

**Ensaaios exploratórios de lixiviação para ouro associado a minérios limoníticos****Exploratory tests for leaching gold associated with limonitic ore**

Recebimento dos originais: 19/11/2018

Aceitação para publicação: 20/12/2018

**Antônio Clareti Pereira**

Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais - UFOP

Departamento de Engenharia Química

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte – MG

Endereço: Rua Guanabara, 491 – Concórdia. 31110-650 Belo Horizonte MG

E-mail: claretipereira@gmail.com.

**Marta Rocha dos Santos Gomes**

Dra. em Engenharia Metalúrgica e de Minas - UFMG

Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de  
MG - SEDECTES.

Prédio Gerais - Rodovia Prefeito Américo Renê Gianetti, 4001 - Serra Verde, Belo Horizonte MG

E-mail: marta.ribeiro.santos@gmail.com

**Ana Paula de Andrade Manfridini**

Professora Doutora em Metalurgia – UFMG.

Departamento de Engenharia Mecânica da Pontifícia

Universidade Católica de Minas Gerais - PUCMinas – Belo Horizonte - MG, Brasil.

Endereço: Av: Dom José Gaspar, 500 Coração Eucarístico - Belo Horizonte – MG Brasil

E-mail: anamanfridini@gmail.com

**RESUMO**

O minério limonítico de ouro é heterogêneo e, diante disso, a concentração de ouro e associação mineral variam conforme a localização. Estas variações impactam diretamente na recuperação metalúrgica e no custo de processamento mineral. Esse trabalho teve como objetivo contrastar dois procedimentos para avaliar consumo de cianeto e extração de ouro, contido em minério oxidado e limonítico da região norte do Brasil. A presença de oxihidróxidos de ferro (até 73%) revela a litologia limonítica da amostra. Para as amostras avaliadas, o ensaio de lixiviação dinâmica mostrou que 89,4% do ouro é cianetável quando apresenta granulometria menor que 0,074mm. Para esta condição o consumo de cianeto de sódio foi de 946gNaCN/tROM (ROM - Run of Mine - Minério Bruto). Nos ensaios cinéticos de lixiviação (ensaio em garrafão) foi utilizada granulometria menor que 6,35mm. O tempo adequado para a extração do ouro foi de 8h, consumo de cianeto de 624gNaCN/t ROM e a extração de ouro foi de 90,5%, praticamente igual ao valor obtido no ensaio dinâmico.

**Palavras-Chaves:** Ouro; Ensaios Exploratórios; Cianetação; Minério limonítico.

**ABSTRACT**

The gold limonite ore is heterogeneous, and the concentration of gold and mineral association vary depending on the location. These variations directly impact metallurgical recovery and the cost of

mineral processing. The objective of this work was to compose two procedures (exploratory assays) to evaluate cyanide consumption and gold extraction in oxidized and limonite ore from the northern region of Brazil. The presence of iron oxyhydroxides (up to 73%) reveals the limonite lithology of the sample. For the samples evaluated, the dynamic leaching assays showed that 89.4% of the gold is cyanideable when it has particle size less than 0.074mm. For this condition the consumption of sodium cyanide was 946 gNaCN / tROM (ROM - Run of Mine). In the leaching assays for reaction kinetics (bottle test), a grain size of less than 6.35mm was used and an adequate time was obtained for the extraction of the 8h gold, cyanide consumption of 624gNaCN / t ROM and the extraction of gold was of 90.5%, practically equal to the value obtained in the dynamic assays.

**Keywords:** Gold; Exploratory Assays; Cyanidation; Limonite ore.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Tenório et al. [1] os minérios limoníticos apresentam, na sua composição, metais como ferro, níquel, cobre, cobalto, ouro e outros, sendo o ferro o elemento majoritário. A fórmula geral para o ferro hidratado é  $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . A presença majoritária de ferro prejudica a separação dos demais metais que possuem interesse comercial.

O aproveitamento de um recurso mineral em seu verdadeiro potencial está intimamente relacionado ao conhecimento de suas particularidades. Ao entender quais são suas limitações, posteriormente realiza-se o dimensionamento correto de uma rota de processamento que gere melhor retorno econômico ao investimento.

A cianetação tem sido o principal processo de extração de ouro a partir de minérios, devido à alta solubilidade desse metal em soluções alcalinas, diluídas e aeradas de cianeto de sódio (NaCN) ou cianeto de potássio (KCN), Dorr [2] e Johnson [3]. Segundo Yasar [4] até o final da década de 1990, 90% dos métodos de lixiviação aplicados eram por cianetação. O cianeto tem a capacidade de complexar partículas de ouro e dissolvê-las na forma de ciano-complexos estáveis de ouro. Os minérios contendo ouro que não respondem satisfatoriamente à lixiviação direta (sem algum pré- tratamento) com cianeto são denominados refratários, Dunn et al. [5]. Eles podem ter em sua composição ouro livre (mas não acessível), ouro submicroscópico, sulfetos de metais básicos, pirita, pirrotita e material carbonáceo, Fraser et al [6]. No processo de cianetação, as cianicidas, que são sulfetos metálicos de outros metais presentes no minério, também podem ser dissolvidas pelo cianeto, inibindo a solubilidade do ouro e interferindo assim na eficiência de extração do metal. De acordo com Dai e Jeffrey [7] e La Brooy et al. [8] os minerais de cobre, óxidos, sulfetos ou cobre metálico podem consumir significativamente o cianeto disponível para a cianetação do ouro e da prata. A concentração de cobre pode atingir até 1000mg/L, diminuindo a extração de ouro e prata e aumentando os custos de operação, Hsu e Tran [9]. Minerais como azurita ( $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ), malaquita ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ), cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) e calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) exibem elevadas solubilidades em solução de cianeto, Habashi [10], Nguyen et al. [11].

Investigações realizadas por Muir [12] e Mendes [13] mostraram que o mecanismo de solubilização de cobre pelo cianeto difere do ouro e da prata. Na lixiviação de minerais de cobre não é necessária a presença de agentes oxidantes, o tempo necessário para dissolução das espécies minerais é consideravelmente menor e as concentrações de cianeto são relativamente mais altas. Quando sujeitos à cianetação, os minérios que contêm minerais de cobre solúveis dissolvem-se formando vários complexos de cianeto de cobre:  $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$ ,  $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$  e  $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$ . A concentração dessas espécies depende fortemente do pH e da razão entre a concentração de cianeto e de cobre em solução, Nguyen et al. [11].

O objetivo deste trabalho foi realizar ensaio de lixiviação dinâmico e ensaio cinético (ensaio exploratório) para avaliar consumo de cianeto e extração de ouro associado a minérios limoníticos contendo ouro.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

O minério utilizado neste estudo foi obtido a partir de amostras de testemunho de sondagem coletadas na região de Carajás - PA – Norte do Brasil. Foram usadas quatro amostras provenientes de quatro furos de sondagem distintos e identificadas como FS001-13, FS002-55, FS003-03 FS004-43, sendo que os dois últimos dígitos da identificação representam a profundidade, em metros, do testemunho de sondagem.

As amostras foram britadas em granulometria abaixo de 6,35mm, homogeneizadas e separadas em subamostras de 1kg para a realização de ensaios cinéticos de cianetação. Em seguida, as amostras foram novamente britadas abaixo de 1,0mm, homogeneizadas e quarteadas para a retirada de alíquotas de 100g destinadas às análises mineralógica e química. A fração remanescente foi moída abaixo de 0,075mm para os ensaios de lixiviação dinâmica. Os ensaios dinâmicos foram realizados em triplicata e os ensaios cinéticos em duplicata.

### 2.2. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA

Para a quantificação do ouro, as amostras foram inicialmente preparadas por teste de fusão e copelação segundo a metodologia NBR 10002:2011, com limite de detecção de 0,005ppm de ouro. O ouro em solução foi analisado por Espectroscopia de Absorção Atômica (EAA) e os outros elementos de interesse por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma - ICP OES (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado Leitura direta). Para a análise por ICP/OES a preparação da amostra seguiu os procedimentos abaixo:

- ✓ Fusão por metaborato de lítio: a fusão envolve a dissolução completa da amostra em fluxo fundido. A amostra é retirada da mufla e transferida para o bécquer de teflon, contendo 100g de solução de nítrico 10% (v/v) com agitação. Dissolvida toda a amostra (cerca de 20 minutos), transferir para o tubo de polipropileno.
- ✓ ICP OES: O equipamento utilizado neste trabalho foi o ICP/OES modelo Perkin Elmer Optima 7300DV.

Na caracterização mineralógica, para cada amostra foi confeccionada uma seção polida para análise por QEMSCAN (Quantitative Evaluation of Minerals by SCANning Electron Microscopy) e por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Foi utilizado o sistema QEMSCAN 650, equipado com dois espectrômetros EDS (Energy Dispersive X-ray Detector, EDX ou EDS) Bruker SDD (Silicon Drift Detector) 5030, operando a 25kV e 10nA, usando a condição padrão para as medidas, em calibração de sinal de elétrons retroespalhados (BSE - Back-scattered Electron Detector) através de padrões internos de quartzo e cobre metálico. As análises por EDS dão suporte para avaliação de fases presentes na caracterização mineralógica.

O carbono inorgânico se refere ao carbono contido nos carbonatos. A amostra é acidificada com uma pequena quantidade de ácido clorídrico e todos os carbonatos são convertidos em CO<sub>2</sub>, que é detectado no detector de infravermelho não dispersivo (NDIR).

### 2.3. ENSAIO DINÂMICO DE LIXIVIAÇÃO

Para que não ocorra uma brusca queda de pH no início da dosagem de cianeto, evitando assim acidentes por emanção de HCN, o pH da polpa foi corrigido para 10,5 com adição de hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) (pré-lime). Esse valor de pH foi mantido, por no mínimo 15 minutos, sob agitação, garantindo que todos os consumidores de OH<sup>-</sup> fossem estabilizados e não proporcionasse quedas de pH Azizi [14], Anaya et al. [15], Habashi [10]. Os ensaios de cianetação em cianeto de sódio (NaCN) foram realizados em béqueres de 4L, em triplicata, com agitação mecânica da polpa, borbulhamento de ar e em temperatura ambiente. A granulometria escolhida (<0,075mm) foi em função da agitação mecânica.

As condições experimentais utilizadas no ensaio dinâmico de lixiviação são apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1: Condições experimentais dos ensaios: dinâmico e cinético de lixiviação (após o pré-lime).

Parâmetro	Ensaio de Lixiviação	
	Dinâmico	Cinética
% sólidos	45 (m/m)	45 (m/m)
Granulometria	< 0,075 mm	< 6,35 mm
pH	10,3	10,3
Concentração inicial NaCN	500 mg/L	500 mg/L
Duração	24 horas	96 horas

Após o pré-lime o pH é ajustado, com cal hidratada, em 10,3. Esse valor de pH representa ponto de maior cinética de complexação de ouro, de acordo com estudos experimentais, Ciminelli e Gomes [16] e Souza e Lins [17].

Foram retiradas amostras nos tempos de lixiviação referentes à 2h, 4h, 6h, 8h e 24h (somente para correção de cianeto). De acordo com Ellis e Senanayake [18] a concentração de NaCN foi ajustada em 250mg/L nos tempos de amostragem, quando necessário. Ao final do ensaio, foi realizada a separação sólido/líquido por filtração a vácuo e as alíquotas do resíduo e do licor resultantes foram coletadas e enviadas para análises químicas.

#### 2.4. ENSAIOS CINÉTICOS

As alíquotas de 1kg de minério separadas previamente foram secas em temperatura em torno de 50°C até massa constante, foram transferidas para um garrafão de 5L e realizado o condicionamento quanto ao pH para garantir que região de predominância dos complexos de ouro/cianeto e evitar geração de HCN na forma de gás (pré-lime), da mesma forma que no ensaio dinâmico de lixiviação. As condições experimentais usadas no ensaio cinético estão apresentadas na Tabela 1.

Os ensaios cinéticos foram realizados com agitação contínua e em temperatura ambiente. As amostragens foram realizadas nos tempos de 2h, 4h, 6h, 8h, 24h, 48h, 72h e 96h (correção de cianeto e ouro solúvel). A correção na concentração de cianeto em 250g/L foi realizada a cada amostragem. Análises químicas de cianeto para cálculo de consumo e de ouro para cálculo da quantidade extraída foram realizadas a cada amostragem.

O ensaio cinético representa condições industriais de operação. Em função disto é executado em granulometria maior, pois, avalia, também, a possibilidade de aplicar lixiviação em pilha.

#### 2.5. REAGENTES

Foi utilizado reagente grau analítico: cianeto de sódio 95% (Sigma-Aldrich) para o ensaio de lixiviação; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98% (F. Maia), HCl 37% (Synth), HNO<sub>3</sub> 70% (Química Moderna), cianeto de metila (Synth) para as análises químicas; cal virgem (Vetec) para a etapa de pré-lime e lixiviação; hipoclorito de sódio 4% a 6% (Synth) para a destruição de cianeto residual no efluente.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA

Os principais minerais presentes no minério avaliado estão mostrados na Tabela 4. Para as amostras FS001-13, FS003-03 e FS004-43 os teores de oxihidróxido de ferro foram elevados (63% a 77%) mostrando tratar-se de minério predominantemente limonítico, enquanto que a amostra FS002 com 14% de oxihidróxido de ferro, 52% de quartzo e 12% de granada (fórmula geral  $a_3b_2(\text{SiO}_4)_3$ , “a” metais bivalentes e “b” metais trivalentes) é um minério mais silicatado. A diferença na composição mineralógica da amostra FS002-55 em relação às amostras FS001-13, FS003-03 e FS004-43 podem ser explicadas em função da profundidade na qual essas amostras foram retiradas, ou seja, diferentes valores do perfil do furo de sondagem. Amostras mais intemperizadas. Os óxidos de manganês chegam a 4% na amostra FS002, podendo ter cobre associado a estes óxidos, Guimarães [19]. As amostras FS003-03 e FS004-43 possuem biotita [ $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$ ] variando de 1% a 5%, que pode ser um indicador de maior consumo de cianeto devido a cobre, geralmente, associado a este mineral. Os minerais presentes nas amostras comprovam a natureza laterítica do minério, sem presença de sulfetos.

Tabela 2: Principais constituintes minerais das amostras (%)

Amostra	FS001-13	FS002-55	FS003-03	FS004-43
Quartzo	5,7	52,0	1,3	18,7
Clorita	3,2	9,3	4,2	1,6
Biotita	0,0	0,1	5,2	1,0
Granada	4,0	12,3	10,2	6,4
Caulinita	9,3	3,3	5,1	8,0
Óxidos de Mn	0,1	4,0	0,1	0,0
Óxi-hidróxidos de Fe	76,8	14,2	71,8	63,2
Outros minerais	0,9	4,9	2,1	1,1

A análise química das quatro amostras estudadas está apresentada na Tabela 3. Observa-se que os teores de cobre (Cu) variaram entre 0,07% e 0,30%. Além disso, os teores de silício (Si) se apresentaram entre 6% e 30%; a concentração de ferro (Fe) variou entre aproximadamente 13% e 48%; a do alumínio (Al) ficou entre 3% e 5%; e os teores de manganês (Mn) variaram de 0,1% a 2,2%.

Os teores de ouro (Au) estão entre 1,2ppm e 1,9ppm. Já os níveis de enxofre obtidos (0,02%), são considerados muito baixos e representam o limite de detecção do equipamento de análise. O baixo teor de enxofre nas amostras avaliadas comprova a natureza oxidada do minério. Os teores de Fe de 37,1% a 48,2% das amostras FS001-13, FS003-03 e FS004-43 confirmam a natureza limonítica destas amostras e corroboram com os resultados da análise mineralógica. A presença de carbono (C) nas amostras FS001-13 e FS002-55 indica a existência de carbonatos nessas amostras, o que pode sugerir que haja ouro refratário nas mesmas. A amostra FS002-55 apresentou a maior concentração de cobre, comprovando a associação deste metal com manganês, Mendes [13] e Guimarães, 2007 [19].

Tabela 3: Composição química das amostras em % (m/m)

Amostra	Si	Al	Fe	K	Na	Mn	P	PF	C	Cu	S <sup>2-</sup>	Au (ppm)
FS001-13	13,6	5,1	37,1	0,04	0,03	0,1	0,09	6,7	0,23	0,10	0,02	1,6
FS002-55	29,6	4,2	13,3	0,04	0,12	2,2	0,08	7,1	0,34	0,30	0,02	1,9
FS003-03	5,5	4,6	48,2	0,22	0,03	0,3	0,07	5,1	0,06	0,07	0,02	1,7
FS004-43	10,6	3,0	47,2	0,52	0,03	0,2	0,07	3,3	0,06	0,02	0,02	1,2

A Figura 1 apresenta imagens de texturas e associações minerais comuns nas amostras FS001-13, FS002-55, FS003-03 e FS004-43. Os óxidos de manganês, geralmente, ocorrem preenchendo fraturas e outras descontinuidades da rocha, enquanto a biotita forma agregados e palhetas, associada aos oxihidróxido de ferro e cobre que ocorriam nos contatos e ao longo de fraturas e planos de clivagem.

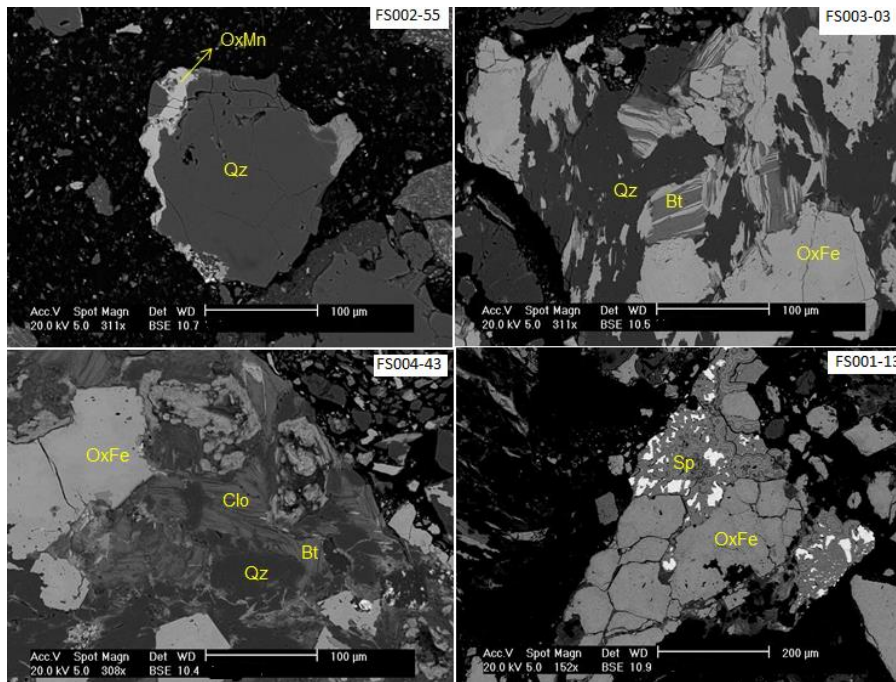


Figura 1: Imagens de elétrons retroespalhados obtidas por MEV mostrando texturas e associações minerais mais comuns nessas amostras. Óxidos de Mn (OxMn) e Quartzo (Qz) na amostra FS002-55; palhetas biotita (Bt) associada aos oxihidróxido de ferro (OxFe) na amostra FS003-03; (Sp) espertinita ( $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ) e OxFe na amostra FS001-13; Clorita (Clo), Bt, Qz e OxFe na amostra FS004-43.

### 1.1. ENSAIO DINÂMICO DE LIXIVIAÇÃO POR 24H

Os resultados referentes aos ensaios de cianetação realizados por 24h encontram-se na Tabela 4. Observam-se diferenças não muito acentuadas dos valores de extração de Au das amostras ensaiadas, apresentando um valor médio de 89%. De acordo com La Brooy et al [8] pode-se considerar, pelo valor médio da extração, que as amostras avaliadas não são classificadas como refratário (*free milling*). As amostras FS001-13 e FS003-03 apresentaram valores de extração de Au menores (85% e 88%) em relação às amostras FS002-55 e FS004-43, o que pode indicar que o ouro está associado a carbonatos, uma vez que essas amostras apresentaram teor de carbono inorgânico de 0,23% e 0,34% respectivamente, como mostrado na Tabela 3, Afenya [20]. O mesmo pode ser dito acerca do consumo de NaCN, cujo valor médio foi de 946gNaCN/tROM que é considerado de moderado a alto, Dominic [21]. Isto pode ser minimizado por eliminação prévia de cobre, que é um consumidor de cianeto, Dai et al [22], Muir [12] e Mendes [13].

Tabela 4: Extração de ouro e consumo de cianeto para ensaio de cianetação de 24 horas.



Amostra	Au Inicial (ppm)	Au Após CN (ppm)	Extração (%)
FS001-13	1,6	0,24	85,0
FS002-55	1,9	0,22	88,4
FS003-03	1,7	0,17	90,0
FS004-43	1,2	0,07	94,2
Média Extração			89,4

Esta primeira metodologia de avaliação (ensaio dinâmico de lixiviação por 24h), fornece valor de consumo de cianeto, extração de ouro e refratariedade do minério, mas não define melhor tempo de processamento. A fim de melhorar o tempo de processamento e consumo de cianeto aprimorado, aplica-se a segunda metodologia de avaliação que são os ensaios cinéticos.

## 1.2. ENSAIOS CINÉTICOS

A Tabela 5, Figura 2 e Figura 3 mostram os resultados de extração de ouro e de consumo de cianeto em função do tempo de processamento. Para 8h de cianetação, a extração de ouro variou de 89% a 91%, sendo que em média a extração foi de 90%. Os consumos de cianeto no tempo de 8h, para três das amostras estudadas (FS001-13, FS003-03 e FS004-43) ficaram próximos a 500gNaCN/t ROM, valor considerado economicamente viável na extração do ouro, Habashi [10]. Para o mesmo tempo de cianetação, a amostra FS002 apresentou um consumo de 981gNaCN/t ROM, o que pode ser justificado pelo maior teor de cobre (0,30%) presente nessa amostra em relação às demais, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 5: Ensaios cinéticos para ouro oxidado: consumo de cianeto (gNaCN/tROM) e extração hidrometalúrgica - % (m/m).

Tempo (h)		2	4	6	8	24	48	72	96
FS001-13	gNaCN/tROM	362	381	495	<b>605</b>	930	990	1.139	1.309
	Extração (%)	69,0	77,1	87,6	<b>89,6</b>	89,6	96,2	97,3	97,3
FS002-55	gNaCN/tROM	820	832	932	<b>981</b>	1.180	1.482	1.692	2.011
	Extração (%)	41,6	66,6	84,5	<b>91,2</b>	91,2	95,1	95,1	95,9
FS003-03	gNaCN/tROM	440	501	476	<b>499</b>	831	1.478	1.502	1.506
	Extração (%)	55,6	76,9	89,5	<b>91,5</b>	91,8	91,8	94,3	94,3
FS004-43	gNaCN/tROM	389	412	512	<b>511</b>	843	1.161	1.391	1.530
	Extração (%)	69,7	69,8	78,9	<b>89,9</b>	91,2	92,7	96,2	96,2
Média	gNaCN/tROM	503	532	604	<b>649</b>	946	1.278	1.431	1.589
	Extração (%)	59,0	72,6	85,1	<b>90,5</b>	91,0	94,0	95,7	95,9

A Figura 2 ilustra a uniformidade de extração do ouro para as quatro amostras avaliadas, tendo pequena diferença na cinética inicial a amostra FS002-55, provavelmente devido ao maior teor de manganês.

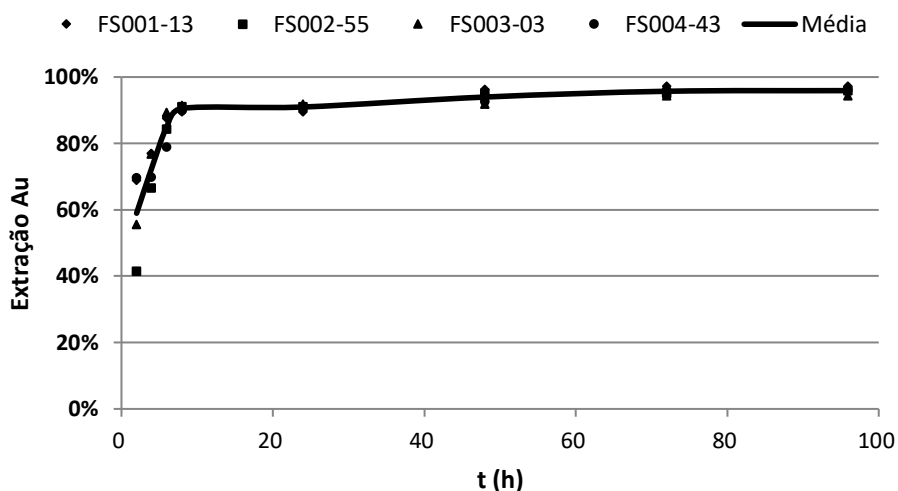


Figura 2: Extração de Au x t para ensaio cinético.

Quanto ao consumo de cianeto em função do tempo de cianetação (Figura 3), os resultados mostram maior dispersão indicando forte influência das impurezas consumidoras de cianeto, principalmente o cobre.

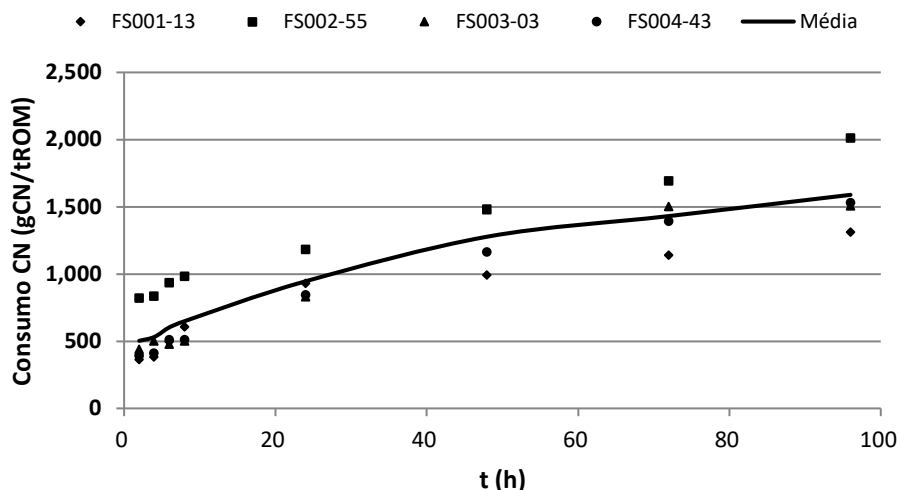


Figura 3: Consumo de NaCN x t para ensaio cinético.

#### 4 CONCLUSÕES

A caracterização química e mineralógica indicou que das quatro amostras ensaiadas três eram lateritas limoníticas e uma era laterita silicatada. Esta diferença entre as amostras não impactou na extração de ouro do minério e nem na cinética de extração. O ouro contido nas amostras analisadas do minério oxidado foi, em sua maior parte, cianetável, ou seja, liberado para complexação pelo cianeto.

Os ensaios cinéticos e ensaios dinâmicos mostraram que 90% do ouro são extraídos em 8h de lixiviação com consumo de cianeto de 650gNaCN/tROM. Este consumo de cianeto viabiliza aplicações comerciais de extração hidrometalúrgica de ouro que pode ser em pilha ou tanques.

As amostras FS001-13 e FS002-55 apresentaram maior consumo de cianeto (605 e 981gNaCN/tROM), coincidindo com valores mais elevados de cobre (0,10% e 0,30%), que pode ser o responsável por este consumo excedente. Tal consumo excedente pode ser contornado aplicando limpeza prévia com a finalidade de dissolver os elementos cianicidas, principalmente o cobre.

Portanto, a mineralogia não afetou a extração do ouro, mas as impurezas afetaram o consumo de cianeto. A aplicação das duas metodologias (Ensaio dinâmico de lixiviação por 24h e Ensaio Cinéticos) caracterizou o minério quanto à refratariedade, melhorou o consumo de cianeto, atingiu extração econômica e tempo de processamento. Estas informações iniciais alimentam estudos de viabilidade, norteando os projetos de pesquisa mineral.

#### REFERÊNCIAS

Tenório JAS, Aliprandini P, Correa MMJ, Espinosa DCR. Remoção de ferro da solução sintética de minério limonítico de níquel utilizando extração por solventes. Proceedings 46º Seminário de Redução/ 17º Minério de Ferro/ 4º Aglomeração; 2016; Rio de Janeiro, Brasil. Rio de Janeiro: ABM; 2016. v.46.

Dorr JVN. Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores. New York: Mc Graw Hill, 1936.

Johnson CA. The fate of cyanide in leach wastes at gold mines: An environmental perspective. Applied Geochemistry. 2014, v.57, p.194-205.

Yarar B. Cyanides in the environment and their long-term fate. In: Unal, E., Unver, B., Tercan, E. (Eds.), Proceedings of the Seventeenth International Mining Congress and Exhibition of Turkey. Ankara: Kozan Ofset Malbaacilik San Vetic Ltd., 2001. p.85–92.

Dunn JD, Graham J, Linge HG. The treatment of refractory gold ore. Chemistry in Australia. 1989; p.401-404.

Fraser KS, Walton RH, Wells JA. Processing of Refractory Gold Ores. Minerals Engineering. 1991; v.4, n.7-1 I, p.1029-1041.

Dai X, Jeffrey, MI. The effect of sulfide minerals on the leaching of gold in aerated cyanide solutions. Hydrometallurgy. 2006; v.82, n.3-4: 118–125.

La Brooy SR, Linge HG, Walker GS. Review of gold extraction from ores. Minerals Engineering. 1994, v.7, n.10, p.1213-1241.

Hsu YJ, Tran T. Selective Removal of Gold from Copper-Gold Cyanide Liquors By Cementation Using Zinc. Minerals Engineering. 1996; v.9, n.1, p.1-13.

Habashi F. Kinetics and mechanism of gold and silver dissolution in cyanide solution. Montana: Montana Bureau of Mines and Geology, 1967. Bulletin 59.

Nguyen HH, Tran T, Wong PLM. Copper interaction during the dissolution of gold. Minerals Engineering. 1997; v.10, n.5, p.491-505.

Muir DM. A review of the selective leaching of gold from oxidized copper–gold ores with ammonia–cyanide and new insights for plant control and operation. Minerals Engineering. 2011; v.24, n.6, p.576–582.

Mendes FD. Tratamento do Minério de Ouro-Cobre de Igarapé Bahia através de Lixiviação Sulfúrica seguida de Cianetação. Dissertação: Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais –

área de concentração em tecnologia Mineral. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 1999,161p.

Azizi A. Gold cyanidation revisited–Kinetic & electrochemical studies of gold–Sulfidic ore mixed/multilayer fixed beds. Tese de doutoramento. Québec: Laval University, 2011.

Anaya JAG, Nava-Alonso F, Pecina-Treviño ET. Ultrafine grinding as pretreatment before cyanidation of refractory gold ores. In Pech-Canul MI, Cruz, ALL, Angeles JCR, Carlos A. Gutiérrez editors; 2012. Recent developments in metallurgy, materials and environment, capítulo 3.

Ciminelli VST, Gomes AD. Princípios da cianetação. Rio de Janeiro: CETEM; 2002. Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente; p.51-86.

Souza VP, Lins FAF. Recuperação do ouro por amalgamação e cianetação: problemas ambientais e possíveis alternativas. Tecnologia Mineral CETEM.1989, n.44.

Ellis S, Senanayake G. The Effects of Dissolved Oxygen and Cyanide Dosage on Gold Extraction from a Pyrrhotite-Rich Ore. Hydrometallurgy. 2004; v.72, n.1-2, p.39-50.

Guimarães SB. Petrologia e Metalogenia do Depósito de Cobre de Bom Jardim de Goiás. Dissertação de Mestrado. Brasília: Universidade de Brasília. Instituto de Geociências; 2007. 160p.

Afenya, PM. Treatment of carbonaceous refractory gold ores. Minerals Engineering. 1991; v.4, n.7-11: p.1043-1055.

Dominic EM. Hidrometalurgia: Fundamentos, procesos y aplicaciones. Santiago do Chile: Adros Impressores Ltda, 2001.

Dai X, Simons A, Breuer P. A review of copper cyanide recovery technologies for the cyanidation of copper containing gold ores. Minerals Engineering. 2012; v.25, n.1: p.1–13.