

# Testes complementares

## Simulação de 4 processos de cianetação

Junho/09

Rodolfo Sousa

Marcello Veiga

### Conteúdo

1	Introdução.....	1
2	Método / Testes realizados .....	2
2.1	Preparação do moinho.....	2
2.2	Preparação da capsula de carvão ativado .....	2
2.3	Controle de pH e Concentração de CN .....	3
2.4	Au em solução.....	3
2.5	Au no carvão .....	3
2.6	Perda de carvão .....	3
2.7	Au no rejeito da cianetação .....	3
3	Resultados e conclusões sobre os Testes 1 ao 4.....	3

### Figuras

Figura 1	– Recuperação de ouro no Teste 1.....	4
Figura 2	– Recuperação de ouro no Teste 2.....	5
Figura 3	– Recuperação de ouro no Teste 3.....	7
Figura 4	– Recuperação de ouro no Teste 4.....	8

### Tabelas

Tabela 1	- Resultados do Teste 1 (Gekko: concentrado sem moagem, 20g/L NaCN, 24h).....	3
Tabela 2	- Resultados do Teste 2 (Gekko: idem Teste 1, com moagem prévia, CN por 24h) .....	5
Tabela 3	- Resultados do Teste 3 (usou-se 1g/L NaCN, 72h, sem moagem do concentrado).....	6
Tabela 4	- Resultados do Teste 4 (Ouro Roxo: Head sample, sem moagem, 1g/L NaCN, 72h)....	8
Tabela 5	– Resumo geral das recuperações de ouro (%) conforme o teste e o critério .....	9

## 1 Introdução

Dando continuidade aos testes com material (concentrados da icon) da MOR (Mineração Ouro Roxo), o objetivo destes testes é verificar a recuperação de ouro comparando-se 4 métodos distintos, conforme a seguir relacionados.

## 2 Método / Testes realizados

Os testes foram executados no laboratório de processamento mineral da UBC – University of British Columbia, em Vancouver, com amostras de concentrados trazidos ao Canada pelo Edson Sanzone (Tuca) em Maio/09 e head sample (feed) do material de baixão trazido por Rodolfo em Março/09.

**Teste 1:** Simulando processo da Gekko, sem moagem. Cianetação de concentrado sem moagem, cianetação intensiva (20g/L NaCN), uso de  $H_2O_2$  e processo em 24h. Moinho sem bolas, coleta de solução a cada 12h e introdução da capsula de carvão somente após 24h, com coleta de amostra de carvão após 3h (ou seja, 27h ao todo). Este teste visa a análise do efeito da cianetação intensiva ainda que o ouro não esteja totalmente liberado (sem moagem).

**Teste 2:** Simulando processo Gekko, mas com moagem. Idem ao Teste 1 (24h), porém com material moído por 2 horas previamente. Visa testar o efeito da cianetação intensiva se o ouro estiver liberado.

**Teste 3:** Usando a cianetação convencional de concentrado, com baixa concentração de NaCN. Ou seja, sem moagem, sem  $H_2O_2$ , usando-se 1g/L NaCN por 72h. Neste caso a dosagem de NaCN é baixa, porém trata-se de um teste agitado, com tempo de lixiviação é de 72h.

**Teste 4:** Utilizando-se material não concentrado (tal qual se faz no processo de Vat-leaching da MOR – Mineração Ouro Roxo), ou seja, cianetação do feed (head sample), sem moagem, na dosagem 1g/L de de NaCN, sem  $H_2O_2$ . O objetivo é fazer algo mais próximo do processo da MOR, contudo com agitação para acelerar o processo, assumindo-se o tempo máximo de 72h.

### 2.1 Preparação do moinho

Nos testes com concentrado a solução foi preparada com 30% de concentrado, adicionando-se 1750ml de água numa amostra de 750,0g;

A [CN] inicial foi de 20g/L água;

Retirou-se 2 amostras de 30g cada para Fire Assay antes da cianetação.

Usou-se a amostra de concentrado de 20 minutos deixada pelo Edson Sanzone (Tuca), de 4333g (seca ao ar). Para o teste do GoldFish (equipamento em teste pelo Dave para separação de ouro grosso por gravimetria) foram retirados 1000g, restando 4 amostras de 750,0g para cada um dos 4 testes mencionados.

### 2.2 Preparação da capsula de carvão ativado

Utilizou-se carvão de casca de coco com granulometria 6 a 12 mesh. O carvão foi peneirado e lavado para retirada de pó e partículas finas (abaixo da malha do tecido que contém o carvão na capsula), e posteriormente seco em estufa, mantido em equilíbrio com a umidade do ambiente, e finalmente pesado. Usou-se 100,0g de carvão na capsula, firmemente compactada e fechada.

### 2.3 Controle de pH e Concentração de CN

O pH natural da água utilizada foi de 6,0 e do concentrado de 6,5. Obteve-se pH 11,0 após a adição de 22,0g cal/kg concentrado, testando-se adição gradual de cal. A [CN] foi controlada por titulação das amostras com  $\text{AgNO}_3$ .

### 2.4 Au em solução

Coletou amostras da solução a cada 12h assumindo-se que o Au em solução estaria disponível para o carvão caso houvesse a capsula de carvão no processo. Sabe-se pelos testes anteriores que o ouro não fica em solução quando carvão está presente. Havendo carvão no processo a concentração de ouro em solução é sempre mínima, pois a adsorção ocorre tão logo o ouro é lixiviado.

### 2.5 Au no carvão

Esta recuperação é estimada baseando-se no teor original do material de entrada e dos rejeitos finais, mas pode ser também estimada pela diferença entre teores do carvão e do rejeito final.

### 2.6 Perda de carvão

Para evitar perda de carvão devido ao atrito, conforme observado em testes anteriores, a capsula de carvão foi inserida somente ao final do processo de moagem e lixiviação, ficando pouco tempo sujeita ao atrito, mas suficiente para adsorção do ouro em solução.

### 2.7 Au no rejeito da cianetação

Alternativamente, a recuperação pode também ser calculada pelo ouro em solução antes da introdução da capsula e após a introdução da mesma.

## 3 Resultados e conclusões sobre os Testes 1 ao 4

### Teste 1:

O teor do concentrado antes do teste foi **15,60g/t** (resultado de Fire Assay de 28/Maio/2009) e o teor do rejeito final após cianetacao em 24h (+3h após introdução da capsula de carvão) foi de **1,75g/t**.

Tabela 1 - Resultados do Teste 1 (Gekko: concentrado sem moagem, 20g/L NaCN, 24h)

Tempo	pH	Titulante	[CN]	Au em solução	Recuperação Au		Au no carvão	Obs
					base solução			
h		ml	g/L	mg/L	g Au	g/t	g/t	
0:00	12							+100ml $\text{H}_2\text{O}_2$ (3%)
3:00	12	18	8.18	3.79	0.006623	56.68		+15g + 20g NaCN
20:00	12	35	15.91	5.57	0.009747	83.30		
24:00	11	33	15.00	5.62	0.008907	84.06		+ charcoal
27:00	11	32	14.54	0.24			89.07	

Nota: Iniciado com 15g CN (20g/Kg) e corrigido para 35g total, o que equivale a 20g/L.

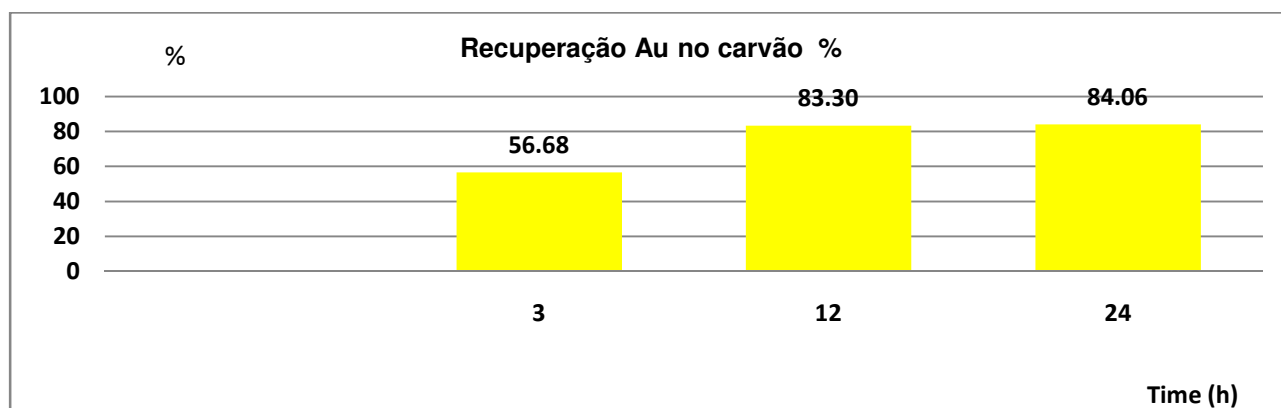


Figura 1 – Recuperação de ouro no Teste 1

### Recuperação de ouro calculada por diferentes critérios:

#### ***Critério 1: com base no ouro disponível em solução***

Au na amostra antes da CN:  $750\text{g} * 15,60\text{g/t}$  (teor do concentrado) = 0,011700g

Recuperação:  $5,62\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,009835\text{g} = \mathbf{84,06\%}$

Em todos os testes realizados (Testes 1 ao 4) optou-se pelo critério 1 para fins de comparação de todos os processos, por ser este o critério menos influenciado por outras fontes de variação, conforme mencionado a seguir.

#### ***Critério 2: com base na diferença entre teores de entrada (concentrado) e de saída (rejeito)***

Au na amostra antes da CN:  $750\text{g} * 15,60\text{g/t} = 0,011700\text{g}$

Au no rejeito após CN:  $750\text{g} * 1,75\text{g/t} = 0,001312\text{g} \Rightarrow \text{Recuperação} = \mathbf{88,78\%}$

Teoricamente, o Au que entrou (concentrado) e não aparece no rejeito deveria estar no carvão e uma parte na solução. Em geral este é o melhor critério para qualquer teste, mas no caso em particular, sendo muito pequena a amostra, optou-se pelo critério 1 apenas para evitar os desvios do fire assay.

#### ***Critério 3: com base na diferença entre os teores da solução antes e após capsula de carvão***

Au em solução antes da capsula de carvão:  $5,62\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,009835\text{g}$

Au em solução após introdução do carvão:  $0,24\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,000420\text{g}$

Recuperação =  $\mathbf{95,73\%}$

Embora o critério seja válido, optou-se pelo critério 1 porque a comparação é feita diretamente com o teor da entrada (concentrado), e este será o comparativo para os demais testes.

#### ***Critério 4: com base no ouro analisado no carvão ao final do processo***

Utilizou-se 100g de carvão:  $100\text{g} * 89,07\text{g/t}$  (teor) = 0,008907g na amostra =  $\mathbf{76,12\%}$

Embora seja este o teor de fato observado no carvão, o problema é que quando a amostra é muito pequena (apenas 100g no caso), a quantidade de ouro é tão irrisória que a fração retida na malha do tecido que envolve o carvão passa a ser significativo e afeta o resultado. Fosse grande a amostra isto passaria a ser desprezível, e este certamente passaria a ser o melhor critério.

É importante salientar, entretanto, que qualquer que seja o critério empregado, a comparação entre os testes 1 a 4 continua válida, desde que se adote o mesmo critério comparativo em todos os casos.

## Teste 2:

Idem ao teste 1, simulando o processo Gekko, mas neste caso procedeu-se a moagem do material.

Tabela 2 - Resultados do Teste 2 (Gekko: idem Teste 1, com moagem prévia, CN por 24h)

Tempo h	pH	Titulante ml	[CN] g/L	Au em solução mg/L	Recuperação Au base solução		Au no carvão g/t	Obs
					g Au	%		
0:00								16g lime
3:00	11							
12:00	11	32	14.54	6.47	0.011322	96.77		
24:00	11	27	12.27	6.55	0.011462	<b>97.97</b>		+100g charcoal
27:00	11	23	10.45	0.17			86.27	

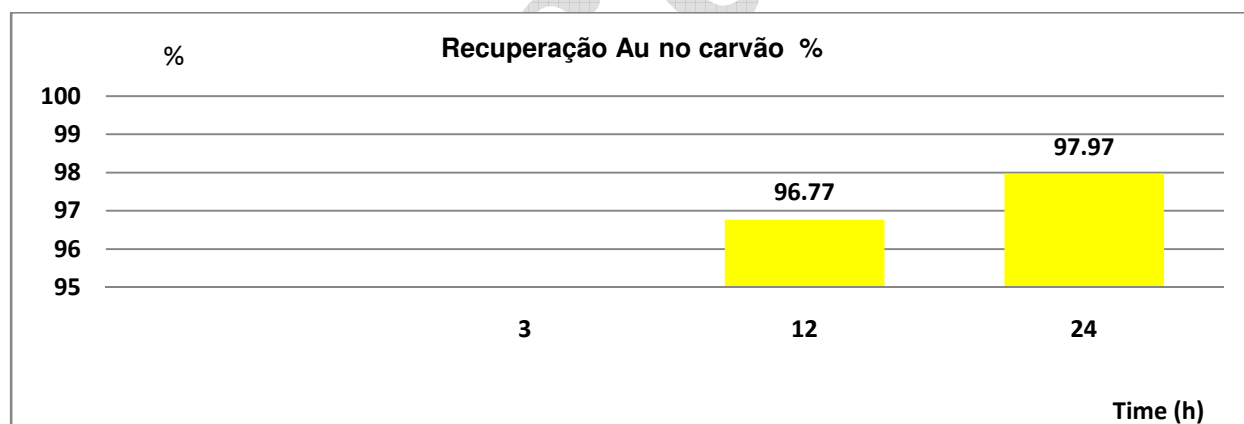


Figura 2 – Recuperação de ouro no Teste 2

## Recuperação de ouro calculada por diferentes critérios:

### *Critério 1: com base no ouro disponível em solução*

Au na amostra antes da CN:  $750\text{g} * 15,60\text{g/t}$  (teor do concentrado) = 0,011700g

Recuperação:  $6,55\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,011462\text{g} = 97,97\%$

### *Critério 2: com base na diferença entre teores de entrada (conc) e de saída (rejeito)*

Au na amostra antes da CN:  $750\text{g} * 15,60\text{g/t} = 0,011700\text{g}$

Au no rejeito após CN:  $750\text{g} * 0,47\text{g/t} = 0,000352\text{g} \Rightarrow$  Recuperação = **96,99%**

### *Critério 3: com base na diferença entre os teores da solução antes e após capsula de carvão*

Au em solução antes da capsula de carvão:  $5,55\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,011462\text{g}$

Au em solução após introdução do carvão:  $0,17\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,000297\text{g}$

Recuperação = **97,40%**

### *Critério 4: com base no ouro analisado no carvão ao final do processo*

Utilizou-se 100g de carvão:  $100\text{g} * 86,27\text{g/t}$  (teor) = 0,008627g na amostra = **73,73%**

**Importante observar que às 12h a recuperação já era satisfatória (96.77%) e praticamente se estabilizou após este tempo. Infelizmente não se coletou amostras anteriores às 12 h iniciais, mas aparentemente a cianetação foi muito rápida, indicando que neste caso já se teria um bom resultado bem antes das 12h. Ou seja, a moagem e a alta [CN] fazem muita diferença na eficiência do processo. Como havia H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tanto no Teste 1 como no Teste 2, aparentemente a diferença da recuperação se deveu mais à moagem que à água oxigenada.**

## Teste 3:

Neste caso retomou-se a baixa [CN] e monitorou-se o teste até 72h, sem moagem do concentrado.

Tabela 3 - Resultados do Teste 3 (usou-se 1g/L NaCN, 72h, sem moagem do concentrado)

Tempo	pH	Titulante	[CN]	Au em solução	Recuperação Au base solução		Au no carvão	Obs
					g Au	%		
h		ml	g/L	mg/L			g/t	
0:00								
12:00	12	2.9	1.32	5.51	0.009642	82.41		
24:00	11	2.9	1.32	5.70	0.009975	85.25		
36:00	12	2.6	1.18	5.78	0.010115	86.45		
48:00	12	2.2	1.00	5.86	0.010255	87.65		
60:00	11	2.2	1.00	5.76	0.010080	86.15		
72:00	11	2.2	1.00	5.66	0.009905	84.66		
75:00	11	2.2	1.00	0.80			90.00	

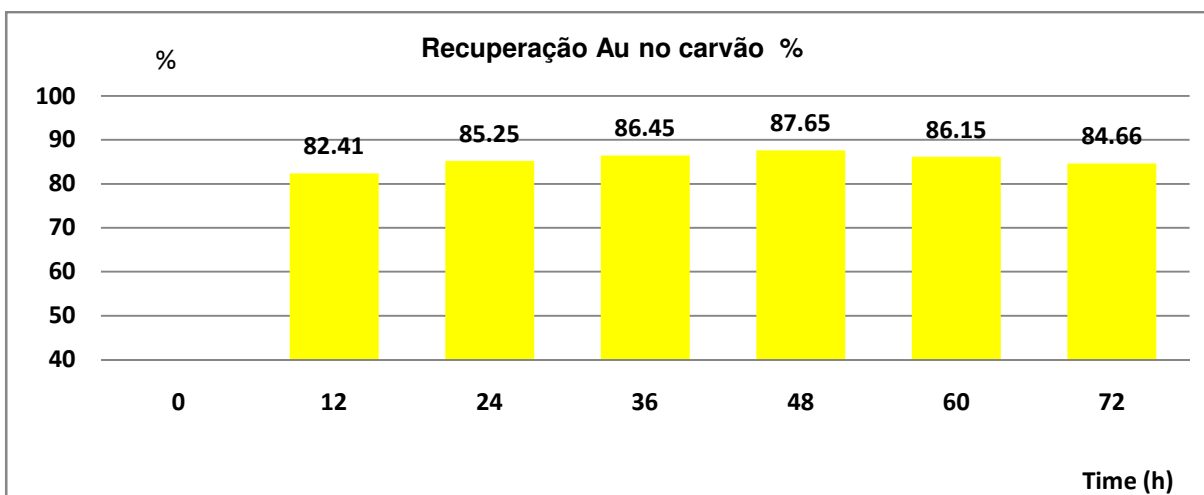


Figura 3 – Recuperação de ouro no Teste 3

#### Recuperação de ouro calculada por diferentes critérios:

##### *Critério 1: com base no ouro disponível em solução*

Au na amostra antes da CN:  $750\text{g} * 15,60\text{g/t}$  (teor do concentrado) = 0,011700g  
 Recuperação:  $5,66\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,009905\text{g} = \mathbf{84,66\%}$

##### *Critério 2: com base na diferença entre teores de entrada (conc) e de saída (rejeito)*

Au na amostra antes da CN:  $750\text{g} * 15,60\text{g/t} = 0,011700\text{g}$   
 Au no rejeito após CN:  $750\text{g} * 2,58\text{g/t} = 0,001935\text{g} \Rightarrow \text{Recuperação} = \mathbf{83,46\%}$

##### *Critério 3: com base na diferença entre os teores da solução antes e após capsula de carvão*

Au em solução antes da capsula de carvão:  $5,66\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,009905\text{g}$   
 Au em solução após introdução do carvão:  $0,80\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,001400\text{g}$   
 Recuperação =  $\mathbf{85,86\%}$

##### *Critério 4: com base no ouro analisado no carvão ao final do processo*

Utilizou-se 100g de carvão:  $100\text{g} * 90,00\text{g/t}$  (teor) = 0,009000g na amostra =  $\mathbf{76,92\%}$

**Importante observar que mesmo com uma baixa [CN], contrariamente ao esperado, a lixiviação ocorreu rapidamente, já nas primeiras horas. A explicação mais provável neste caso é que o ouro desta amostra fosse mais fino. Isto nem sempre ocorre, portanto por segurança, seria mais indicado iniciar o processo tal qual se fez no Teste 2 (moagem + alta [CN]), pois este é um cenário de menor risco.**

## Teste 4:

Neste caso não se trabalhou com concentrado, mas com amostra de alimentação convencional (head sample) sem moagem, tal qual o material é utilizado nos tanques de Vat-leaching do Ouro Roxo, inclusive na mesma [CN].

Tabela 4 - Resultados do Teste 4 (Ouro Roxo: Head sample, sem moagem, 1g/L NaCN, 72h)

Tempo	pH	Titulante	[CN]	Au em solução	Recuperação Au base solução		Au no carvão	Obs
					g Au	%		
h		ml	g/L	mg/L			g/t	
0:00	11							12g lime+2g CN
12:00	11	2.2	1.0	0.85	0.001487	49.32		
24:00	11	2.2	1.0	0.93	0.001627	53.96		
36:00	11	2.0	0.9	0.97	0.001695	56.22		
48:00	11	1.9	0.9	1.01	0.001767	58.61		
60:00	10	1.6	0.7	1.03	0.001802	59.76		
72:00	10	1.5	0.7	0.97	0.001697	58.28		
75:00	10	1.5	0.7	0.38			14.73	

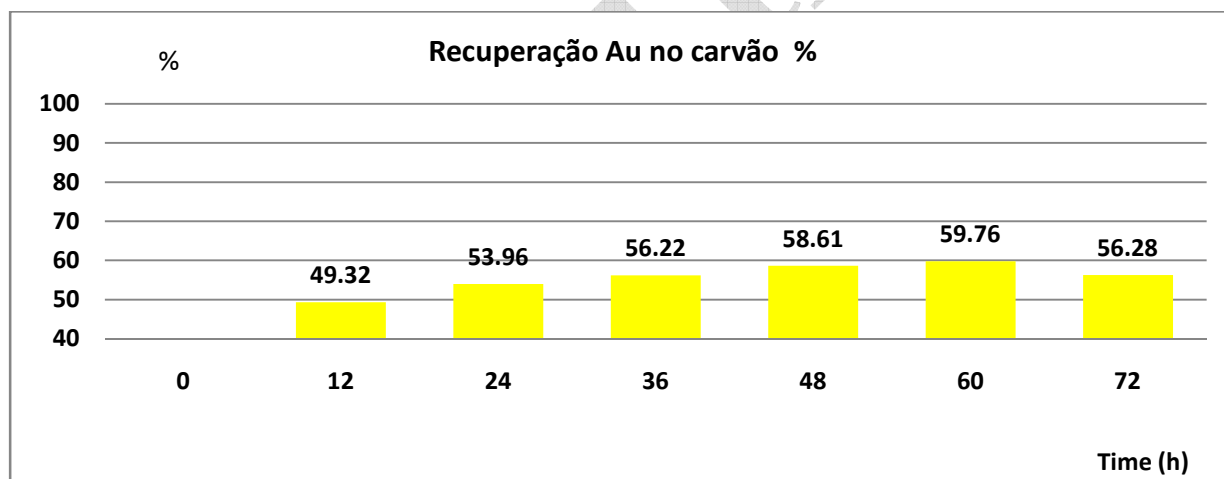


Figura 4 – Recuperação de ouro no Teste 4

## Recuperação de ouro calculada por diferentes critérios:

### *Critério 1: com base no ouro disponível em solução*

Au na amostra antes da CN:  $750\text{g} * 4,02\text{g/t}$  (teor do head sample) = 0,003015g

Recuperação:  $0,97\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,001697\text{g} = \mathbf{56,30\%}$

### *Critério 2: com base na diferença entre teores de entrada (conc) e de saída (rejeito)*

Au na amostra antes da CN:  $750\text{g} * 4,02\text{g/t}$  (teor do head sample) = 0,003015g

Au no rejeito após CN:  $750\text{g} * 1,81\text{g/t} = 0,001357\text{g} \Rightarrow \text{Recuperação} = \mathbf{54,97\%}$

### *Critério 3: com base na diferença entre os teores da solução antes e após capsula de carvão*

Au em solução antes da capsula de carvão:  $0,97\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,001697\text{g}$

Au em solução após introdução do carvão:  $0,38\text{mg/L} * 1,750\text{L} = 0,000665\text{g}$

Recuperação =  $\mathbf{60,81\%}$

### *Critério 4: com base no ouro analisado no carvão ao final do processo*

Utilizou-se 100g de carvão:  $100\text{g} * 14,73\text{g/t} = 0,001473\text{g} = \mathbf{48,75\%}$

Embora este teste utilize o mesmo material (head sample sem moagem) utilizado no tanque de vat-leaching do Ouro, não se pode dizer que o teste simula o vat-leaching pois o mesmo é agitado. Ou seja, a cianetação foi feita em moinho, e mesmo que não haja bolas para moagem, o material se fragmenta naturalmente devido à rotação do moinho (30RPM).

Tabela 5 – Resumo geral das recuperações de ouro (%) conforme o teste e o critério

Teste	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Média
1	84.66	83.46	85.86	76.92	82.73
2	97.97	96.99	97.40	73.73	91.52
3	84.06	88.78	95.73	76.12	86.17
4	56.30	54.97	60.81	48.75	55.21

Recomenda-se a implementação do processo 2 no campo tão logo seja possível, trabalhando-se com alta [CN] mas introduzindo-se a capsula de carvão somente após 24h de moagem. Gradativamente testar a redução do tempo até se encontrar o mínimo ideal. A adição de  $\text{H}_2\text{O}_2$  dependerá da facilidade de se disponibilizar este produto no campo, sendo um aditivo desejável, mas aparentemente não imprescindível.