primeira consistiu na pesquisa teórica, baseada no levantamento das bibliografias comuns ao tema. Na segunda etapa foi realizado um estudo de caso em campo, acompanhando na indústria a execução do plano de amostragem, os pontos de coleta de amostras e as preparações para análise. A terceira etapa consistiu no tratamento dos dados para subsidiar propostas de melhorias, e a comparação entre os métodos de amostragem. O resultado encontrado para este estudo foi a comprovação da maior efetividade da amostragem automática em relação à manual, tanto para teores de ouro como de enxofre. Além disso, verificou-se e validou-se as técnicas atualmente utilizadas e por fim foram propostas melhorias na amostragem visando um melhor controle de qualidade evitando erros agregados à amostragem.

Palavras-chave: amostragem de polpa, minério de baixo teor, ouro.

ABSTRACT

Before the great importance of sampling for the smooth running and compliance of processes in the industry, the objectives of this work to check the main pulp sampling practices in mineral gold industry. In addition, an analysis focusing on core difficulties, challenges and perspectives, and from a case study was carried out, we sought to exemplify the sampling practices, compare the results generated by manual and automatic sampling, and to propose improvements in sampling process. The progress of this work was done in three stages. The first consisted of theoretical research based on survey common to the subject bibliographies. In the second stage we conducted a case study in the field, following the industry implementation of the sampling plan, the points of sample collection and preparation for analysis. The third stage consisted of the processing of data to support proposals for improvements, and the comparison between the methods of sampling. The results found in this study was the evidence of greater effectiveness of automatic sampling in relation to the manual for both gold grades as sulfur. Furthermore, it has been found and validated to the currently used techniques and improvements have been proposed in order to provide a better sample quality control by avoiding clusters of sampling errors.

Keyword: sampling of slurries, low-grade ore, gold.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização do cenário de estudo	13
Figura 3.1: Produção de Ouro Proveniente de Garimpos e das empresas de mineração	17
Figura 3.2: Fluxograma convencional da cianetação de minérios de ouro	20
Figura 3.3: Diagrama de blocos genérico de um processo de amostragem em tratamento de minérios	22
Figura 3.4: Fluxograma geral planta II, com pontos de amostragem	28
Figura 4.1: Balde para armazenamento e dispositivo para coleta de fluxo	32
Figura 4.2: Ponto de coleta com válvula de abertura e coleta	32
Figura 4.3: Amostrador automático rejeitorougher	33
Figura 4.4: Quarteadores de polpa convencional e de 12 cubas.....	34
Figura 4.5: Filtros de panelas	34
Figura 4.6: Procedimento padrão de amostragem planta II.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Reserva e produção mundial de ouro	18
Tabela 2: Principais estatísticas - Brasil	19
Tabela 3: Horários amostragem planta II Kinross Paracatu	36
Tabela 4: Limites de controle amostragem ouro sólido rejeito rougher.....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição dos pontos de coleta de incrementos da Planta II Kinross	31
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráficos5.1: Resultados das análises estatísticas do banco de dados dos meses de Julho de 2014 a Fevereiro de 2015	39
Gráficos5.2: Resultados das análises estatísticas do período.	39
Gráfico 5.3: Coeficiente de variação (CV) dos meses referentes ao período de análise.	40
Gráficos 5.4: Análises estatísticas do banco de dados dos meses de Janeiro de 2014 a Fevereiro de 2015 para enxofre.	41
Gráficos 5.5: Análises estatísticas do banco de dados da média dos meses do período para enxofre.	42
Gráfico 5.6: Coeficiente de variação do período completo para enxofre.	42
Gráficos 5.7: Análise estatística do banco de dados dos meses de Janeiro de 2014 a Fevereiro de 2015, para ouro sólido no rejeito <i>cleaner</i>	44
Gráficos 5.8: Análise estatística do banco de dados da média dos meses do período para ouro sólido no rejeito <i>cleaner</i>	44
Gráfico 5.9: Coeficiente de variação do período completo para ouro sólido no rejeito cleaner	45
Gráficos 5.10: Análise estatística do banco de dados dos meses de Janeiro de 2014 a Fevereiro de 2015, para enxofre no rejeito <i>cleaner</i>	46
Gráfico5.11: Análise estatística do banco de dados da média dos meses do período para enxofre no rejeito <i>cleaner</i>	47
Gráfico 5.12: Coeficiente de variação do período completo para enxofre no rejeito <i>cleaner</i> . ..	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
	2.1 OBJETIVO GERAL	15
	2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
	3.1 MINÉRIO AURÍFERO.....	16
	3.2 ECONOMIA DO OURO	16
	3.3. BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS E PROCESSO PRODUTIVO GERAL OURO	19
	3.4. AMOSTRAGEM.....	21
	3.5. AMOSTRAGEM DE POLPA.....	23
	3.6. TEORIA DE PIERRE GY E ERROS PROVÁVEIS NA AMOSTRAGEM.....	23
	3.7. ESTATÍSTICA BÁSICA PARA ANÁLISE DE DADOS	26
	3.8. ROTA DE PROCESSO PLANTA II KINROSS PARACATU	27
4	METODOLOGIA.....	30
	4.1. PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS	30
	4.2.EQUIPAMENTOS PARA COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	31
	4.3.PROCEDIMENTO PADRÃO DE AMOSTRAGEM E TREINAMENTO	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
	5.1. REJEITO <i>ROUGHER</i> (AMOSTRAGEM AUTOMÁTICA)	38
	<u>5.1.1. Análise estatística para ouro sólido</u>	38
	<u>5.1.2. Análise estatística para enxofre</u>	41
	5.2. REJEITO <i>CLEANER</i> (<i>MANUAL</i>)	43
	<u>5.2.1. Análise estatística para ouro sólido do rejeito cleaner</u>	43
	<u>5.2.2. Análise estatística para enxofre do rejeito cleaner</u>	46
	5.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS PONTOS DE AMOSTRAGEM DISCUTIDOS	48
	5.4. POSSÍVEIS PONTOS DE MELHORIAS NA AMOSTRAGEM	48
6	CONCLUSÃO.....	50
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
	REFEREÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

A mineração é a maior fornecedora de insumos para uso do homem no seu cotidiano. A obtenção destes produtos está associada aos desafios em todas as suas adversidades, sejam esses técnicos, ambientais, humanos, dentre outros. Como resultado deste cenário, surge a necessidade de um aperfeiçoamento contínuo das novas práticas de mineração e, conseqüentemente, do processamento de minerais. A ação conjunta de todos os que participam deste processo de desenvolvimento torna-se fundamental para o crescimento sustentável da mineração (LUZ et. al., 2010).

De acordo com PINHEIRO (2011), o Brasil possui em seus mais de 8,5 milhões de km² uma grande diversidade de terrenos e formações geológicas, conferindo-lhe uma grande diversidade de minérios. Os recursos minerais são expressivos e abrangem uma produção de 72 substâncias minerais, das quais 23 são metálicas, 45 não metálicas e 4 energéticas.

Dentre os recursos minerais encontra-se o ouro, metal de grande interesse mundial, sendo o produto foco da empresa em estudo, a Kinross Paracatu. A Figura 1.1 apresenta a localização desta empresa.

A Kinross se apresenta como uma empresa empreendedora e dinâmica que atua de forma responsável nas atividades de pesquisa e desenvolvimento mineral, mineração, beneficiamento e comercialização de ouro. Com atividades na mina Morro do Ouro, localizada no município de Paracatu, noroeste de Minas Gerais, e escritório em Belo Horizonte, a empresa integra a Kinross Gold Corporation, grupo canadense com atuação no Brasil, Chile, Estados Unidos, Rússia, Gana e Mauritânia.

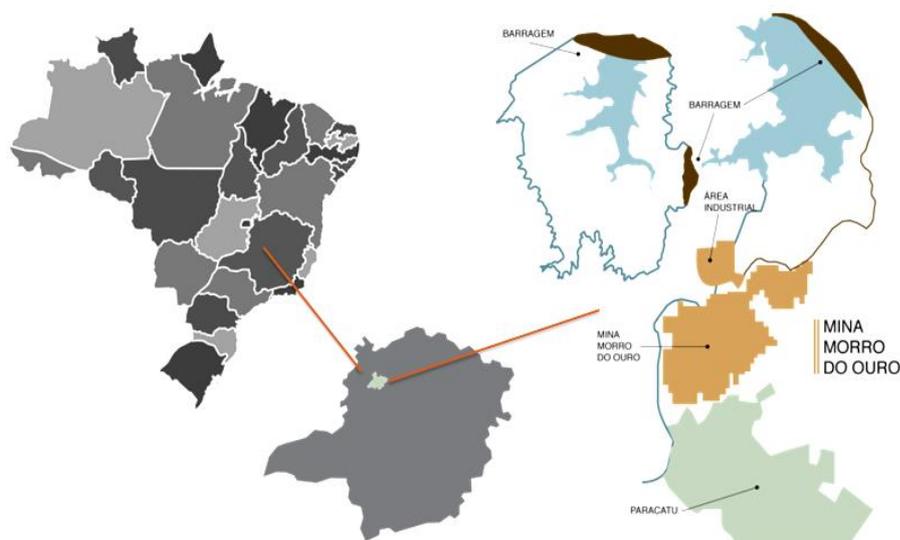


Figura 1.1: Localização do cenário de estudo

Fonte: Kinross Paracatu, 2015.

A mina Morro do Ouro é considerada a segunda maior produtora de ouro no Brasil, mesmo com teor médio de 0,4 gramas de ouro por tonelada de minério. De acordo com o site oficial da Kinross Paracatu, no ano de 2014 a empresa apresentou capacidade de produção anual de 61 milhões de toneladas, possuindo mercado de exportação de 100% de sua produção estimada em 514 koz/ano.

Dentre as operações realizadas pela empresa, encontram-se as plantas de beneficiamento de minérios I e II, destas a que servirá como objeto de estudo deste trabalho, sendo esta a amostragem de polpa da planta de beneficiamento de minérios II.

A amostragem de polpa corresponde a uma operação frequentemente negligenciada na indústria. A adequação dos sistemas de amostragem às normas internacionais se mostra fundamental para relações de confiança entre cliente e fornecedor. As técnicas de amostragem devem garantir a coleta de amostras representativas. As práticas de amostragem para polpas ainda são pouco discutidas e existem inúmeros desafios quando se trata de um minério de baixo teor, tal como o ouro. Existem pontos do circuito produtivo que apresentam elevada turbulência e vazão, o que pode comprometer a operação de amostragem e o controle da qualidade. Isto se dá porque a prática recomendada seria proceder de tal forma que o fluxo seja interceptado totalmente a fim de serem obtidos incrementos que fornecerão amostras confiáveis e representativas. Além disso, a teoria mais aceita, Teoria de Pierre Gy, apresenta algumas falhas quando se trata de minérios de baixo teor (como as massas geradas na coleta, e a dificuldade de coleta pela alta densidade do ouro tendendo a precipitar mais na tubulação). Diante deste cenário, um trabalho de revisão e prática de campo na forma de um estudo de caso a respeito do assunto contribuiria para a área, uma vez que abordaria práticas consagradas, novidades tecnológicas e tendências no mercado. Além disso, existem poucos trabalhos nacionais abordando o tema de forma clara e objetiva.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar se as principais práticas de amostragem de polpas de minérios de baixo teor, da Kinross Paracatu, estão de acordo com a teoria de Pierre Gy, e com as normas vigentes de amostragem.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica, enfatizando as principais dificuldades, desafios e perspectivas do cenário operacional.
- Exemplificar as práticas de amostragem, a partir de um estudo de caso das técnicas de amostragem de polpa da Kinross.
- Comparar os resultados gerados através da amostragem manual e automática.
- Propor melhorias para a amostragem da empresa estudada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na pesquisa teórica, iniciou-se uma revisão bibliográfica sobre o minério aurífero, economia mineral, rota de processo geral para minérios auríferos, amostragem de polpa, práticas amostrais, e teorias e leis que regem a amostragem de polpa para minérios de baixo teor, visando um enfoque nos processos de ouro. Fundamentou-se a revisão por meio da leitura de livros, artigos nacionais e internacionais e páginas de órgãos da área de mineração.

3.1 Minério aurífero

Segundo COELHO (2009), o ouro (do latim *aurum*, brilhante) corresponde ao elemento químico de número atômico 79 (79 prótons e 79 elétrons), de símbolo Au, situado no grupo 11 (1 B) da tabela periódica, apresentando massa atômica igual a 197 u.

De acordo com BRANCO (2008), o ouro raramente se combina com outros elementos, sendo, por isso, encontrado na natureza geralmente no estado nativo. É muito comum encontrá-lo na forma de escamas, massas irregulares (pepitas) ou fios irregulares. Este metal apresenta aspecto visual opaco e cor amarela típica. Entretanto, quando pulverizado, pode apresentar coloração vermelha, preta ou púrpura. Apresenta brilho metálico, dureza baixa (2,5 a 3,0) e densidade elevada (19,30 g/cm³).

O ouro é empregado, principalmente, na produção de moedas, além dos setores de confecção de jóias e decoração, instrumentos científicos e indústria eletrônica. Para confecção de jóias, são empregadas ligas com 75% de ouro (18 quilates) ou, às vezes, com apenas 58,33% (14 quilates). Este metal pode ser empregado também no setor de fotografia, na forma de ácido cloro-áurico (HAuCl₄), e na indústria química, em ligas com cobre, prata, níquel e outros metais (BRANCO, 2008).

3.2 Economia do ouro

De acordo com TRINDADE e FILHO (2012), o Brasil ocupa, tradicionalmente, uma posição de destaque na produção mundial de ouro. Durante o ciclo do ouro, entre os anos de 1700 e 1850, o Brasil foi o maior produtor mundial, chegando a produzir 16 toneladas anuais provenientes principalmente de aluviões e outros depósitos superficiais explorados pelos bandeirantes na região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais.

Ainda segundo TRINDADE e FILHO (2012), foi somente a partir dos anos 80, com a descoberta do garimpo de Serra Pelada, que a produção brasileira saltou de cerca de 20 t para mais de 100 t anuais no final da mesma década. Este crescimento foi fomentado pela forte tendência de aumento do preço do ouro, no mercado mundial, chegando a atingir o patamar acima de U\$ 1000,00 a onça *troy*¹ em 1980, como pode ser observado na Figura 3.1, apresentada a seguir.

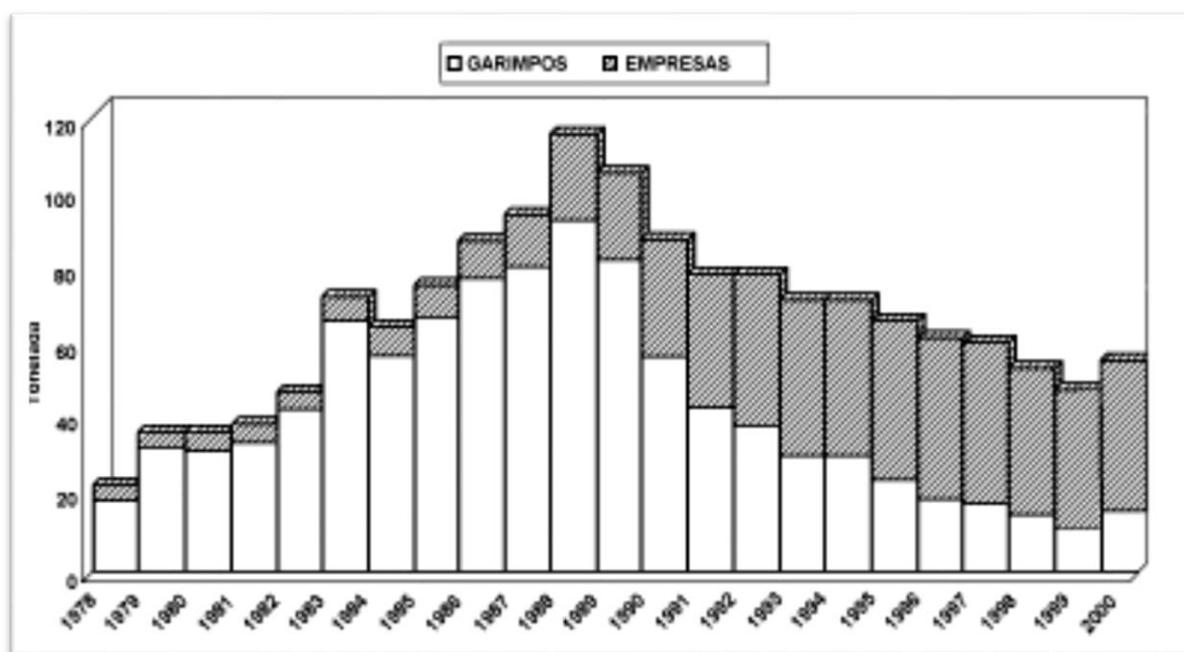


Figura 3.1: Produção de Ouro Proveniente de Garimpos e das empresas de mineração

Fonte: Extração de Ouro – Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente. CETEM, 2002.

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2012), dados preliminares do *United States Geological Survey (USGS)* indicam que a produção mundial de ouro em 2013 foi da ordem de 2.772 toneladas (t), com a China atingindo novo recorde com cerca de 420 t.

A demanda ajustada de ouro foi da ordem de 4.254 t em 2013 (4.455 t em 2012). O principal mercado para o ouro, no ano de 2013, foi a joalheria, com 2.361 t, seguida do setor de vendas de fundos de investimentos (ETF), apresentando 880 t. A China passou a ser o maior consumidor de ouro mundial, com 1.065,8 t em 2013, seguido pela Índia, com 974,8 t, que aumentou a taxa de importação de ouro. No Brasil, o acréscimo nas reservas medidas foi de 68,3 t (204,7 t em 2011 e 75,5 t em 2012) considerando a aprovação de novos relatórios

¹Uma onça *troy* equivale a 31,85 gramas de ouro.

finalis de pesquisa e reavaliações e 54,4 t nas reservas indicadas. Em 2013, o Brasil produziu cerca de 79,6 t de ouro (cerca de 68 toneladas de ouro primário), posicionando-se como 11º maior produtor mundial (DNPM, 2012), em comparação com outros países, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Reserva e produção mundial de ouro

Discriminação Países	Reservas (t)	Produção (t)		
	2013 ^(p) (1)	2012 ^(r)	2013 ^(p)	%
Brasil	2.400	68	80	2,9
China	1.900	403	420	15,2
Austrália	9.900	250	255	9,2
Estados Unidos da América	3.000	235	227	8,2
África do Sul	6.000	160	145	5,2
Chile	3.900	50	55	2,0
México	1.400	97	100	3,6
Rússia	5.000	218	220	7,9
Peru	1.900	161	150	5,4
Canadá	920	104	120	4,3
Gana	2.000	87	85	3,1
Indonésia	3.000	59	60	2,2
Uzbequistão	1.700	93	93	3,4
Outros países	11.200	708	762	27,5
TOTAL	54.220	2.693	2.772	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM; GFMS USGS: *Mineral Commodity Summaries* 2013; (1) dado USGS – nova metodologia; (r) revisado; (p) dado preliminar.

Segundo o Sumário Mineral do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2014), as maiores empresas no país foram: Anglogold, Kinross, Yamana, VALE, Beadell, Apoema/Aura, Jaguar, Luna/Aurizona, Troy e Caraíba.

Considerando somente a produção de ouro primário, Minas Gerais continua ocupando posição de destaque na produção nacional, com 45,6%, seguido por Goiás (12,3%), Mato Grosso (11%), Pará (11%), Amapá (7,6%), Bahia (7,4%), Maranhão (3,6%) e outros (2,0 %). A produção oficial de garimpos atingiu cerca de 11,6 t, com destaque para Mato Grosso (47,1%) e Pará (40,19%) (DNPM, 2014). Agregando as porcentagens de cada estado produtor, pode ser observado o cenário das principais estatísticas do Brasil, para o ouro, na Tabela 2.

Tabela 2: Principais estatísticas - Brasil

	Discriminação	Unidade	2011 ⁽¹⁾	2012 ⁽¹⁾	2013 ⁽²⁾
Produção	Total	(kg)	65.209	66.773	79.563
	Minas (Empresas)	(kg)	56.969	56.670	67.964
	Garimpos ⁽¹⁾	(kg)	8.240	10.103	11.609
Importação ⁽²⁾	Semimanufaturados	Kg (10 ³ US\$ FOB)	595 3.700	524 3.901	338 4.159
	Manufaturados	Kg (10 ³ US\$ FOB)	0	124 2	301 0
	Compostos Químicos	Kg (10 ³ US\$ FOB)	91 525	81 585	85 427
		t (10 ³ US\$ FOB)	48 2.324.987	52 2.663.774	62 2.668.136
Exportação ⁽²⁾	Semimanufaturados	(kg) (10 ³ US\$ FOB)	127 170	0 0	0 0
	Manufaturados	(kg) (10 ³ US\$ FOB)	1108 38.661	692 24.980	490 15.417
	Compostos Químicos	(kg) (10 ³ US\$ FOB)	26.000 1571,50	27.000 1.668,98	32.000 1.411,23
		(US\$/oz) (R\$/g)	84,65	104,15	98,00
Consumo ⁽³⁾	Dados (Estimados)	(kg)	26.000	27.000	32.000
Preço	London Gold PM FIX ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	(US\$/oz)	1571,50	1.668,98	1.411,23
	Bolsa de Mercadorias & Futuros - BM&F	(R\$/g)	84,65	104,15	98,00

Fonte: DNPM/DIPLAM; SECEX/MDIC; GFMS; WMC,BM&F; USGS; BACEN.

Ainda de acordo com o Sumário Mineral Brasileiro (DNPM, 2014), após 12 anos de altas consecutivas nos preços, o ouro apresentou, no ano de 2013, a primeira redução nos valores, mostrando uma cotação média de US\$ 1.411,20/Oz (US\$ 278,57/Oz em 1999 e US\$ 1.668,98/Oz em 2012). No início de janeiro de 2013, o metal apresentava cotação em torno de US\$ 1.657,50/Oz, finalizando o ano a US\$ 1.204,50/Oz. Em 22/01/2014, o metal apresentou a maior cotação do ano, com US\$ 1.690,50/Oz. Já a menor cotação foi obtida em 28/06/2013, com US\$ 1.192,00/Oz, segundo dados da World Gold Council (WGC). A Gold Fields Mineral Services (GFMS) estimou para 2014 um preço médio de US\$1.255/Oz.

3.3. Beneficiamento de minérios e processo produtivo geral ouro

De acordo com LUZ et al. (2010), podemos definir *Tratamento* ou *Beneficiamento de Minérios* como sendo as operações aplicadas aos bens minerais visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem, contudo modificar a identidade química ou física dos minerais.

Ainda de acordo com LUZ et al. (2010), o minério bruto (com frequência denominado ROM, de “*Run-Of-Mine*”) procedente da etapa de lavra de uma mina, passa por diversas operações unitárias, sendo estas assim classificadas:

- (i) cominuição: britagem e moagem;
- (ii) peneiramento (separação por tamanhos) e classificação (ciclonação, classificação em espiral);

- (iii) concentração: gravítica, magnética, eletrostática, flotação etc.
- (iv) desaguamento: espessamento e filtragem;
- (v) secagem: secador rotativo, *spray dryer*, secador de leito fluidizado;
- (vi) disposição de rejeito.

Segundo TRINDADE e FILHO (2002), o beneficiamento de minérios de ouro apresenta algumas peculiaridades que o distinguem de outros métodos de tratamento. Em linhas gerais, as rotas de processamento podem se restringir a uma mera adequação granulométrica do minério às etapas hidrometalúrgicas subsequentes. Algumas rotas podem envolver, além da preparação, estágios de concentração. Nesse último caso as propriedades diferenciadoras exploradas são a diferença de densidade e de hidrofobicidade (natural ou induzida) entre o ouro, os minerais a ele associados mais intimamente e os minerais de ganga.

Ainda de acordo com TRINDADE e FILHO (2002), as operações de preparação devem preservar as partículas de ouro livre e o beneficiamento como um todo deve priorizar a recuperação do ouro contido, ficando o teor de ouro no concentrado e a rejeição de impurezas como objetivos secundários.

Considerando como rota geral, pode ser observado o descrito na Figura 3.2, apresentada a seguir.

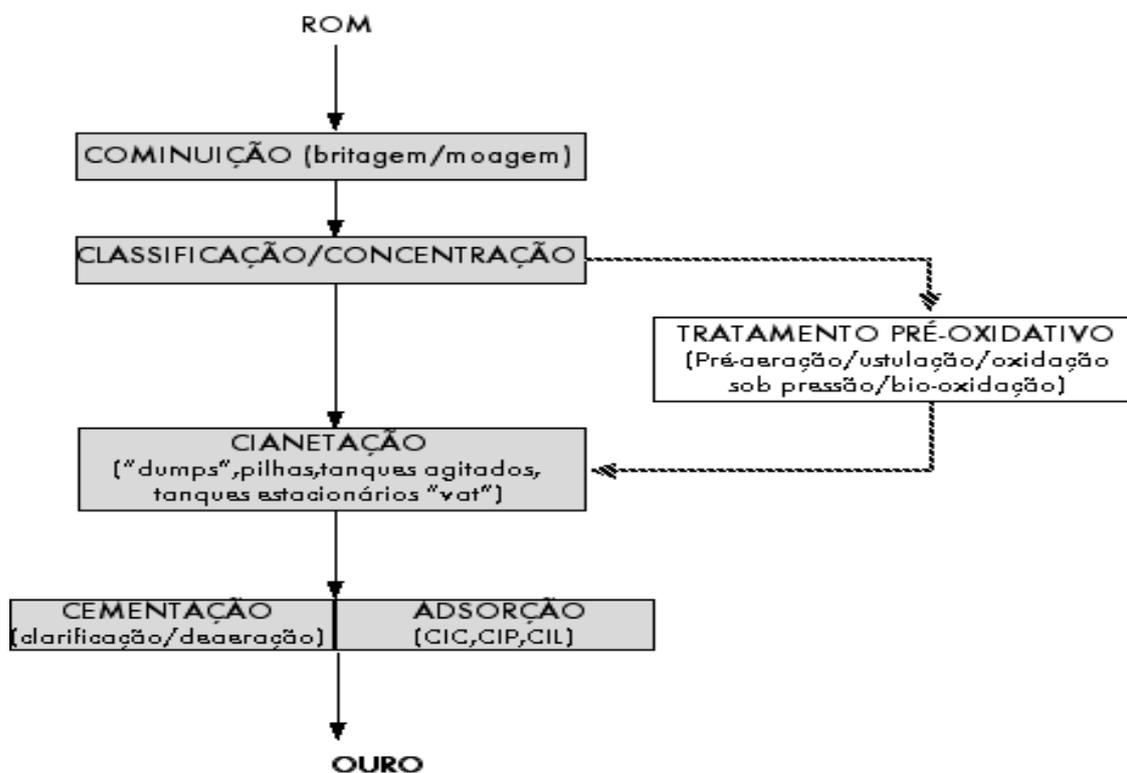


Figura 2.2: Fluxograma convencional da cianetação de minérios de ouro

Fonte: Extração de Ouro – Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente. CETEM, 2002.

3.4. Amostragem

Inserida nas operações unitárias descritas, a amostragem de materiais particulados é um passo importante na avaliação e otimização da operação da usina de processamento mineral (BAZIN et al., 2005).

De acordo com GÓES *et al.* (2004), o processo de amostragem consiste na retirada de quantidades moduladas de material (incrementos) de um todo que se deseja amostrar, para a composição da amostra primária ou global, de tal forma que esta seja representativa do todo amostrado.

A amostra corresponde a uma porção representativa de um lote de material formada a partir da reunião de vários incrementos. A amostragem é uma sequência de estágios progressivos para a seleção, delimitação e extração de incrementos que compõem a amostra. A operação de amostragem engloba, ainda, estágios de redução da massa dos incrementos selecionados e preparação para os ensaios de caracterização (GOES et al., 2004).

Segundo SAMPAIO (2005), a única maneira de realizar amostragem primária de um material é a retirada de porções diretamente da população alvo. A amostragem pode ocorrer de maneira aleatória, sistemática, ou estratificada. Esta primeira, a amostragem aleatória, é normalmente utilizada quando há pouca informação sobre o material a ser amostrado. Os incrementos são retirados de forma fortuita, mas garantindo que todas as partes do material tenham a mesma probabilidade de serem amostradas. Na amostragem sistemática os incrementos são coletados a intervalos regulares (de tempo ou massa), previamente definidos. No caso de haver a possibilidade da existência de ciclos regulares de variação do parâmetro de interesse, e deles coincidirem com os períodos de retirada da amostra, esta modalidade de amostragem não deve ser utilizada. A amostragem estratificada é uma extensão da amostragem sistemática na qual o material é dividido em grupos distintos segundo características próprias.

Uma amostragem pode, usualmente, ser realizada em quatro etapas (OLIVEIRA et al., 2007).

I. Elaboração do plano de amostragem, que consiste na determinação do parâmetro de qualidade que será estimado, além das condições necessárias para a amostragem, tais como qual tipo de amostrador, massa a ser amostrada, método e a sequência de operações utilizadas;

II. Obtenção da amostra;

III. Preparação da amostra, compreendendo o conjunto de operações necessárias à adequação da amostra ao método analítico de determinação do parâmetro de qualidade;

IV. Determinação de um parâmetro de qualidade consistindo-se das análises que irão estimar a qualidade do lote, como a proporção dos teores de diversos elementos, o percentual de umidade, e a distribuição granulométrica.

Amostragem é, portanto, um processo de seleção e inferência, uma vez que a partir do conhecimento de uma parte (amostra), são estimadas conclusões sobre o todo (universo). Sua importância é ressaltada, principalmente, quando entram em jogo o controle de processos e a comercialização de produtos (GOES *et al.*, 2004).

Os procedimentos de amostragem e seus estágios são operações que se baseiam em seleções probabilísticas, portanto grandes variâncias nos resultados são possíveis. PETERSEN *et al.* (2005) afirmam que os erros envolvidos na amostragem, quantificados pelas diferenças relativas entre o teor real do lote e o valor obtido para as amostras, podem ser até 100 vezes maiores que aqueles da etapa analítica. Logo, um controle de qualidade eficiente somente está assegurado com a garantia de procedimentos adequados para a obtenção de uma diferença mínima entre o valor esperado para o teor do lote e aquele obtido na amostra. Podemos observar na Figura 3.3, um exemplo genérico do processo de amostragem.

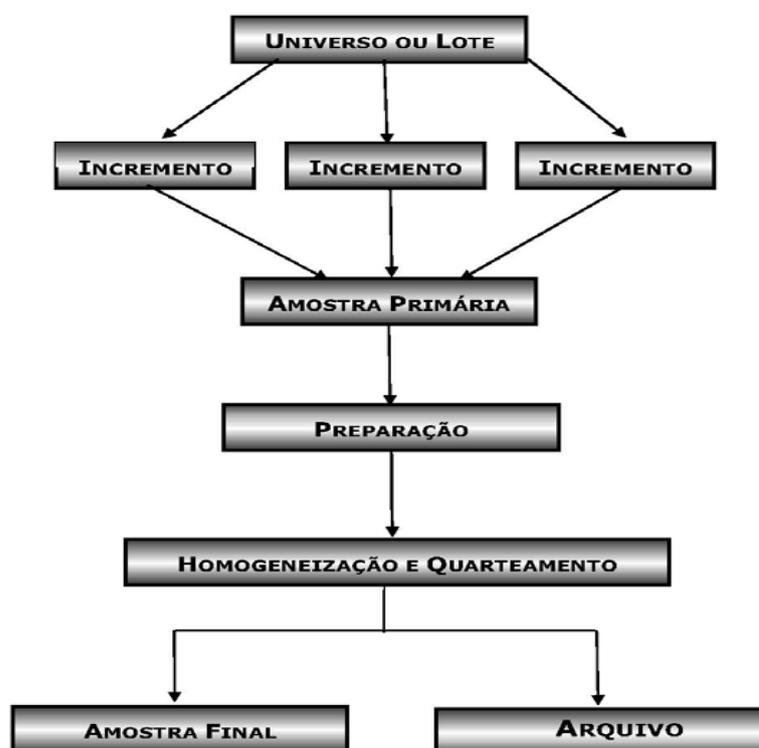


Figura 3.3: Diagrama de blocos genérico de um processo de amostragem em tratamento de minérios

Fonte: OLIVEIRA *et al.*, 2007.

3.5. Amostragem de polpa

Uma vez que a maioria das usinas de concentração mineral e de hidrometalurgia processam os minérios a úmido, a amostragem de fluxos de polpa apresenta expressiva importância, sendo muito utilizada para acompanhamento da qualidade dos fluxos intermediários e finais nos circuitos piloto e industrial (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

O minério deve estar totalmente seco ou então sob a forma de polpa para uma representativa amostragem, visto que a umidade favorece a formação de agregados de partículas finas, induzindo erros na operação devido à segregação (BROD, 2010; *apud*, OLIVEIRA, *et al.*, 2007).

A amostragem pode ser feita manualmente ou automaticamente. Os resultados obtidos com amostragem automática são mais confiáveis que aqueles oriundos da amostragem manual, embora esta última seja mais utilizada em tratamento de minérios (GÓES *et al.*, 2004).

As técnicas de amostragem manual podem ser realizadas com materiais em movimento ou estáticos. As amostragens manuais são técnicas pouco recomendadas, pois estão associadas a uma série de pequenos erros, tais como (BROD, 2010; *apud*, OLIVEIRA, *et al.*, 2007):

- variação no intervalo de tempo de coleta das amostras ou incrementos;
- variação na velocidade de coleta dos incrementos;
- perda de partículas durante a coleta dos incrementos;
- contaminação por material diferente e heterogeneidade do material;
- segregação localizada do material.

Em função dos elevados custos dos amostradores automáticos, a amostragem manual é amplamente utilizada. Diante deste cenário, os critérios de execução de operações de amostragem manual devem ser rígidos, de modo a permitir a obtenção de amostras com erros estatisticamente aceitáveis (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

3.6. Teoria de Pierre Gy e erros prováveis na amostragem

A teoria de amostragem mais utilizada no setor mineral, para fins de caracterização da qualidade de materiais, corresponde àquela iniciada por Pierre Gy, a partir da década de 1950

(PITARD, 1993). Dentro do escopo desta teoria, o erro total de amostragem pode ser desdobrado em sete parcelas estatisticamente independentes:

- I. Erro fundamental;
- II. Erro de segregação e agrupamento;
- III. Erro de seleção pontual periódico;
- IV. Erro de seleção pontual não periódico;
- V. Erro de delimitação;
- VI. Erro de extração;
- VII. Erro de preparação.

Uma melhor compreensão das fontes de erros de amostragem e como eliminar o viés durante a operação, minimizando sua variação, seria obtida através da divisão do erro total de amostragem TE_i para uma determinada amostragem i em um número de componentes independentes, como apresentado na Equação 1 (GY, 1982 apud; PITARD, 1993):

$$TE_i = FE_i + GE_i + QE_{2i} + QE_{3i} + WE_i + DE_i + EE_i + PE_i \quad (\text{eq. 1})$$

Na Equação 1, FE_i corresponde ao erro fundamental, GE_i seria o agrupamento e erro de segregação, QE_{2i} equivale ao erro de qualidade de longo alcance ou não periódica, QE_{3i} corresponde ao erro de qualidade periódica, WE_i se relaciona ao erro de ponderação, DE_i seria o erro de delimitação, EE_i equivale ao erro de extração e PE_i corresponde ao erro de preparação .

Ainda de acordo com Gy (1982) apud; Pitard (1993), o erro total de amostragem corresponde ao somatório do erro de amostragem propriamente dita (E_{ap}) e do erro de preparação da amostra primária (E_p), para obtenção da amostra final, como mostrado na Equação 2, apresentada a seguir.

$$E_a = E_{ap} + E_p \quad (\text{eq. 2})$$

O erro de amostragem propriamente dita corresponde ao somatório de sete erros independentes (Equação 3), resultantes do processo de seleção da amostra primária, sendo estes provenientes, principalmente, da variabilidade do material que será amostrado.

$$E_{ap} = E_{a1} + E_{a2} + E_{a3} + E_{a4} + E_{a5} + E_{a6} + E_{a7} \quad (\text{eq. 3})$$

Na Equação 3, cada um dos termos do somatório está associado a um tipo de erro de amostragem, sendo estes:

Ea1 = erro de ponderação, resultante da não uniformidade da densidade ou da vazão do material;

Ea2 = erro de integração - termo regional, resultante da heterogeneidade de distribuição das partículas, a longo prazo, no material;

Ea3 = erro de periodicidade, resultante de eventuais variações periódicas da característica de interesse no material;

Ea4 = erro fundamental, resultante da heterogeneidade de constituição do material. Depende fundamentalmente da massa da amostra e, em menor instância, do material amostrado. É o erro que se comete quando a amostragem é realizada em condições ideais;

Ea5 = erro de segregação, resultante da heterogeneidade de distribuição localizada do material;

Ea6 = erro de delimitação, resultante da eventual configuração incorreta da delimitação da dimensão dos incrementos;

Ea7 = erro de extração, resultante da operação de tomada dos incrementos.

O erro de preparação corresponde ao somatório de cinco erros independentes (Equação 4), provenientes das operações de redução de granulometria, homogeneização e quarteamento a que a amostra primária é submetida.

$$Ep = Ep1 + Ep2 + Ep3 + Ep4 + Ep5 \quad (\text{eq. 4})$$

Na Equação 4, cada um dos termos do somatório está associado a um tipo de erro de preparação, sendo estes:

Ep1 = perda de partículas pertencentes à amostra;

Ep2 = contaminação da amostra por material estranho;

Ep3 = alteração não intencional da característica de interesse a ser medida na amostra final;

Ep4 = erros não intencionais do operador (como a mistura de subamostras provenientes de diferentes amostras);

Ep5 = alteração intencional da característica de interesse a ser medida na amostra final.

Os erros E_{a1} , E_{a2} , E_{a3} , E_{a4} , E_{a5} podem ser definidos quantitativamente. Suas médias e variâncias podem ser estimadas a partir de resultados de experimentos variográficos.

Os erros E_{a6} , E_{a7} e E_p não podem ser estimados experimentalmente. Todavia, é possível minimizar os erros sistemáticos indesejáveis.

De acordo com GY (1998), a média do erro e a variância do erro nunca são nulas estruturalmente. A representatividade de uma amostra ocorre quando a combinação destes dois fatores apresenta valores menores que o máximo estabelecido entre as partes interessadas, sendo estas, usualmente, produtor e consumidor.

3.7. Estatística básica para análise de dados

Em uma medição experimental, repetida um certo número de vezes, os valores registrados das quantidades medidas diferem, quase sempre, uns dos outros. A dispersão de medições sucessivas de uma quantidade \mathbf{x} é comumente expressa em termos da variância ou desvio padrão do conjunto de medidas. Estas quantidades são definidas, sendo úteis na estimativa da probabilidade de ocorrência de erros aleatórios de intensidade definida nas medidas (BROD, 2010; *apud*, WHATELEY, *et al.*, 2006).

A média da população se torna satisfatória, ou mais provável, valor de \mathbf{x} , desde que as variações de \mathbf{x} resultem de efeitos pequenos, aleatórios, independentes e aditivos. Se, entretanto, erros de método e/ou erros não aleatórios forem inerentes às medidas, então a média pode diferir substancialmente do valor verdadeiro de \mathbf{x} (BOTTER, *et al*, 1996).

Segundo VIEIRA (2012), a média aritmética ou simplesmente média (μ), corresponde à medida de tendência central mais conhecida e utilizada para resumir a informação contida em um conjunto de dados, podendo ser definida como o somatório de todos os dados (x), dividindo o resultado pelo número destes (n), conforme podemos observar na equação 5.

$$\mu = \frac{\sum x}{n} \quad (\text{eq. 5})$$

A variância da amostra corresponde a um parâmetro de dispersão de n valores medidos de \mathbf{x} , em relação à média da amostra \mathbf{x} , conforme observamos na equação 6.

$$S_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n-1} \quad (\text{eq. 6})$$

O desvio padrão pode ser obtido através da raiz quadrada da variância, conforme equação 7.

$$S_n = \sqrt{S_n^2} \quad (\text{eq. 7})$$

De acordo com BROD (2010), a variação ou dispersão real, determinada a partir do desvio padrão, ou qualquer outra medida de dispersão, denomina-se *dispersão absoluta*. A medida deste efeito é proporcionada pela *dispersão relativa* (equação 8), definida por:

$$\text{DispersãoRelativa} = \frac{\text{DispersãoAbsoluta}}{\text{média}} \quad (\text{eq. 8})$$

Se a *dispersão absoluta* é o desvio padrão S e a média é a aritmética, a *dispersão relativa* é denominada *Coefficiente de Variação ou de Dispersão* (equação 9)(BROD, 2010; *apud*, WHATELEY, *et al.*, 2006).

$$CV = \frac{S_n}{\mu} \times 100 \quad (\text{eq. 9})$$

O coeficiente de variação é geralmente expresso em percentagem, sendo independente das unidades adotadas e vantajoso para a comparação de distribuições cujas unidades podem ser diferentes. Uma desvantagem do **CV** está no fato de que ele deixa de ser útil quando a média ficar próxima de zero (BROD, 2010; *apud*, WHATELEY, *et al.*, 2006).

- Baixa dispersão: $CV \leq 15\%$
- Média dispersão: $CV 15\text{-}30\%$
- Alta dispersão: $CV \geq 30\%$

3.8. Rota de processo planta II Kinross Paracatu

A empresa abordada neste estudo de caso, a Kinross Paracatu, possui em sua unidade duas plantas de tratamentos de minérios, descritas como Planta I e Planta II. A primeira, Planta I, se refere a uma parte da estrutura física, sendo esta a mais antiga, onde se concentra também a etapa de hidrometalurgia. A Planta II corresponde à porção mais recente das instalações, construída após um processo de expansão. A Figura 3.4, apresentada abaixo, mostra a rota de processo simplificada para as instalações industriais da Planta II, sendo esta o cenário de estudo deste trabalho.

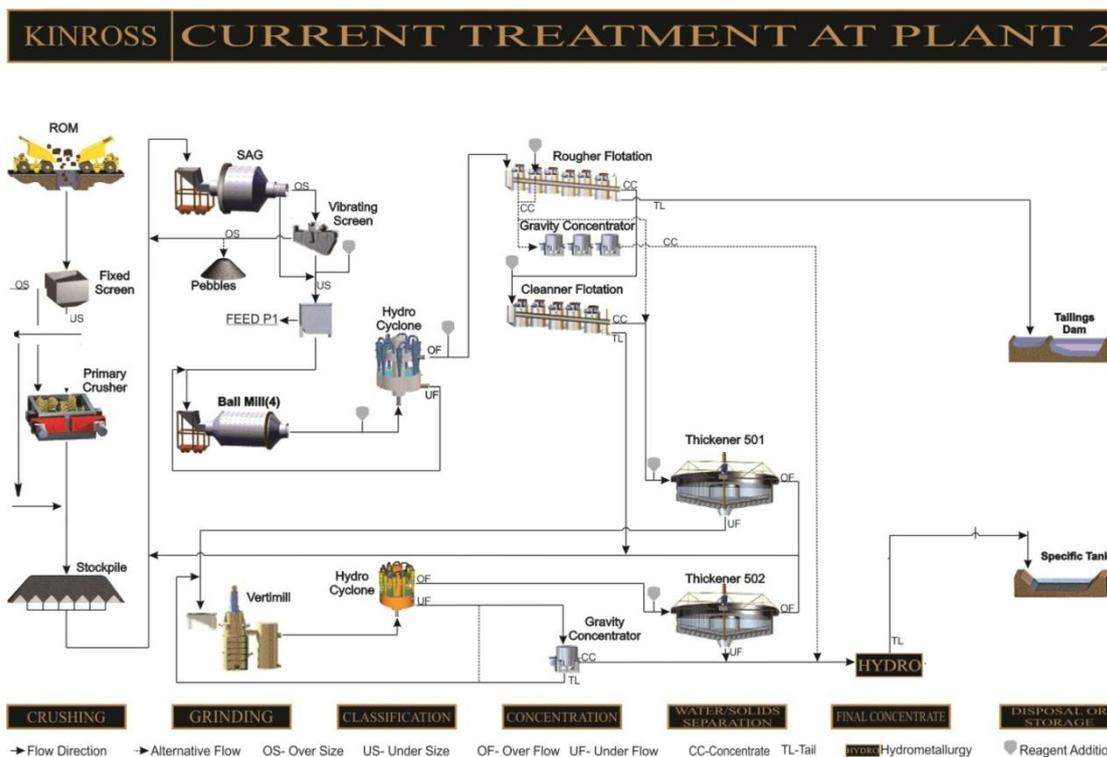


Figura 3.4: Fluxograma geral planta II, com pontos de amostragem

Fonte: Kinross, 2015.

Como pode ser observado no fluxograma da Planta II, o minério alimenta uma grelha (peneira fixa), passando pela etapa conhecida como escalpe. Nesta etapa, o retido alimenta o britador primário para se adequar a granulometria, enquanto o passante segue para a formação da pilha pulmão em conjunto com o material britado.

A pilha pulmão é responsável por alimentar a planta de processos II. Primeiramente, o material alimenta o moinho SAG (Semi-Autógeno), onde o *undersize* do SAG *bypassa* a peneira vibratória e segue para alimentação dos moinhos de bolas, enquanto o *oversize* do moinho alimenta a peneira vibratória. Nesta etapa o *undersize* da peneira segue, também, para a alimentação do moinho de bolas, enquanto o *oversize* da peneira retorna ao moinho SAG para adequação da granulométrica. Nessa etapa ocorre a formação de um produto chamado de pebbles, que são materiais com granulometria diferente que devem ser separadas para não atrapalhar os processos futuros. Existe uma linha de estudos na empresa visando avaliar uma forma de tratar esse material gerado, evitando sua perda.

Após esta etapa, o produto dos moinhos de bolas alimenta uma bateria de hidrociclones, onde o *underflow* retorna ao moinho de bolas, e o *overflow* (partículas mais finas) alimenta o circuito de flotação. Este circuito se inicia pela etapa *rougher*, composta por uma bateria de seis células de flotação. O concentrado das duas primeiras células alimenta o

circuito gravimétrico com os concentradores gravíticos Knelson, seguindo posteriormente para a alimentação da rota hidrometalúrgica. O concentrado das outras 4 células alimenta o circuito de flotação *cleaner*, composto por 5 células de flotação. O rejeito da *rougher* segue para a barragem. Já o rejeito da *cleaner* retorna ao moinho SAG para recirculação. O concentrado da etapa *cleaner* segue para a alimentação do espessador 501. Nesta etapa, o *underflow* do espessador segue para a alimentação do moinho *vertimill*. O produto remóido alimenta outra bateria de hidrociclones, onde o *underflow* da segunda bateria de hidrociclones alimenta um segundo concentrador gravimétrico. O *overflow* do hidrociclone segue para a alimentação do espessador 502, juntamente com o *overflow* do espessador 501. Nesta etapa, o *underflow* se junta ao concentrado do segundo concentrador gravimétrico, seguindo para a alimentação da hidrometalurgia, juntamente com o produto do concentrador Knelson. O concentrado da rota hidrometalúrgica segue para a fundição, enquanto o rejeito é encaminhado para o tanque específico que funciona como a barragem de rejeitos, porém pelas particularidades do rejeito gerado pela hidrometalurgia deve ser depositado separadamente para que possa decantar.

4 METODOLOGIA

Desenvolveu-se este trabalho a partir da observação e do fornecimento de todo material referente à amostragem de polpas da planta II da Kinross Paracatu, no qual, com o auxílio da equipe da indústria, foi possível descrever toda rotina da equipe, o plano amostral, pontos e regime de coleta de incrementos e equipamentos utilizados. A partir do trabalho com os dados fornecidos e rotina observada, pudemos inferir a respeito do processo, em busca de atingir os objetivos propostos para o trabalho.

4.1. Pontos de coleta de amostras

Dentro da Planta II, já descrita anteriormente, se insere o universo de análise deste trabalho, correspondendo à etapa de amostragem de polpa. Os pontos de coleta dos incrementos de amostra, dentro da planta foram escolhidos aleatoriamente, e de acordo com a norma ISO/DIS 11794 (2012) de amostragem de polpas, porém, visando os pontos principais do processo. Com isso, os pontos principais de coletas diárias são:

- alimentação da flotação, ponto este amostrado manualmente em três turnos de 8 horas, de acordo com o procedimento operacional de hora em hora;
- rejeito *rougher*, principal ponto de amostragem, onde possui um amostrador automático, análises de 4 em 4 horas, incrementos coletados de 10 em 10 minutos;
- rejeito *cleaner*, amostrado manualmente regime de 4 em 4 horas, também coletando incrementos de hora em hora;
- *underflow* da ciclonagem após *vertimill*, amostragem manual, também com coleta de incrementos de hora em hora.
- alimentação moinho SAG, amostragem com intuito de verificar a umidade do material nesse ponto, feito com coletas de incrementos uma vez a cada turno as segundas, quartas e sextas-feiras.

No Quadro 1, podemos observar a descrição dos pontos de amostragem.

Quadro 1: Descrição pontos de coleta de incrementos Planta II Kinross

PONTOS DE AMOSTRAGEM	MÉTODO	FREQÜÊNCIA	TIPO DE AMOSTRA	ANÁLISE
1- Alimentação Flotação – Overflow	Manual	1 em 1 hora	3 vezes ao dia	Au;S
2- Underflow da remoagem	Manual	1 em 1 hora	3 vezes ao dia	Au;S
3- Alimentação SAG	Manual	1 em 1 hora	1 por turno segunda; quarta; sexta	% água
4- Rejeito cleaner	Manual	30 em 30 minutos	6 vezes ao dia	Au; S; As
5- Rejeito Rougher	Automático	10 em 10 minutos	6 vezes ao dia	Au; S; As; malha

Fonte: Kinross Paracatu, 2015.

4.2.Equipamentos para coleta e preparação das amostras

Os equipamentos para coleta e preparação de amostras também têm como base a norma ISO/DIS 11794 (2012) de amostragem de polpas. Para que sejam realizadas as coletas dos incrementos amostrais, alguns instrumentos são utilizados na amostragem manual, sendo estes, balde identificado para armazenamento dos incrementos e dispositivo para coleta de fluxo, quando necessário (Figura 4.1). Nos pontos que possuem descarga direta não se faz necessária a utilização do dispositivo, apenas liberando o fluxo de polpa e coletando normalmente com o balde (Figura 4.2).



Figura 4.1: Balde para armazenamento e dispositivo para coleta de fluxo

Fonte: OLIVEIRA; SANTOS; LIMA, 2015.



Figura 4.2: Ponto de coleta com válvula de abertura e coleta

Fonte: SANTOS; OLIVEIRA; LIMA, 2015.

No ponto de coleta via amostragem automática é utilizado um amostrador automático formulado por Francis Pitarde. Este amostrador possui um carrinho de coleta, onde o mesmo é posicionado sobre um trilho, executando movimentos para a coleta do fluxo de polpa, a cada 10 min. Após o fluxo coletado pelo corte, tendo como base a premissa de garantir que toda

partícula tenha probabilidade de ser coletada, o mesmo é direcionado até os quarteadores que compõem a estação do amostrador, fazendo dois quarteamentos. Enfim, o incremento é liberado para o balde de coleta onde as amostras, seguindo os horários do procedimento padrão, são coletadas e preparadas para análise (Figura 4.3).

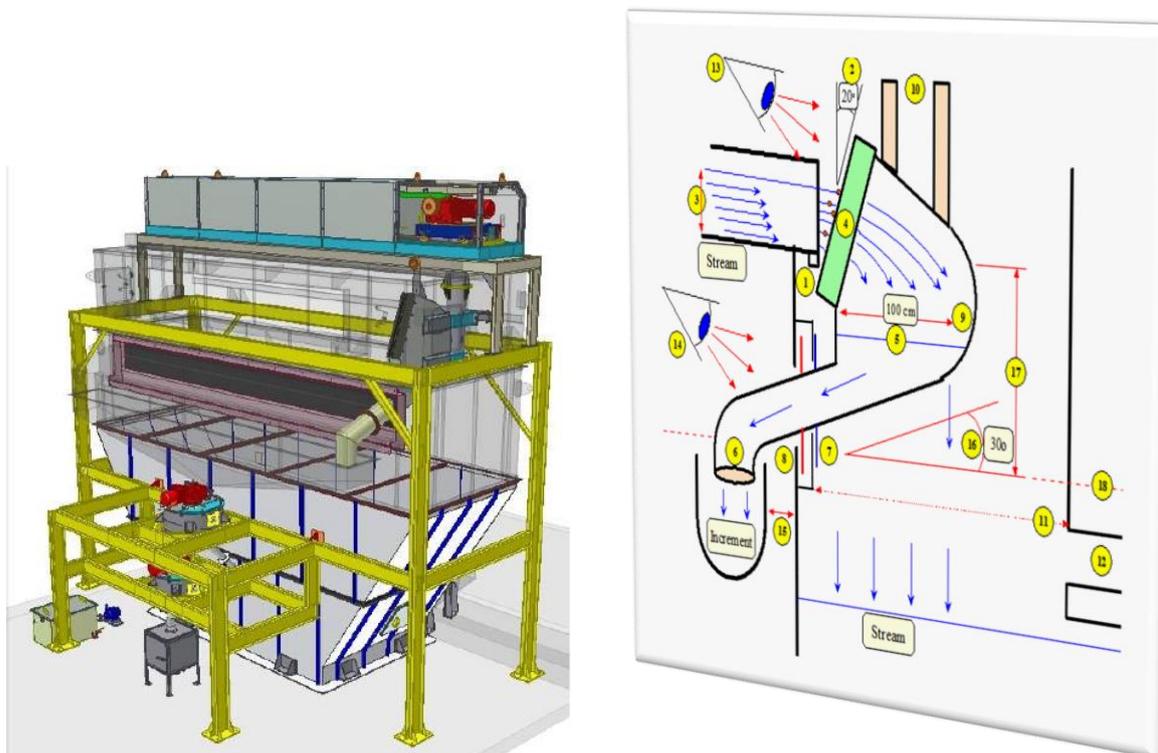


Figura 4.3: Amostrador automático rejeitorougher

Fonte: Kinross Paracatu, 2015.

Para preparação das amostras oriundas tanto dos pontos de amostragem manual ou automáticos, são utilizados: quarteador de polpa comum, com duas cubas coletoras (Figura 4.4) e quarteador de polpa com 12 cubas. O quarteador de polpa é constituído por duas partes principais: um alimentador e um disco giratório com um número par de recipientes. O alimentador possui um agitador, que mantém o material em movimentação e homogêneo, e uma válvula de descarga para manter a vazão de polpa constante nos recipientes contidos no disco giratório. Cada recipiente constitui uma fração do quarteamento. Caso se deseje maior massa, juntam-se as amostras dos recipientes diametralmente opostos (GÓES, *et al*, 2004). Este equipamento havia retornado ao fabricante para reparo na data da coleta de dados em campo; filtro de painelas utilizando ar comprimido (Figura 4.5) onde utiliza-se uma base com uma malha ótima para a filtragem, utiliza-se também papel manilha como filtro, porém já é

discutido com o fornecedor do equipamento a troca dos filtros atuais por um novo modelo possibilitando a utilização do filtro de papel correto, melhorando a eficiência da filtragem.



Figura 4.4: Quarteadores de polpa convencional e de 12 cubas
Fonte: Kinross Paracatu, 2015.



Figura 4.5: Filtros de panelas
Fonte: Kinross Paracatu, 2015.

4.3.Procedimento padrão de amostragem e treinamento

De acordo com GRIGORIEFF (2002), no caso da indústria mineral, o controle de qualidade pode ser dividido em três etapas:

- i. Amostragem ou seleção da amostra.
- ii. Preparação da amostra.
- iii. Análise da amostra preparada.

Durante a visita para acompanhamento da equipe de amostragem e entrevista dos operadores responsáveis, pudemos constatar que os mesmos afirmaram que não receberam treinamento específico para conscientização da importância da amostragem, porém todos receberam instruções do procedimento operacional para uma boa amostragem. O procedimento amostral pode ser observado na Figura 4.6, que foi construído de acordo com a norma ISO/DIS 11794 (2012) de amostragem de polpas.

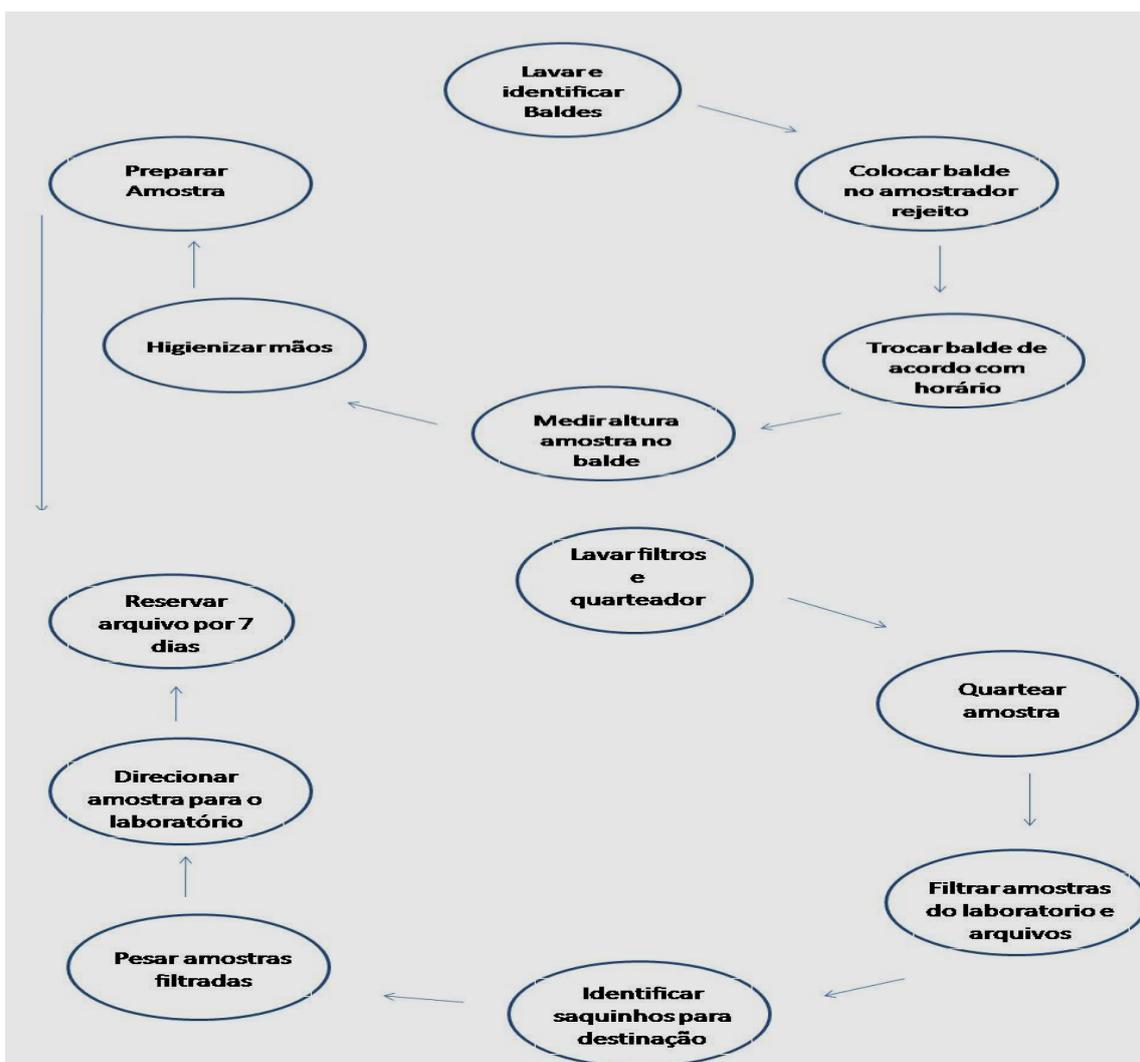


Figura 4.6: Procedimento padrão de amostragem planta II

Fonte: Kinross Paracatu, 2015

Como vimos na figura anterior a equipe de amostragem em cada um dos três turnos deve seguir o mesmo padrão, sendo ele inicialmente lavar e identificar os baldes com os nomes de cada local de coleta para que não haja mistura de materiais de diferentes pontos. Posteriormente, o mesmo colaborador deverá colocar o balde no local de coleta do amostrador automático. Em seguida, o mesmo deve seguir até os pontos de coleta dos incrementos de acordo com os intervalos entre coletas, para coletar as amostras, de acordo com a verificação e, quando necessário, fazer a substituição dos recipientes nesses pontos. Os horários do regime de amostragem podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Horários amostragem planta II Kinross Paracatu

HORARIOS DE AMOSTRAGEM

AMOSTRA	TURNO	TROCA DO BALDE	RETIRADA AMOSTRA	ENTREGA NO LABORATORIO
03:00	1	00:00	02:00	03:00
07:00	1	04:00	05:00	07:00
11:00	2	07:30	10:00	11:00
15:00	2	12:00	14:00	15:00
19:00	3	16:00	18:00	19:00
23:00	3	20:00	22:00	23:00

Fonte: Kinross Paracatu, 2015.

Após isso, ao retornar com os baldes que terão as amostras preparadas para análise, deve-se medir a altura do balde e anotar em planilha o valor medido, para cálculo do volume de amostra coletado. Finalizando esta etapa, o procedimento indica que o colaborador deva higienizar suas mãos para que não contamine as outras amostras, e assim iniciar a preparação das amostras que serão enviadas ao laboratório.

O mesmo procedimento indica que os filtros e o quarteador de polpa devem ser lavados antes de se iniciar a preparação da amostra, para que evite introduzir um material, havendo resquícios de outros anteriores. Inicialmente, para o bom andamento da preparação da amostra, é indicado quartear a mesma no quarteador de polpa. Posteriormente, a polpa quarteada deve ser filtrada para gerar as tortas enviadas ao laboratório, além dos arquivos reservados para contra prova. Para o armazenamento correto desta amostra, o operador deve identificar saquinhos plásticos próprios para este fim, com o nome de origem de cada ponto

de coleta. Para controle o mesmo colaborador deve realizar a pesagem e anotar os valores de massa obtido sem planilha específica. O mesmo colaborador deve direcionar as amostras preparadas até o laboratório para que sejam feitas as análises químicas deste material. Além disso, deve-se reservar arquivos por sete dias corridos, que são partes do mesmo material enviado ao laboratório, para o caso de ocorrerem divergências ou dúvidas em resultados, que se possa realizar a análise novamente. Após isso, o ciclo de procedimento deve ser repetido pelos operadores de todos os turnos para que mantenham e garantam material representativo para as análises gerando dados para controle do processo produtivo.

A partir deste estudo de caso, demonstrou-se a aplicação das teorias e verificou-se quais equipamentos são comumente utilizados na indústria.

Dentro do estudo de caso, iniciou-se a verificação para comparação dos métodos de amostragem utilizados pela indústria, que são eles: o método manual e o automático. Tendo acesso ao banco de dados das análises químicas geradas pelos pontos de coleta de cada método. A partir disso, em conjunto com a equipe da empresa, escolheu-se para análise o banco de dados do rejeito *rougher* (amostragem automática), e rejeito *cleaner* (manual), pontos estes que são de extrema importância para o fechamento do balanço de massa do circuito. Filtrou-se os bancos de dados a fim de identificar e retirar das análises valores conhecidos como *outliers*, que são valores fora dos padrões em comparação com os outros, a fim de que os mesmos não interferissem nas médias. A partir daí, foi obtida a média diária para cada mês, além dos valores de variância e desvio padrão dos valores diários, com o auxílio do *Microsoft Excel*. Em seguida, plotou-se gráficos de dispersão com esses valores.

Por fim, foi obtida a média mensal dos meses analisados e calculou-se valores de desvio padrão e variância para cada mês. Sendo assim, plotou-se os gráficos referentes aos períodos completos de análise de cada ponto de coleta analisado (rejeitos *rougher* e *cleaner*), Além dos gráficos de coeficiente de variação para o período, e então discutiu-se os resultados obtidos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se neste capítulo, os resultados e discussões referentes aos pontos de amostragem do rejeito *rougher* (automático), e do rejeito *cleaner* (manual), apresentados, a fim de se obter um padrão para a comparação entre os métodos de amostragem manuais e automáticos, além de se verificar a conformidade dos valores em relação aos padrões estabelecidos tanto pelas normas como pela empresa e clientes. Além disso, mostrou-se também o tratamento estatístico para análises do teor de ouro sólido e enxofre, pelo fato de serem comuns aos dois pontos de coleta.

5.1. Rejeito *rougher* (Amostragem automática)

Como premissa inicial para a validação dos resultados, foram empregados os limites definidos pela equipe de processos da planta II da Kinross Paracatu. Utilizando de análise estatística dos dados referentes às análises químicas para ouro sólido de 2013 e 2014, a equipe da empresa obteve um intervalo de confiança, cujos limites são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Limites de controle da amostragem de ouro sólido para o rejeito *rougher*

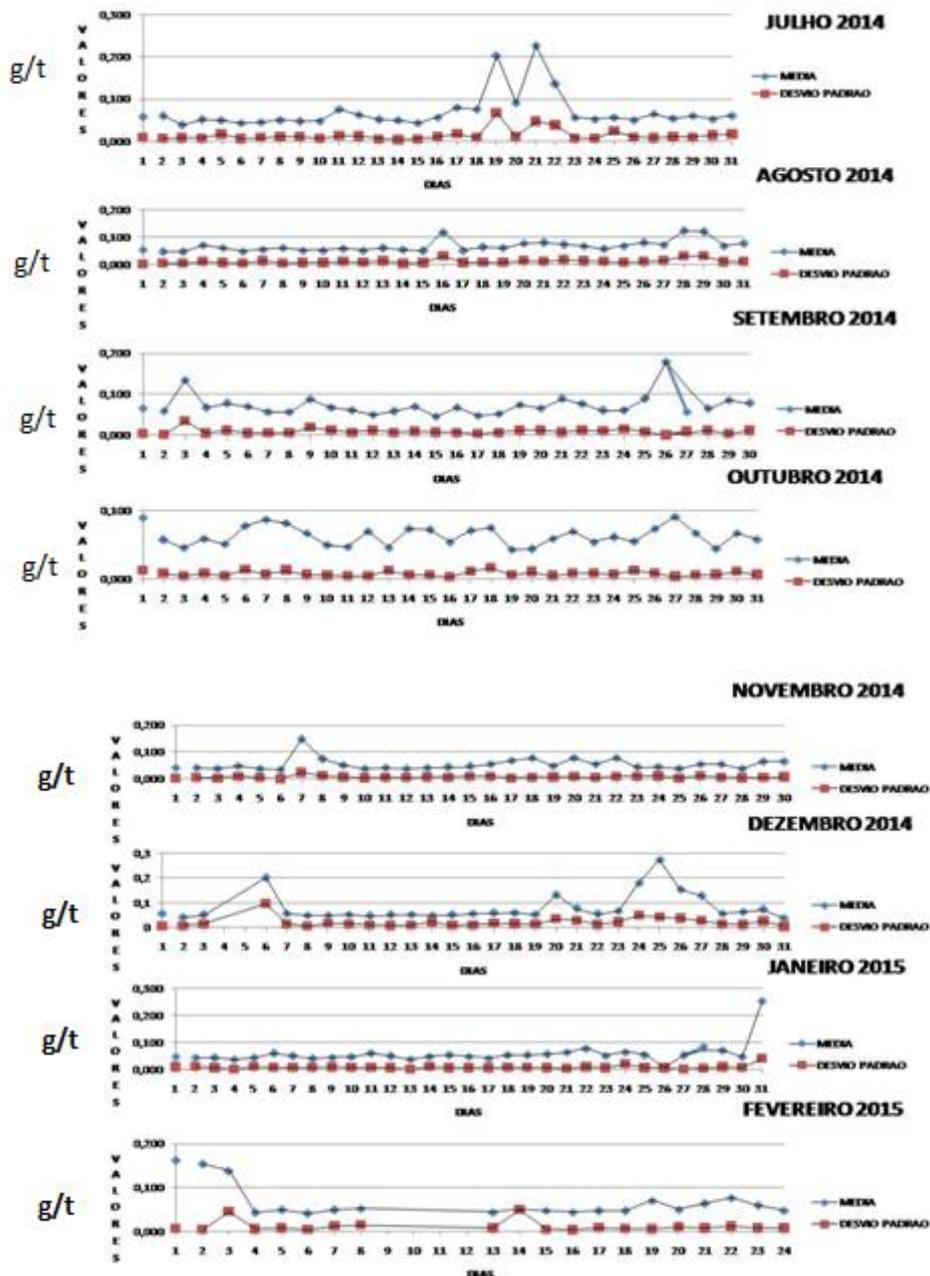
Limite Superior	Média	Limite Inferior
0,135 g/t	0,071 g/t	0,036 g/t

Fonte: Kinross, 2014.

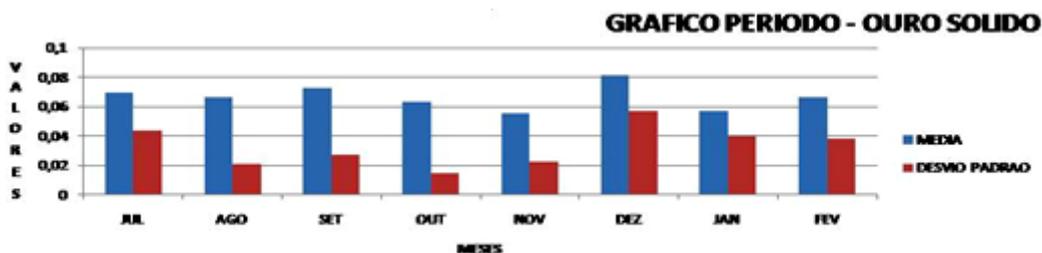
Já para os valores de enxofre não temos uma referência pré estabelecida. Logo, a análise dos dados será realizada para complementação da discussão da tendência da amostragem para elementos com teores diferentes dos do ouro sólido.

5.1.1. Análise estatística para ouro sólido no rejeito *rougher*

Em cada ponto de coleta, conforme descrito no quadro 1, são analisados teores de diferentes elementos. A análise dos dados foi realizada através do tratamento estatístico básico no banco de dados, referente às análises químicas dos teores para ouro sólido, conforme podemos observar nos gráficos 5.1, 5.2 e 5.3, apresentados a seguir.



Gráficos5.1: Resultados das análises estatísticas do banco de dados dos meses de Julho de 2014 à Fevereiro de 2015



Gráficos5.2: Resultados das análises estatísticas do período em g/t.

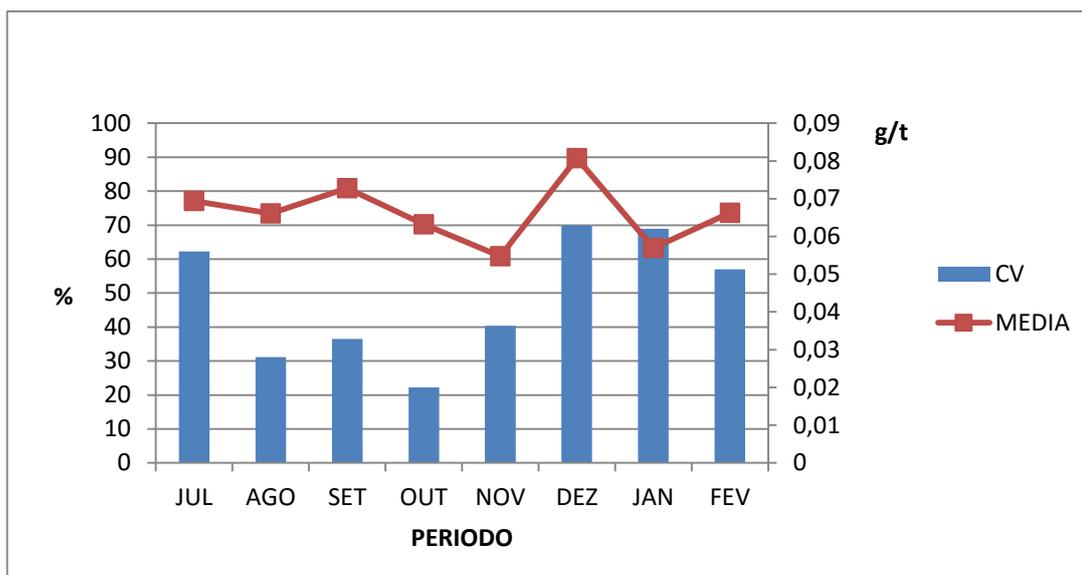


Gráfico 5.3: Coeficiente de variação (CV) e médias dos meses referentes ao período de análise.

Inicialmente, foi observado no banco de dados que o desvio padrão comportou-se de acordo com a média em sua grande maioria. Sendo assim, quando tem-se um pico na média, o desvio padrão segue mesma tendência.

Verificou-se também que, tanto os valores das médias como dos desvios para este ponto encontram-se relativamente baixos, o que pode ser um bom indicador de qualidade na amostragem e no processo em geral.

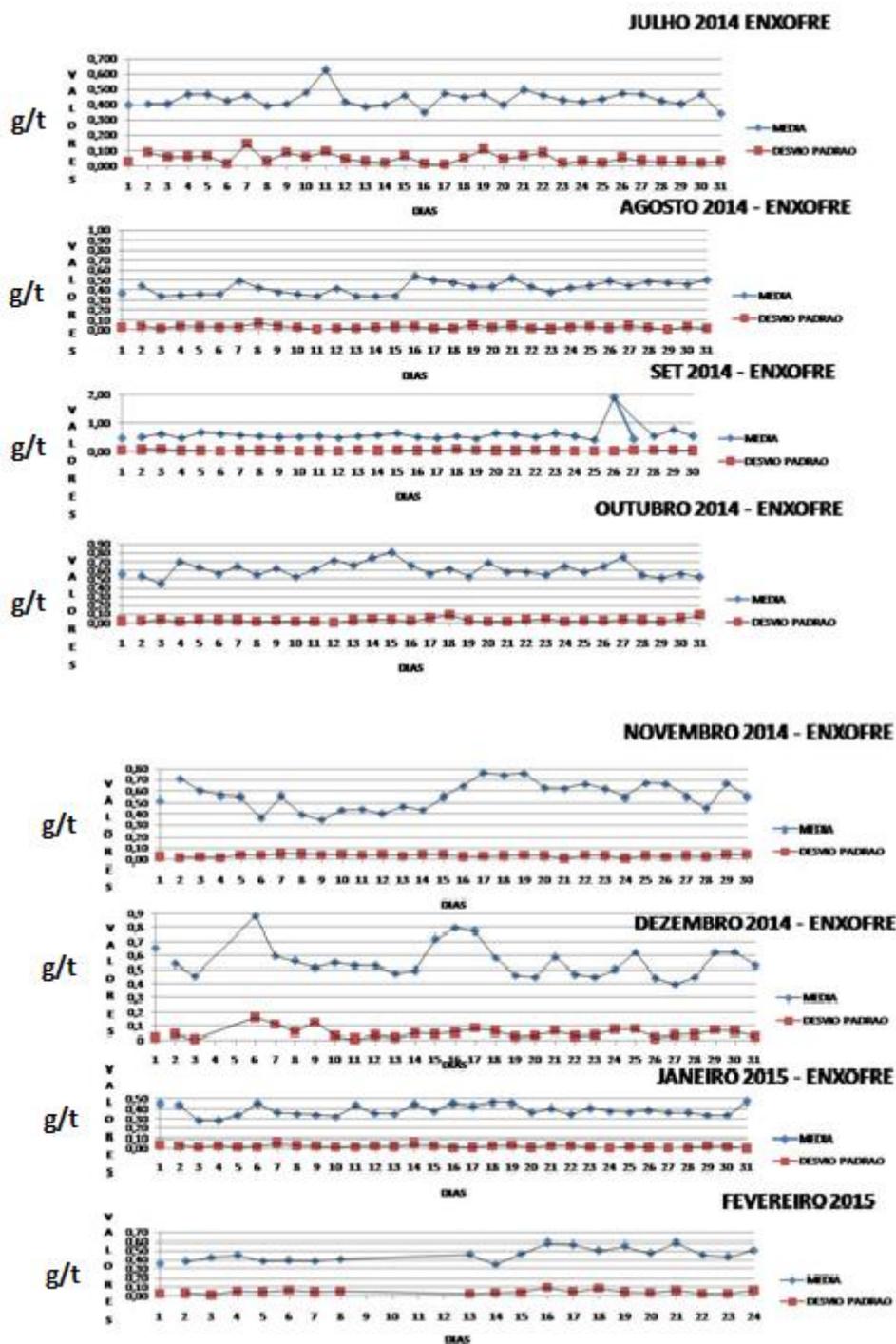
Observando o gráfico referente ao coeficiente de variação, pode-se inferir que na média dos meses o coeficiente de variação é de aproximadamente 45%, o que de acordo com sua definição pode ser considerado como de alta dispersão (maior que 30%). O mesmo em conjunto com o gráfico das médias e desvios do período, nos mostra que os melhores meses, ou seja, com menores variações foram os meses de agosto a novembro de 2014.

Analisando o banco de dados, pode-se verificar que no geral, o banco de dados apresenta alguns dias sem valores amostrais, além disso, em alguns dias não existem os valores para todas tomadas de incrementos.

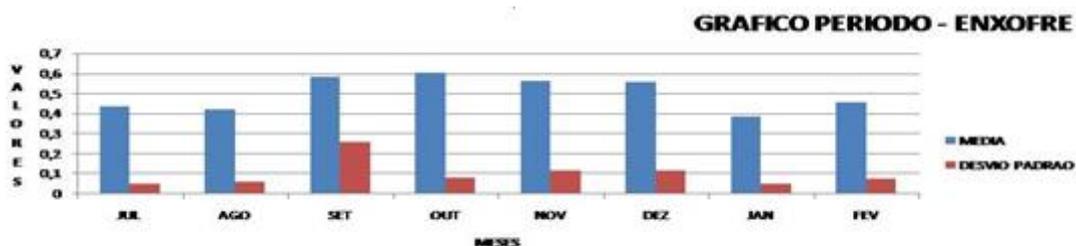
Podemos observar, pelo gráfico referente ao período dos meses analisados, que a média dos valores se enquadra dentro dos limites pré determinados pela equipe de processos da planta II da Kinross Paracatu. Vale ressaltar que este ponto de amostragem apresenta extrema importância, pois posterior a este local segue-se a barragem de rejeitos. Logo, os valores obtidos para o teor de ouro sólido devem tender ao mínimo possível.

5.1.2. Análise estatística para enxofre

Neste tópico, iniciou-se com os gráficos referentes ao tratamento estatístico básico das análises químicas dos teores de enxofre, conforme pode ser observado nos gráficos 5.4 e 5.5. No gráfico 5.6, temos o coeficiente de variação do período de análise deste ponto.



Gráficos 5.4 Análises estatísticas do banco de dados dos meses de Janeiro de 2014 à Fevereiro de 2015 para enxofre.



Gráficos 5.5: às análises estatísticas do banco de dados da média dos meses do período para enxofre.

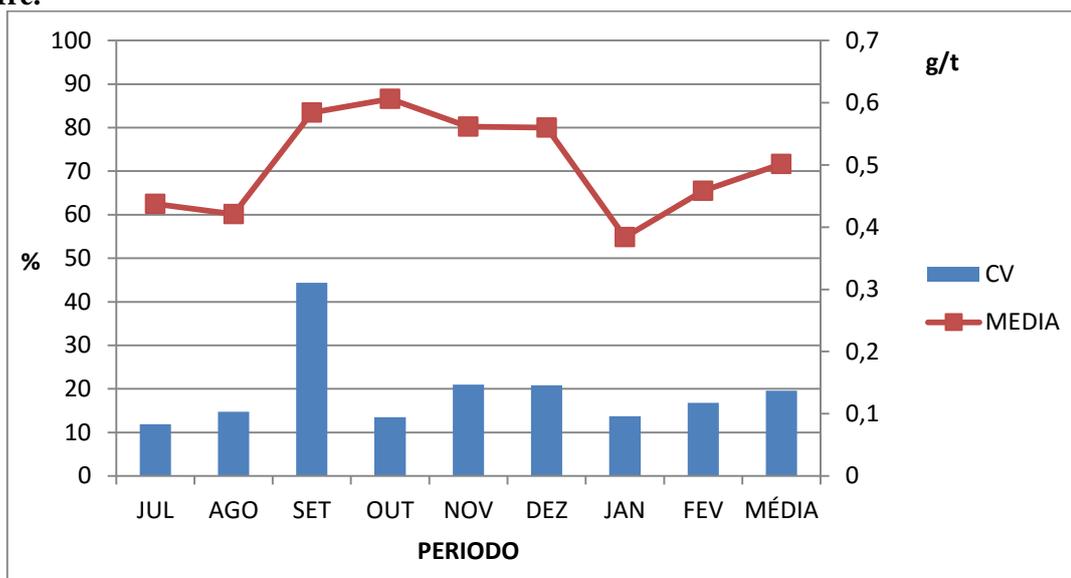


Gráfico 5.6: Coeficiente de variação e média do período completo para enxofre.

Inicialmente, podemos observar que, em sua grande maioria, os desvios não acompanham as médias.

Como trata-se do mesmo ponto de coleta do ouro sólido, observamos que os picos dos valores da média e variância acompanham a tendência da análise anterior, mesmo para o enxofre, que possui teores médios mais elevados.

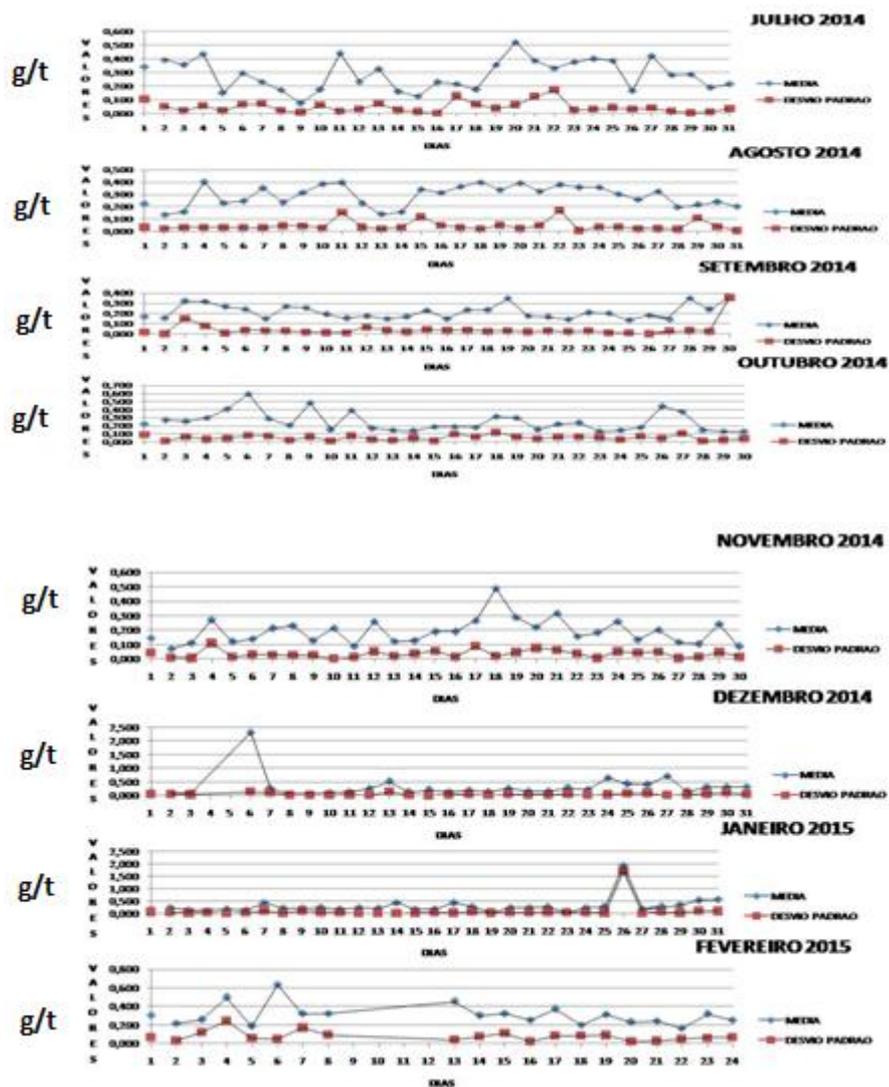
Observando o gráfico referente ao coeficiente de variação, podemos inferir que, na média dos meses, o coeficiente de variação é de aproximadamente 20%, o que de acordo com sua definição pode ser considerado como de média dispersão (entre 15% e 30%). Podemos verificar tanto no gráfico do coeficiente de variação como no gráfico do período, que apenas o mês de setembro possui valores insatisfatórios, pelo fato do pico elevado, causando uma maior variação.

5.2. Rejeito *cleaner* (Manual)

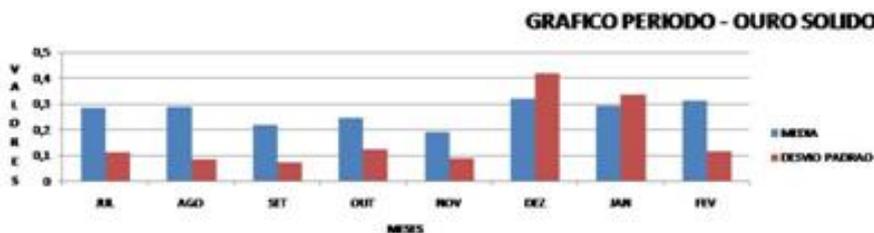
Após a apresentação e discussão dos resultados obtidos no ponto de amostragem do rejeito *rougher*, serão analisados nesse tópico os resultados obtidos através das análises estatísticas básicas para o ponto de amostragem manual escolhido para discussão e comparação futura. Deste modo, veremos assim como no ponto de amostragem automática, análises para o ouro sólido e o enxofre.

5.2.1. Análise estatística para ouro sólido do rejeito *cleaner*.

Iniciou-se com os gráficos referentes ao tratamento estatístico básico no banco de dados das análises químicas dos teores de ouro sólido, conforme podemos observar nos gráficos 5.7 e 5.8. No gráfico 5.9, temos o coeficiente de variação do período de análise deste ponto.



Gráficos 5.7: Análise estatística do banco de dados dos meses de Janeiro de 2014 à Fevereiro de 2015, para ouro sólido no rejeito *cleaner*.



Gráficos 5.8: Análise estatística do banco de dados da média dos meses do período para ouro sólido no rejeito *cleaner*.

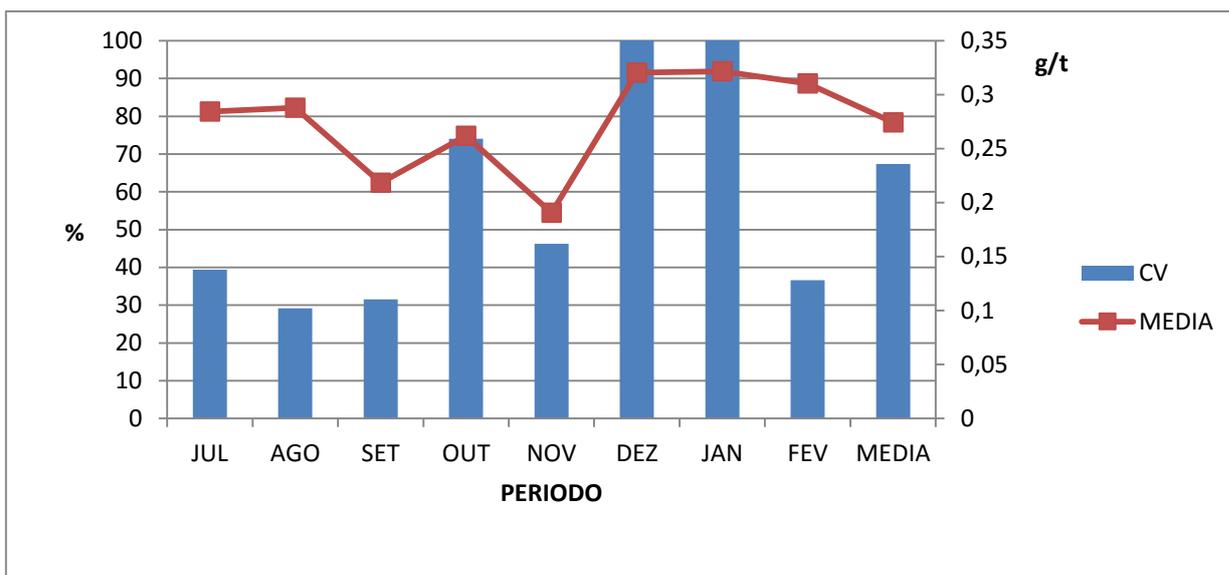


Gráfico 5.9: Coeficiente de variação do período completo para ouro sólido no rejeito cleaner

Podemos observar, através dos gráficos, que neste ponto as médias dos teores para ouro sólido são mais elevadas, porém considerando que o fluxo gerado pelo mesmo retorna ao processo, isso não é um agravante.

Observa-se que as médias diárias não seguem uma tendência clara. Juntamente, pode ser observado que os desvios não seguem à risca as oscilações das médias.

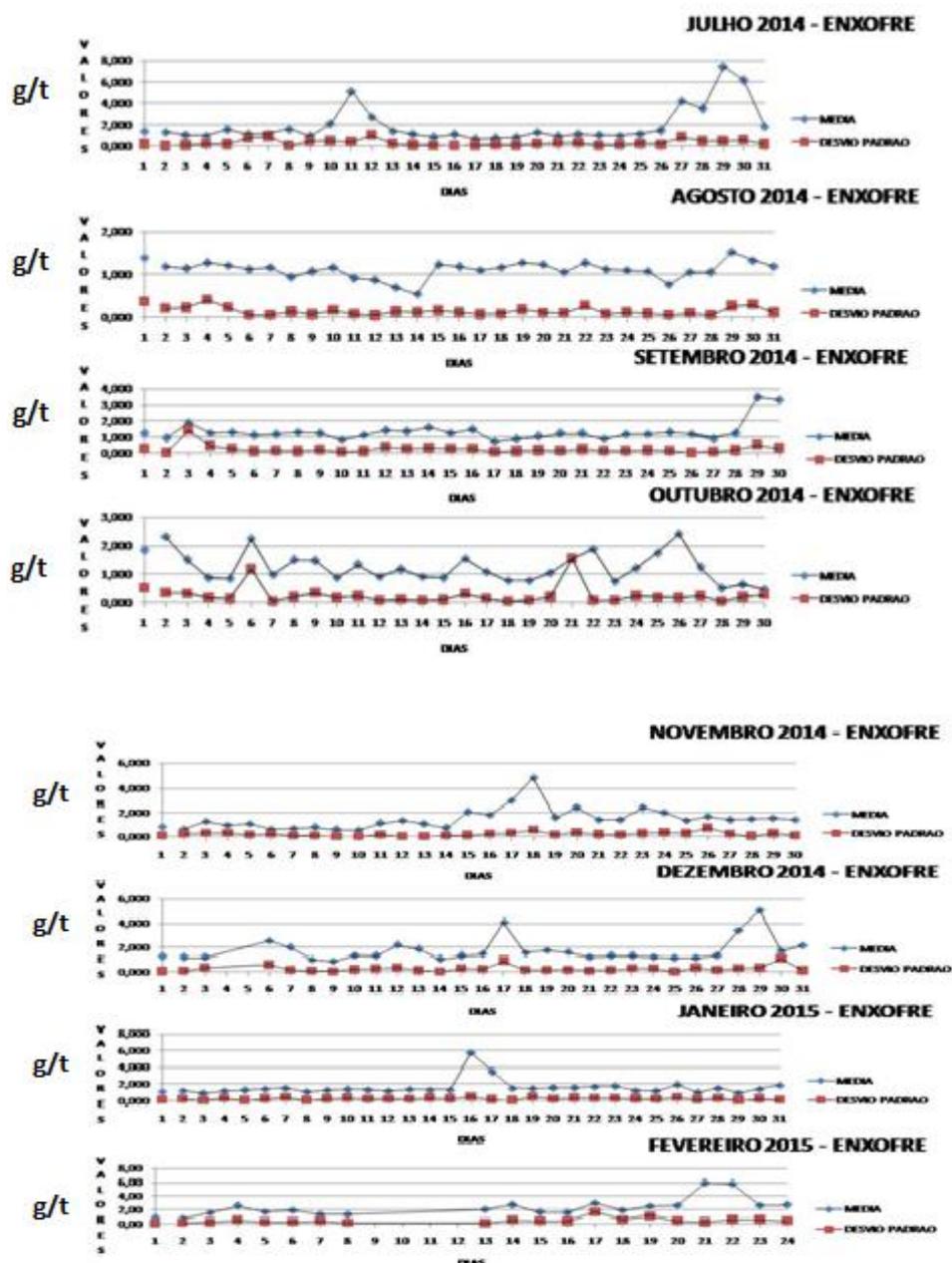
Além disso, nos meses de dezembro e janeiro a média dos valores dos desvios padrões supera as médias, não sendo um bom indicador de qualidade para esses meses. Já observando o gráfico do coeficiente de variação, o mesmo comprova o dito anteriormente, onde nos mostra que a dispersão dos valores para esses meses se mostram insatisfatórios, atingindo o valor máximo (100%).

Pode ser observado, também, que existem picos em alguns meses do período, sendo estes os meses de dezembro e janeiro, interferindo nas médias dos valores e nos desvios, causados pela não coleta de incrementos nos horários indicados pelos padrões naquele dia. Além disso, pela análise do banco de dados, foi verificada a existência de dias sem coleta de incrementos, causados possivelmente por paradas para reparos em equipamentos do processo.

No geral, considerando novamente o coeficiente de variação, foi atingida uma média de aproximadamente 70%, o que segundo sua definição pode ser descrito como de alta dispersão (valores acima de 30%).

5.2.2. Análise estatística para enxofre do rejeito *cleaner*

Neste tópico, assim como na análise dos teores deste elemento no rejeito *rougher*, utilizou-se a análise dos teores de enxofre para verificação e comparação em relação aos resultados obtidos para o ouro sólido. Iniciou-se com os gráficos referentes ao tratamento estatístico básico das análises químicas dos teores de enxofre, conforme podemos observar nos gráficos 5.10 e 5.11. No gráfico 5.12, temos o coeficiente de variação do período de análise deste ponto.



Gráficos 5.10: Análise estatística do banco de dados dos meses de Janeiro de 2014 à Fevereiro de 2015, para enxofre no rejeito *cleaner*.

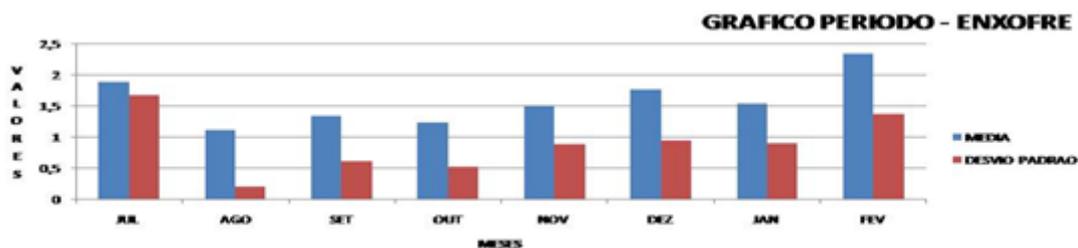


Gráfico 5.11: Análise estatística do banco de dados da média dos meses do período para enxofre no rejeito *cleaner*.

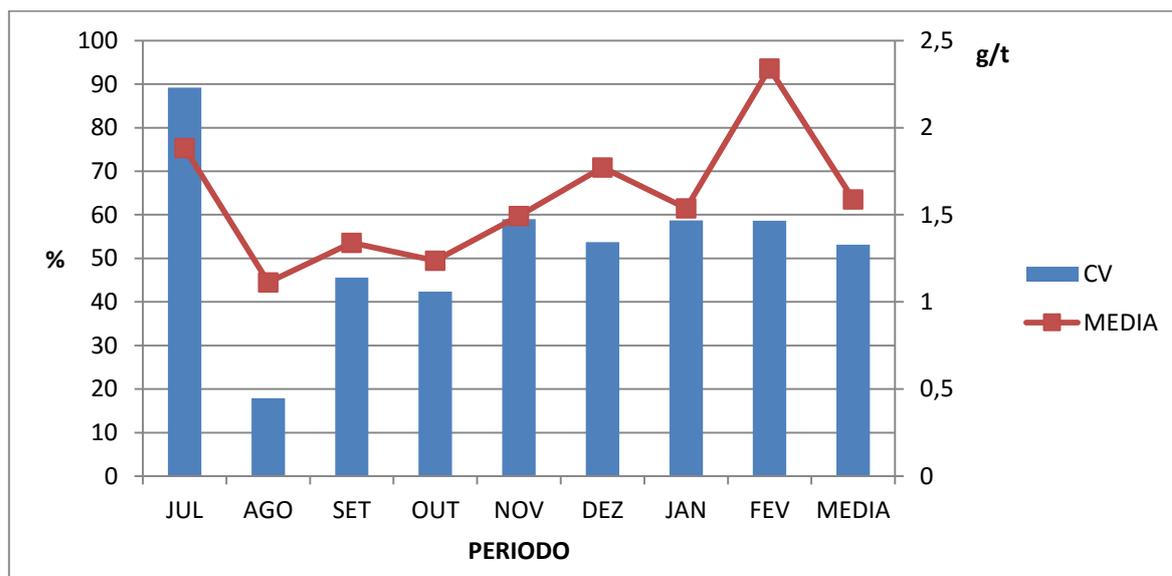


Gráfico 5.12: Coeficiente de variação do período completo para enxofre no rejeito *cleaner*

Podemos observar que para os teores de enxofre, as médias diárias não possuem grande oscilação. Em sua maioria, o desvio padrão acompanha as médias, e se mantém baixos durante os períodos analisados.

A partir da análise do gráfico do período, pode ser observado que os meses de julho e fevereiro são os de maiores médias e também os com maiores desvios padrões. Porém, os outros meses também possuem alguns picos de elevação sazonais, causados também por alguma parada ou não acúmulo diário de todos incrementos, o que influi na média final.

Observando o gráfico do coeficiente de variação, temos julho como o mês de maior dispersão, seguidos de novembro, janeiro e fevereiro. Na média geral, temos um coeficiente de variação de aproximadamente 55%, o que define para esta análise uma alta dispersão (valores maiores que 30%).

5.3. Comparação entre os pontos de amostragem discutidos

Como base para comparação entre os pontos manuais e automáticos de amostragem foram utilizados os valores obtidos no coeficiente de variação, pelo fato do mesmo indicar a real dispersão ou variação dos valores em torno da média.

Inicialmente, para os teores de ouro sólido, o rejeito *rougher* (amostragem automática) pode ser considerado mais efetivo, e com isso, nos retornando maior confiabilidade nos resultados gerados em relação ao rejeito *cleaner* (amostragem manual), mesmo com os dois pontos sendo definidos como alta dispersão, tendo uma diferença de aproximadamente 25% entre eles.

Comparando agora os teores de enxofre, as análises do rejeito *rougher* (amostragem automática) também indicam uma maior confiabilidade dos resultados, mesmo para elementos de teores mais elevados. Para o ponto de amostragem automática, foi obtida uma dispersão ou variação dos valores definida como média dispersão. Já para o segundo ponto, pode ser observada uma alta dispersão dos valores, tendo assim uma diferença de aproximadamente 30%.

Com isso, temos a confirmação do enunciado por Pierre Gy já citado anteriormente, da agregação de erros na amostragem manual. Tais erros podem causar uma maior variabilidade dos dados e com isso, uma menor qualidade e confiabilidade dos dados gerados por esse método. Tal discussão pode ser atribuída ao fato de, durante a execução da amostragem manual, o material pode ser manipulado por operadores treinados ou não, influenciando no resultado final, o que é minimizado com a utilização de um equipamento de coleta automático.

5.4. Possíveis pontos de melhorias na amostragem

Com o intuito de minimizar ainda mais os erros agregados na coleta dos incrementos, e com isso aumentar a confiabilidade e a qualidade dos dados gerados pelas análises pôde ser observado, durante a coleta dos dados e acompanhamento da rotina da equipe de amostragem, que existem algumas possíveis adequações que auxiliariam no intuito de minimizar tais erros.

A equipe de amostragem conta com apenas um operador por turno, responsável por todo o procedimento de amostragem. Com isso, nem sempre o mesmo consegue cumprir com a rotina pré estabelecida. Diante disso, seria interessante o estudo de viabilidade para

aumentar a equipe responsável pela coleta dos incrementos, mantendo impreterivelmente a coleta nos horários pré definidos.

Estudar a viabilidade de implantação de amostradores automáticos em mais pontos de coleta de incrementos dentro da planta II visando diminuir a variabilidade dos dados gerados.

Reforçar a carga de treinamentos da equipe atual de amostragem, tanto referente ao procedimento padrão de amostragem, que se seguido de acordo com o planejado se mostra eficiente e de acordo com os padrões estabelecidos pela norma internacional de amostragem, como também treinamentos para reforçar a importância da amostragem para o processo produtivo, e a importância dos colaboradores para que isso seja atingido.

Reforçar com os operadores a importância da utilização do papel filtro correto para a execução da filtragem, já que o equipamento sofreu melhorias em sua operação.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho tratou do estudo e análise de sistemas de amostragem de polpa mineral, muito empregado na prática industrial. O estudo foi desenvolvido a partir de dados fornecidos pela empresa Kinross Paracatu. Pesquisas envolvendo a compreensão destes sistemas de amostragem representam uma importante contribuição tecnológica, uma vez que agregam informações e conhecimentos sobre o assunto, impulsionando o aprimoramento destes. A obtenção de uma metodologia de amostragem de polpa executada de forma pertinente e idônea contribui para o sucesso das operações industriais, minimizando eventuais prejuízos envolvidos neste cenário. Diante do exposto, algumas conclusões, descritas a seguir, podem ser obtidas a partir dos resultados encontrados em todas as etapas deste trabalho.

Tendo como base o enunciado nas teorias que regem as práticas de amostragem, verificou-se que os procedimentos e planejamentos em torno do processo de amostragem, no geral, estão de acordo com as normas. Porém, alguns pontos podem ser melhorados, como um estudo de redimensionamento da equipe de amostragem, a fim de cumprir os horários de coleta de amostras e minimizar picos nos valores, oferecer treinamentos de conscientização básicos sobre a importância dos colaboradores para esta função. Além disso, verificar a viabilidade de instalação de mais amostradores automáticos ao longo dos pontos principais de coleta de incrementos amostrais, a fim de minimizar a variabilidade dos dados gerados.

Foi verificado que, assim como o previsto na teoria, o ponto de coleta de dados com o amostrador automático se mostrou mais eficiente e gerando dados mais confiáveis que o ponto do rejeito amostrado manualmente, tanto para o ouro sólido quanto para o enxofre, que foram os parâmetros verificados. Além disso, como a maioria dos pontos na planta de processo emprega amostragem manual, se justifica a utilização do amostrador em mais pontos, a fim de minimizar os erros gerados nessa amostragem.

Diante do exposto, fica evidente o sucesso da metodologia quando empregada para análise do banco de dados fornecido pela empresa. Com o estudo de caso foi possível além, de avaliar o circuito de amostragem da planta II da Kinross Paracatu, mostrar os equipamentos utilizados para a coleta dos incrementos, evidenciar os padrões adotados na indústria e observar a seriedade com que o processo necessita ser tratado. Com isso, os objetivos foram atendidos de maneira satisfatória.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Verificar se a massa amostrada real está de acordo com a massa calculada teoricamente. Além disso, verificar a representatividade das amostras geradas pelos quarteadores de polpa. Estudar a viabilidade financeira para instalação dos amostradores automáticos nos demais pontos mais relevantes que ainda conta com amostragem manual. Por fim, relacionar o histórico de paradas da planta II, com a definição de *outliers*, a fim de observar a relação entre os mesmos.

REFEREÊNCIAS

1. Apresentação Geral Unidade Kinross Paracatu, 2014.
2. BAZIN, C.; HODOUIN, D.; BLONDIN, R.M. **Estimation of the variance of the fundamental error associated to the sampling of low grade ores.** International Journal of Mineral Processing, 2005.
3. BOTTER, D.A., PAULA, G.A., LEITE, J.G. e CORDANI, L.K. **Noções de estatística.** São Paulo: IME/USP, 1996.
4. BRANCO, P. M. **Dicionário de Mineralogia e Gemologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 608 p. il. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=1041&sid=129>>. Acessado em: 23 de Jun. 2015.
5. BROD, E. R. **Amostragem em polpa: validação do quarteador de polpa.** 2010. Monografia
6. COELHO, L. J. **Curiosidades sobre o ouro. Informativo Geral da Brasil InfoMine.** agosto 6th, 2009. Disponível em: <<http://infominer.pt.infomine.com/2009/08/06/curiosidades-sobre-o-ouro/>> Acessado em: 23 de Jun. 2015.
7. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumario mineral.** 2014. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/ouro-sumario-mineral-2014/view>>. Acessado em: 25 de Jun. de 2015.
8. DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 11794; **Copper, lead, zinc and nickel concentrates** — Sampling of slurries, 2012.
9. GOES, M.A.C.; POSSA, M. V.; LUZ, A. B. **Tratamento de Minérios.** Rio de Janeiro: CETEM, 4º Edição, p. 19-51, 2004.
10. GRIGORIEFF, A. *et al.* **O problema da amostragem na indústria mineral. REM: Ver. Esc. Minas,** Ouro Preto, v.55, n. 3, pp. 229-233, set. 2002
11. GY, P. M. **Sampling of particulate materials, theory and practice.** Amsterdam: Developments in Geomathematics 4, Elsevier, 431p. 1982.
12. GY, P. **Sampling for analytical purposes.** John Wiley & Sons, West Sussex, England, 1998.
13. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Economia mineral brasileira por minério, 2012. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/>>. Acessado em: 25 de jun. de 2015.

14. LUZ, A. B.; et. al.. **Tratamento de Minérios**. CETEM/MCT, 5ª Edição. Rio de Janeiro, 2010.
15. MINKKINEN, P. **Practical applications of sampling theory**. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. Amsterdam, v. 74, p. 85–94, 2004.
16. OLIVEIRA, M. L. M.; AQUINO, J. A. Amostragem. In: SAMPAIO, J. A. *et al* (ed.). **Tratamento de minério: Práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 557p. 2007.
17. OLIVEIRA, M. L. M.; AQUINO, J. A. **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais: CETEM**, Rio de Janeiro, p 3-34, 2007.
18. PETERSEN, L.; MINKKINEN, P.; ESBENSEN K. H. **Representative sampling for reliable data analysis: theory of sampling**. *Chemom. Intell.* v. 77, p. 261–277, 2005.
19. PINHEIRO, J. C. de F. **A importância econômica da mineração no Brasil** . Departamento Nacional de Produção Mineral . Apresentação RENAI – agost. 2011. Disponível em: <<http://investimentos.mdic.gov.br/public/arquivo/arq1314392332.pdf>>. Acessado em: 25 de Jun. de 2015.
20. PITARDE, F.F. **Pierre Gy's Sampling Theory and Sampling Practice**, Second ed. CRC Press Inc, FL. 1993.
21. PROGRAMA DA CAPACITAÇÃO TÉCNICA OPERACIONAL – Dep. TRM - P2 Elaborado por: Reginaldo Araújo Caldas, 2010.
22. SAMPAIO, C. H. **Beneficiamento Gravimétrico. Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 29, 2005.
23. TRINDADE, R. B. E.; FILHO, O. B. **Extração do Ouro - Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM - Centro de Tecnologia Mineral. 2012.
24. VIEIRA, S. **Estatística básica**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.