

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Nicolas Semaan Silveira

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
CARACTERIZAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE OURO

Belo Horizonte

2018

Nicolas Semaan Silveira

CARACTERIZAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE OURO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

Área: Engenharia de Minas – Caracterização de minério

Orientador: Prof. Dra. Andreia Bicalho Henriques

Belo Horizonte

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Nome: SILVEIRA, Nicolas Semaan.

Título: Caracterização e concentração de minério de ouro.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas (Engenheiro de Minas).

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____
Julgamento: _____

Instituição: _____
Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____
Julgamento: _____

Instituição: _____
Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____
Julgamento: _____

Instituição: _____
Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

A Deus dedico mais esta etapa vencida.

Aos meus pais Angela Semaan e Paulo Cesar Garcia Silveira.

A minha irmã Sara Semaan Silveira e minha namorada Priscilla Delasalle Ribeiro.

Aos amigos Esp. Eng. Matheus Faria França e Gabriel Rodrigues Romualdo Silva.

A minha orientadora DSc. Andreia Bicalho Henriques pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia de Minas por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

Ao rock n roll sempre presente em minha caminhada.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar estudos de caracterização e concentração de amostras contendo ouro. O projeto foi dividido em três etapas principais. Na primeira etapa, foram realizadas as etapas de fragmentação, caracterização mineralógica e análise granuloquímica de cada amostra estudada. A segunda etapa consiste na avaliação do grau de liberação das amostras por análise em GRG (Gravity Recoverable Gold). Na terceira etapa é realizada a validação dos resultados obtidos na segunda etapa, através de realização de análise de liberação em GRG da amostra que apresentou maior grau de liberação. A amostragem em campo foi realizada pelo solicitante, sendo de inteira responsabilidade do mesmo a garantia da representatividade do material entregue para a realização dos testes executados pela contratada. Na primeira etapa, foram preparadas 11 amostras utilizando o britador de mandíbulas, britador de rolos e moinho de barras com a finalidade de obter um *top size* de 1,7 mm. Após a etapa de cominuição, as amostras foram homogeneizadas e foram coletadas alíquotas para análise química de todas as amostras estudadas. Com os resultados das análises químicas, foram selecionadas seis amostras denominadas como G2H, G4L, G4H, G6H, G7H e G8H, que foram selecionadas para a realização da análise granuloquímica. Além destas amostras, foram analisadas as amostras de rejeitos P1, P2A e P2B, uma vez que o teor de ouro destes rejeitos foi relevante. Com os resultados obtidos nas análises granuloquímicas, a contratante definiu que as amostras G2H, G6H e G7H seguiriam para a próxima etapa dos estudos. Na segunda etapa, foi realizado o teste GRG (Gravity Recoverable Gold) com cada uma das amostras citadas acima. Através deste teste, é possível observar o grau de liberação do ouro em cada amostra. Após a realização dos testes, os produtos foram enviados para análise química, que mostrou resultados de recuperação metalúrgica satisfatórios com o uso do concentrador gravimétrico. Os valores de recuperação metalúrgica obtidos para as amostras G2H, G6H e G7H foram respectivamente 87,70%, 93,05% e 94,29%, com uma recuperação mássica de 3,38%, 2,56% e 1,86% para as amostras G2H, G6H e G7H, respectivamente. Na terceira etapa, com os dados e análises realizadas na segunda etapa, chegou-se a conclusão de que as amostras deveriam ser cominuídas até 150 µm para as amostras G6H e G7H e 75 µm para a amostra G2H. Ao final dos testes os concentrados e rejeitos do Falcon foram enviados para análise química.

Palavras-chave: Mineração, Equipamentos, Ouro, Classificação, Beneficiamento, Britagem, Peneiramento, Moagem, Concentração Gravítica.

ABSTRACT

The present work has the objective to carry out studies of characterization and concentration of samples containing gold. The project was divided into three main stages. In the first stage, the steps of fragmentation, mineralogical characterization and granulochemical analysis of each sample were performed. The second step consists in the evaluation of the degree of release of the samples by analysis in GRG (Gravity Recoverable Gold). In the third stage the validation of the results obtained in the second stage is carried out, through the analysis of the release in the IBCs of the sample with the highest degree of release. The field sampling was carried out by the applicant, being the entire responsibility of the same the guarantee of the representativity of the material delivered for the performance of the tests performed by the contractor. In the first step, 11 samples were prepared using the jaw crusher, roller crusher and bar mill in order to obtain a top size of 1.7 mm. After the comminution step, the samples were homogenized and aliquots were collected for chemical analysis of all the samples studied. With the results of the chemical analyzes, six samples were selected called G2H, G4L, G4H, G6H, G7H and G8H, which were selected for the accomplishment of the granulochemical analysis. In addition to these samples, samples of P1, P2A and P2B tailings were analyzed, since the gold content of these wastes was relevant. With the results obtained in the granulochemical analyzes, the contractor defined that samples G2H, G6H and G7H would continue to the next stage of the studies. In the second step, the GRG (Gravity Recoverable Gold) test was performed with each of the samples mentioned above. Through this test, it is possible to observe the degree of gold release in each sample. After the tests, the products were sent for chemical analysis, which showed satisfactory results of metallurgical recovery with the use of the gravimetric concentrator. The values of metallurgical recovery obtained for G2H, G6H and G7H samples were respectively 87.70%, 93.05% and 94.29%, with a mass recovery of 3.38%, 2.56% and 1.86% for samples G2H, G6H and G7H, respectively. In the third step, with the data and analyzes performed in the second stage, it was concluded that the samples should be comminuted up to 150 μm for the samples G6H and G7H and 75 μm for the G2H sample. At the end of the tests Falcon concentrates and tailings were sent for chemical analysis.

Keywords: Mining, Equipment, Gold, Classification, Processing, Crushing, Screening, Milling, Gravitational Concentration.

LISTA DE FIGURAS

Figure 1 - Britador primário	18
Figure 2 - Britador secundário	19
Figure 3 - Peneira vibratória	20
Figure 4 - Moinho cilíndrico de barras	21
Figure 5 - Esquema do funcionamento de um equipamento de Hidrociclone.....	25
Figure 6 - Equipamento Knelson	25
Figure 7 - Fluxograma das atividades realizadas na primeira etapa	26
Figure 8 - Fluxograma das atividades realizadas na segunda etapa	27
Figure 9 - Fluxograma das atividades realizadas na terceira etapa	28
Figure 10 - Britador de Mandíbula	30
Figure 11 - Britador de Rolos	30
Figure 12 - Peneirador Vibratório.....	31
Figure 13 - Moinho de Barras.....	32
Figure 14 - Divisor de Rifles	32
Figure 15 - Peneiras Utilizadas na Análise Granulométrica.....	33
Figure 16 - Concentrador Gravítico Falcon.....	34
Figure 17 - Resultado da Análise Granulométrica das amostras	37
Figure 18 - Resultado da Análise Granulométrica dos Rejeitos.....	38
Figure 19 - Gráfico de recuperação mássica, metalúrgica e teor do concentrado para amostra G2H.....	39
Figure 20 - Gráfico de recuperação mássica, metalúrgica e teor do concentrado para amostra G6H.....	40
Figure 21 - Gráfico de recuperação mássica, metalúrgica e teor do concentrado para amostra G7H.....	40

LISTA DE TABELA

Table 1 - Classificação dos Estágios de Britagem.....	17
Tabela 2 - Tipos de Classificadores em Função do Mecanismo e do Fluido	22
Table 3 - Condições operacionais dos testes realizados no concentrador gravítico Falcon para o teste GRG.	35
Table 4 - Condições do Falcon para a Validação.	35
Table 5 - Resultado da Análise Química.	37
Table 6 - G2H - GRG - Falcon 5 etapas	39
Table 7 - G6H - GRG - Falcon 5 etapas	39
Table 8 - G7H - GRG - Falcon 5 etapas	40

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELA.....	viii
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Aspectos gerais	11
1.2. Justificativa	12
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo Geral	13
1.3.2. Objetivos Específicos	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. Minério de Ouro.....	14
2.2. Beneficiamento do minério de Ouro	15
2.2.1 – Britagem	16
2.2.2 – Peneiramento	19
2.2.3 – Moagem.....	20
2.2.4 – Classificação.....	22
2.2.5 - Concentração Gravítica	23
3. METODOLOGIA	26
4. PROCEDIMENTO.....	29
4.1. Britagem.....	29
4.2. Moagem	31
4.3. Homogeneização/Amostragem	32
4.4. Análise Granuloquímica	33
4.5. GRG e validação do Falcon	33

5. RESULTADOS.....	36
5.1. Britagem / Moagem / Homogeneização / Amostragem.....	36
5.2. Análise Granuloquímica	37
5.3. GRG e validação do Falcon	39
6. CONCLUSÕES.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

1.1. Aspectos gerais

Os bens minerais são de suma importância para a humanidade. Segundo Hartman e Mutmanky (2002), a mineração e a agricultura foram as primeiras atividades em que os seres humanos “empreenderam” com o objetivo de obter recursos providos da natureza. Desde então, tais recursos são utilizados para suprir, mesmo que indiretamente, a demanda por recursos básicos imposta pela sociedade atual (DINIZ, 2017).

A constante busca por um empreendimento de mineração cada vez mais eficiente, com uma produção de baixo custo e aliado a um ganho financeiro maximizado é o objetivo da indústria, não só mineral, mas de todo o setor produtivo (COSTA, 2016).

Em uma unidade de beneficiamento de minério de ouro, as instalações de processamento respondem por grande parte do custo geral no empreendimento mineiro. Um estudo mineralógico, em referência ao desempenho do minério na usina de processamento, permite agregar conhecimento gerando alternativas de otimização e consequente redução dos custos no processamento (COSTA, 2016).

Os depósitos minerais com teor elevado e relativa facilidade de serem encontrados diminuem notoriamente. Desta forma, há uma tendência de redução da lucratividade dos empreendimentos. Por este motivo, operações ineficientes podem inviabilizar um projeto ou levar uma empresa ao fracasso financeiro. Em contrapartida, Runge (1998) afirma que companhias competentes podem prever as condicionantes do mercado em tempos futuros, sendo possível obter resultados acima do esperado (DINIZ, 2017).

No presente trabalho foram analisadas as características tecnológicas de amostras que compõe o minério de ouro. As amostras foram analisadas quanto a sua composição mineralógica, associações entre os sulfetos e ouro e características dos grãos de ouro e partículas de sulfetos. Foram analisadas um conjunto de doze amostras pontuais provenientes de sondagens e frentes de lavra (representatividade de 1 a 3 m). Para a determinação de composição mineralógica, identificação dos grãos de ouro, suas características e associações com sulfetos foi empregada análise de imagens automatizada por meio do sistema MLA (*Mineral Liberation Analyser*) (COSTA, 2016).

1.2. Justificativa

As recentes mudanças no setor mineral implicam em um novo ambiente de trabalho de intensa competição não só no Brasil, como no exterior. As tendências de internacionalização das operações bem como o fluxo de investimento fazem com que as empresas adotem técnicas de avaliação e processamento dos minérios visando à redução do risco e maximização do investimento (COSTA, 2016).

Dentro dessa perspectiva, aliado ao sistema teórico e prático, a possibilidade de geração de conhecimento através do estudo das características das associações mineralógicas do ouro e dos sulfetos, pode propiciar melhorias no planejamento de lavra e no desempenho no processamento do minério na usina, o que significa melhor aproveitamento dos recursos minerais e maior retorno financeiro (COSTA, 2016).

Considera-se que o beneficiamento e recuperação de ouro sejam a parte mais importante do tratamento do minério. Esse tratamento tem como objetivo a concentração do metal a partir da recuperação de suas partículas dispersas na massa do minério. As operações de concentração dependem dos tipos de rocha, do minério e da ganga encontrada na jazida (DNPM, 2001).

Para um processo de beneficiamento eficiente, é necessário o conhecimento das características mineralógicas do minério a ser extraído para o desenvolvimento da rota de extração e concentração do material primário. A dimensão e liberação da partícula, o teor do minério, a solubilidade em cianeto, são algumas das características que devem ser levadas em conta na escolha do processo de extração. As principais rotas de beneficiamento do ouro incluem a cominuição em britadores e moinhos, separação e concentração em equipamentos gravíticos e lixiviação com cianeto em tanques (ROENICK, 2013).

Outro fator relevante é a contribuição do trabalho em relação ao estudo da caracterização tecnológica para minérios auríferos. Encontram-se escassos trabalhos científicos acerca do tema abordado na dissertação que vão desde a fundamentação teórica até a relação do ouro com o arsênio (COSTA, 2016).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho consistiu em mapear as características de algumas amostras contendo minério de Ouro, com as quais foram realizados estudos de concentração do ouro via *GRG (Gravity Recoverable Gold)*, levantando dados referentes às amostras, a fim de obter o máximo de informações sobre o material analisado.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudar o processo de caracterização do minério de ouro;
- Estudar, de forma geral, quanto a concentração do ouro via *GRG (Gravity Recoverable Gold)*;
- Levantar dados laboratoriais contendo informações sobre as amostras do minério em estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é abordado uma síntese sobre o minério de ouro posteriormente um breve estudo do processo de caracterização deste minério e um aprofundamento quanto a concentração do ouro via GRG.

2.1. Minério de Ouro

O ouro, símbolo químico Au, possui número atômico 79 na tabela periódica dos elementos, tem valência igual a 1,3 e peso atômico 197, sendo um metal mole que, em contato com superfícies duras, pode arranhar e perder seu lustro (DNPM, 2001).

Este elemento é nativo, com dureza entre 2 ½ e 3 na escala de Mohs, peso específico de 19.3 g/cm³, brilho metálico e superfície de fratura rugosa (PELLANT, 2000).

Embora o ouro seja um elemento raro, ele ocorre largamente distribuído na natureza em pequenas quantidades. Geralmente é encontrado em veios que tenham relações genéticas com tipos de silicatos de rochas ígneas. A maior parte do ouro ocorre como metal nativo (PORMIN, 2008).

Segundo Luz e Lins (2004), o ouro é conhecido desde a antiguidade, sendo recuperado pelos egípcios em depósitos aluvionares 400 anos antes da Era Cristã, através de processos gravíticos.

O metal encontra-se normalmente em estado puro e em forma de pepitas. É o mais maleável e o mais dúctil dos metais, permitindo obter até 2.000 metros de fio com apenas um grama de metal. É ótimo condutor de calor e eletricidade (PORMIN, 2008).

Segundo Marsden e House (2006), cada depósito mineral é único, devido às variações que seguem:

Modo mineralógico de ocorrência do ouro; Distribuição do grão de ouro; Tipo de mineral de ganga e mineral hospedeiro; Distribuição granulométrica dos grãos do mineral de ganga e mineral hospedeiro; Associações minerais; Alterações minerais; Variações dos itens citados acima dentro de um depósito e com o tempo.

Segundo Departamento Nacional de Produção Mineral (Sumário Mineral, 2013) Minas Gerais ocupa posição de destaque, representando 52,4% na produção nacional, seguido por Bahia (14,2%), Goiás (10,3%), Mato Grosso (9,5), Pará (7,9%) e Maranhão (4,1%). Na produção oficial de garimpos, calculada a partir do recolhimento de 1% de IOF, atingiu cerca de 10,1 t com destaque para Mato Grosso, Pará e Rondônia com um total de 94,2% (8,25 t em 2011).

Os minerais de ouro se dividem em três classificações distintas (Marsden e House, 2016):

Ouro nativo: com um peso específico de 19,3 g/cm³, pode ser facilmente separado por processos gravíticos de seus minerais de ganga, que possuem peso específico entre 2,7 a 3,5 g/cm³ (quartzo e outros silicatos, por exemplo). Possui formato arredondado, conhecido como *nugget*. *Electrum*: é uma liga natural de ouro e prata, com porcentagem de prata entre 25 % e 55 %. Possui um peso específico entre 13 e 16 g/cm³, e uma coloração amarelo pálido. Por esse motivo, é também conhecido como ouro branco. O *electrum* também é produzido artificialmente. Teluretos de ouro: a química dos teluretos de ouro é relativamente complexa. Os compostos mais comuns são a silvanita ((Au,Ag)₂Te₄), calaverita (AuTe₂) e a petzita (Ag₃AuTe₂). Os teluretos de ouro estão associados com ouro livre e sulfetos. Seu peso específico está entre 8 e 10 g/cm³, e sua coloração é variante de um tom menos distintivo de branco, cinza e preto.

2.2. Beneficiamento do minério de Ouro

Beneficiamento é a parte da mineração que faz o tratamento do minério até a retirada do concentrado. O componente de interesse é o mineral-minério, que se encontra associado a outros minerais sem valor econômico - minerais de ganga (SAMPAIO & TAVARES, 2005).

De acordo com Luz; Sampaio; França (2010):

Frequentemente, um bem mineral não pode ser utilizado tal como é lavrado. Quando o seu aproveitamento vai desde a concentração até a extração do metal, por exemplo, a primeira operação traz vantagens econômicas (e energéticas) à metalurgia, devido ao descarte de massa (rejeito), alcançado na etapa de concentração. Exemplo: um minério de scheelita, com teor de 0,35% de WO₃ não pode ser utilizado

economicamente na metalurgia extrativa. Isto só é possível após concentração gravítica (jig, mesa) ou por flotação, até a obtenção de concentrados com cerca de 70% WO₃.

A operação de fragmentação, na área de beneficiamento de minérios, agrupa um conjunto de técnicas que tem por finalidade reduzir, por ação mecânica externa e também interna, um sólido, de determinado tamanho em fragmentos de tamanho menor (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

De acordo com Trindade e Filho (2002), o beneficiamento de minérios de ouro contém algumas peculiaridades que o diferencia de outros métodos de tratamento. A espécie submetida ao beneficiamento é uma entidade química em sua forma elementar metálica, que é caracterizada por elevada maleabilidade e densidade. O valor de mercado do ouro é consideravelmente maior do que a grande maioria dos bens minerais.

As rotas de beneficiamentos podem se restringir a uma adequação granulométrica do minério às etapas hidrometalúrgicas, preparação, estágios de concentração. Portanto, neste último caso as propriedades diferenciadoras exploradas são a diferença de densidade e de hidrofobicidade (natural ou induzida) entre o Au, os minerais a ele ligados mais intimamente e os minerais de ganga. Os procedimentos de preparação devem ressaltar as partículas de ouro livre e o beneficiamento como um todo deve priorizar a recuperação do ouro contido, onde o teor do Au concentrado e a rejeição de impurezas como objetivos secundários (TRINDADE & FILHO, 2002).

Cada etapa de preparação está presente tanto em circuitos onde ocorre concentração prévia dos minérios quanto aos que o minério é submetido diretamente à extração hidrometalúrgica (TRINDADE & FILHO, 2002).

2.2.1 – Britagem

A cominuição é um conjunto de operações de redução de tamanho de partículas minerais, de maneira controlada com objetivo de evitar o tamanho máximo dos produtos e de evitar a geração de finos excessivos (CHAVES & PERES, 1999).

Segundo Luz; Sampaio; França (2010):

A britagem é um estágio no processamento de minérios, que utiliza, em sucessivas etapas, equipamentos apropriados para a redução de tamanhos convenientes, ou para a liberação de minerais valiosos de sua ganga. É aplicada a fragmentos de distintos tamanhos, desde rochas de 1000 mm até 10 mm. Não existe um circuito padrão para britar os diferentes tipos de minério. Geralmente a operação de britagem é feita dentro dos estágios convenientes. Normalmente, para haver uma liberação satisfatória do mineral valioso, é necessário que o minério seja reduzido a uma granulometria fina. Nestas condições, a fragmentação desenvolve-se por meio de três estágios, isto é, grossa, intermediária e fina ou moagem. Nos dois primeiros estágios, a fragmentação é realizada em britadores e no último estágio, em moinhos.

Table 1 - Classificação dos Estágios de Britagem

Estágio de Britagem	Tamanho Máximo de Alimentação (mm)	Tamanho Máximo de Produção (mm)
Britagem Primária	1000	100,0
Britagem Secundária	100	10,0
Britagem Terciária	10	1,0
Britagem Quaternária	5	0,8

Fonte: Luz; Sampaio; França (2010, p.161).

A britagem é a fase grosseira da operação de cominuição dos minerais. O processo consiste basicamente na quebra do material pela força de compressão, aplicada através do movimento periódico de aproximação e afastamento de uma superfície de britagem móvel com outra fixa (FÁBRICA DE AÇOS PAULISTA, 1994).

De acordo com Luz; Sampaio; França (2010), os britadores primários:

Os britadores empregados são os de grande porte e sempre operam em circuito aberto e sem o descarte (escalpe) da fração fina contida na alimentação. A britagem primária é realizada a seco e tem uma razão de redução em torno de 8:1. Para este estágio são utilizados os seguintes tipos de britadores: britador de mandíbulas, britador giratório, britador de impacto e o de rolos dentado.

O britador de mandíbula, como ilustrado na figura 1, é um equipamento de britagem primária sendo alimentado por blocos de elevadas dimensões/dureza e grande variações de tamanho na alimentação. Possui uma mandíbula fixa e uma móvel ligada ao excêntrico (a ligação pode ser direta ou indireta), que fornece o movimento de aproximação e afastamento entre as mesmas. Portanto, o bloco de material alimentado na boca do britador desce entre as mandíbulas, recebendo compressão que gera a fragmentação (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010, p.163).



Figure 1 - Britador primário

Fonte: MF Rural, 2018

De acordo com Luz; Sampaio; França (2010), a Britagem secundária é toda a geração de britagem subsequentes a primária. Tem com objetivo, na maioria dos casos, a redução da granulometria do material para moagem. Os equipamentos normalmente utilizados são: Britador giratório secundário, mandíbula secundário, cônico, martelos e rolos.

O britador cônico possui o mesmo princípio de operação do britador giratório. Contrariamente ao que ocorre no britador giratório, no cônico o manto e o cone apresentam longas superfícies paralelas, para garantir um tempo longo de retenção das partículas nessa região. No britador giratório, a descarga se dá pela ação da gravidade, enquanto que no cônico, a descarga é condicionada ao movimento do cone. O movimento vertical do cone, para cima e para baixo, controla a abertura de saída, para tal, utilizam-se dispositivos hidráulicos.

A britagem secundária, como ilustra a Figura 2, é utilizada na fragmentação do minério no tamanho ideal para as etapas seguintes do beneficiamento. O funcionamento do britador cônico é semelhante ao do britador giratório; porém, o cone do britador cônico é paralelo à carcaça do mesmo, proporcionando um maior período de retenção do material (FIGUEIRA, 2004). Segue abaixo a figura de um britador cônico.



Figure 2 - Britador secundário

Fonte: Anepac, 2018

2.2.2 – Peneiramento

Nas etapas de britagem dos minérios auríferos são empregadas peneiras vibratórias, compostas por um chassi robusto, apoiado em molas, um mecanismo acionador do movimento vibratório e um, dois ou três suportes para telas (CHAVES & PERES, 1999).

O material retido na tela da peneira é denominado *oversize* e o passante, *undersize*. Os peneiramentos a seco são realizados, geralmente, em frações granulométricas de até 6 mm, mas é possível peneirar a seco com eficiência em frações de até 1,7 mm (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

Para o peneiramento de partículas grosseiras são necessários revestimentos nas paredes internas do chassi com placas de material resistente à abrasão. Quando se peneiram populações com tamanhos variados em uma malha de abertura pequena é muito conveniente a colocação de um "*deck*" para o alívio ou proteção, contendo uma tela grossa e forte, que recebe o impacto e o esforço mecânico das partículas maiores. Ao final, os "*oversizes*" das duas frações são unidos gerando um produto único. As peneiras vibratórias inclinadas contém

uma inclinação que varia entre 15° e 35° e transportam o material do leito a uma velocidade de aproximadamente 18 a 36m/min, dependendo da inclinação. As peneiras horizontais transportam o material a velocidade de aproximadamente 12m/min. As peneiras vibratórias inclinadas têm um movimento vibratório circular/ elíptico, que faz as partículas serem lançadas para cima e para frente, de modo que possam se apresentar à tela várias vezes, sempre sobre aberturas sucessivas. O movimento vibratório causa a estratificação do conjunto de partículas sobre o deck, onde as partículas maiores ficam por cima e as menores por baixo. A análise do peneiramento pode ser feita como coletivo das partículas (CHAVES & PERES, 1999). A figura 3 é um exemplo de peneira vibratória.

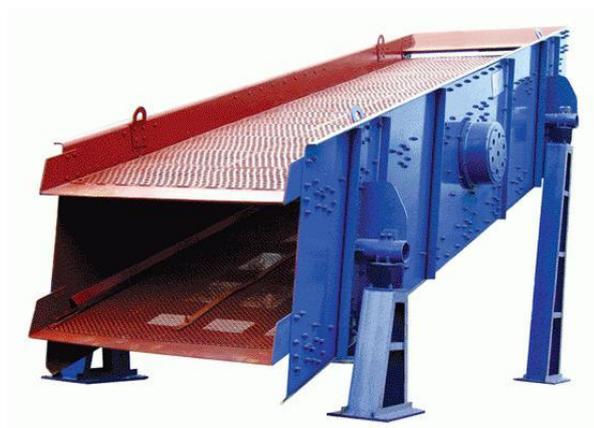


Figure 3 - Peneira vibratória

Fonte: RA engenharia industrial, 2018

2.2.3 – Moagem

A moagem é a última etapa da operação de cominuição. O material é fragmentado entre duas superfícies móveis que não possuem qualquer movimento mecânico entre si (FÁBRICA DE AÇOS PAULISTA, 1994). Tal fragmentação é realizada através da combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito (FIGUEIRA, 2004).

De acordo com Luz; Sampaio; França (2010):

A moagem é a área da fragmentação que requer maiores investimentos, ocorre maior gasto de energia e é considerada uma operação importante para o bom desempenho de uma instalação de tratamento de minérios. A submoagem do minério resulta num produto de granulometria grossa, com liberação parcial do mineral útil, inviabilizando o processo de concentração. Neste caso, a recuperação parcial do mineral útil e a baixa razão de enriquecimento respondem pela inviabilidade do processo. A sobre moagem, também, não é desejada, pois esta reduz o tamanho das partículas, desnecessariamente, o que acarretará maior consumo de energia e perdas no processo de concentração. É conclusivo que a

moagem deve ser muito bem estudada na etapa de dimensionamento e escolha de equipamento e muito bem controlada na etapa de operação da usina, pois o bom desempenho de uma instalação industrial depende em muito da operação de moagem. Os equipamentos mais empregados na moagem são: moinho cilíndrico (barras, bolas ou seixos), moinho de martelos entre outros.

O processamento via úmido é um excelente meio de transporte e dissipador de calor, resolvendo assim o problema de poeira. A via seco só é praticado quando existe alguma razão que impeça o processamento via úmida (CHAVES & PERES, 1999).

Os moinhos cilíndricos, são constituídos de uma carcaça cilíndrica de ferro, e é revestida internamente com placas de aço ou borracha, a qual gira sobre mancais e contém no interior uma carga de barras ou bolas de ferro ou aço. Os corpos moedores são movimentados pelo movimento da carcaça até certo ponto de onde caem. Quando a força centrífuga for maior que a força da gravidade, as barras permanecem-na sua trajetória, e quando a força da gravidade que se opõem a força centrífuga for maior que esta, as barras abandonam a trajetória (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

Na Figura 4 a seguir, esquema de um moinho cilíndrico de barras.

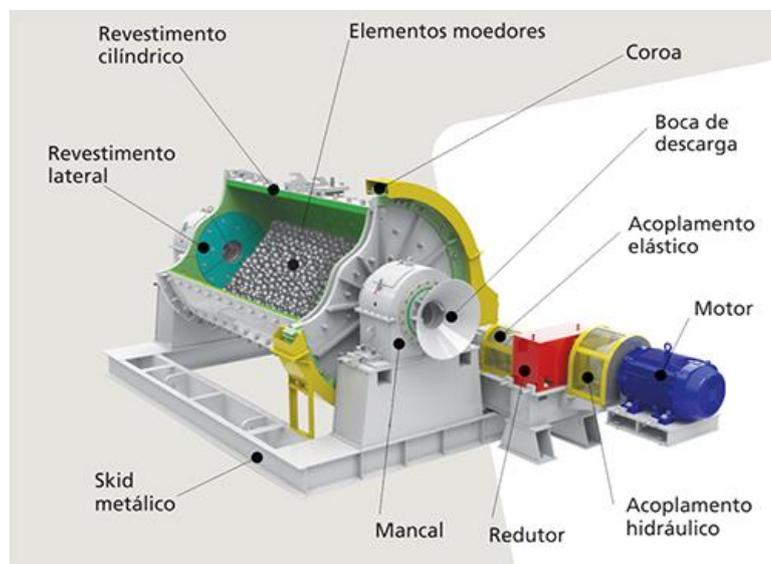


Figure 4 - Moinho cilíndrico de barras

Fonte: Furlan, 2018

2.2.4 – Classificação

A etapa de classificação consiste em separar uma população de partículas das outras populações sendo, uma com proporção significativamente maior de partículas grosseiras ("*underflow*"), e a outra com proporção significativamente maior de partículas finas ("*overflow*") (CHAVES *et al*, 1996).

Os autores Luz; Sampaio; França (2010) ressaltam que a classificação:

Quando se tem uma partícula em queda livre no vácuo, ela está sujeita a uma aceleração constante e sua velocidade aumenta indefinidamente, qualquer que seja seu tamanho ou densidade. Se, contudo, a partícula cai em um outro meio que não o vácuo, este oferece uma resistência ao seu movimento, a qual aumenta em razão direta com a velocidade, até atingir um certo valor constante. Quando as duas forças que atuam na partícula (gravitacional e de resistência do fluido) se tornam iguais, a partícula atinge uma velocidade denominada terminal e passa a ter uma queda com velocidade constante. A natureza da resistência do fluido depende da velocidade de queda. Para baixas velocidades o movimento é suave, pois a camada de fluido em contato com a partícula move-se com ela, enquanto o fluido como um todo permanece estático. Para altas velocidades a principal resistência é atribuída à perturbação do fluido, como um todo, pela partícula, caracterizando um regime denominado de turbulento. Independentemente do regime que predomine, a aceleração da partícula tende a decrescer rapidamente com o tempo, sob a ação das forças atuantes, e a velocidade terminal é sempre atingida.

Os classificadores podem ser divididos em vários grupos dependendo do mecanismo, do fluido utilizado, conforme a tabela 2:

Tabela 2 - Tipos de Classificadores em Função do Mecanismo e do Fluido

Autor	Tipos de classificação	
Trajano (1)	Úmido	Mecânico
		Não Mecânico
Perry (2)	Ar	Gravidade
		Centrífugo
		Mecânico
Wills (3)	Verticais	

Fonte: Luz; Sampaio; França (2010, p.161).

Os equipamentos de classificação consistem essencialmente de uma coluna de separação, o fluido que é submetido à classificação é líquido ou gasoso. As partículas que entram na coluna de separação sobem ou descem dependendo das suas velocidades terminais, assim obtendo dois produtos: um *overflow* consistindo de partículas com velocidade terminais

menores que a velocidade do fluido e um *underflow* de partículas com velocidade terminais maiores do que a velocidade do fluido (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

O hidrociclone, como um tipo de classificador mecânico, têm maior aplicabilidade em circuitos fechados de moagem, diferindo desses últimos pela maior capacidade. O princípio básico de separação empregado nos hidrociclones é que nele há sedimentação centrífuga. O desempenho desses é influenciado por suas dimensões, pelas variáveis operacionais e pelas propriedades físicas dos sólidos e da polpa alimentada (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

2.2.5 - Concentração Gravítica

O método mais adequado para o processamento de um minério de “Au” é influenciado por muitos fatores como a mineralogia dos minerais portadores de ouro e dos minerais de ganga, o padrão de liberação dos minerais e o tamanho da partícula de ouro, entre outros (LINS, 2000 *apud* TRINDADE & FILHO, 2002).

As partículas livres de ouro que possuem tamanho maior que 200 podem ser recuperadas eficientemente por métodos gravíticos. Já para o ouro que está associado a sulfetos, o beneficiamento usual inclui a cominuição do minério e liberação, e posteriormente uma etapa de flotação antes da cianetação. Para minérios refratários é comum o emprego de ustulação ou lixiviação à pressão ou bacteriana em seguida de cianetação (LINS, 2000 *apud* TRINDADE & FILHO, 2002).

A concentração gravimétrica é um processo no qual partículas de diferentes densidades, tamanhos e formas são separados por ação da força de gravidade ou forças centrífugas, sendo uma das mais antigas formas de processamento mineral. Os principais mecanismos atuantes no processo de concentração gravimétrica são os seguintes: aceleração diferencial; sedimentação retardada; velocidade diferencial em escoamento laminar; consolidação intersticial; ação de forças cisalhantes. Na maioria dos concentradores gravimétricos, sofre interferência das paredes do concentrador ou das partículas, então pode mover-se por tempo e por distância curta, antes que pare, ou seja, desviada por outras partículas. Portanto, as partículas estão sujeitas a aceleração e desaceleração constantes. Critério de concentração é uma ideia de se obter uma separação entre minerais por meio de processo gravimétrico, desconsiderando o fator de forma das partículas minerais (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

Os equipamentos utilizados para separação gravimétrica no processo são Hidrociclone e Knelson que trabalham com uma vazão de 120 m³/h e 48 m³/h, o hidrociclone trabalha com uma capacidade de 150 m³/h e pressão de 2 kg já o knelson com capacidade de 55 m³/h e uma pressão de até 4 kg.

Segundo Luz; Sampaio; França (2010):

O Hidrociclone usado para concentração gravítica é projetado para minimizar o efeito de classificação e maximizar a influência da densidade das partículas. Quando comparado com o ciclone classificador, apresenta maior diâmetro e comprimento do *vortex finder* e com ângulo do ápex bem superior. Quando a polpa é alimentada tangencialmente, sob pressão, um *vortex* é gerado em torno do eixo longitudinal. A força centrífuga, inversamente proporcional ao raio, é bastante grande perto do *vortex* e causa a estratificação radial das partículas de diferentes densidades e tamanhos (por aceleração diferencial). As partículas pesadas, sendo mais sujeitas a uma ação da força centrífuga, dirigem-se para a parte superior da parede cônica, com a formação de um leito por sedimentação retardada, no qual as partículas leves e grossas situam-se mais para o centro do cone e as finas, por consolidação intersticial, preenchem os espaços entre os minerais pesados e grossos. As partículas grossas e leves, primeiro, e as mistas ou de densidade intermediária, depois, são arrastadas para o *overflow* pelo fluxo aquoso ascendente, enquanto o leito estratificado se aproxima do ápex. Próximo ao ápex, as partículas finas e leves são também carregadas para o *overflow* pela corrente ascendente e as pesadas, finas e grossas, são descarregadas no ápex.

A figura 5 ilustra um esquema de equipamento de Hidrociclone.

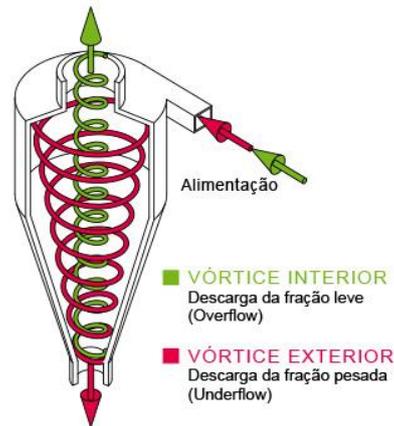


Figure 5 - Esquema do funcionamento de um equipamento de Hidrociclone.

Fonte: Akwaav, 2018

Ainda segundo Luz; Sampaio; França (2010), nos concentradores tipo Knelson:

A força centrífuga empregada é cerca de cinquenta vezes a força de gravidade, ampliando a diferença entre a densidade dos vários minerais. Esta força centrífuga enclausura as partículas mais pesadas em uma série de anéis localizados na parte interna do equipamento, enquanto o material leve é gradualmente deslocado para fora dos anéis, saindo na parte superior do concentrador. A colocação do cone numa camisa d'água e a injeção de água sob pressão dentro deste através de perfurações graduadas nos anéis evitam que o material se compacte em seu interior. A operação desse concentrador centrífugo é contínua por um período, tipicamente, de 8 a 10 h para minérios auríferos, até que os anéis estejam ocupados predominantemente por minerais pesados. Quanto maior a proporção de minerais pesados na alimentação, menor será o período de operação do concentrador. Portanto, esta variável deve ser otimizada de acordo com as características de cada minério a ser tratado. Após a paralisação do equipamento, faz-se a drenagem do material retido em seu interior, operação está realizada em 10-15 min.

Em seqüência, exemplo do equipamento Knelson.



Figure 6 - Equipamento Knelson

Fonte: knelsongravity.xplorex, 2018

3. METODOLOGIA

O presente trabalho consta, em suma, realizar estudos de caracterização e concentração de amostras contendo ouro. O projeto foi dividido em três etapas principais. Na primeira etapa, mostrada na Figura 7, foram realizadas as etapas de fragmentação, caracterização mineralógica e análise granulométrica de cada amostra estudada. A segunda etapa, Figura 8, consiste na avaliação do grau de liberação das amostras por análise em GRG. Na terceira etapa, Figura 9, é realizada a validação dos resultados obtidos na segunda etapa, através de realização de análise de liberação em GRG da amostra que apresentou maior grau de liberação.

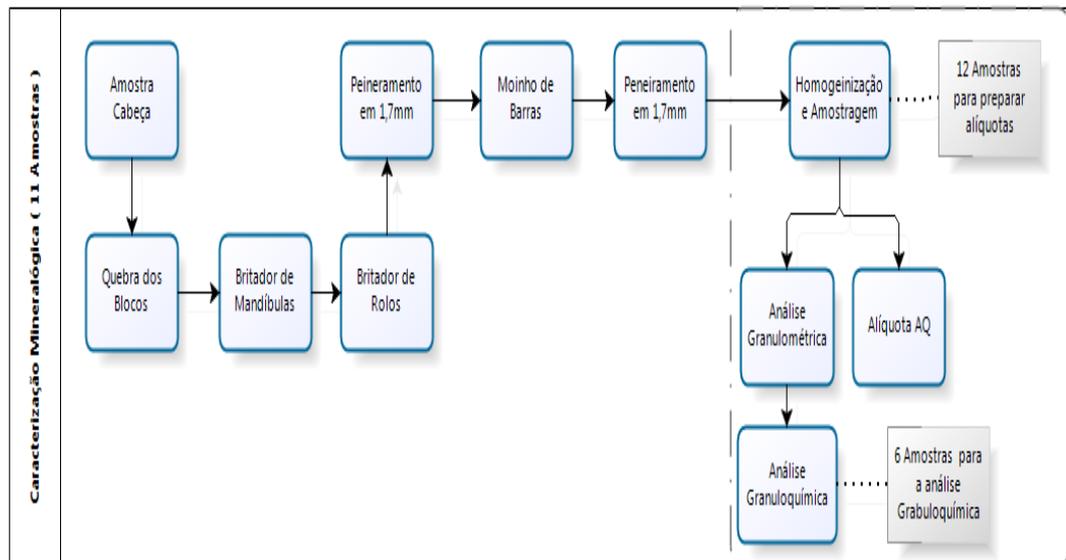


Figure 7 - Fluxograma das atividades realizadas na primeira etapa

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

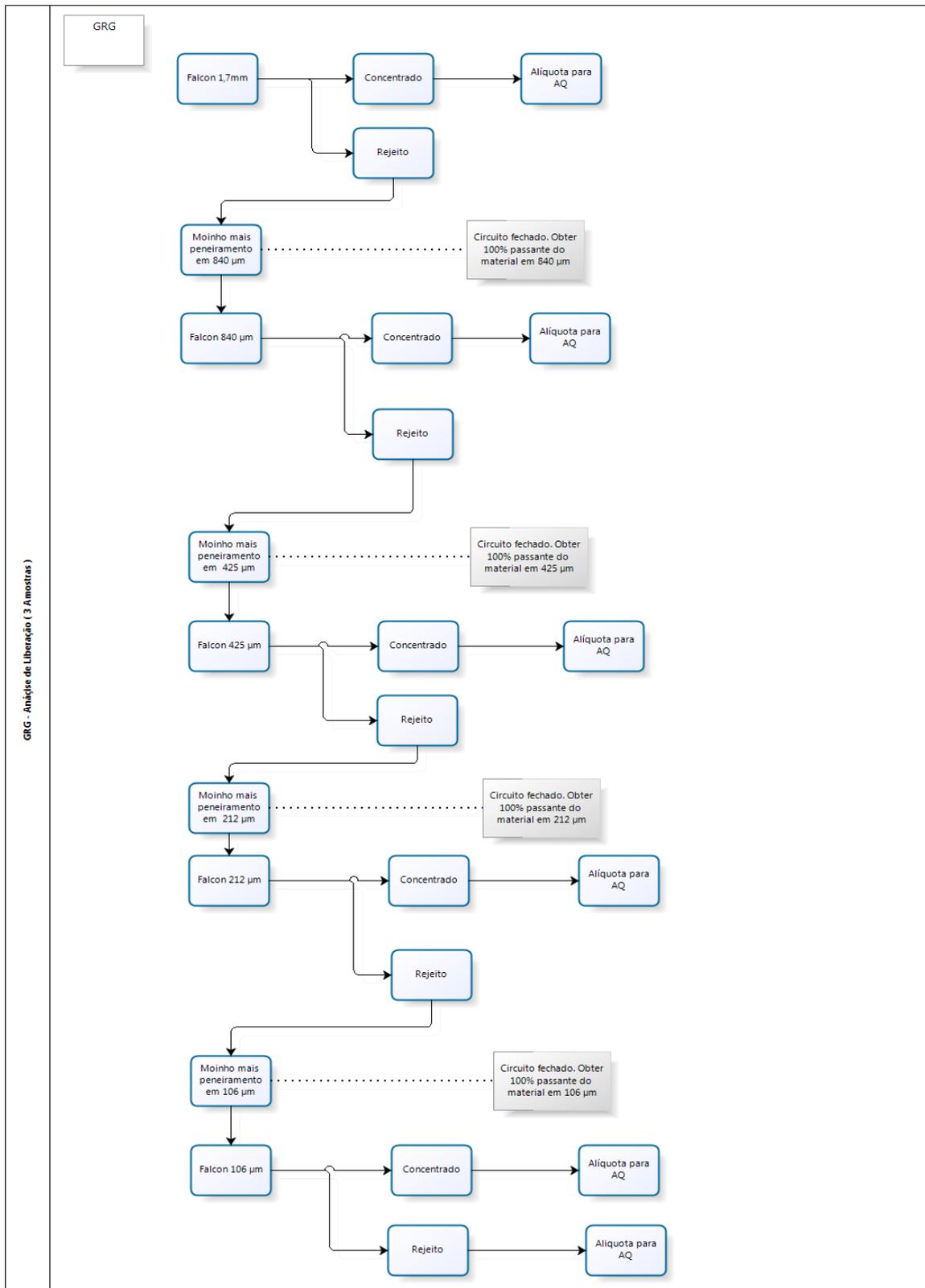


Figure 8 - Fluxograma das atividades realizadas na segunda etapa

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

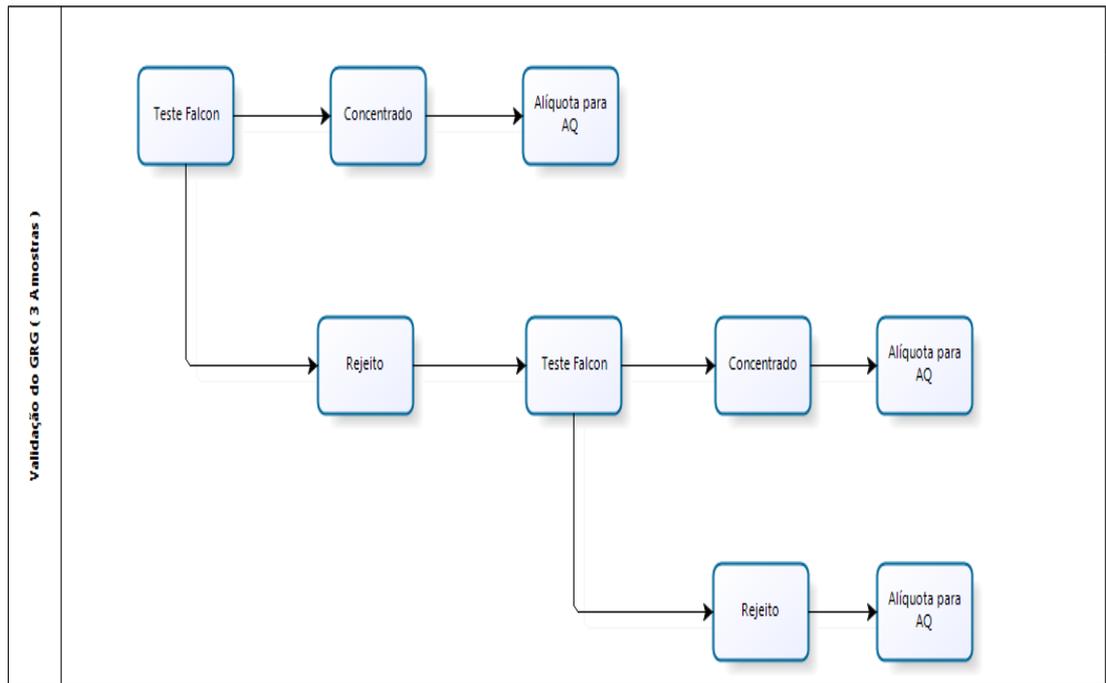


Figure 9 - Fluxograma das atividades realizadas na terceira etapa

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

4. PROCEDIMENTO

Nesta seção do trabalho é apresentada uma análise comparativa na preparação das amostras feita através de etapas alternadas de cominuição e classificação com o objetivo de obter 100% passante em 1,7 mm, sendo que as etapas de cominuição envolveram os seguintes equipamentos: britador de mandíbulas, britador de rolos e moinho de barras, e a classificação foi feita utilizando peneiras vibratórias. Os parâmetros necessários para desenvolvimento desse trabalho foram disponibilizados para uso, entretanto informações de cunho sigiloso da empresa não devem e não serão salientados.

4.1. Britagem

A britagem pode ser definida como o conjunto de operações que tem como objetivo a fragmentação de grandes materiais, levando-os a granulometria compatível para utilização direta ou para posterior processamento (CHAVES & PERES, 1999). Nesse projeto, foram utilizados dois tipos diferentes de britadores, o Britador de Mandíbula e o Britador de Rolos.

O Britador de Mandíbula é um equipamento de britagem primária, utilizado para reduzir blocos de elevadas dimensões, dureza e com grandes variações de tamanho na alimentação, como ilustrado na Figura 10. Este é composto basicamente de uma mandíbula fixa e uma mandíbula móvel ligada a um eixo excêntrico (esta ligação pode ser feita direta ou indiretamente), que fornece o movimento de aproximação e afastamento entre elas (CHAVES & PERES, 1999). Desta maneira o bloco alimentado na boca do britador vai descendo entre as mandíbulas enquanto recebe a compressão responsável pela fragmentação. Inicialmente, foi utilizado o Britador de Mandíbula para os materiais G2H, G2V, G4H, G4L, G5V, G6H, G7H, G8H, G9H, C1 e C3 para depois realizar a britagem secundária com o Britador de Rolos com todas as 11 amostras.



Figure 10 - Britador de Mandíbula

Fonte: Luquips, 2018

O Britador de Rolos consiste basicamente de um par de rolos móveis que possui movimento giratório provocando a compressão e cisalhamento do material que passa entre os rolos (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010). O material sai por baixo do britador com uma granulometria menor do que a que entrou no mesmo. Uma figura esquemática do britador de rolos é ilustrada na figura 11.

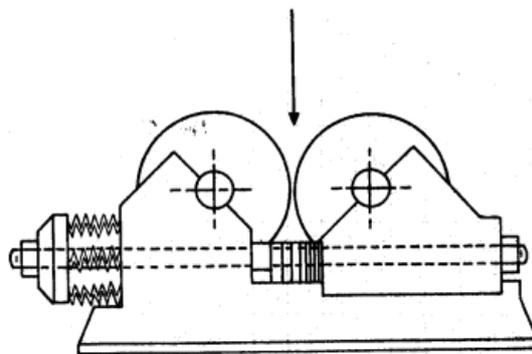


Figure 11 - Britador de Rolos

Fonte: Trituradoras de roca, 2018

Após a utilização dos britadores, foi adicionado ao projeto o material denominado rejeito P2B, que juntamente com os outros foi peneirado em uma peneira vibratória de base 50x50 cm e abertura igual a 1,7 mm.

A peneira vibratória classifica o material separando-o por tamanho através de uma malha de tela. Um motor vibratório produz movimento horizontal e vertical que espalha o

material sobre a tela contribuindo para a separação do material maior e menor que 1,7 mm, como é mostrado a seguir na figura 12.



Figure 12 - Peneirador Vibratório

Fonte: Dialmática, 2018

O *oversize* da peneira de 1,7 mm foi então direcionado para a próxima etapa de cominuição, a moagem.

4.2. Moagem

A moagem é o último estágio do processo de fragmentação de partículas. Neste estágio as partículas são reduzidas, pela combinação de impacto, compressão, abrasão ou atrito, a um tamanho adequado à liberação do bem mineral para a próxima operação unitária ou processo de transformação (FIGUEIRA, 2004).

Foi utilizado o moinho de barras, no qual as barras de aço são lançadas sobre o material devido à força centrífuga no movimento giratório do moinho. Esse movimento associado ao atrito entre as barras gera a cominuição do material. A figura 13 mostra o moinho que foi utilizado na realização da moagem do material.



Figure 13 - Moinho de Barras

Fonte: MF Rural, 2018

Após a moagem o material foi peneirado novamente na peneira vibratória de 1,7 mm com o intuito de obter 100% do material passante naquela malha. O material retido nesse novo peneiramento foi novamente moído até que todo material passasse pela peneira vibratória. Isso foi feito para que posteriormente pudesse ser realizado o processo de amostragem utilizando o Divisor de Rifles.

4.3. Homogeneização/Amostragem

O Divisor de Rifles foi utilizado para todas as 12 amostras e mais 2 amostras, denominadas P1 e P2A, totalizando 14 amostras, com o intuito de fazer a homogeneização de cada amostra, separadamente, realizando assim, a amostragem, que se fez essencial para envio de uma quantidade menor de material para a análise granulométrica e a análise química posterior. A figura 14 abaixo mostra uma imagem de um divisor de rifles.



Figure 14 - Divisor de Rifles

Fonte: Dialmatica, 2018

4.4. Análise Granuloquímica

Uma vez realizada a amostragem, foi feito o corte a úmido dos materiais antes da análise granulométrica para separar a faixa de material menor que 38 μm . Nessa etapa utilizou-se a série de peneira 38 μm , 45 μm , 75 μm , 150 μm , e 500 μm , com vazão de água de 1 litro por minuto durante 10 minutos, retirando assim o fino contido em cada material. O material retido nas peneiras descritas acima foi secado em chapa a 100°C e pesado posteriormente.

Após o corte a úmido, foi feita a análise granulométrica de cada material por meio da utilização das peneiras (Figura 15) de acordo com a Série Tyler, que variou de 38 μm até 1,7 mm, sendo o material peneirado por 30 minutos. Posteriormente foram juntadas as massas de 6 faixas granulométricas para cada material. Foram elas: (<1,7mm – 850 μm), (<850 μm - 425 μm), (<425 μm - 300 μm), (<300 μm - 212 μm), (<212 μm - 106 μm) e (<106 μm – fundo), para as amostras G2H, G4H, G4L, G6H, G7H e G8H. E (<1,7mm – 600 μm), (<600 μm - 300 μm), (<300 μm - 212 μm), (<212 μm - 106 μm), (<106 μm - 53 μm) e (<53 μm – fundo) para as amostras P1, P2A e P2B. Foi realizada a análise química por faixa granulométrica, identificando assim a distribuição do elemento de interesse em cada amostra.



Figure 15 - Peneiras Utilizadas na Análise Granulométrica.

Fonte: SPLabor, 2018

4.5. GRG e validação do Falcon

O método utilizado nos testes de recuperação do ouro é chamado de GRG. O uso da gravimetria é uma técnica consolidada e amplamente utilizada no beneficiamento do ouro. As

principais vantagens desse teste são os bons resultados aliados ao baixo custo de investimento e operação. Esse teste fornece uma indicação da capacidade de tratamento da amostra de minério para a concentração gravítica (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

O concentrador gravítico utilizado neste GRG foi o Falcon, mostrado abaixo na Figura 16. O equipamento consiste em um tambor cônico com paredes macias que giram verticalmente, com a polpa movendo-se para cima a partir do ponto de alimentação central. O mecanismo de separação principal cai em gotas percoladas, aumentado pela força centrífuga.



Figure 16 - Concentrador Gravítico Falcon.

Fonte: Mineralis, 2018

O GRG baseia-se na redução progressiva do tamanho da partícula, permitindo a recuperação do ouro liberado. Ele consiste em estágios sequenciais de liberação e recuperação. Os resultados desse teste indicam a recuperação do ouro em determinadas faixas granulométricas de acordo com o grau de liberação da amostra. As faixas utilizadas no teste Falcon foram: 1700 μm , 850 μm , 425 μm , 212 μm e 106 μm . Essas faixas foram selecionadas pelo cliente e seus consultores. Foram retiradas seis alíquotas de cada amostra para análise química. Todos os testes foram feitos com pH acima de 10,5. A validação foi feita para confirmar os resultados dos testes. As etapas Rougher e Scavenger foram efetuadas para aumentar a recuperação do ouro. A Tabela 3 mostra as condições operacionais que foram utilizadas nos testes em cada faixa granulométrica, enquanto que a Tabela 4 mostra as condições operacionais dos testes realizados para a validação do GRG.

Table 3 - Condições operacionais dos testes realizados no concentrador gravítico Falcon para o teste GRG.

Condições operacionais dos testes realizados no concentrador gravítico Falcon para o teste GRG			
Abertura Peneira (μm)	% de sólidos na polpa	Giro (G)	Vazão (L/min)
1.700	30	60 G	6,8
850	30	200 G	6,8
425	30	300 G	4,5
212	30	300 G	3,5
106	30	300 G	2,1

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

Table 4 - Condições do Falcon para a Validação.

Validação Falcon			
Amostra	% de sólidos na polpa	Giro (G)	Vazão (L/min)
G2H Rougher 75 μm	30	300 G	2,7
G2H Scavenger 75 μm	30	300 G	2,1
G6H Rougher 150 μm	30	300 G	3,0
G6H Scavenger 150 μm	30	300 G	2,5
G7H Rougher 150 μm	30	300 G	3,0
G7H Scavenger 150 μm	30	300 G	2,5

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

5. RESULTADOS

5.1. Britagem / Moagem / Homogeneização / Amostragem

A preparação das amostras foi feita através de etapas alternadas de cominuição e classificação com o objetivo de obter 100% passante em 1,7 mm, sendo que as etapas de cominuição envolveram os seguintes equipamentos: britador de mandíbulas, britador de rolos e moinho de barras, e a separação foi feita utilizando peneiras vibratórias.

Cada amostra recebida foi britada inicialmente no britador de mandíbulas até que todo o material da amostra atingisse um tamanho adequado para entrar no britador de rolos (< 5 cm aproximadamente).

Em seguida, o material de cada amostra alimentou o britador de rolos e foi separado em uma peneira de 1,7 mm. O retido na peneira repetiu o processo, passando mais uma vez no britador de rolos e novamente sendo separado. O material da amostra que ainda permaneceu retido na peneira foi cominuído em um moinho de barras até atingir 100% passante na peneira de 1,7 mm.

Após a conclusão da etapa de redução da granulometria (< 1,7 mm), separaram-se duas alíquotas de cada amostra. Uma alíquota para Análise Química e outra para Análise Granulométrica, ambas com massa entre 1,0 e 2,0 kg.

A análise química mostrou que as amostras que possuem a maior concentração de Ouro são: G7H, G4L, G6H, G8H, G9H, G4H e G2H. Essas foram as amostras escolhidas pelo cliente para a realização da análise granulométrica, com exceção da amostra G9H que não fora escolhida. O rejeito P2B apresentou uma concentração considerável por ser um rejeito. Com isso, foi solicitado um aditivo para uma análise granulométrica das amostras de rejeito P1 e P2A , juntamente com a amostra P2B. A Tabela 5 mostra o resultado das análises químicas.

Table 5 - Resultado da Análise Química.

Teor de Au nas amostras	
Amostra	Teor (ppm)
G2H	11,300
G2V	0,471
G4H	15,313
G4L	24,037
G5V	0,220
G6H	22,645
G7H	63,916
G8H	17,947
G9H	17,285
C1	0,191
C3	0,042
P1	2,795
P2A	1,792
P2B	3,012

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

5.2. Análise Granuloquímica

As Figura 17 e Figura 18 mostram as curvas granulométricas obtidas para as amostras G2H, G4H, G4L, G6H, G7H, G8H, P1, P2A e P2B, que foram selecionadas para a análise granulométrica após o resultado das alíquotas enviadas anteriormente para a análise química.

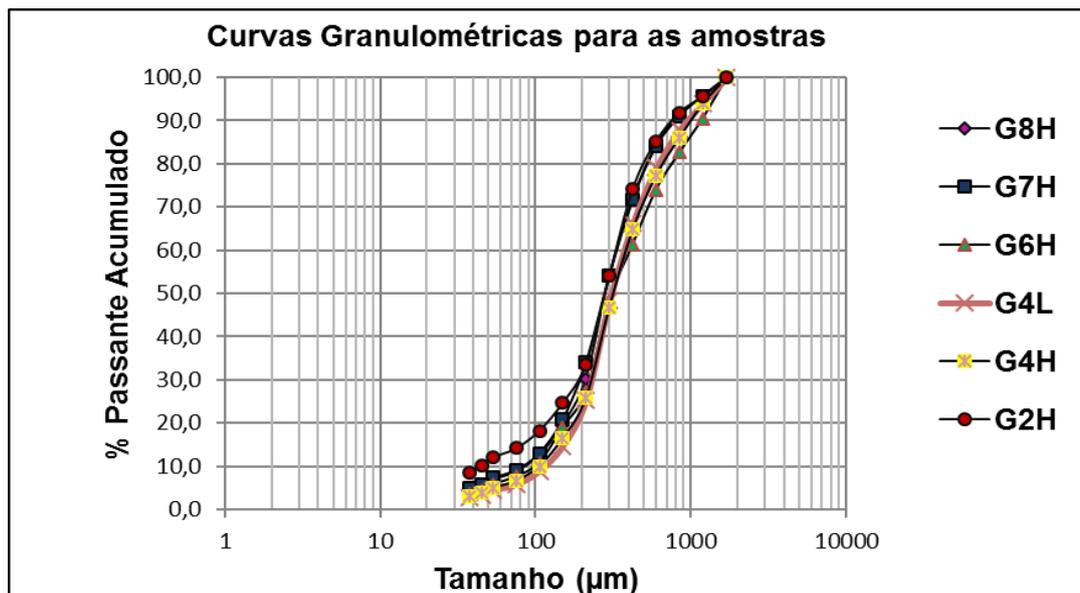


Figure 17 - Resultado da Análise Granulométrica das amostras

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

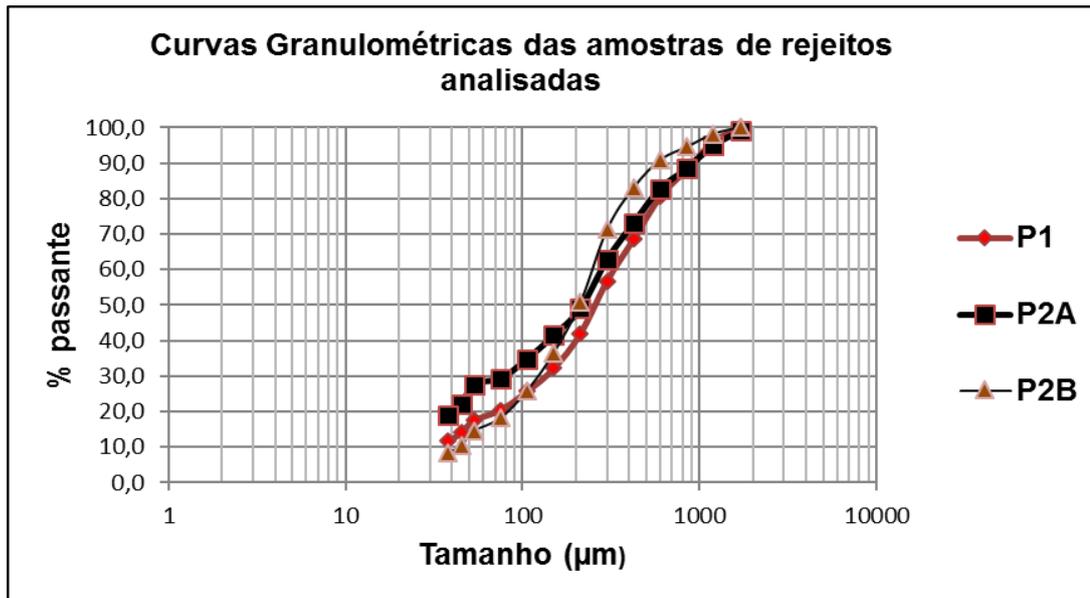


Figure 18 - Resultado da Análise Granulométrica dos Rejeitos

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

A partir do gráfico, pode-se identificar o P80 médio das amostras, que é aproximadamente 650 µm. E que, em média, menos de 10% do material está abaixo de 100µm.

Para a realização da análise química é necessária uma massa de aproximadamente 150 gramas, para tanto se juntou as alíquotas de determinadas faixas granulométricas para alcançar tal massa. As faixas de teor para envio para análise química, foram:

Para as amostras G2H, G4L, G4H, G6H, G7H e G8H as faixas escolhidas foram: (< 1,7 mm – 850 µm), (< 850 µm - 425 µm), (< 425 µm - 300 µm), (< 300 µm - 212 µm), (< 212 µm - 106 µm) e (< 106 µm – fundo).

Para as amostras de rejeito P1, P2A e P2B as faixas escolhidas foram: (< 1,7mm – 600 µm), (< 600 µm - 300 µm), (<300 µm - 212 µm), (<212 µm - 106 µm), (< 106 µm - 53 µm) e (< 53 µm – fundo).

Para as seguintes amostras, G2H, G4L e G6H, obteve-se uma maior concentração de ouro na faixa <1,7 mm – 850 µm, já G4H, G7H e G8H obteve-se uma maior concentração de ouro na faixa <106 µm – fundo. O teor global calculado foi de G2H 12,50ppm, G4H 11,98ppm, G4L 24,98ppm, G6H 30,45ppm, G7H 55,42ppm e G8H 21,09ppm.

Para as amostras de rejeito, P1, P2A e P2B, através da análise química concluiu-se que a faixa, < 1,7mm – 600 µm, possui uma maior concentração de ouro, sendo que as amostras P1 possui 4,066 ppm, P2A 3,649 ppm e P2B 3,366 ppm e que o teor global calculado foi de P1 2,21ppm, P2A 1,45ppm e P2B 2,47ppm.

No final do relatório, está no anexo o resultado da análise granulométrica que foi enviado a Geosol e os gráficos de teor de ouro em cada faixa escolhida.

5.3. GRG e validação do Falcon

As Tabelas 6, 7 e 8 mostram os resultados encontrados após os testes no Falcon com as amostras G2H, G6H e G7H, respectivamente, enquanto que as Figuras 19, 20 e 21 apresenta os gráficos relacionando recuperação metalúrgica do Au, recuperação mássica cumulativa dos concentrados e teor de Au(g/t) no concentrado para cada faixa granulométrica para as amostras G2H, G6H e G7H, respectivamente.

Table 6 - G2H - GRG - Falcon 5 etapas

Testes Gravimetria (Falcon) 100% passante em (µm)	Teor Conc. (g/t Au)	Teor Cum. do Conc. (g/t Au)	Fator de Concentração	Massa obtida (g)	Rec. Au (%)	Rec. Cum. Au (%)	Rec. Mássica	Rec. Mássica
Concentrado 1 - 1700	447.47	447.47	134.94	91.89	29.91	29.91	0.74	0.74
Concentrado 2 - 850	243.04	352.77	72.43	79.3	14.02	43.93	0.64	1.38
Concentrado 3 - 425	187.41	302.35	50.35	75.1	10.24	54.17	0.61	1.99
Concentrado 4 - 212	284.9	297.97	37.71	82.5	17.10	71.26	0.67	2.65
Concentrado 5 - 106	251.33	287.92	29.59	90.3	16.51	87.77	0.73	3.38
Rejeito final - 106	1.40	11.09	1.00	11,980.91	12.23	100.00	96.62	100.00
Alimentação (Retrocalculada)	11.09			12,400.00	100.00		100.00	

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

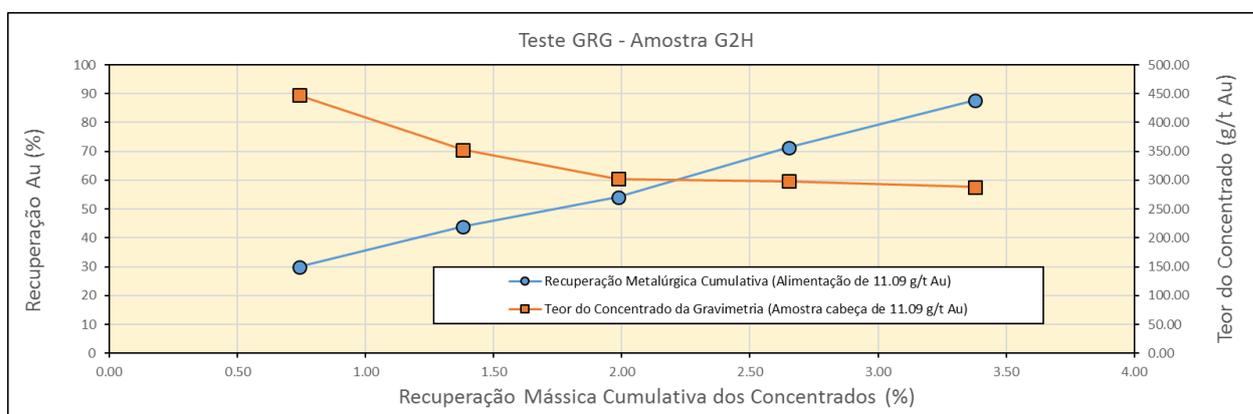


Figure 19 - Gráfico de recuperação mássica, metalúrgica e teor do concentrado para amostra G2H.

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

Table 7 - G6H - GRG - Falcon 5 etapas

Testes Gravimetria (Falcon) 100% passante em (µm)	Teor Conc. (g/t Au)	Teor Cum. do Conc. (g/t Au)	Fator de Concentração	Massa obtida (g)	Rec. Au (%)	Rec. Cum. Au (%)	Rec. Mássica	Rec. Mássica
Concentrado 1 - 1700	1839.29	1839.29	177.49	92.4	37.29	37.29	0.56	0.56
Concentrado 2 - 850	749.29	1334.17	95.24	79.8	13.12	50.41	0.49	1.05
Concentrado 3 - 425	634.46	1124.45	66.69	73.7	10.26	60.67	0.45	1.50
Concentrado 4 - 212	1362.65	1184.67	49.83	83.2	24.88	85.55	0.51	2.01
Concentrado 5 - 106	374.26	1008.67	39.01	91.3	7.50	93.05	0.56	2.56
Rejeito final - 106	1.98	27.79	1.00	15,979.60	6.95	100.00	97.44	100.00
Alimentação (Retrocalculada)	27.79			16,400.00	100.00		100.00	

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

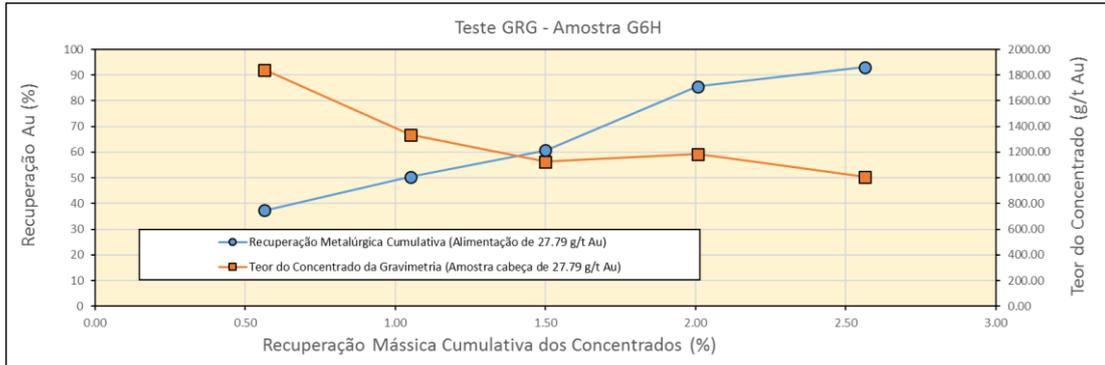


Figure 20 - Gráfico de recuperação mássica, metalúrgica e teor do concentrado para amostra G6H.

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

Table 8 - G7H - GRG - Falcon 5 etapas

Testes Gravimetria (Falcon) 100% passante em (µm)	Teor Conc. (g/t Au)	Teor Cum. do Conc. (g/t Au)	Fator de Concentração	Massa obtida (g)	Rec. Au (%)	Rec. Cum. Au (%)	Rec. Mássica	Rec. Mássica
Concentrado 1 - 1700	6777.71	6777.71	245.10	81.6	47.75	47.75	0.41	0.41
Concentrado 2 - 850	1971.33	4523.06	130.12	72.1	12.27	60.02	0.36	0.77
Concentrado 3 - 425	2459.66	3857.39	88.14	73.2	15.54	75.57	0.37	1.13
Concentrado 4 - 212	1991.06	3355.33	64.43	83.5	14.35	89.92	0.42	1.55
Concentrado 5 - 106	831.58	2941.45	53.87	60.89	4.37	94.29	0.30	1.86
Rejeito final - 106	3.37	57.91	1.00	19,628.71	5.71	100.00	98.14	100.00
Alimentação (Retrocalculada)	57.91			20,000.00	100.00		100.00	

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

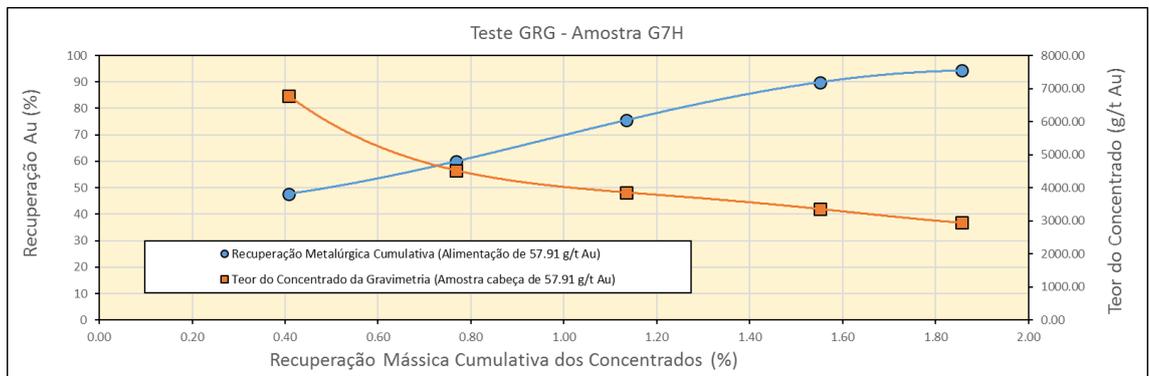


Figure 21 - Gráfico de recuperação mássica, metalúrgica e teor do concentrado para amostra G7H

Fonte: PESQUISA DIRETA, 2018

Com os balanços de massas apresentados acima, algumas conclusões podem ser apresentadas: As faixas granulométricas que apresentaram melhor recuperação metalúrgica do ouro nas três amostras testadas, foram as faixas de 1.700 μm e 212 μm . Os valores de recuperação metalúrgica obtidos para as amostras G2H, G6H e G7H foram respectivamente 87,70%, 93,05% e 94,29%, obtendo uma recuperação mássica de 3,38%, 2,56% e 1,86% para as mesmas alíquotas. Além disso, pode ser observado que as recuperações mássicas foram muito baixas, comparadas com as que tiveram o rejeito como destino (partículas com granulometria inferior a 106 μm), conforme analisado nas Tabelas 6, 7 e 8.

6. CONCLUSÕES

Inicialmente, a análise química mostrou que as amostras que possuem a maior concentração de Ouro são: G7H, G4L, G6H, G8H, G9H, G4H e G2H. O rejeito P2B apresentou uma concentração considerável por ser um rejeito. Já a análise granuloquímica indicou que a faixa granulométrica na qual as partículas de interesse estariam liberadas, para as amostras G2H, G6H e G7H, foram entre 1700 μm e 850 μm , 1700 μm e 850 μm e abaixo de 106 μm .

Dentre as amostras que apresentaram maior teor de ouro, a amostra G7H foi a que mais se destacou nesse quesito. Após os testes no concentrador gravítico Falcon, tem-se que as faixas granulométricas na qual a recuperação metalúrgica foi satisfatória foram as faixas 1.700 μm e 212 μm .

Dessa forma, os resultados obtidos se apresentaram satisfatórios para a região na qual foram adquiridas as amostras que compunham a alíquota G7H. Não obstante, como já foi salientado, as outras alíquotas também se mostram ricas em teor de Au, de acordo com a sua análise química.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAVES, A. P. Teoria e Prática do Tratamento de Minério, Signus, Volume 1 e 2. São Paulo, SP, 1996, p.256.

CHAVES, A.P. & PERES, A.E.C. Teoria e Prática do Tratamento de Minério: Britagem Peneiramento e Moagem, Signus, 2.ed. Volume 03, São Paulo, SP.1999, p.659.

COSTA, FABRIZIO RODRIGUES - Caracterização tecnológica do minério de ouro da Mina Morro do Ouro – Paracatu, MG / F. R. Costa – São Paulo, 2016.

DINIZ, LUCAS CORDEIRO - Estudo comparativo de caminhões convencional e fora de estrada no sistema de carregamento e transporte de uma mina de calcário./ Lucas Cordeiro Diniz – 2017.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. 2001. Disponível em:<<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/ouro.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2014.

DNPM - Sumário Mineral. 2013. Disponível em:

<https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=8998>. Acesso em: 25 mar. 2014.

FÁBRICA DE AÇOS PAULISTA S.A. Manual de Britagem. 5 ed. São Paulo. FAÇO, 1994. 418 p.

FIGUEIRA, H.V.O.; ALMEIDA, S.L.M.; LUZ, A. B. Cominuição. In: LUZ, A.B.;

HARTMAN, H. L., MUTMANSKY, J. M. Introductory mining engineering. 2ª edição. Editora John Wiley and Sons Inc. Hoboken, New Jersey, EUA. p. 1 – 24, 2002.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Disponível em:<<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000095.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2014.

LUZ, A.B. E LINS, F.A.F. Introdução ao Tratamento de Minérios. In: LUZ, A.B.; SAMPAIO. 4º edição.CETEM. Rio de Janeiro. RJ. 2004. 16 p.

LUZ A.B, SAMPAIO J. A, FRANÇA. S.C.A. Tratamento de Minério. 5 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 932 p.

MARSDEN, J.O.; HOUSE C.I. *The Chemistry of Gold Extraction*. 2 ed. Littleton, Colorado, Estados Unidos. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), 2006. 651 p.

PELLANT, C. *Rocks and Minerals – Dorling Kindersley Handbooks*. Londres. Dorling Kindersley Limitada, 2000. 256 p.

PORMIN – Portal de Apoio ao Pequeno Produtor Mineral. Ministério de Minas e Energia.

ROENICK FERNANDA. *Extração de Ouro Contido em Minério de Baixo Teor Empregando Pilhas de Lixiviação com Cianeto*. Belo Horizonte. MG. 2013, 151p.

SAMPAIO, C.H.; TAVARES, L.M.M. *Beneficiamento Gravimétrico: uma Introdução aos Processos de Concentração Mineral e Reciclagem de Materiais por Densidade*. 1 ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS, 2005. 603 p.

TRINDADE, R.B.E; FILHO, O.B. *Extração de Ouro – Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. 312 p.