

MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO E DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA E DOS MATERIAIS -
PPGEMM

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO AURÍFERO
DE RIACHO DOS MACHADOS - MG PARA FINS DE
CIANETAÇÃO E ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE AGENTES
OXIDANTES NA LIXIVIAÇÃO**

POR

RUBENS MÜLLER KAUTZMANN

ENGENHEIRO DE MINAS

Trabalho realizado no Laboratório de Processamento Mineral do Departamento de Metalúrgia da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais

PORTO ALEGRE, ABRIL DE 1996

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO AURÍFERO DE
RIACHO DOS MACHADOS - MG PARA FINS DE CIANETAÇÃO E
ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE AGENTES OXIDANTES NA LIXIVIAÇÃO**

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Metalúrgica e dos Materiais - PPGEMM, como parte dos requisitos para
a obtenção do Título de

MESTRE EM ENGENHARIA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: METALURGIA EXTRATIVA

POR

RUBENS MÜLLER KAUTZMANN

1996

**ESCOLA DE ENGENHARIA
BIBLIOTECA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Concentração: Metalurgia Extrativa, e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais - PPGEMM.

Orientador : Prof. Dr. Carlos Hoffmann Sampaio

Departamento de Engenharia Metalúrgica
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Banca Examinadora:

Dr. Carlos Otávio Petter

Pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

Prof. Dr. Luís Frederico P. Dick

Departamento de Engenharia Metalúrgica
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Washington Aliaga P.

Convidado do PPGEMM - UFRGS
Univesidad de Chile

Eng. Dacildo Rodrigues de Souza

Superintendência de Tecnologia
Companhia Vale do Rio Doce

Coordenador do PPGEMM - UFRGS

Prof Dr. Telmo Roberto Strohaecker

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e professor Carlos H. Sampaio pelo convite a contribuir com a linha de pesquisa em hidrometalurgia, e pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

À Superintendência de Metais Nobres e Superintendência de Tecnologia da Cia. Vale do Rio Doce, em especial ao Eng. Dacildo Rodrigues de Souza e Dr. Lino Freitas, por suas contribuições técnicas a este trabalho.

Aos professores do PPGEMM pela qualidade do ensino e atenção à discussão deste tema.

À Unitat de Química Inorgânica i Analítica da Universitat Politècnica de Catalunya, em especial ao Qui. Erny Meinhardt pelas valiosas discussões e troca de informações mantidas.

Aos colegas do Laboratório de Processamento Mineral pela camaradagem e contribuição constante na condução dos testes de laboratório, em especial aos colegas Leandro Fagundes, Roberto Gliese, Sérgio Klein, Gerson L. Miltzarek e Gerson F. Cavalcante e aos bolsistas de iniciação científica envolvidos neste trabalho Marco Parise e Shen Chien.

À Banca Examinadora pelos valiosos comentários e correções e à minha mãe Prof. Maria Eunice M. Kautzmann pela correção final do português.

ÍNDICE

RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICES DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABELAS.....	VII
I - INTRODUÇÃO.....	1
II - OBJETIVO E JUSTIFICATIVA.....	3
III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
1 MINÉRIO DE OURO.....	5
1.1 MINERALOGIA.....	5
1.2 CLASSIFICAÇÃO DE DEPÓSITOS DE OURO	5
1.3 OURO ASSOCIADO A SULFETOS.....	6
2 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINÉRIO DE OURO	6
2.1 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO MINÉRIO DE RIACHO DOS MACHADOS.....	9
2.1.1 ANÁLISE MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X	9
2.1.2 ANÁLISE MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ÓTICA	9
2.1.3 ANÁLISE DE ELEMENTOS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA	10
3 HIDROMETALURGIA DE MINÉRIOS AURÍFEROS.....	11
3.1 CIANETAÇÃO.....	12
3.2 QUÍMICA DAS REAÇÕES DE DISSOLUÇÃO DO OURO.....	13
3.3.1 CONCENTRAÇÃO DE CIANETO E OXIGÊNIO.....	16
3.3.2 pH.....	17
3.3.3 Eh - POTENCIAL DE ÓXIDO-REDUÇÃO	18
3.3.4 TEMPERATURA.....	19
3.3.5 AGITAÇÃO.....	20
3.3.6 SUPERFÍCIE DE EXPOSIÇÃO	20
3.3.7 ÍONS INTERFERENTES EM SOLUÇÃO	21
4 MÉTODOS DE LIXIVIAÇÃO	21
4.1 LIXIVIAÇÃO EM PILHA.....	22
4.2 LIXIVIAÇÃO EM TANQUE.....	23
4.3 LIXIVIAÇÃO POR AGITAÇÃO.....	23
5 TRATAMENTO PARA MINÉRIOS DE OURO REFRACTÁRIO.....	24
5.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MINÉRIOS REFRACTÁRIOS.....	24
5.1.1 MINÉRIOS SULFETADOS.....	25
5.1.1.1 Aspectos Físicos.....	25
5.1.1.2 Aspectos Químicos.....	26
5.1.2 MINÉRIOS CARBONOSOS.....	29
5.1.3 TELURETOS.....	29
5.2 TRATAMENTOS APLICADOS A MINÉRIOS REFRACTÁRIOS.....	30
5.2.1 PRÉ-AERAÇÃO.....	30
5.2.2 OXIDAÇÃO SOB PRESSÃO	32
5.2.3 OXIDAÇÃO ÁCIDA.....	33
5.2.4 BIO-OXIDAÇÃO.....	34
5.2.5 USTULAÇÃO	35
5.2.6 COMINUIÇÕES ALTERNATIVAS.....	36
5.2.7 CARVÃO EM LIXIVIAÇÃO - CIL.....	36
5.2.8 CIANETAÇÃO INTENSIVA.....	37
6 ESTUDO DE CASOS DA ADIÇÃO DE AGENTES OXIDANTES NA CIANETAÇÃO	38
6.1 GÁS OXIGÊNIO.....	39
6.1.1 CIANETAÇÃO EM ATMOSFERA DE O ₂ A PRESSÃO AMBIENTE	39
6.1.2 CIANETAÇÃO SOB ELEVADA PRESSÃO DE OXIGÊNIO.....	43

6.1.3 OXIGÊNIO EMPREGADO NA LIXIVIAÇÃO EM PILHA	43
6.2 - PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	44
6.3 - PERÓXIDO DE CÁLCIO	46
6.4 COMPARATIVO O_2 x H_2O_2	47
IV PARTE EXPERIMENTAL	49
1 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	49
1.1 METODOLOGIA DE HOMOGENEIZAÇÃO E QUARTEAMENTO	50
1.2 PENEIRAMENTO	51
1.3 MOAGEM	51
1.4 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS DE MATERIAL PARTICULADO PARA OBSERVAÇÃO MINERALÓGICA	52
2 METODOLOGIA DOS ENSAIOS DE CIANETAÇÃO	53
2.1 ENSAIOS DE CIANETAÇÃO POR FAIXA GRANULOMÉTRICA	54
2.2 TIPOS DE TESTES DE LIXIVIAÇÃO EMPREGADOS	55
2.2.1 TESTE EM "GARRAFA ROLANDO" - BOTTLE ROLL LEACH TEST	55
2.2.2 TESTES EM REATORES TIPO VASO (CONVENCIONAL)	56
2.3 ENSAIOS DE EXTRAÇÃO	58
2.4 ENSAIOS DE PRÉ-AERAÇÃO	60
2.5 ENSAIOS DE CIANETAÇÕES COMPARATIVAS	61
2.5.1 CIANETAÇÃO COMPARATIVA I	62
2.5.2 CIANETAÇÃO COMPARATIVA II	62
2.5.3 CIANETAÇÃO COMPARATIVA III	63
2.5.4 CIANETAÇÃO COMPARATIVA IV	63
3 PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO (pH, Eh e OD)	64
3.1 pH	64
3.2 Eh - POTENCIAL REDOX	65
3.3 OXIGÊNIO DISSOLVIDO - OD	66
4 ANÁLISES QUÍMICAS	67
4.1 ANÁLISE DE TEORES DE ELEMENTOS METÁLICOS	67
4.2 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CIANETO LIVRE	67
V RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
1 ENSAIOS DE CIANETAÇÃO POR FAIXA GRANULOMÉTRICA	69
1.1 Avaliação do potencial de ouro/prata cianetável	72
1.2 Granulometria de processo	72
1.3 Interpretação dos resultados com base nas análises mineralógicas e químicas	72
2 ENSAIOS DE EXTRAÇÃO	73
2.1 ENSAIOS COM MINÉRIO BRITADO	73
2.2 ENSAIOS COM MINÉRIO MOÍDO	75
2.3 Ouro cianetável	79
2.4 Consumo de reagentes	79
2.5 Influência da moagem	79
2.6 Metodologia de teste	80
2.7 Reprodutibilidade	80
3 ENSAIOS DE PRÉ-AERAÇÃO	80
3.1 PRÉ-AERAÇÃO EM pH NEUTRO	81
3.1.1 Consumo de reagentes	82
3.1.2 Extração de ouro	83
3.2 PRÉ-AERAÇÃO ALCALINA	83
3.2.1 Consumo de reagentes	85
3.2.2 Extração de ouro	85
4 ENSAIOS DE CIANETAÇÕES COMPARATIVAS	85
4.1 CIANETAÇÃO COMPARATIVA I	85
4.2 CIANETAÇÃO COMPARATIVA II	89
4.3 CIANETAÇÃO COMPARATIVA III	97
4.4 CIANETAÇÃO COMPARATIVA IV	100
4.5 RESULTADOS COMPILADOS DAS CIANETAÇÕES COMPARATIVAS	103
4.5.1 Relação entre OD, Eh e pH	103
4.5.2 Seletividade na extração de ouro com emprego de agentes oxidantes	103

4.5.3 Extração de ouro/prata	105
4.5.4 Cinética de extração do ouro/prata.....	105
4.5.5 Consumo de reagentes	108
VI CONCLUSÕES	112
VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
ANEXO I ESPÉCTROS DA ANÁLISE POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X DA AMOSTRA RM	120
ANEXO II RESUMO FOTOGRÁFICO DA CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO MINÉRIO RM	124
ANEXO III PLANILHAS DE LIXIVIAÇÃO DO MINÉRIO RM	132

RESUMO

Este trabalho consistiu na caracterização tecnológica do minério primário de Riacho dos Machados (MG) para fins de seu tratamento por métodos de lixiviação por solução cianetada. O minério foi sujeito às seguintes etapas de estudo: (1) extração do ouro/prata por cianetação, em diferentes frações granulométricas para avaliar o grau de exposição do ouro cianetável, (2) ensaios de *bottle roll test* da cinética de extração do ouro em minério britado e moído e (3) comparação do desempenho de lixiviação em função do agente oxidante adicionado (ar, oxigênio e peróxido de hidrogênio) em condições ambiente.

Os ensaios foram realizados em escala de laboratório. A amostra de minério estudada apresentou teores na faixa de 7 ppm de ouro e 2 ppm de prata. Os metais preciosos encontram-se na forma de partículas microscópicas e submicroscópicas. A extração máxima de ouro obtida foi de 90%. O uso de oxigênio e peróxido de hidrogênio adicionados à polpa representou um incremento apreciável na velocidade de dissolução do ouro.

ABSTRACT

This work evaluates the behavior in the cyanide leaching of primary gold ore from Riacho dos Machados (MG), central Brazil. This deposit belongs to Cia. Vale do Rio Doce. It was studied: (1) the extraction of gold/silver in different ore size to determine the liberation of precious metals, (2) the rate of extraction in bottle roll test with crushed and ground ores and (3) the effect of oxidants addition (air, oxygen and hydrogen peroxide) on gold/silver leaching at atmosphere pressure.

The experiments were carried out in laboratory scale. The ROM ore had about 7 ppm of gold and 2 ppm of silver. The gold/silver particles had microscopic and submicroscopic sizes and in the leaching of ore of gold extraction was obtained 90%. The use of oxygen and hydrogen peroxide mixed with air increase the rate of gold dissolution.

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1: Formas de associação do ouro com sulfetos.....	7
Figura 2: Representação das reações de semicélulas na superfície do ouro em contato com uma solução contendo oxigênio e cianeto; i_a é a corrente anódica e i_c a corrente catódica; δ_n é a camada limite de difusão.....	14
Figura 3 - ¹⁵ Diagrama de equilíbrio Potenciais Eh-pH do sistema Au-H ₂ O-CN ⁻ para [Au] = 10 ⁻⁴ M e [CN ⁻] = 10 ⁻³ M, a 25°C. A região entre as duas linhas tracejadas representa onde o ouro é solúvel no domínio de estabilidade da água.....	15
Figura 4 - Representação esquemática da corrosão de partícula de ouro em contato com o oxigênio e solução de cianeto.....	16
Figura 5 - Diagrama Eh × pH do sistema Fe-S-CN-H ₂ O; [Fe] = 10 ⁻⁴ M, [S] = 10 ⁻⁴ M e [CN ⁻] = 10 ⁻³ M.....	19
Figura 6 - Diagrama Eh × pH do sistema Cu-CN-H ₂ O, para [Cu] = 10 ⁻⁴ e [CN ⁻] = 10 ⁻³	19
Figura 7 - Fluxograma da etapa de preparação de amostras.....	50
Figura 8 - Dimensões do equipamento para testes em garrafão.....	56
Figura 9 - Dimensões dos Reatores 1 e 2.....	57
Figura 10 - Distribuição e recuperação do ouro por faixa granulométrica.....	71
Figura 11 - Comportamento da extração do ouro no minério 83% -0,074mm.....	76
Figura 12 - Consumo de NaCN ao longo dos ensaios de extração.....	77
Figura 13 - Distribuição de ouro em frações granulométricas dos rejeitos/minério.....	78
Figura 14 - Extração de ouro na cianetação do minério RM, para diferentes métodos de incorporação de oxidantes.....	87
Figura 15 - Consumo de NaCN para diferentes métodos de incorporação de oxidantes, ensaios: LAG, LA e LO.....	87
Figura 16 - Comportamento do OD durante a pré-aeração/lixiviação para os ensaios:.....	88
Figura 17 - Comportamento do Eh durante a pré-aeração/lixiviação para os ensaios:.....	89
Figura 18 - Extração de ouro na cianetação do minério RM, oxidantes: Ar, O ₂ e H ₂ O ₂ , ensaios LIV, LVIII e LX.....	91
Figura 19 - Extração de prata na cianetação do minério RM, oxidantes: Ar, O ₂ e H ₂ O ₂ , ensaios LIV, LVIII e LX.....	92
Figura 20 - Consumo de NaCN durante a lixiviação, oxidantes: Ar, O ₂ e H ₂ O ₂ ,.....	93
Figura 21 - Níveis de OD durante as lixiviações, oxidantes: Ar, O ₂ e H ₂ O ₂ ,.....	94
Figura 22 - Valores dos potenciais Eh durante as lixiviações, oxidantes: Ar, O ₂ e H ₂ O ₂ ,.....	95
Figura 23 - Comportamento do Eh, e pH na lixiviação com H ₂ O ₂ (LX).....	95
Figura 24 - Extração de ouro na cianetação do minério RM, oxidantes: Ar, O ₂ e H ₂ O ₂ ,.....	98
Figura 25 - Consumo de NaCN durante a lixiviação, oxidantes: Ar, O ₂ e H ₂ O ₂ , ensaios: RLI, RLIII e RLIV.....	99
Figura 26 - Níveis de OD durante as lixiviações, oxidantes: Ar, O ₂ e H ₂ O ₂ ,.....	99
Figura 27 - Valores dos potenciais Eh durante as lixiviações, oxidantes: Ar, O ₂ e H ₂ O ₂ ,.....	100
Figura 28 - Efeito da pré-aeração sobre a cinética de extração do ouro,.....	101

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I - Análise química elementar de amostras do minério de Riacho dos Machados	10
Tabela II - Valores das constantes de equilíbrio para vários complexos de ouro ¹⁴	13
Tabela III - Saturação do oxigênio dissolvido em função da temperatura, na mistura com o ar e oxigênio puro.....	32
Tabela IV - Efeito do pressão parcial de oxigênio na dissolução do ouro	39
Tabela V - Testes de minério de ouro comparando O ₂ e Ar em relação ao tempo de lixiviação.....	40
Tabela VI - Relação entre o consumo de cianeto e a concentração de carvão ativado em atmosfera de oxigênio puro.....	41
Tabela VII - Comparação entre o consumo de cianeto e a concentração de oxigênio dissolvido, em atmosfera de ar e O ₂	41
Tabela VIII - Influência do tempo de lixiviação em atmosfera de O ₂	41
Tabela IX - Comparação dos processo CILO x CIL, com fator de tempo relativo de 4,8.....	42
Tabela X - Resultados comparativos CaO ₂ (INTEROX) x H ₂ O ₂ x Ar.....	46
Tabela XI - Comparativo da cianetação de concentrado piritoso com uso de CaO ₂ e H ₂ O ₂	47
Tabela XII - Potencial padrão do eletrodo Ag/AgCl, KCl 3M em função da temperatura	66
Tabela XIII - Análise granulométrica do minério RM empregado nos testes de cianetação por faixa granulométrica	69
Tabela XIV - Recuperação e dosagem de ouro e prata por faixa granulométrica,	70
Tabela XV - Recuperação acumulada de Au/Ag das diversas faixas granulométricas.....	70
Tabela XVI - Consumo de cianeto, minério RM -0,053mm, polpa 33%, concentração inicial de NaCN 0,1% , agitação < 150 rpm.....	71
Tabela XVII - Análise granulométrica amostra minério RM britado 100%<4mm.....	73
Tabela XVIII - Extração de ouro do minério RM britado	74
Tabela XIX - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio GF72	74
Tabela XX - Resultados dos testes de moagem.....	75
Tabela XXI - Extração de ouro do minério RM	75
Tabela XXII - Distribuição do ouro no minério de alimentação.	77
Tabela XXIII - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio BA24	78
Tabela XXIV - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio GD48.....	78
Tabela XXV - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio GE72	78
Tabela XXVI - Ensaio de pré-aeração (4h) em pH neutro e cianetação (24h),	82
Tabela XXVII - Ensaio de pré-aeração (4h) em pH alcalino e cianetação (24h),	83
Tabela XXVIII - Ensaio de pré-aeração (8h) em pH alcalino e cianetação (24h),	84
Tabela XXIX - Comparação entre Ar e O ₂ durante a pré-aeração (6h) e lixiviação (48h).....	86
Tabela XXX - Comparação entre lixiviações com diferentes agentes oxidantes.....	90
Tabela XXXI - Extrações de prata na lixiviações do minério RM, com diferentes agentes oxidantes:.....	92
Tabela XXXII - Consumo de CaO em pré-aeração alcalina, pH=10,5	93
Tabela XXXIII - Distribuição do ouro e prata no rejeito da lixiviação (LIV) c/ ar.	96
Tabela XXXIV - Distribuição do ouro e prata no rejeito da lixiviação (LVII) c/ gásO ₂	96
Tabela XXXV - Distribuição do ouro e prata no rejeito da lixiviação (LVIII) c/gás O ₂	96
Tabela XXXVI - Comparação entre lixiviações com diferentes agentes oxidantes.....	97
Tabela XXXVII - Cinética de extração (10h) do minério RM moído, sem pré-aeração.....	101
Tabela XXXVIII - Extração de ouro do minério RM moído,pré-aeração (12h), cianetação c/O ₂	102
Tabela XXXIX - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio LVI, lixiviação (4 h),	103
Tabela XL - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio LIX,	103
Tabela XLI - Extrações de metais interferentes nas lixiviações (48h), minério RM, em função do agente oxidante.....	105
Tabela XLII - Valores médios de extração de ouro, minério RM, em relação ao oxidante e tipo de teste de liciviação.	106
Tabela XLIII - Consumos de reagentes (NaCN e CaO) em relação ao tempo de pré-aeração, na lixiviação de polpas aeradas, ensaios BA24, LAG, LA, LIV.	110
Tabela XLIV - Consumos de reagentes em função da extração e tempo de lixiviação.....	111

I - INTRODUÇÃO

A mineração de ouro no Brasil vivenciou no final da década de 70 uma rápida expansão em sua produção devido à eclosão das atividades garimpeiras, concentradas principalmente nas regiões Norte e Centro Oeste.

Porém, a partir de 1988, os garimpos vêm apresentando uma redução constante, tanto na atividade garimpeira como na sua produtividade, por decorrência de vários fatores, entre os quais o esgotamento e queda dos teores em jazidas de garimpos. Isto levou a produção nacional a sofrer uma queda da ordem de 55%, no período de 1988 a 1993.

Os empreendimentos de mineração de ouro, por outro lado, têm mostrado um lento mas contínuo crescimento, motivado inicialmente por investimentos na pesquisa e projetos mineiros e atualmente pela expansão das unidades industriais, capitaneados pela Cia. Vale do Rio Doce.

Em 1993 a produção de ouro foi de 70 t, com participação de 40 t das empresas e 30 t dos garimpos, situando o Brasil na posição de oitavo produtor mundial.¹

Uma constante na história da mineração são as dificuldades decorrentes do esgotamento das porções mais ricas das jazidas minerais, a exemplo do que é sentido atualmente nos garimpos que, no caso do ouro, se dá pela redução e diluição dos teores na rocha hospedeira, diminuição do tamanho das partículas do metal nobre e sua íntima associação com outros minerais.

Soluções, via de regra, são encontradas em novas tecnologias de tratamento dos minérios. A mineração de ouro experimentou no final do século XIX o surgimento revolucionário da técnica de extração hidrometalúrgica do ouro e outros metais nobres, mediante o tratamento do minério aurífero por soluções de cianeto. Desde então esta técnica vem possibilitando a lavra de minérios com teores e características mineralógicas anteriormente inviáveis técnica e economicamente. Seu emprego demandou o desenvolvimento de inúmeros processos industriais da lixiviação por cianeto, aplicado a minérios auríferos, concentrados, descarte de outras etapas de beneficiamento, rejeitos, etc.

¹ - Maron, M. A. C. Ouro, **Sumário Mineral, DNPM/MME**, (ano base 1993), vol. 14, pp 82-83, 1994

minérios auríferos, concentrados, descarte de outras etapas de beneficiamento, rejeitos, etc.

No Brasil, do ouro produzido em plantas de beneficiamento aproximadamente, 70% é obtido via processos de lixiviação por soluções cianetadas.

As modernas condicionantes ambientais aparentemente atuam como restrições ao processo hidrometalúrgico de lixiviação com cianeto, em função deste produzir efluentes de alta toxicidade, obrigando adequar às instalações de processo unidades de tratamento dos rejeitos poluentes. Outra opção, que seria a substituição por processos que utilizam reagentes de lixiviação, ambientalmente menos agressivos, vem sendo estudada, e alguns como a tiuréia já experimentados industrialmente, porém sem suplantarem as vantagens tecnológicas e principalmente econômicas obtidas com a aplicação do cianeto.

Em razão disto, é ainda intensa a pesquisa no desenvolvimento dos processos envolvendo a lixiviação com cianeto, buscando melhor economicidade, viabilizando depósitos auríferos ainda inviáveis e minimizando os impactos ambientais por eles causados.

A presente dissertação de mestrado é resultado dos trabalhos desenvolvidos para o projeto Desenvolvimento de Tecnologias e Otimização de Processos Extrativos na Área de Hidrometalurgia, tendo como objeto de estudo a caracterização tecnológica do minério aurífero primário da jazida de Riacho dos Machados - MG, pertencente à Cia. Vale do Rio Doce - CVRD. Deve ser ressaltado que o trabalho foi direcionado à cianetação como o processo de tratamento do minério em função do conhecimento prévio sobre o minério obtido da Superintendência de Tecnologia - SUTEC, centro de pesquisa da CVRD, sendo que não estão incluídos nesta dissertação dados referentes a relatórios da SUTEC/CVRD.

No presente trabalho estudou-se: a otimização da granulometria de processo mmais indicada para a cianetação do minério por meio de ensaios de cianetação por faixa granulométrica, o comportamento da cinética de extração para o minério na granulometria de processo estabelecida e para o minério britado, a avaliação do efeito de diferentes agentes oxidantes (ar, gás oxigênio e peróxido de hidronênio) sobre a cinética de extração do ouro e a avaliação do consumo dos reagentes (NaCN e CaO) em relação aos agentes oxidantes empregados.

II - OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

O presente trabalho teve o objetivo de caracterizar o minério aurífero primário da jazida de Riacho dos Machados - MG, para fins da extração do ouro na aplicação de processo hidrometalúrgico por lixiviação com solução cianetada.

Para a caracterização tecnológica do minério foi realizada uma série de ensaios de cianetação (lixiviação com solução cianetada), primeiramente objetivando definir a granulometria de exposição do ouro cianetável presente e que fosse apropriada a aplicação de processos industriais. Paralelamente acompanhou-se as análises mineralógicas por microscopia ótica (lâminas delgadas e seções polidas) do minério "in natura" e das frações afundadas em bromofórmio do minério moído e de rejeito de cianetação.

Em uma segunda etapa buscou-se avaliar a cinética de extração tanto para o minério moído na granulometria de processo, como para o minério britado. A partir daí o direcionamento do trabalho foi no sentido de determinar as melhores condições técnicas em que a lixiviação deve ser conduzida para possibilitar alcançar valores máximos de recuperação do ouro contido, comparando-se o efeito da introdução de alguns agentes oxigenantes, tais como ar, oxigênio e peróxido de hidrogênio, no sentido de avaliar a eficiência da cinética de cianetação e efeitos sobre o consumo dos reagentes empregados (cianeto de sódio e óxido de cálcio). O estudo deteve-se apenas à utilização da cianetação direta do minério, ou seja sem submetê-lo a condições artificiais de ambiente (temperatura e pressão), e tão pouco ao tratamento prévio de oxidação rigorosa.

Estudos prévios realizados pela Superintendência de Tecnologia - SUTEC/CVRD com o minério primário de Riacho dos Machados indicaram a lixiviação com cianeto como sendo a técnica mais indicada ao seu tratamento, haja vista a associação mineralógica e o tamanho microscópico das partículas do ouro. Além disto, a lixiviação com cianeto durante os últimos 100 anos tem sido a técnica principal empregada na recuperação de ouro e prata de minérios, a qual continua a merecer grande esforços na pesquisa do aprimoramento de seus processos industriais. Da mesma forma, no Brasil, a cianetação é empregada em todas as plantas de beneficiamento de minério de ouro, sendo intensamente usada pela Cia. Vale do Rio Doce, inclusive no beneficiamento do minério oxidado de Riacho dos Machados através de lixiviação em pilha.

O estudo comparativo com diferentes agentes oxigenantes durante a cianetação, segue uma tendência de pesquisas, que visa principalmente obter redução nos tempos de residência do minério durante a lixiviação. Vários processos utilizando oxigênio e peróxidos foram desenvolvidos e paulatinamente estão sendo introduzidos em plantas de tratamento de minérios de ouro.

III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 MINÉRIO DE OURO

1.1 MINERALOGIA

O ouro é um metal amarelo de densidade elevada ($19,3 \text{ g/cm}^3$), macio, maleável e inerte em condições de temperatura e pressão ambiente.

Pode-se apresentar em três estados de oxidação: nativo - Au, auroso - Au (I) e áurico - Au(III). Pertence ao Grupo 1B da Tabela periódica ao lado do cobre (Cu) e da prata (Ag), com os quais apresenta similaridades cristalográficas. Sua natureza siderófila explica sua ocorrência mais comum na forma nativa ou como ligas metálicas. O ouro nativo contém entre 85% e 95% de ouro, sendo o restante constituído sobretudo de prata e cobre. Com a prata apresenta uma extensa gama de soluções sólidas, sendo conhecido como *electrum* ou *electro* quando a prata está presente em quantidades maiores do que 20%^{1,2,3}.

A maioria das ocorrências do ouro se dá como ouro nativo na forma de partículas livres ou associada a minerais, principalmente a sulfetos de ferro, arsênio e cobre. Em menor quantidade ocorre como mineral natural, dentro os quais os teluretos são os mais comuns.

1.2 CLASSIFICAÇÃO DE DEPÓSITOS DE OURO

Para os depósitos auríferos existem inúmeras classificações. Berbet⁴ sugere a classificação dos depósitos nacionais em quatro tipos de depósitos:

- a) veios de quartzo e bonanzas: Quadrilátero Ferrífero, Serra Pelada, Faixa Weber, Mara Rosa, Crixás, Itatá, Andorinhas e Morro Velho;
- b) depósitos de **placers** jovens: Tapajós, Cumaru, Rio Madeira, Itatá, Uirapuru, Amapá, Norte de Mato Grosso e Vale do Jequitinhonha;
- c) depósitos de **placers** antigos: Jacobina;

d) depósitos como subproduto: Salobo - Pojuca e Chapada.

De outra forma, os materiais e minérios auríferos podem ser classificados, de acordo com Mardsen & House (1992)⁵, em categorias que levam em conta suas características mineralógicas visando o futuro processamento mineral. São divididos em dois grandes grupos: O primeiro abrange os minérios de ouro: placers, minérios liberados por moagem, minérios ricos em prata, sulfetos de ferro, arsênio, cobre e antimônio, teluretos e carbonáceos; O segundo grupo inclui os materiais secundários, como concentrados gravíticos e de flotação, rejeitos e ouro reciclado.

1.3 OURO ASSOCIADO A SULFETOS

A associação mineral de ouro nativo com sulfetos de ferro, arsênio, cobre, chumbo e zinco é muito comum em depósitos primários, sendo os mais importantes: pirita (FeS_2), marcassita (FeS_2), pirrotita (Fe_{1-x}S), arsenopirita (FeAsS), ouropigmento (As_2S_3), calcopirita (CuFeS_2), galena (PbS) e esfalerita (ZnS).

Esta associação se dá por pequeníssimas inclusões de ouro nativo à matriz de sulfetos, conforme ilustra a Figura 1. As partículas de ouro apresentam tamanhos microscópicos e submicroscópicos, podendo ser liberadas por moagem e extraído via de regra por cianetação⁵.

Em alguns depósitos o ouro pode ocorrer como soluções sólidas em sulfetos (substituição iônica ou forma coloidal), particularmente em pirita e arsenopirita. Nesta forma não é liberado por moagem e não pode ser recuperado por métodos usuais de tratamento de minérios^{3, 5, 6}.

2 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINÉRIO DE OURO

Segundo Veiga e Porphirio (1982)⁷ a caracterização tecnológica tem por objetivo estudar as propriedades do minério para:

- Indicar dados para desenvolvimento de fluxogramas de processos;
- Compreensão do comportamento do minério quando submetido a um processo de beneficiamento e/ou metalurgia extrativa;
- Determinar a qualidade dos produtos obtidos (sejam concentrados ou metais);

- Completar os estudos da jazida, permitindo conhecimento dos diversos tipos de minérios presentes;
- Definir as aplicações mais indicadas face às características dos produtos obtidos.



Figura 1: Formas de associação do ouro com sulfetos

A determinação de um processo ou rota de beneficiamento para um minério de ouro exige conhecer o conjunto de propriedades mineralógicas, de preferência em termos quantitativos, quais sejam ^{5,7,8}:

- teor do ouro no minério;
- composição elementar e mineralógica do minério;

- identificar os minerais de ouro e ganga, principalmente aqueles prejudiciais ao processo;
- determinar a distribuição e forma de ocorrência do mineral de ouro no minério (ouro nativo, teluretos, ouro associado a sulfetos, ouro associado a silicatos, etc.);
- determinar a distribuição granulométrica do mineral de ouro;
- determinação do grau de liberação do mineral de ouro;
- observar a morfologia dos grãos de ouro;
- verificar o estado da superfície das partículas de ouro.

Tais informações são de carácter composicional e textural, sendo obtidas utilizando-se a combinação de metodologias e análises instrumentais que permitam desde avaliações qualitativas a quantitativas em vários graus de acuracidade.

A detecção e quantificação do ouro e demais elementos utiliza os métodos de *fire assay*, digestão ácida e espectroscopia de absorção atômica (EAA), ou espectroscopia de emissão por plasma de indução acoplada (“inductively coupled plasma” - ICP), lixiviação com cianeto e EAA ou ICP associados ao *fire assay* e amalgamação de concentrado de bateia. Para a avaliação mineralógica qualitativa e semi-quantitativa são empregadas principalmente: a difração de raios-X (DRX), sendo necessário para a análise daqueles minerais presentes em baixo percentual sua prévia concentração, e a microscopia ótica.

Para o conhecimento das características texturais, concernentes a informações sobre associações, entre elementos e minerais de maior interesse, as técnicas mais difundidas são entre outras:

a) Microscopia ótica. Para o reconhecimento das fases minerais de ganga e dos minerais de minério através do estudo petrográfico em lâminas e seções polidas de rocha, e avaliação das fases minerais liberadas em amostras de minério cominuído, concentrados e por microscopia ótica nas faixas granulométricas do minério cominuído e dos respectivos concentrados e rejeitos ⁹;

b) Diagnóstico de lixiviação. Determina os níveis de associação do ouro com os minerais de minério através da dissolução do ouro em uma seqüência de lixiviações, onde são aplicadas digestões progressivamente mais fortes, que relaciona a cada lixiviante o tipo de associação mineral do ouro ¹⁰;

c) Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Fornece informações sobre textura das partículas, recobrimentos e morfologia da superfície, poros e permeabilidade;

d) Espectroscopia Mossbauer. Na determinação do estado químico do ouro, distinguindo entre ouro nativo e ouro quimicamente associado, ligado a estrutura química de um mineral.

2.1 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO MINÉRIO DE RIACHO DOS MACHADOS

A investigação mineralógica do minério de Riacho dos Machados aqui apresentada é de carácter qualitativo compreendendo: análise por Difractometria de Raios X e análise petrográfica por Microscopia Ótica. Esta procurou identificar as fases mineralizadas, e assim avaliar o comportamento das partículas de ouro e dos demais constituintes minerais, basicamente sulfetos, os quais apresentam importante influência na cianetação. Como complemento a estas, foram realizadas análise elementar por EAA para os seguintes elementos: Au, Ag, Fe, Cu, Ni, S, As, K, Si e Mn.

2.1.1 ANÁLISE MINERALÓGICA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A análise do pó de minério realizada no Laboratório de Difração de Raios X do Instituto de Geociências-UFRGS, pôde identificar todos os minerais existentes em quantidades superiores a 3%. Para o minério de Riacho dos Machados foram identificados **quartzo** e **mica branca** (muscovita ou fengita) em proporções aproximadamente iguais as quais constituem quase a totalidade da amostra. Foi identificado **clorita** em proporção subordinada. Os sulfetos presentes devem estar em proporções menores que 3%. No anexo I são apresentados os espectros de leitura da amostra de Riacho dos Machados, código RM.

2.1.2 ANÁLISE MINERALÓGICA POR MICROSCOPIA ÓTICA

O estudo de caracterização mineralógica por microscopia foi realizado pelo Geol. J. A. Villwock¹¹ utilizando microscópio de polarização de luz refletida com aumento máximo de 2.500 vezes.

Foram observadas lâminas delgadas e seções polidas dos seguintes materiais:

- a) Minério bruto (rocha);
- b) Minério moído a 85% < 0,074 mm (alimentação);
- c) Afundado do minério moído;
- d) Afundado do rejeito de lixiviação do minério moído.

A rocha fonte do minério é um quartzo-mica xisto cuja mineralização é constituída predominantemente por sulfetos, que aparecem ora acompanhando os planos de xistosidade, ora associados aos minerais filitosos, ou então disseminados em meio às massas de quartzo.

Os principais sulfetos identificados são: pirrotita, predominante nas seções observadas, arsenopirita e em menor quantidade, pirita e calcopirita. Foi também observada a presença de ouro nativo.

O anexo II apresenta o resumo fotográfico das observações de seções polidas contidas no relatório Caracterização Mineralógica do Minério de Ouro e Prata, Riacho dos Machados, Montes Claros, MG. (Villwock, 1995) ¹¹.

2.1.3 ANÁLISE DE ELEMENTOS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

A análise elementar por Espectroscopia de Absorção Atômica foi realizada no Laboratório de Análises Químicas da Cia. Brasileira do Cobre, a partir de duas amostra representativas da amostra total, objeto de estudo da presente dissertação. Os resultados das análises estão na Tabela I.

Tabela I - Análise química elementar de amostras do minério de Riacho dos Machados

Elementos	Teor	
	Amostra 1	Amostra 2
Au (g/t)	7,70	5,68
Ag (g/t)	3,46	3,7
Cu (g/t)	106	102
Ni (g/t)	120	189
Fe (%)	6,95	5,96
Si (%)	27,86	28,50
S (%)	2,91	2,21
As (%)	0,27	0,2
K (%)	2,60	3,60
Mn (%)	0,04	0,07

Para a Amostra 1 foi realizado também análise do teor de ouro pelo *método fire-assay*, obtendo-se um teor de 7,87 ppm, bastante próximo do encontrado por absorção atômica.

3 HIDROMETALURGIA DE MINÉRIOS AURÍFEROS

A escolha do processo de beneficiamento de um minério aurífero é função de uma série de fatores, iniciando pelo teor, reservas da jazida e viabilidade tecnológica, passando do conhecimento da mineralogia do minério, que é decisivo na escolha das operações unitárias necessárias ao beneficiamento e obtenção da recuperação máxima, a estudos tecnológicos, para então avaliar a viabilidade econômica do processo.

No beneficiamento de minérios de metais preciosos, de modo geral, utilizam-se métodos gravimétricos, físico-químicos e/ou metalúrgicos. No caso do ouro a tendência progressiva no tratamento de minérios de teores cada vez menores, implica no emprego combinado de várias operações, onde as etapas de pré-concentração, quando aplicadas, são realizadas por processos gravimétricos ou de flotação, cabendo ao processo hidrometalúrgico da lixiviação a operação de extração do metal. Outra etapa muito importante, para certos minérios com propriedades refratárias, é a de pré-oxidação, onde o minério ou concentrado vão ser submetidos a operações de ustulação, oxidação sob pressão, oxidação química ou oxidação biológica.

Os processos hidrometalúrgicos são reações realizadas em sistemas de soluções aquosas. O tratamento de materiais auríferos compreendem as seguintes etapas de processos:

1 - Extração do ouro livre presente no minério. Esta etapa utiliza exclusivamente técnicas de lixiviação para produzir a solução contendo ouro dissolvido (licor). A dissolução do ouro nativo em solução alcalina de cianeto (ouro cianetável) é a técnica correntemente utilizada nos processos industriais. No licor além do ouro encontram-se presentes vários outros metais complexados ao cianeto, de valor econômico ou não, entre estes normalmente a prata. No passado empregou-se soluções ácidas de cloro, e mais recentemente outros lixiviantes alternativos ¹² são pesquisados como soluções de tiureia, tiosulfato, brometo e iodeto. Estes porém ainda sem implementação industrial.

2 - Concentração do ouro em solução. Os licores de lixiviação apresentam baixas concentrações de ouro, o que torna pouco eficiente a aplicação de processos de recuperação do metal contido nestas lixívias. Isto é suplantado com uma etapa intermediária de adsorção do auricianeto, realizada pela passagem do licor para o carvão ativado ou resina trocadora de íons. A etapa posterior de dessorção ou eluição é o caminho inverso, onde normalmente uma solução contendo elevadas concentrações de cianeto livre, soda e temperaturas superiores a 80°C desorve o ouro contido no material adsorvente, gerando soluções de alta concentração do metal nobre.

O processo *Merrill Crow*, mais tradicional e ainda muito aplicado, baseia-se na precipitação do ouro (cimentação) pela adição de zinco na solução.

3 - Recuperação do ouro. Nesta etapa são empregados usualmente métodos eletrolíticos em soluções concentradas de ouro. O produto desta etapa trata-se ainda de material impuro e necessitando ainda de uma etapa de refino para obtenção do metal purificado.

3.1 CIANETAÇÃO

O processo de cianetação de metais nobres consiste da lixiviação por percolação em material grosseiro ou da agitação em polpas, onde o cianeto está presente em soluções alcalinas diluídas, geralmente não maiores que 0,3%, na presença de oxigênio. O sal de cianeto mais utilizado é o de sódio (NaCN), sendo também empregados cianetos de potássio e cálcio. A alcalinidade da solução é necessária para prevenir a hidrólise do cianeto e conseqüente perda em forma de gás cianídrico, altamente tóxico. Normalmente o pH da solução apresenta valores em torno de 10 e 11, sendo para isto, utilizado principalmente cal (CaO), ou então hidróxidos ou carbonatos de sódio¹³.

A utilização do cianeto na hidrometalurgia do ouro, empregado largamente por mais de 100 anos em processos industriais, deve-se principalmente à grande estabilidade apresentada pelos complexos de ouro e cianeto, mesmo em soluções contendo concentrações muito baixas de cianeto livre, na ordem de 0,01%. Isto é quantificado pelos elevados valores das constantes de equilíbrio (β_n) dos complexos de ouro e cianeto em relação aos demais complexantes, conforme relacionado na Tabela II¹⁴. Esta característica permite o uso de soluções diluídas de cianeto aliado à boa eficiência de processo.

Tabela II - Valores das constantes de equilíbrio para vários complexos de ouro ¹⁴.

Au(I)		Au(III)	
Complexo	β_2	Complexo	β_4
$\text{Au}(\text{CN})_2^-$	2×10^{38}	$\text{Au}(\text{CN})_4^-$	10^{56}
$\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$	5×10^{28}	AuI_4^-	5×10^{47}
$\text{Au}(\text{S}(\text{NH}_2)_2)_2^+$	2×10^{23}	$\text{Au}(\text{SCN})_4^-$	10^{42}
AuI_2^-	4×10^{19}	AuBr_4^-	10^{32}
$\text{Au}(\text{SCN})_2^-$	$1,3 \times 10^{17}$	AuCl_4^-	10^{26}
AuBr_2^-	10^{12}		
AuCl_2^-	10^9		

3.2 QUÍMICA DAS REAÇÕES DE DISSOLUÇÃO DO OURO

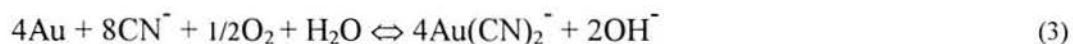
Sais de cianeto, como por exemplo de sódio (NaCN), em solução aquosa dissolve e ioniza-se formando seu respectivo cátion metálicos e o íon de cianeto livre.



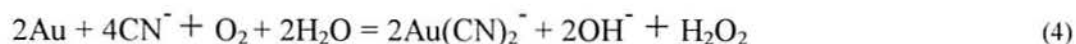
Por sua vez, íons cianeto hidrolizam em água formando gás cianídrico (HCN) e íon hidroxila (OH^-) com correspondente aumento de pH.



A dissolução do ouro em solução diluída de cianeto, formando o complexo auricianeto, pode ser representada pela clássica equação de Elsner (1846) ¹⁵;



N.P. Finklenstais ¹³ desdobra esta reação, sendo a primeira onde ocorre principalmente a dissolução do ouro:



Na reação complementar algum peróxido de hidrogênio pode promover também a dissolução do ouro. Esta reação no entanto é um processo muito lento, e a redução da

água oxigenada a íon hidroxila só se efetua de forma incipiente, minimizando a contribuição desta reação na dissolução do ouro ^{13, 16}.



A natureza eletroquímica da dissolução do ouro é explicada através de reações de semicélulas, conforme Figura 2, Habashi (1966)¹⁷:

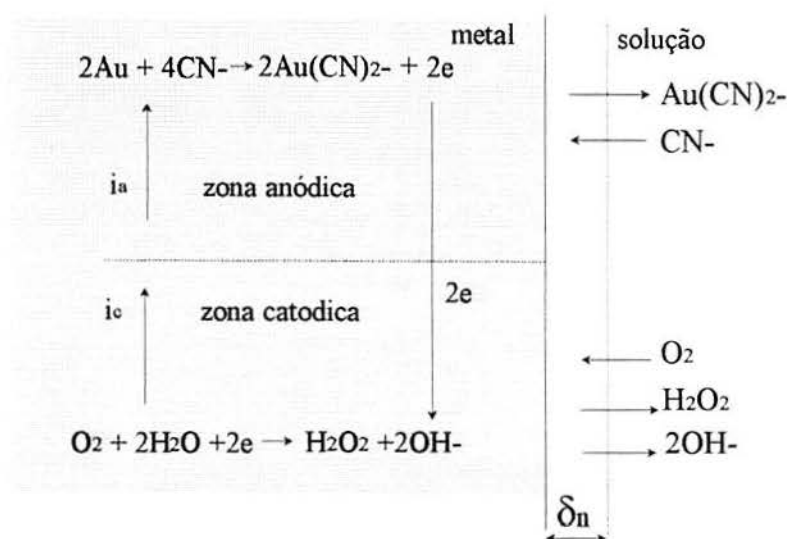


Figura 2: Representação das reações de semicélulas na superfície do ouro em contato com uma solução contendo oxigênio e cianeto; i_a é a corrente anódica e i_c a corrente catódica; δ_n é a camada limite de difusão.

Reação Anódica ^{5,18} - Em solução aquosa de cianeto o ouro se oxida e se dissolve preferencialmente na forma de Au(I) complexado com cianeto, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, correspondendo à seguinte reação estequiométrica:



O diagrama de Eh-pH, Figura 3, mostra a extensa faixa em que o ouro é solúvel e estável na forma de complexo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, indicando que para pH >10 a formação do complexo auricianeto ocorre em potencial acima de - 0,52 V (Standard Hydrogen Electrode-SHE), em condições normais de temperatura e pressão.

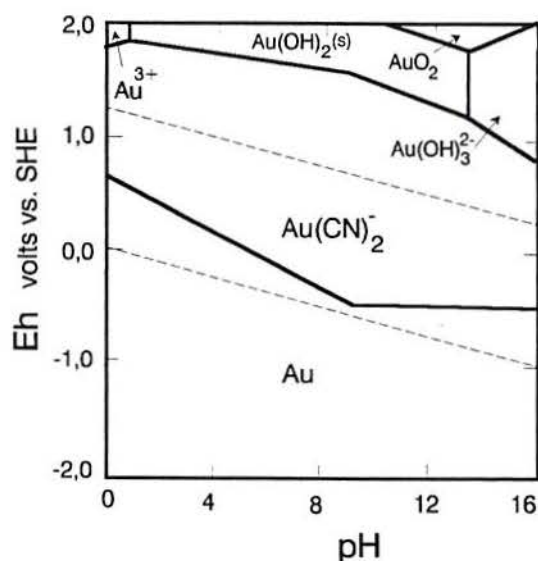


Figura 3 - ¹⁵ Diagrama de equilíbrio Potenciais Eh-pH do sistema Au-H₂O-CN⁻ para [Au] = 10⁻⁴ M e [CN⁻] = 10⁻³ M, a 25^oC. A região entre as duas linhas tracejadas representa onde o ouro é solúvel no domínio de estabilidade da água.

Reação Catódica ⁵ - Em solução aquosa de cianeto na presença de oxigênio a reação anódica (4) é acompanhada da redução catódica do oxigênio. O mecanismo desta reação é controvertido, dado ao grande número de reações catódicas paralelas. Em meio alcalino a reação principal é a seguinte:



O peróxido de hidrogênio formado é um forte agente oxidante, vindo a tomar parte na seguinte reação paralela:



A participação do peróxido de hidrogênio nas reações de cianetação de ouro e prata implica em diferentes efeitos, dependendo principalmente da sua concentração, item 6.2.

A Figura 4 mostra a corrosão de uma partícula de ouro de acordo com a experimentação de Thompson (1947), incluindo o esquema apresentado por Habashi (1966)¹⁷.

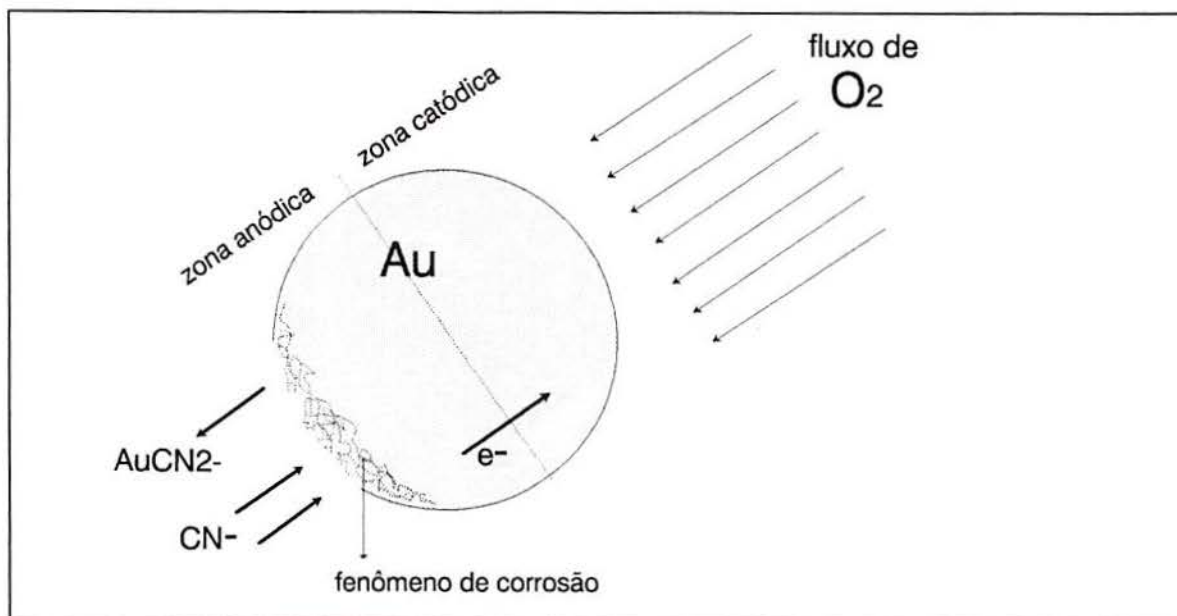


Figura 4 - Representação esquemática da corrosão de partícula de ouro em contato com o oxigênio e solução de cianeto.

Freqüentemente a prata ocorre associada ao ouro em proporções econômicas, possuindo comportamento semelhante ao ouro em soluções cianetadas, formando o complexo $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$. A razão de dissolução da prata para condições ótimas de concentração de cianeto e oxigênio dissolvido é igual à metade da apresentada pelo ouro 5,15,17

3.3 CINÉTICA DO PROCESSO DE DISSOLUÇÃO DO OURO

Vários fatores afetam a cinética de dissolução do ouro, tais como as concentrações dos reagentes, temperatura, pH, transporte de massas, presença de competidores, etc. O conjunto destes fatores corresponde a importantes parâmetros do processo de lixiviação.

3.3.1 CONCENTRAÇÃO DE CIANETO E OXIGÊNIO

As concentrações de cianeto livre (CN^-), não complexado, e oxigênio dissolvido (OD) na solução de lixiviação são os fatores principais na cinética de dissolução do ouro, sendo que os demais apresentam de forma geral efeito secundário e subordinado a estes fatores.

Estudos das razões de difusão do oxigênio e cianeto através da camada limite (δ) - sólido (Au) / solução - Figura 2, levaram à determinação da razão de equilíbrio da dissolução do ouro em função das concentrações de cianeto e oxigênio ¹⁷, que é:

$$[\text{CN}^-]/[\text{O}_2] = 6$$

Sendo assim, para valores maiores que 6, quando a concentração de cianeto aumenta, o controlador da reação de dissolução do ouro passa a ser a concentração de oxigênio, e vice versa.

Em condições de temperatura e pressão ambiente e solução saturada em ar ($[\text{O}_2] = 8,2\text{mg/l}$), a máxima razão de dissolução do ouro ocorre em concentração de cianeto de sódio de aproximadamente 200 mg/l (0,02%) ^{5,14,17}. Acima deste nível o aumento na concentração de cianeto não representaria incremento na dissolução do ouro e a razão de dissolução passa a ser controlada pela concentração de oxigênio. Tais condições podem ser aplicadas na lixiviação onde o ouro se apresenta livre e em uma matriz mineral inerte.

No entanto, à medida que o ouro se apresenta associado a minerais interferentes, principalmente sulfetos, são requeridas concentrações bem maiores de cianeto devido à presença de espécies competidoras, consumidoras de cianeto (cianíidas).

Estudos e a prática de processo indicam que o aumento da razão de dissolução do ouro em função da concentração de cianeto livre, pode atingir um patamar para uma concentração máxima limite onde esta relação é válida, quando outros fatores passam a influenciar, como o aumento do pH, reação (2), o qual apresenta um efeito contrario ¹⁷, comentado no item 3.3.2.

3.3.2 pH

O diagrama Eh-pH, Figura 3, indica que a maior amplitude entre os potencial da região de estabilidade do complexo $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ ocorre para valores de pH entre 9,0 e 9,5. No entanto, o equilíbrio HCN/CN^- se desloca em favor da predominância da forma ácida e volátil (HCN) para pH menor que 9,3. Usualmente a cianetação se dá em valores de pH superiores a 9,4, visando prevenir a perda de cianeto pela formação do gás cianídrico, reação (2). O efeito do pH na dissolução do ouro para valores acima de 9,5 é pequeno e depende da presença de outras espécies químicas em solução, as quais podem gerar reações que interferem com a dissolução do ouro ⁵.

Pesquisas demonstraram que a velocidade da reação de dissolução do ouro é maior para valores de pH entre 10,2 e 11,2, sendo que para valores superiores a pH 12 a cianetação se realiza muito lentamente. Este efeito se dá principalmente quando o íon cálcio está presente, adicionado como CaO ou Ca(OH)₂ para a correção de pH. O decréscimo da dissolução do ouro para pH >11,5 se dá devido à formação de peróxido de cálcio na superfície do metal que inibe a reação com cianeto. A formação deste peróxido ocorre na seguinte reação ^{5,17}:



Efeito semelhante apresenta o Ba(OH)₂, em alguns casos usado como corretivo de pH.

3.3.3 *Eh - POTENCIAL DE ÓXIDO-REDUÇÃO*

A observação da Figura 3, mostra uma grande amplitude de potencial de óxido-redução (redox) entre -500 e 1500mV para a faixa de pH entre 10 e 12, onde normalmente é realizada a cianetação do ouro. Dada a ampla região em que o auricianeto é estável não haveria razão de uma preocupação maior com o nível de oxidação, não fosse a importância que seu controle possa ter quando da presença de outros íons metálicos como Fe, Cu, Ni, Zn, Pb, Co, etc. os quais prejudicam o processo de cianetação do ouro.

A observação dos diagramas Eh-pH do Fe e Cu mostram que os ciano-complexos Fe(CN)₆⁴⁻ e Cu(CN)₃²⁻ são estáveis nas condições moderadamente oxidantes empregadas na cianetação do ouro. Por outro lado, a comparação dos diagramas Fe-S-CN-H₂O e Cu-CN-H₂O, figuras 5 e 6, com o diagrama Au-CN-H₂O, Figura 3, mostra que em condições mais oxidantes, Eh mais elevado, é possível evitar os campos de predominância dos complexos solúveis de Fe e Cu. Desta forma, parece possível fazer a lixiviação do ouro em uma janela que congregue a predominância do FeOOH e CuO, ambos sólidos, reduzindo assim o consumo de cianeto e melhorando a seletividade para o ouro em condições oxidantes mais energéticas ¹⁹.

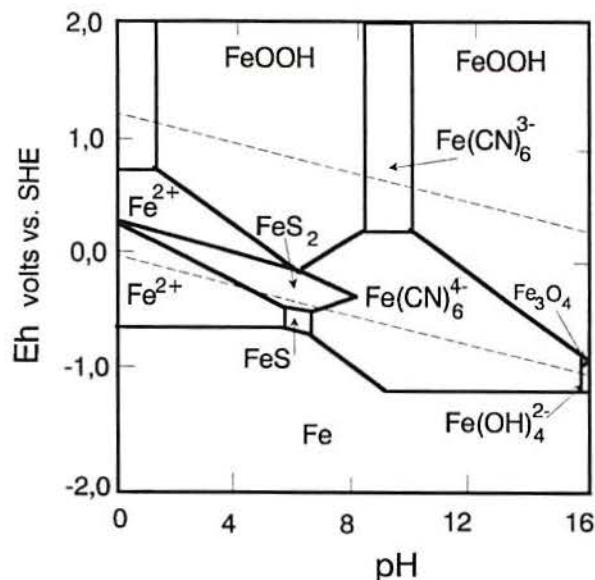


Figura 5 - Diagrama Eh \times pH do sistema Fe-S-CN-H₂O; [Fe] = 10⁻⁴ M, [S] = 10⁻⁴ M e [CN] = 10⁻³ M

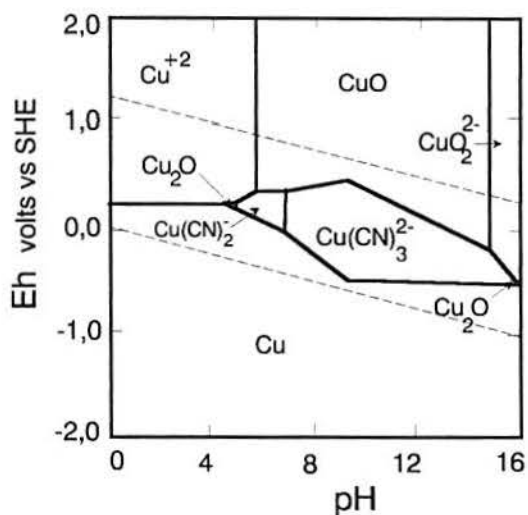


Figura 6 - Diagrama Eh \times pH do sistema Cu-CN-H₂O, para [Cu] = 10⁻⁴ e [CN] = 10⁻³.

3.3.4 TEMPERATURA

O incremento na dissolução do ouro com o aumento da temperatura resulta da maior ativação e difusão sobre as espécies reativas, porém tem influência negativa sobre a solubilidade do oxigênio em solução. Julian e Smart (1921)¹⁷ mostraram que a temperatura ótima para a razão de dissolução do ouro e prata, em cianetação direta e pressão ambiente, é de 85^oC. Considerando o diferencial de temperatura entre 0^oC e 85^oC, o incremento na

razão de dissolução é em torno de 20-25%. Em temperaturas superiores a 110°C ocorre uma apreciável decomposição do cianeto⁵. O controle do balanço de calor é principalmente importante em processos de intensa oxidação ou na cianetação em autoclaves, uma vez que as concentrações de sulfeto nos minérios e concentrados raramente satisfazem a energia necessária ao processo de oxidação, como também o sobre-aquecimento pode resultar reações explosivas²⁰.

3.3.5 AGITAÇÃO

A velocidade de agitação, muito importante em processo de lixiviação em polpa, influencia diretamente as características de mistura e a difusão das espécies reativas através da camada limite (δ_n), Figura 2. Em condições normais de lixiviação o controle da reação de dissolução do ouro se dá pelo transporte de massas. O aumento da agitação produz um aumento na razão de dissolução do ouro em função da diminuição da camada limite de difusão e melhor homogeneização dos reagentes em solução. Experimentos em laboratório com disco rotativo realizados por Kakovskii e Kolmanskih (1960), mostraram que a dissolução do ouro aumenta com o aumento da rotação até a velocidade de 150 rpm, quando então cai e mantém-se constante, passando o controle da reação a ser químico, o que gera o incremento de reações secundárias indesejáveis^{5,17}.

Em um sistema com boa mistura de polpa o aumento da agitação não produz efeito significativo sobre a dissolução do ouro e prata, além do que, é difícil ser obtida uma redução apreciável da camada limite de difusão⁵.

3.3.6 SUPERFÍCIE DE EXPOSIÇÃO

Em condições ótimas de concentração de cianeto (em torno de 0,5% NaCN), partículas limpas de ouro dissolvem na razão de 3,25 mg .cm⁻². h⁻¹, enquanto a prata apresenta razão de dissolução aproximadamente a metade que a do ouro¹⁵.

Em minérios a dissolução do ouro é proporcional à superfície de exposição de suas partículas, diretamente dependente do grau de cominuição e liberação. São determinantes também as condições superficiais das partículas, que devem estar isentas de recobrimento por outras substâncias.

3.3.7 ÍONS INTERFERENTES EM SOLUÇÃO

Nas lixívias de minérios auríferos estão presentes vários outros íons, que em determinadas condições (concentração, pH, etc.), podem acelerar ou retardar a dissolução do ouro. Já foram mencionadas as influências dos íons hidrogênio (pH), cálcio e bário. Também os cátions metálicos Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} e Mn^{2+} são prejudiciais à seletividade da dissolução do ouro, pois estes são co-dissolvidos formando ciano-complexos e portanto também consumindo cianeto e oxigênio. A composição destes complexos indica também a extensão do consumo de cianeto que provocam. Exemplificando, nos casos do Fe ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$) e Cu ($\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$) são consumidos 3 moles de CN para 1 mol de Cu e 6 moles de CN para 1 mol de Fe.

A influência destes metais, quando presentes em sulfetos minerais, será melhor discutida no capítulo 5.

Os cátions metálicos Pb^{2+} , Hg^{2+} , Bi^{3+} e Ta^{5+} apresentam duplo comportamento, sendo que seus sais em pequenas concentrações aceleram a dissolução do ouro^{15,17}, devido à despolarização da superfície do ouro e proteção ou diminuição da passivação que ocorre, mais pronunciadamente em potenciais próximos de $-0,4\text{V}$ ⁵. Estes cátions reagem com o S^{2-} impedido que este se deposite na superfície das partículas de ouro. Muitos minérios apresentam baixas concentrações destes cátions solúveis, o que naturalmente auxilia na lixiviação do ouro. Em plantas, sais de chumbo são normalmente usados, em concentrações de 10^{-7}M de $\text{Pb}(\text{II})$ ⁵, para promoverem a aceleração da cianetação do ouro. Valores superiores a $0,5\text{ mg Pb}(\text{II})/\text{l}$ ¹⁷ podem produzir o retardamento da cianetação. No entanto, sabe-se também que é usual o emprego de sais de chumbo (nitrato, acetato) em proporções de 10g/l .

Reagentes de flotação a partir de $0,4\text{ppm}$ ¹⁵, normalmente presentes em polpas industriais, e íons Cl^- e NO_3^- ¹⁷ prejudicam também a cianetação.

4 MÉTODOS DE LIXIVIAÇÃO

Na cianetação de minérios auríferos são aplicados vários métodos de lixiviação, cuja escolha depende basicamente das relações entre o tamanho das partículas de minério e recuperação do ouro, balizada pelos custos de implantação e operação. Outros

condicionantes são a recuperação de outros metais (prata, platinóides) e aspectos ambientais. Os processos de lixiviação podem ser divididos em: Lixiviação em pilha, lixiviação em tanque e lixiviação por agitação. A bibliografia cita também a lixiviação “in situ” ainda não aplicado em escala econômica, principalmente por razões ambientais e das baixas recuperações previstas ^{5,21}.

4.1 LIXIVIAÇÃO EM PILHA

A lixiviação em pilha, *Heap Leaching*, é um método de menores investimentos, aplicada a minérios de baixo teor e pequenas reservas. O minério é disposto em pilhas, sobre as quais é aspergido a solução lixivante. O material a ser tratado pode ser tanto o minério ROM (*Dump Leach*) ou mais comumente britado. A otimização da granulometria é função da recuperação. O ouro deve apresentar-se exposto ao ataque da solução de cianeto. Os períodos de lixiviação variam de semanas a meses. A exigência básica deste método é que a solução percole por entre a pilha de forma o mais homogênea possível. Grande presença de argilo-minerais podem criar zonas impermeáveis e produzir caminhos preferenciais da solução, ou até mesmo colmatar a pilha. Para reduzir estes efeitos são aplicados aglomerantes (cal e/ou cimento) ao minério. No controle do pH é usado preferencialmente hidróxido de cálcio adicionado à lixívia ou na etapa de aglomeração. A razão de lixiviação do ouro em pilhas é bastante dependente do transporte de massa do cianeto e oxigênio até a superfície da partícula de ouro, o que está intimamente relacionado às concentrações de cianeto e oxigênio dissolvido e à razão de percolação da lixívia e das reações participantes, como também da percolação e difusão da lixívia pelas fraturas e poros das partículas de minério. De maneira geral a eficiência da lixiviação em pilha apresenta valores entre 50 e 80% de extração do ouro, em função do grau de exposição (eficiência do contato solução/minério) e relação entre a razão de dissolução e o tempo de lixiviação ^{5,16,21,22}.

Por fim, a solução clarificada e rica em ouro (licor) é colhida e enviada à etapa de recuperação do ouro em colunas de carvão ativado *carbon-in-column* CIC ou RIC no caso de usar resina trocadora de íons. Há casos em que a recuperação é realizada em reatores com vários estágios (p.ex. Smody Valley Mine-USA)²³, onde ao licor é incorporado o carvão ativado.

4.2 LIXIVIAÇÃO EM TANQUE

Na lixiviação em tanque *vat leaching* o minério é depositado em tanques ou piscinas onde fica totalmente imerso na solução lixiviante. Como na lixiviação em pilha, o minério é apenas britado. É utilizado nos casos em que não são obtidas boas respostas de recuperação na lixiviação em pilha, como por exemplo para minérios de baixo teor mas contendo partículas grosseiras de ouro exposto ou quando as características do minério implicam na formação de “zonas mortas” onde o licor não percola. A principal vantagem deste método sobre o de lixiviação em pilha é de conseguir razões de extração do ouro maiores, devido ao incremento na taxa de transporte de massa. Assim, o período de lixiviação pode ser reduzido consideravelmente ^{5,16,21,24}.

Da mesma forma que na lixiviação em pilha, o licor rico é então enviado às demais etapas de recuperação do ouro (CIC, dessorção e eletrólise).

4.3 LIXIVIAÇÃO POR AGITAÇÃO

A lixiviação por agitação envolve uma larga faixa de tipos de materiais auríferos (minério moído, minério previamente oxidado, concentrados ou rejeitos de outros processos). O material empregado apresenta-se cominuído em faixas entre 80% < 150 μm e 80% < 45 μm , dependendo da otimização entre recuperação e custos de moagem ^{5,21}.

O material é condicionado em polpa nas densidades entre 35% e 50% de sólidos, em função da densidade do sólido, tamanho de partícula, constituintes minerais e viscosidade. Baixas densidades de polpa maximizam os fenômenos de transporte de massa. Por outro lado em polpas mais densas o consumo de reagentes é minimizado. A lixiviação é realizada em tanques (reatores) onde a polpa é mantida em suspensão através de agitação com ar ou mecânica. Na agitação por ar são empregados tradicionalmente tanques Pachuca onde o ar é injetado sob pressão na parte inferior de tanques (com fundo cônico), havendo um tubo central para direcionar o fluxo ascendente da polpa. A agitação mecânica produzida em reatores de diferentes desenhos de vasos e pás tem se mostrado mais eficiente, tanto no consumo de energia, quanto no fluxo de mistura, o que auxilia na cinética da reação ^{5,21}.

A lixiviação é realizada em vários estágios de agitação, usualmente de 4 a 10, levando em conta a otimização do tempo de residência com os demais fatores determinantes do processo. Os reagentes alcalinizantes são normalmente adicionados antes do cianeto para promover uma proteção alcalina, prevenindo a perda de cianeto por hidrólise. Via de regra na lixiviação são utilizados valores de pH entre 9,5 e 11,5, podendo haver a necessidade da correção de pH em etapas intermediárias do circuito. Por outro lado parte do cianeto e cal podem ser adicionados já na etapa de moagem^{5,21}.

A adição de ar na polpa é responsável pelo suprimento do oxigênio necessário à cianetação. O ar é incorporado na polpa através do processo de agitação com ar ou mecânico. Para circuitos com agitação mecânica são também usados sistemas de injeção de ar. Em alguns casos, quando há minérios fortes consumidores de oxigênio tem sido empregada a adição de oxigênio puro ou peróxido de hidrogênio⁵.

A recuperação de ouro do licor se dá com a adição de carvão ativado ou resina diretamente na polpa lixiviada. Os sistemas basicamente se dividem em três tipos de processo: (1) carvão-em-polpa, *carbon-in-pulp* - CIP, onde após ser realizada a lixiviação o carvão ativado é adicionado à polpa para adsorver o ouro/prata dissolvidos, (2) carvão-em-lixívia, *carbon-in-leach* - CIL, quando o carvão ativado é adicionado à polpa no início da lixiviação, realizando-se ao mesmo tempo as etapas de cianetação e adsorção e (3) cementação (processo *Merrill Crow*). Quando o carvão ativado é substituído por resinas trocadores de íons, as siglas correspondentes são RIP e RIL.

5 TRATAMENTO PARA MINÉRIOS DE OURO REFRATÁRIO

Materiais de minério contendo ouro/prata são ditos refratários, quando não respondem bem à extração dos metais preciosos através de processos de cianetação convencional. Minérios finamente cominuídos que apresentam extrações de ouro, por cianetação, inferiores a 80% já são considerados refratários²⁵. Em certos contextos são incluídos na categoria de refratários, minérios que geram grande consumo do cianeto e/ou oxigênio, denominados cianicidas, prejudicando assim a eficiência da extração.

5.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MINÉRIOS REFRACTÁRIOS

Basicamente o ouro e prata em minérios refratários são encontrados nas seguintes situações^{15,25}:

- a) Ouro fino incluso ou disseminado em soluções sólidas ou na forma coloidal na matriz de sulfetos, principalmente pirita, pirrotita e arsenopirita;
- b) Ouro associado com teluretos;
- c) Ouro/prata contidos na base metálica de sulfetos de chumbo, cobre e zinco;
- d) Ouro presente em minérios carbonosos;
- e) Ouro e principalmente prata finamente disseminado na matriz da ganga, principalmente quartzo (ouro encapsulado) ou complexado em óxidos de manganês;
- f) Partículas de ouro/prata recobertos por filme de substância passiva ao cianeto (óxido de ferro, óleos, reagentes de flotação).

Três categorias principais deste tipo de minérios são: minérios sulfetados, minérios carbonosos e minérios de teluretos.

5.1.1 MINÉRIOS SULFETADOS

Representam o maior grupo de minérios refratários. A pirita é o mais comum dos sulfetos associados ao ouro, seguido pela arsenopirita. Relativamente comuns também são a pirrotita, galena, antimonita, entre outros. A característica refratária é mais acentuada na presença da arsenopirita e sulfetos de antimônio. Para a pirita, em alguns casos, pode ser possível resultados satisfatórios após seu concentrado fino sofrer remoagem ou pré-aeração²⁶.

A influência dos sulfetos sobre o equilíbrio termodinâmico e particularmente na cinética de extração está relacionada a aspectos físicos, químicos e eletroquímicos²⁶.

5.1.1.1 Aspectos Físicos

Para alguns minérios sulfetados a refratariedade é consequência da baixa eficiência no contato entre os íons cianeto e a superfície do ouro, em razão das pequenas

quantidades relativas de ouro presente e pela forma submicroscópica de suas partículas. O emprego da flotação na obtenção de concentrados ou da moagem em granulometria fina visa o aumento da exposição do ouro ao cianeto. Por outro lado processos de oxidação dos sulfetos, por exemplo, pirita em hematita implicam em um incremento da porosidade dos grãos de minério aumentando assim o grau de exposição do ouro ²⁶.

5.1.1.2 Aspectos Químicos

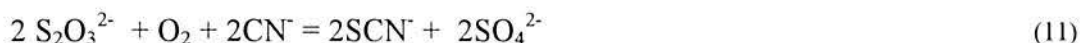
Os sulfetos de metais base apresentam diferentes graus de reatividade em soluções típicas de cianetação do ouro. Os sulfetos menos reativos (mais estáveis), como a pirita e arsenopirita conferem ao minério característica refratária, enquanto os mais reativos (instáveis), como a pirrotita e a calcocita promovem reações de consumo de cianeto e oxigênio, por isto denominados cianicidas, e por conseguinte afetando a cianetação do ouro. No processo de decomposição dos sulfetos metálicos há a dissolução dos íons metálicos na forma de complexos, competindo com o ouro e prejudicando a seletividade da extração, conforme mencionado no item 3.3.3. A seguir será explanado sobre a influência dos minerais de sulfeto de metais base na dissolução do ouro em soluções cianetadas.

5.1.1.2.1 Espécies químicas contendo enxofre

A presença de minérios sulfetados confere às soluções aquosas ânions contendo enxofre, conhecidamente “venenosos” à dissolução do ouro por cianetação. Experiências mostraram que em baixas concentrações de sulfeto dissolvido (0,5 mg/l) a razão de dissolução do ouro pode ser reduzida à metade, atribuindo isto à formação de sulfeto auroso insolúvel formado na superfície das partículas de ouro ¹⁴.

Os ânions de enxofre são termodinamicamente instáveis, tendendo a se oxidarem na presença de oxigênio dissolvido, porém com uma lenta cinética de oxidação. Para aumentar a velocidade de oxidação destes ânions é empregada a adição de compostos de chumbo, visando assim diminuir o consumo de oxigênio e cianeto durante a lixiviação. Isto é atribuído em parte, pela formação do sulfeto de chumbo que favorece a redução do oxigênio e a oxidação dos sulfetos residuais¹⁴.

Tiosulfatos instáveis são produzidos durante a oxidação dos sulfetos, tendendo a uma nova etapa de oxidação para sulfatos (reação 10), caso haja disponibilidade de oxigênio ou a tiocianetos, quando da presença de cianeto e oxigênio (reação 11) ¹⁴.



Na formação destes produtos ocorre o consumo de cal (CaO), oxigênio e cianeto livre, implicando num prejuízo indireto à cianetação do ouro.

5.1.1.2.2 Sulfetos de ferro

A pirita, marcassita e pirrotita são os sulfetos de ferro comumente associados ao ouro. Nas soluções cianetadas decompõem-se em diferentes graus, conforme a seguinte ordem de reatividade: pirrotita >>> marcassita > pirita, onde a pirrotita é o mais reativo e fortemente cianicida. Nestas condições formam ferro-cianocomplexos e várias espécies contendo enxofre ^{5,14}.

Em função da baixa solubilidade da pirita, quando combinadas ao ouro finamente disseminado torna os minérios refratários. Por outro lado, no caso de associação com partículas de ouro exposto permite a melhor seletividade na lixiviação do minério ²⁷.

A pirrotita, Fe_{1-x}S , ($0 \leq x \leq 0,2$) apresenta uma deficiência em ferro e possui um átomo de enxofre ligado aleatoriamente à sua estrutura química, o qual é facilmente liberado na forma de íon, que nas condições de cianetação promove a formação do tiocianato (SCN^-). O FeS remanescente é particularmente propenso à oxidação, formando sulfato ferroso e férrico ¹⁴.

Na presença de cianeto os sulfetos de ferro, particularmente a pirrotita, oxidam produzindo ferrocianeto solúvel e tiocianato. As reações típicas da pirrotita (Fe_7S_8) em solução alcalina contendo cianeto livre e oxigênio são ^{5,14}:



As reações de oxidação pelo oxigênio, a formação de tiocianetos e ferro-cianocomplexos aumentam o consumo de reagentes, tornando menos favoráveis às

condições de extração de ouro, mas por outro lado a solubilidade da pirrotita facilita a exposição das partículas ultrafinas de ouro^{14,27}.

5.1.1.2.3 Sulfetos de Arsênio

Os sulfetos de arsênio mais comuns encontrados em minérios auríferos são a arsenopirita ($\text{FeS}_2, \text{FeAs}_2$ ou FeAsS), realgar (AsS) e ouropigmento (As_2S_3). Respectivamente apresentam dissoluções de 0,9 %, 9,4 % e 73,0 % em cianetação de 6 horas, em faixa granulométrica de $-0,074 + 0,043$ mm, concentração de cianeto de 0,05 % e pH de 12,2²⁸.

Estes sulfetos em solução de cianeto alcalina e aerada decompõem-se em íons arsenatos, sulfatos, além de cianocomplexos e óxidos de ferro quando a arsenopirita está presente.



Estas reações consomem grande quantidades de oxigênio, cal (ouropigmento e realgar), e cianeto (arsenopirita), podendo influir no retardamento da dissolução do ouro.

Além do consumo de reagentes Hedley e Tabachnick (1968) sugerem que íons sulfeto, tioarsenetos e tioantimonetos podem ser fortemente adsorvidos na superfície do ouro e assim tornando esta superfície inerte a dissolução por cianetação^{14,27}.

5.1.1.2.4 Sulfetos de Cobre

A calcopirita (CuFeS_2), a calcocita (Cu_2S) e a bornita (Cu_3FeS_3) são os sulfetos de cobre mais comuns associados ao ouro. A calcopirita é fracamente reativa e a calcocita bastante reativa. Respectivamente apresentam dissoluções de 5,6 % e 90,2 % em cianetação de 24 horas, para densidade de polpa de 9 %, concentração de cianeto de 0,1 % e 23 °C.

A decomposição dos sulfetos de cobre geram predominantemente o complexo CuCN_3^{2-} , interferindo na cianetação do ouro em virtude do consumo de cianeto, oxigênio e cal. Pesquisas de Stanboliadis et al. (1976), indicaram a redução da dissolução do ouro quando da presença de cobre-cianocomplexos em concentrações suficientes de cianeto, oxigênio e CaO ¹⁴.

5.1.1.3 Aspectos Eletroquímicos

Estudos realizados pelo Mintek, África do Sul, sugerem que a refratariedade de minérios sulfetados pode ser devido à passivação da dissolução anódica do ouro quando este está em contato com minerais condutores. Sendo assim uma completa dissolução do ouro requer a conversão dos sulfetos condutores em óxidos não condutores ¹⁴.

5.1.2 MINÉRIOS CARBONOSOS

Materiais orgânicos presentes nos minérios de ouro, como grafite, material carbonoso amorfo e ácidos húmicos dotam o minério de características refratárias, atribuídas às seguintes causas:

- a) Ouro encapsulado dentro da matriz carbonosa ⁵;
- b) Material carbonoso presente no minério que adsorve o ouro dissolvido em solução cianetada. Este fenômeno é conhecido como *preg-robbing*. Esta capacidade de adsorção do ouro solúvel é mesmo princípio utilizado na recuperação do ouro por carvão ativado ^{26,27}.
- c) Parcela do ouro pode combinar-se quimicamente com material carbonoso, impedindo sua liberação da matriz carbonosa. Esta característica também é conhecida no uso de carvão ativado, sendo necessário para a remoção do ouro condições severas de temperatura e concentração de cianeto ^{26,27}.

Alguns materiais argilosos também apresentam a propriedade de adsorver o complexo aurocianeto em solução ²⁵.

5.1.3 TELURETOS

Minerais de ouro/prata e telúrio (Au_xTe_y), não são dissolvidos, ou o são muito lentamente em soluções cianetadas. O telúrio não forma complexo com o cianeto e a dissolução do ouro somente ocorre em condições de elevada oxidação do mineral, formando auricianeto e telurato (TeO_3^{2-}). Para propiciar a extração do ouro os minérios de telureto necessitam ser oxidados antes da cianetação. Alguns estudos com concentrados de

teluretos finamente cominuídos em condições ótimas de cianetação e adição de chumbo obtiveram boas recuperações em tempos de 144 e 72 horas^{2, 26}.

5.2 TRATAMENTOS APLICADOS A MINÉRIOS REFRAATÁRIOS

As soluções para o tratamento de minérios refratários de modo a possibilitar o emprego da cianetação podem ser divididos em duas categorias: os tratamentos prévios de oxidação dos minerais refratários e processos com modificações das condições usuais de cianetação.

O pré-tratamento por oxidação é utilizado para minérios ou concentrados refratários contendo sulfetos, material carbonoso e teluretos, possibilitando o emprego posterior da cianetação direta do minério tratado. Os métodos de oxidação são tratamentos hidrometalúrgicos, como a pré-aeração, oxidação sob pressão, oxidação ácida e bio-oxidação, ou tratamento pirometalúrgico de ustulação (*roasting*).

Para muitos materiais de minérios contendo baixos teores, etapas de tratamento prévio podem ser inviáveis, ao contrário da introdução de modificações no processo de cianetação, permitindo o aumento da cinética de extração do ouro. Estes processos são: a cianetação intensiva e a cianetação sob pressão e cianetação concomitante a adsorção com carvão ativado - CIL.

5.2.1 PRÉ-AERAÇÃO

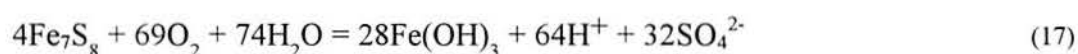
A pré-aeração não é um tratamento próprio para minérios refratários. Trata-se de uma oxidação em pressão ambiente podendo ser aplicada a qualquer minério contendo os sulfetos mais reativos, grandes consumidores de reagentes, como a pirrotita e marcassita, de forma a oxidar e/ou passivar a superfície dos sulfetos. Esta oxidação é parcial, criando um filme de hidróxido de ferro(III), que é praticamente insolúvel nas condições normais de cianetação, impedindo assim a lixiviação do sulfeto. O resultado é a redução do consumo de cianeto e oxigênio durante a cianetação. A pré-aeração deve ser feita em pH abaixo de 12, para que não haja a formação excessiva de íons sulfeto, cujo efeito é deletério, item 5.1.1.2.1^{5, 26}.

Para sulfatos de ferro em soluções acidas, aeradas e na ausência de íons cianeto, têm sido observados como produtos de reações: hidróxido de ferro, sulfetos, enxofre elementar, tiosulfatos e sulfato. As reações de elevado estado de oxidação dos sulfetos são acompanhadas de consumo de cal (CaO) e oxigênio.

A principal reação de redução do oxigênio na superfície do sulfeto em solução aquosa é ⁵:



A pirrotita e marcassita oxidam em baixa pressão conforme as seguintes reações ⁵:



Estas reações podem ocorrer na faixa de pH acima de 2 e geram produtos ácidos, sendo necessário a neutralização destes, usualmente através da adição de cal, formando assim precipitados de sulfatos. Apesar do pH não ser um parâmetro crítico para a pré-aeração, a polpa é alcalinizada em valores de pH entre 8 a 11, visando ajustar a alcalinidade para a etapa de cianetação. Durante a pré-aeração podem ser adicionados sais de chumbo, afim de auxiliar a passivação da superfície reativa do sulfeto pela formação de espécies insolúveis de chumbo ^{5,26}.

A elevada razão de oxidação da pirrotita, pode reduzir muito a disponibilidade de oxigênio em solução, condição em que ela dissolve-se formando íon sulfeto e hidróxido ferroso. A velocidade desta reação é aumentada em ambientes de alta alcalinidade ¹⁴.



A oxidação dos sulfetos depende da transferência de massa do oxigênio dissolvido à superfície do mineral e portanto da disponibilidade de oxigênio em solução. A baixa solubilidade do oxigênio em água para condições ambiente quando misturado ao ar é um parâmetro limitante à pré-aeração. A concentração do oxigênio dissolvido pode ser aumentada pelo incremento da pressão parcial do oxigênio no gás usado, havendo uma majoração de 5 vezes quando é utilizado oxigênio puro. A Tabela III apresenta níveis de

saturação do oxigênio dissolvido quando em mistura no ar ou puro para vários temperaturas⁵.

Nas plantas de tratamento a pré-aeração é realizada pelo condicionamento da polpa mineral em reatores (tanques agitados), visando o incremento de oxigênio dissolvido, podendo ser necessário a injeção de ar ou oxigênio puro (menos usual), quando a simples agitação mecânica não for suficiente. O tempo de retenção utilizado em plantas varia de 4 a 24 horas.

A adição de H_2SO_4 e NH_4OH durante a pré-aeração é sugerido para a oxidação do cobre e antimônio e o H_2SO_5 ("caro's acid") é indicado para concentrados de arsenopirita²⁵.

Tabela III - Saturação do oxigênio dissolvido em função da temperatura, na mistura com o ar e oxigênio puro.

Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido - OD (mg/l)	
	21% O ₂ (ar)	100% O ₂
0	14,58	69,45
5	12,75	60,42
10	11,27	53,68
15	10,12	48,02
20	9,11	43,39
25	8,25	39,31
30	7,53	35,88
35	6,96	33,15
40	6,47	30,82

5.2.2 OXIDAÇÃO SOB PRESSÃO

A oxidação sob pressão é muito eficiente para minérios ou concentrados de sulfetos refratários. Ela é realizada em vasos de pressão ou autoclaves sob temperaturas e pressões variando entre 170° e 190 °C e 1.500 e 3.200 kPa. O tempo de retenção máximo é de 2 horas com 40 a 50% de sólidos em polpa, usualmente em ambiente ácido com pH em torno de 2^{5,25,26}.

Os sulfetos decompõem-se rapidamente nestas condições tendo o oxigênio como principal oxidante. As espécies de Fe(III) formadas na reação também têm importante

papel em reações paralelas de oxidação. Uma preocupação nesta forma de oxidação é a geração de enxofre elementar, favorecido durante o estágio inicial da reação ou em temperaturas relativamente baixas (90^o a 120^oC), quando o enxofre em estado fundido tem a capacidade de aprisionar as partículas de ouro^{25, 26}. Para manter os compostos de ferro em solução é necessário disponibilidade suficiente de ácido livre, o que evita a precipitação do ferro na autoclave⁵. Além disto, pode ocorrer a formação de arseniato férrico e/ou jarosita ($\text{Fe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$)²⁹ e conseqüente encapsulamento das partículas de ouro^{25,30}, mas preferencialmente captura a prata na forma de argentojarosita^{31,30}. O material sulfetado deve conter uma concentração de enxofre superior a 5,5% de maneira a manter autógeno o fornecimento de calor ao processo, do contrário um suprimento adicional de ácido ou calor deve ser fornecido^{26,31,32}. Experiências comparativas mostraram que a maior disponibilidade de enxofre em concentrados de flotação não tiveram grande impacto no balanço térmico, apresentando um efeito maior em processos de ustulação³³.

No caso de minérios ou concentrados contendo alto conteúdo de material carbonoso a oxidação sob pressão deve ser realizada em temperaturas superiores a 200^oC para que haja a oxidação (queima) do material carbonoso. Em temperaturas menores ocorre uma ativação do material carbonoso e aumento do efeito de *preg-robbing*. Outra alternativa é realizar etapas de tratamento específica para eliminar este efeito, tais como CIL (quando o efeito *preg-robbing* é moderado) ou clorolixiviação^{5,26,31}.

Do ponto de vista ambiental, a oxidação sob pressão traz vantagens sobre a ustulação por gerar pouca quantidade de gases nocivos e o arsênio pode ser precipitado como arseniato de ferro relativamente estável^{25,34}.

A **oxidação não-ácida sob pressão** é empregada quando existem grandes quantidades de carbonatos no minério refratário, sabidamente consumidores de ácido e baixo conteúdo de enxofre em sulfeto. O processo é realizado nas mesmas condições de temperatura e pressão de oxigênio e eficiência similar ao processo ácido, com a diferença que o ácido gerado é rapidamente neutralizado pelos carbonatos^{5,31}.

Condições de **oxidação alcalina** também podem ser utilizadas em oxidação sob pressão empregando a adição de solução de hidróxido de sódio em autoclave para o tratamento de minérios contendo sulfeto (arsenopirita) e/ou material carbonoso. Para obter

a remoção dos metais base e enxofre na forma de óxidos e sulfatos as temperaturas empregadas são relativamente baixas (85 a 120°C) ^{25,35}.

5.2.3 OXIDAÇÃO ÁCIDA

A oxidação ácida compreende o pré-tratamento hidrometalúrgico de minérios refratários por agentes ácidos. Os principais agentes oxidantes são: gás cloro em solução (HCl), hipocloreto (HOCl) e mais recentemente o ácido nítrico (HNO₃) tem sido pesquisado. A aplicação da oxidação por cloro em temperaturas ambiente ou moderadas (25 a 30°C) foi desenvolvida para decompor compostos carbonosos presentes nos minérios, gerando CO e CO₂, e assim impedindo o efeito *preg-robbing* durante a cianetação. O cloro não utilizado na oxidação é transformado em hipoclorito de cálcio e retorna a cloretação para auxiliar na oxidação do material carbonáceo. Sulfetos também são oxidados em soluções de cloreto, formando hidróxido de ferro(III). Na cloretação, exigência de elevado consumo de reagente ácido pode ser um componente decisivo na viabilidade do processo ^{5, 16, 26, 35}.

O emprego de ácido nítrico é sugerido para a oxidação de sulfetos (pirita), tendo mostrado boa cinética de decomposição, no entanto exige cuidados ambientais quanto aos compostos de nitrato e arsênio gerados ^{5,31}.

5.2.4 BIO-OXIDAÇÃO

Bactérias oxidantes de sulfetos, *Thiobacillus ferrooxidans*, tem sido muito utilizado na lixiviação de minerais de sulfeto para minérios de cobre e mais recentemente aplicada na oxidação de minerais auríferos refratários como pirita e arsenopirita. O ataque da bactéria à matéria mineral pode ocorrer em três etapas: (1) contato direto das bactérias com a superfície do sulfeto (pirita) produzindo sulfatos de ferro II e III, íons sulfato e sulfeto, (2) ação indireta das bactérias onde o sulfato de Fe(III) é reduzido à Fe(II) oxidando outros composto, como a arsenopirita, e (3) a decomposição do enxofre pelas bactérias produzindo ácido sulfúrico ^{16, 31, 36}.

A bio-oxidação é realizada em tanques, onde a polpa normalmente é acondicionada sob fraco cisalhamento. A razão de lixiviação é função da granulometria das partículas e

densidade da polpa, a qual usualmente é baixa, em torno de 20% e os tempos de residência são de três dias ou mais. De modo geral os processos empregam temperaturas moderadas, entre 35 e 45°C e pH extremamente ácido, entre 1 e 4. A adição de ar pode suprir a necessidade de O₂, sendo ainda necessários nutrientes como N e K. Este processo atinge oxidações parciais dos sulfetos de 40% ou mais, de modo a obter liberações suficientes do ouro ^{5,31,37}.

5.2.5 USTULAÇÃO

A ustulação ("roasting") é um processo tradicional para o tratamento de minérios de ouro refratários contendo sulfetos, materiais carbonosos e teluretos. É um processo de calcinação (oxidação) das partículas de minério visando eliminar as substâncias interferentes na cianetação como enxofre, arsênio, material carbonoso e teluretos. A ustulação é realizada em fornos e na atualidade principalmente em leito fluidizado, sob temperaturas entre 450 e 750°C, na presença de oxigênio ^{25,38, 39, 40}.

No caso dos sulfetos, a ustulação gera óxidos de ferro com alta porosidade e assim permitindo o acesso da solução de cianeto, o que facilitará a futura cianetação e redução considerável no consumo de reagentes. Materiais contendo pirita e principalmente arsenopirita, quando o conteúdo de arsênio é maior que 2-3%, são submetidos a dois estágios de ustulação; (1) no primeiro, em ambiente redutor, atmosfera rica em SO₂ com baixo nível de oxigênio e temperatura da ordem de 490°C, é formada magnetita (Fe₃O₄) porosa e arsênio volátil na forma de óxidos, (2) na segunda etapa a oxidação é concluída em ambiente oxidante (O₂) e temperaturas na faixa de 650 e 680°C, gerando hematita (Fe₂O₃). O controle de temperatura é muito importante, determinando as razões de volatilização e oxidação do enxofre e arsênio e as pressões parciais das fases gasosas. Temperaturas menores que 400-450°C implicam em baixa velocidade de oxidação da pirita e arsenopirita, enquanto temperaturas maiores que 700-750°C pode gerar o colapso dos poros e conseqüente encapsulamento das partículas de ouro ^{16,31,38-40}.

Minérios contendo teluretos, quando ustulados, produzem dióxido de telúrio gasoso e ouro metálico. Materiais carbonosos necessitam temperaturas superiores a 650°C para uma completa oxidação a CO₂. A oxidação incompleta de alguns materiais

carbonosos pode ocorrer quando submetidos às condições de ustulação de minérios sulfetados, por apresentarem razões de oxidação menores que as destes últimos^{5,26}.

Do ponto de vista ambiental, a ustulação é fortemente poluidora gerando emissões de particulados, dióxido de enxofre, arsênio, entre outros, impondo elevados investimentos para controle ambiental^{25,38}.

5.2.6 COMINUIÇÕES ALTERNATIVAS

Apesar do número crescente do tratamento de minérios auríferos contendo ouro em partículas muito finas, a prática do incremento da cominuição para a liberação do ouro é pouco usual devido aos elevados custos que isto significa e a baixa eficiência obtida na recuperação. Contudo, pesquisas são desenvolvidas na concepção de processos alternativos de cominuição visando a liberação de metais nobres finamente disseminados (refratários) em matriz de minério.

A Metprotech Pacific (Hong Kong) desenvolveu um protótipo, “Metprotech laboratory stirred ball mill” que consiste de um moinho de bolas vertical, contendo acoplado um sistema de agitação da massa mineral e bolas, “impellert”. Este equipamento é capaz de produzir material moído $90\% < 1\mu\text{m}$ e com isto obter extrações elevadas de ouro por cianetação direta⁴¹.

Para minérios refratário a processos CIP ou CIL, outra alternativa em desenvolvimento é o processo de cominuição onde é aplicado às partículas uma pressão adicional “High Pressure Roller Mills”, produzindo um intenso micro fraturamento das partículas grosseiras, permitindo assim a percolação do licor através destas fraturas e o emprego de processos de lixiviação em pilha ou tanque⁴². Esta técnica é particularmente interessante para minérios com bom teor e pouca reserva, que não justifica a aplicação de lixiviações sob agitação.

Teste de cianetação em coluna aplicado ao minério aurífero primário de Riacho dos Machados, após submetido a britagem em moinho *roller press* indicaram ser possível obter recuperações acima de 75 % com a lixiviação em pilha do minério prensado. Ensaios de processo de lixiviação em pilha com britagem abaixo de $\frac{1}{2}$ ” (12,5 mm) permitiu recuperação da ordem de 40%, sendo que quando moído abaixo de 2 mm a recuperação aumentou para 60 e 65%⁴³.

5.2.7 CARVÃO EM LIXIVIAÇÃO - CIL

O processo *carbon in leach* (CIL) é utilizado na cianetação de minérios auríferos contendo materiais orgânicos (item 5.1.2) capazes de interferir na lixiviação adsorvendo ouro e prata em solução, efeito *preg-robbing*. No CIL são realizados concomitantes, a lixiviação do minério e a adsorção por carvão ativado do ouro e prata dissolvidos no licor. Nesta situação os metais preciosos são preferencialmente adsorvidos pelo carvão ativado evitando a ação competidora do material carbonoso presente. Em substituição ao carvão ativado podem ser empregadas resinas trocadoras de íons (RIL) ^{16, 26, 44}.

Quando minérios refratários apresentam matéria orgânica e sulfetos associados, podem ser necessários tratamentos prévios para destruição dos sulfetos, como ustulação ou oxidação sob pressão. Nestes casos é comum permanecerem quantidades consideráveis de material carbonoso remanescentes, sendo indicado o processo CIL para a etapa de lixiviação ²⁶.

O processo CIL pode ser utilizado também em situações onde não há o efeito *preg-robbing*, sendo sugerido, nos casos de minérios de tempos de lixiviação curtos ou teores constantes, pela vantagem da redução do número de reatores em comparação com o processo convencional CIP, *carbon in pulp* (item 4.3) ^{44,45}.

5.2.8 CIANETAÇÃO INTENSIVA

Consiste em métodos de lixiviação por cianeto que utilizam altas concentrações de reagentes (cianeto, oxigênio, peróxidos), altas pressões e/ou temperaturas moderadamente elevadas (item 3.3.4), visando o incremento da cinética de dissolução do ouro e aumento da extração. Por envolverem maiores custos estas técnicas são aplicadas a minérios de elevado teor ou concentrados, quando apresenta baixos rendimentos no tratamento por cianetação convencional, em razão de características refratárias ou quando ocorre parcela de ouro grosseiro ^{5, 26}.

A cianetação empregando adição de agentes oxigenadores (ar, oxigênio e peróxidos) será discutida no item 6.

A **cianetação sob pressão** foi desenvolvida por Lurgi Monhemius (Alemanha, 1983) empregando tubos ou dutos de digestão, tecnologia usada na lixiviação de bauxita.

Esta técnica é utilizada comercialmente na mina de Consolidated Murchison (África do Sul) para o tratamento de concentrado aurífero de estibinita. Os testes de escala piloto em reatores de tubo para concentrados de arsênio e antimônio, aplicando pressões de oxigênio entre 50 e 100 bars, temperaturas entre 20 e 60°C, tempos de residência entre 60 e 120 min. e adição de NaCN de 10 a 20 kg/ton, resultaram em recuperações em torno de 90% para o concentrado de antimônio e entre 60 e 70% para o concentrado de arsênio. Os testes foram realizados em baixa alcalinidade, com pH final menor que 10. Para valores de pH mantidos entre 12 e 12,5 observaram o incremento de 10% na dissolução do ouro. Embora a elevada concentração de cianeto o consumo foi considerado baixo. Ambos os resultados foram superiores aos obtidos em autoclave. O processo industrial para concentrados de estibinita (Sb_2S_3) emprega reatores de tubo de 1,5 km de comprimento e 50 mm de diâmetro, pressão de polpa de 8,4MPa e tempo de residência de 15 min., obtendo extrações de 85% de ouro, contra 65% obtido em testes com autoclave^{26, 31}.

6 ESTUDO DE CASOS DA ADIÇÃO DE AGENTES OXIDANTES NA CIANETAÇÃO

A demanda de oxigênio necessário à cianetação, além daquela destinada à dissolução do ouro/prata, é gasta principalmente nas reações que ocorrem com espécies minerais associadas aos minérios auríferos, como pirrotita e arsenopirita, entre outros.

O aporte de oxigênio na lixiviação em polpa, comumente é obtido pela incorporação de ar através da agitação e/ou da injeção de ar comprimido. Em alguns casos porém, mesmo utilizando desenhos de agitadores de melhor eficiência e aspensão de ar na polpa, a exigência de oxigênio não é adequadamente suprida, comprometendo a eficácia do processo⁴⁶.

Da mesma forma, técnicas de pré-oxidação conseguem efeitos satisfatórios quanto à redução do consumo de cianeto, implicando também no menor consumo de oxigênio porém não sendo suficientes quando à oxigenação da polpa é deficitária.

Experiências e observações de processos indicam que a razão de dissolução do ouro aumenta aproximadamente proporcional à concentração de oxigênio, como mostra o estudo publicado pela American Cyanamid Company^{46,47}, para uma solução de 0,1 % de NaCN para diversas misturas de oxigênio e nitrogênio, Tabela IV.

A partir do final da década de 70 várias pesquisas foram realizadas para substituir o ar por agentes oxidantes mais potentes, resultando em aplicações industriais. A planta industrial de Consolidated Murchion, África do Sul (1983) foi a primeira a utilizar oxigênio na lixiviação de ouro em reatores. Atualmente várias instalações de plantas de extração de ouro já empregam a adição de oxidantes, principalmente na forma do gás de O₂ ⁴⁶.

Tabela IV - Efeito do pressão parcial de oxigênio na dissolução do ouro

% O ₂ no gás	razão de dissolução mgAu/cm ² /h
0	0,04
9,6	1,03
20,9	2,36
60,1	7,62
99,5	12,62

As principais vantagens obtidas com o uso de agentes oxidantes na lixiviação em polpa são a redução do tempo de residência e conseqüente redução no número de estágios de lixiviação ou redução do tamanho dos reatores.

6.1 GÁS OXIGÊNIO

Os efeitos do emprego do gás oxigênio em cianetação de minérios de ouro que serão apresentados a seguir foram extraídos dos estudos realizado pela Hazen Research Inc. e Kamir Imc. (Processo CILO) ^{48, 49, 50, 51}.

6.1.1 CIANETAÇÃO EM ATMOSFERA DE O₂ A PRESSÃO AMBIENTE

A solubilidade do oxigênio na água em contato com o gás O₂ é aproximadamente 4,8 vezes maior do que quando o contato é feito com o ar em pressão atmosférica. Assim, em condições de concentração suficiente de cianeto e suprimento de O₂ puro, a razão de dissolução do ouro esperada seria de 4,8 vezes maior do que no caso da aeração convencional. Ensaio (*bottles roll test*) realizados com amostra de minério da África do Sul mostraram que utilizando gás O₂ reduziram o tempo de cianetação em 4,8 vezes, em relação à cianetação empregando ar, Tabela V ⁵⁰.

Alguns impedimentos ao uso de oxigênio puro eram esperados, como o efeito de passivação do ouro, incremento no consumo de cianeto e custos elevados na adição do oxigênio. Porém nos ensaios da Hazen/Kamir estes aspectos não foram significativos
48,49,51

Tabela V - Testes de minério de ouro comparando O₂ e Ar em relação ao tempo de lixiviação

Atmosfera	O ₂	Ar	Ar
Tempo de lixiviação (h)	5	5	24
NaCN(g/l)	0,3	0,3	0,3
Teor do rejeito (gAu/t)	0,65	0,93	0,68
Extração (%) Au	91,8	87,5	90,9

Cathro (Austrália, 1961)⁵ sugeriu que elevadas concentrações de oxigênio, por exemplo acima de 20 mg/l, poderiam causar a passivação do ouro em razão da formação de uma camada superficial de óxido. A maioria das pesquisas e prática não evidenciaram este efeito⁵. Já o maior consumo de cianeto esperado será devido à oxidação do cianeto livre pela ação catalítica do carvão ativado, formando cianato (CNO⁻).

O desenvolvimento do processo CILO teve origem no estudo da possibilidade de incrementar a razão de dissolução do ouro com o aumento da concentração de oxigênio. Os ensaios de laboratório foram do tipo *bottles roll test*, avaliando a influência de vários parâmetros: concentração e carregamento do carvão ativado, concentração de cianeto e tempo de residência.

Nos ensaios foram utilizados minérios de ouro e ouro/prata de diferentes jazidas mundiais. As condições padrão foram: polpa de 45% de sólidos, concentração inicial de cianeto de 0,3 g/l, pH inicial de 11 e pressão atmosférica local (12,2psis). A granulometria das amostras ensaiadas eram variadas, mas na sua maioria da ordem de 80% < 0,074 mm. Para simular condições comparativas ao processo CIP, as amostras eram lixiviadas normalmente durante 6 horas em atmosfera de oxigênio e então o carvão ativado era adicionado por mais 4 horas.

Os testes explorando o efeito da **concentração de carvão ativado** no consumo de cianeto e extração de ouro em sistemas saturados de oxigênio mostraram que o consumo de cianeto é incrementado com o aumento da concentração de carvão, mesmo que em baixas taxas para os casos testados, Tabela VI^{49,51}.

Apesar das diferenças de extração serem pequenas uma concentração baixa de carvão ativado sugere a possibilidade de maiores extrações, Tabela VI. Isto se deve primeiramente que o carvão ativado presente na polpa, mesmo em baixa concentração, mantém uma baixa concentração de ouro dissolvido e portanto induzindo uma maior força de deslocamento do ouro para a solução; e segundo lugar pelo menor efeito de oxidação do cianeto livre ⁵¹.

Tabela VI - Relação entre o consumo de cianeto e a concentração de carvão ativado em atmosfera de oxigênio puro.

Conc. de Carvão (g/l)	20	10	0
Tempo (h)	6	6	6
Teor do rejeito (gAu/t)	0,72	0,59	0,68
Extração (%) Au	88,9	91,6	89,0
Cons. de NaCN (kg/t)	0,12	0,09	0,03

A **concentração de cianeto** ótima para o caso de lixiviação saturada de oxigênio foi definida para os ensaios CILO em 0,3 gNaCN/l. Os valores de consumo de cianeto obtidos foram considerados baixos, principalmente na ausência de carvão. Em condições de aeração parte do cianeto consumido é devido à presença de CO₂ que oxida o cianeto livre. A Tabela VII compara cianetações de 6 horas de duração realizadas em atmosfera de O₂ e ar ⁵¹.

Tabela VII - Comparação entre o consumo de cianeto e a concentração de oxigênio dissolvido, em atmosfera de ar e O₂.

Atmosfera	O ₂	Ar
Tempo (h)	6	6
Conc. de NaCN (g/l)	0,3	0,3
Teor de rejeito (gAu/t)	0,62	2,08
Extração Au (%)	89,4	70,3
OD inicial (ppm)	25,2	6,8
OD final (ppm)	23,8	7,4
Cons. de NaCN (kg/t)	0,037	0,028

Como já foi mencionado, os ensaios CILO de 6 horas obtiveram extrações semelhantes aos ensaios CIL para 24 horas. Para a observação da influência do **tempo de lixiviação** sobre a extração em atmosfera saturada de oxigênio, testes de um mesmo minério mostraram que em tempos excessivos o ganho é mínimo, Tabela VIII ⁵¹.

O resultado comparativo da série de ensaios CILO e CIL para diversos tipos de minérios e os respectivos consumos de cianeto são sumarizados na Tabela IX⁴⁹.

Tabela VIII - Influência do tempo de lixiviação em atmosfera de O₂.

Tempo (h)	5	6	7	24	6
Atmosfera	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	Ar
Teor do rejeito (gAu/t)	0,68	0,62	0,50	0,47	2,08
Extração Au (%)	89,5	89,4	92,0	93,1	70,3

Tabela IX - Comparação dos processo CILO x CIL, com fator de tempo relativo de 4,8.

Amostra do Minério	Tempo (h)		Extração de Au (%)		Cons. NaCN (g/t)	
	CIL	CILO	CIL	CILO	CIL	CILO
A	24	5	90,2	89,5	65	15
B	24	5	95,4	95,7	60	10
C	24	5	90,1	89,6	100	25
D	24	5	79,4	76,8	145	80
E	24	5	83,1	78,4	240	160
F	24	5	79,0	84,2	260	190
G	24	5	59,1	61,9	90	20
H	24	5	98,3	97,2	205	10
Rejeito A	96	20	68,1	68,3	260	130
Média			82,5	82,5	160	70

O processo CILO de maneira geral é similar ao CIL, item 5.2.7, exceto pela adição de gás oxigênio. O fluxograma do processo prevê basicamente 6 tanques, sendo o primeiro unicamente de lixiviação e os restantes incluindo a adsorção por carvão ativado em contra corrente, sendo a injeção de oxigênio feita no fundo dos tanques e estes vedados de forma a permitir a reciclagem do oxigênio, manter uma atmosfera rica em O₂ e evitar tanto perdas de O₂ e incorporação de ar à polpa. Os níveis de OD esperado para o processo são em torno de 35 ppm. Um detalhe técnico importante em uma planta CILO é o sistema de transporte e peneiramento do carvão que também deve ser confinado, podendo ser utilizadas bombas centrífugas tanto para a polpa mineral como para o carvão^{49,51}.

Exemplo de outro processo utilizando oxigênio é o SIMMERGO (1981), projeto conjunto da Anglo American Co. e Simmer and Jack Mine. O desenvolvimento deste processo foi realizado em uma planta de 8 tanques Pachuca onde duas linhas de 4 tanques cada foram operados independentemente, sendo em uma delas adicionado O₂ e a outra mantida no processo convencional. A adição do O₂ era feita por um injetor colocado na parede lateral dos tanques. O minério tratado era de baixo teor (0.55 gAu/t) e o resultado

médio dos testes ao longo de 3 meses apresentaram extrações de ouro de 33,21 % para a linha com injeção de oxigênio e 30,31 % para a convencional ⁴⁶.

6.1.2 CIANETAÇÃO SOB ELEVADA PRESSÃO DE OXIGÊNIO

A Hazen/Kamyr explorou o efeito de uma alta concentração de O₂ mantida em vasos sob pressão de 100psig. Os ensaios (*bottle roll test*) utilizaram minério com teor de 6,75 gAu/t moído a 80% < 0,074 mm, em polpa de 35% de sólidos e níveis de pressão inicial e final mínima respectivamente de 6,8 e 6,1 atmosferas (100psig e 90psig). Os resultados mostraram extrações de 90% do ouro após uma hora e concentração de cianeto de 2 g/l. Em duas horas de lixiviação a extração atingiu 92% ⁵⁰.

Testes com várias concentrações de cianeto mostraram, que a concentração limite de cianeto era de 1,5 g/l para que o controle da reação passasse a ser em função da concentração de oxigênio ⁵⁰.

6.1.3 OXIGÊNIO EMPREGADO NA LIXIVIAÇÃO EM PILHA

Na lixiviação em pilha, a queda de concentração de oxigênio à medida que a solução percola para níveis mais profundos pode ser bastante acentuado, principalmente quando ocorrem minerais redutores, o que prejudica a cinética da dissolução do ouro.

O uso de oxigênio em lixiviação em pilha também foi estudado pela Hazen/Kamyr em colunas de lixiviação. O minério testado apresentava um teor de 1,34 gAu/t e granulometria 100% < 101,6 mm (4"), sendo o oxigênio injetado na base das colunas. Os testes comparativos entre colunas com adição de oxigênio e ar resultaram em extrações médias após 15 dias de 86 % nas colunas com O₂ e 76 % naquelas com ar, e após 36 dias extrações médias respectivas de 90 % e 81 %. A solução de cianeto introduzida nas colunas com adição de oxigênio era anteriormente condicionada com O₂, apresentando concentrações maiores que 26 ppm, enquanto nas colunas convencionais a solução apresentava níveis médios de OD de 6,5 ppm. O consumo de cianeto nos testes com oxigênio foram menores que 0,23 kg/t ⁵².

O projeto para lixiviação em pilha com adição de oxigênio propõe a construção de uma base para a pilha formada de camadas de rocha britada, com granulometria de 500 a 100 mm, abaixo das quais ficaria a malha de distribuição de oxigênio ⁵².

6.2 - PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

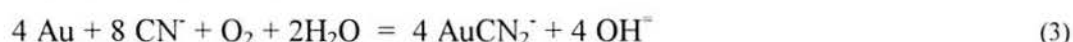
O uso de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), além de suprir as necessidades de oxigênio, proporciona uma melhor homogeneização do oxigênio dissolvido em polpas muito viscosas. Nestas polpas com 45 ou 50 % de sólidos a aeração com ar comprimido pode resultar em uma distribuição heterogênea e baixas concentrações do oxigênio dissolvido, devido a rejeição parcial do gás pela polpa ^{53, 54}.

O peróxido de hidrogênio é um forte oxidante e quando adicionado à polpa é decomposto pela ação catalítica do minério fornecendo oxigênio e água. Sua participação na dissolução do ouro pode se dar de duas maneiras ^{48,53}.

a) como oxidante, reagindo diretamente com o ouro:



b) ou como fornecedor de oxigênio à reação:



Com o objetivo de desenvolver um sistema automático de controle na dosagem de H₂O₂ aplicado a lixiviação de minérios auríferos os laboratórios de DEGUSA criaram o "Peroxide Assisted Leach-system" (PAL). Neste sistema o peróxido de hidrogênio deve ser diluído poucos segundos antes de sua dosagem nos tanque e a diluição sugerida é de 35 a 70% de H₂O₂ em peso. A dosagem do H₂O₂ é ajustada pelo sinal do eletrodo medidor de OD, o qual deve ser resistente à abrasão da polpa ⁵³.

Os resultados divulgados da comparação, entre lixiviação em batelada usando ar e aplicando o sistema PAL, indicam extrações totais do ouro cianetável no intervalo de 2 a 6 h de cianetação, enquanto utilizando cianetação convencional o tempo necessário foi de 24 a 48 h. É sabido que em plantas industriais a metade do minério permanece tempos inferiores que o de retenção (o tempo de retenção em processos contínuos de cianetação apresentam uma distribuição Gausiniana). Sendo assim em plantas industriais é esperado

que em função da cinética mais rápida sejam obtidos incrementos de extração da ordem de 3 a 20 % ^{48,54}.

O peróxido de hidrogênio é também um forte oxidante do cianeto, formando cianato e portanto aumentando o consumo de cianeto.



No entanto esta reação só ocorre em concentrações elevadas de H_2O_2 em solução. Para valores de 0,5 a 5 % de H_2O em peso sua degradação é mais rápida, reação 21, que a oxidação do cianeto. A chave do sistema PAL é evitar esta reação paralela de oxidação do cianeto ⁴⁸.

Tempos de 4 a 6 h e níveis de OD de 10 a 12 ppm são consideradas condições padrão para o processo PAL, afirmando que não há consumo excessivo de cianeto, mas pelo contrário a um menor consumo em relação ao ouro extraído. Por outro lado o fato do H_2O_2 ser um ácido fraco há um pequeno aumento no consumo de alcalinizante ⁴⁸.

O processo PAL foi aplicado ao rejeito de flotação da mina de Gencor's Firview (África do Sul), em uma alimentação de 700 t/dia e teor de 2,7 gAu/t. No processo de lixiviação convencional de 24 h a taxa de extração obtida era de aproximadamente 61 %. com o uso de H_2O_2 durante 6 h a extração total foi de 73 %. Neste caso o incremento de custo foi avaliado em 0,05 gAu/t ⁵³.

A passivação de sulfetos devido à forte oxidação pelo H_2O_2 foi observada em testes do processo PAL realizados na Austrália em minério sulfetado. O consumo de cianeto foi reduzido em até 50 % em relação à cianetação convencional, principalmente por evitar suas perdas na forma de tiocianato (SCN^-) ⁵⁵.

No Brasil a Cia. Vale do Rio Doce testou o uso de H_2O_2 na planta da mina Fazenda Brasileiro (Ba). Buscaram reproduzir, em escala industrial, as melhores condições de operação obtidas em laboratório pela Degusa. Os ensaios foram realizados em uma linha cianetação/CIP, composta de 2 tanques de pré-aeração, 3 tanques de cianetação e 6 tanques de CIP. Os tempos de residência são de 7 h/tanque na pré-aeração e cianetação e 1,5 h/tanque no CIP. Em condições normais de operação os níveis de oxigênio dissolvido eram menores que 2 ppm para os tanques de pré-aeração e entre 6 e 9 ppm para a cianetação ⁵⁴.

Foram realizados ensaios de adição de H_2O_2 no 2º tanque da pré-aeração e ensaios PAL/aeração.

No primeiro o ar foi substituído pelo H₂O₂ a 50 % (p/p) no tanque de pré-aeração, porém não foi conseguido elevar e manter a concentração de OD no tanque de pré-aeração. O ensaio PAL/aeração consistiu da adição de H₂O₂ a 50 % feita na entrada da cianetação e eliminando a aeração neste tanque. Neste ensaio a concentração de oxigênio dissolvido atingiu a faixa de 12 a 14 mg/l. O consumo de H₂O₂ foi de 0,36 kg/t de minério. A extração observada em 7 h foi de 95 a 98 % do ouro total recuperado no circuito, o que permitiria reduzir consideravelmente o tempo do circuito. A recuperação global no entanto não aumentou e variou na faixa de 92 a 94 %. Em nenhuma das duas condições foi detectada influência significativa do H₂O₂ sobre o consumo de cianeto, que variou de 236 a 270 g NaCN/t de minério ⁵⁴.

6.3 - PERÓXIDO DE CÁLCIO

O peróxido de cálcio (CaO₂) funciona como uma reserva química de O₂, decompondo-se em hidróxido de cálcio e oxigênio ⁵⁶:



Pelo fato de ser um oxidante a base de cal, sua dosagem faz parte da cota de alcalinizante necessária à cianetação. Também não apresenta efeito oxidante sobre o cianeto. Sua velocidade de reação é lenta e dependente do pH, sendo compatível com a velocidade de cianetação. O esgotamento do oxigênio ativo do CaO₂ pode demorar até 18 h em lixiviação sob agitação e até 30 dias em lixiviação em pilha ⁵⁵.

O CaO₂ pode ser produzido na própria usina a partir do CaO ou Ca(OH)₂ e H₂O₂. A produção de CaO₂ pode ser feita tanto em separado quanto sobre a linha de alimentação de cal no circuito, sem alterar a demanda de cal estipulada ^{56,57}.

Testes realizados com a aplicação do processo INTEROX em minério australiano de teor de 3 gAu/t em planta de cianetação/CIP, comparando com o uso de H₂O₂ e ar, mostraram vantagens do CaO₂ sobre o H₂O₂ no consumo de cianeto e oxidante (referenciado a kg H₂O₂/t), Tabela X.

Tabela X - Resultados comparativos CaO_2 (INTEROX) x H_2O_2 x Ar.

Oxidante	Teor Rejeito (gAu/t)	Cons. NaCN (kg/t)	Cons. Oxidante (kg H_2O_2 /t)
Ar	0,11	1,2	0
H_2O_2 + Ar	0,08	1,7	0,12
CaO_2 + Ar	0,08	0,98	0,09

Utilizando concentrado piritoso com teor de 30 gAu/t, Tremolada e Acosta⁵⁷, testaram em laboratório comparativamente o uso na cianetação de CaO_2 e H_2O_2 . As condições dos ensaios foram: 35 % de sólidos em polpa, granulometria do concentrado de 75% < 0,044mm, concentração inicial de cianeto de 4 g/l e pH inicial de 11.9. Os resultados mostraram recuperações de ouro e diminuição do consumo de cianeto pela adição de oxidantes. A Tabela XI apresenta resultados de alguns ensaios, sendo que em todos foi feita pré-aeração de 12 h e troca da solução.

Tabela XI - Comparativo da cianetação de concentrado piritoso com uso de CaO_2 e H_2O_2

Oxidante	Tempo	Extração Au %	Cons. NaCN (kg/t)	Cons. CaO (kg/t)	Teor Rejeito (gAu/t)
Ar	72	80,44	2,00	13,50	6,25
H_2O_2	24	82,17	1,30	13,10	6,25
CaO_2	48	80,30	2,90	10,92	5,50

O cobre, freqüentemente presente nos minérios de ouro e dissolvido em soluções cianetadas, é um catalisador da decomposição do cianeto na presença de H_2O_2 . Estudo comparativo do decaimento da concentração de cianeto (KCN) com adição de ar, H_2O_2 e CaO_2 , sem e com a presença de cobre em solução (50 ppm Cu), indicaram que na ausência de cobre o comportamento foi semelhante para os três oxidantes, porém com a adição de cobre, o decréscimo da concentração de cianeto foi maior e progressivo no caso do uso de H_2O_2 ⁵⁸.

6.4 COMPARATIVO O_2 x H_2O_2 ⁵⁹

Na planta de Panddy's Flat, Austrália, foi conduzido teste em escala industrial comparando o uso de gás O_2 e H_2O_2 em solução. Esta planta permite que a polpa a ser tratada seja dividida em dois circuitos idênticos de lixiviação.

O teste foi realizado mantendo as mesmas condições de cianetação para as duas linhas, quais sejam: níveis iguais de oxigênio dissolvido (16 ppm), pH (9,4), concentração de cianeto (100 ppm) e tempo de residência na cianetação de 13,5 h. Os circuitos consistiam de 1 tanque de lixiviação e 3 de adsorção (CIP). Houve duas etapas de teste, na primeira e mais longa foi tratado minério oxidado, na segunda o minério apresentava significativa parcela de sulfetos.

Durante o período de tratamento do minério oxidado houve pouca diferença na performance metalúrgica entre os dois reagentes, com extrações totais de 95 %. Porém no circuito de H_2O_2 a taxa de lixiviação foi levemente maior. Quando da presença do minério sulfetado, de lixiviação lenta, o tratamento com H_2O_2 obteve maiores recuperações de 85% em comparação com recuperações em torno de 72 % para o O_2 . O controle do desempenho dos testes foi apresentado em termos de teores de rejeito, que variaram de 0,25 a 0,05 ppm.

Os resultados favoráveis ao H_2O_2 em termos metalúrgicos foram atribuídos aos seguintes aspectos: o H_2O_2 se decompõe próximo a superfície do ouro proporcionando um incremento local do nível de OD, aumentando a cinética da reação e pela grande força de oxidação do H_2O_2 , que pode ter liberado pequenas quantidades de ouro pela oxidação parcial dos sulfetos refratários.

IV PARTE EXPERIMENTAL

Os trabalhos experimentais contaram basicamente de ensaios de cianetação direta, distribuídos da seguinte forma:

- Ensaios de cianetação por faixas granulométricas;
- Ensaios de extração (cinética e extração total do ouro cinetável);
- Ensaios de pré-aeração e cianetação;
- Ensaios de cianetação comparativa (comparando o efeito na cianetação dos agentes oxidantes, ar, gás O_2 e H_2O_2).

Fez parte também desta etapa, o trabalho da preparação de amostras, tanto para os ensaios mencionados, como para as análises de caracterização mineralógica.

1 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

A amostra de minério objeto deste trabalho tem como identificação e procedência:

- Minério Aurífero de Riacho dos Machados - **Minério RM**;
- Minério sulfetado ROM da galeria subterrânea - MSRM tipo DS/74, nível 730, Mina de Riacho dos Machados - CVRD, Riacho dos Machados, MG.

A amostra RM total foi recebida em fev/94 na quantidade de 330 Kg. Trata-se de minério ROM, proveniente do desmonte de galeria subterrânea identificada como MSRM tipo DS/74, nível 730. Da amostra total primeiramente foram colhidas amostras de rocha, escolhidas de forma a representar as várias feições macroscópicas observadas, destinadas à análise petrográfica em lâminas e seções polidas¹¹.

A totalidade da amostra do minério sofreu então britagem, em britadores de mandíbulas (britador primário) e rolo (britador secundário), obtendo-se um material 100% menor que 4 mm (5# Tyler), o qual foi então homogeneizado e quarteado em 32 amostras menores. A Figura 7 apresenta o fluxograma da etapa de preparação de amostras.

Figura 7 - Fluxograma da etapa de preparação de amostras.

1.1 METODOLOGIA DE HOMOGENEIZAÇÃO E QUARTEAMENTO

O método de homogeneização empregado é o de revolvimento de uma pilha de material. Este é depositado de maneira a formar uma pilha cônica, que com o uso de pá (grandes volumes) ou espátula (pequenos volumes), é então revolvido, retirando-se o material da base do cone e devolvendo-o ao topo em operações sucessivas ao redor da pilha⁶⁰.

Para o quarteamento do minério com “top-size” grosseiro utilizou-se quarteadores tipo Jones. Em amostras de grande volume empregou-se um quarteador de maior

capacidade com largura da calha de 5 cm. Para as amostras menores, com granulometrias de “top-size” entre 4 mm e 1 mm, emprega-se um quarteador com abertura de calha de 1,4cm⁶⁰.

Já no quarteamento das amostras de material fino e de pequeno volume utilizou-se o procedimento da construção de uma pilha com a forma de tronco de cone a qual é dividida em quatro setores. O quarteamento ou divisão do material é feita juntando-se dois a dois os setores opostos em diagonal, obtendo-se duas porções quarteadas. Caso seja necessário dividir ainda mais a amostra, toma-se uma destas porções e repete-se a operação⁶⁰.

1.2 PENEIRAMENTO

Para a obtenção de material de minério em faixas granulométricas pré-definidas ou para análise granulométrica foi utilizado peneiramento a úmido em peneirador eletromagnético Bertel e peneiras de 20 cm de diâmetro.

1.3 MOAGEM

Inicialmente foi utilizado moinho de bolas construído no LAPROM com as seguintes características:

- Dimensões internas - 20 cm de diâmetro interno, 20 cm de altura;
- Velocidade de rotação - 60 rpm;
- Carga de Bolas (nº de esferas e diâmetro): 37 de 1,5”, 34 de 1”, 46 de 3/4” e 80 de 1/2”.

Os testes de moagem foram realizados no moinho de bolas descrito acima e teve o objetivo de padronizar a moagem do minério britado de Riacho dos Machados, para a obtenção da granulometria de processo escolhida, que será utilizada ao longo dos demais ensaios de cianetação. O procedimento definido foi da moagem de carga com 1/2 Kg do minério britado durante um período de 40 minutos, para produzir um material aproximadamente a 85% < 0,074 mm.

Este padrão foi empregado na produção das amostras de minério para os ensaios de extração e de pré-aeração. Já nos ensaios de cianetação comparativa, em função da grande massa de minério necessária, aproximadamente 50 % do minério foi moído nas condições acima descritas, enquanto o restante foi moído em moinho de barras semi-industrial da planta piloto da Mina da Bossoroca - MINESUL. São Sepé, RS. Os dois materiais moídos foram então homogeneizados e quarteados.

1.4 PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS DE MATERIAL PARTICULADO PARA OBSERVAÇÃO MINERALÓGICA

Visando o estudo mineralógico do minério na granulometria escolhida como a de processo foram confeccionadas pela SUTEC lâminas delgadas e seções polidas das seguintes amostras do minério:

- a) Amostra de cabeça - minério moído a 85% < 0,074 mm, típico da alimentação do processo de cianetação;
- b) Amostra da fração mais densa da amostra de cabeça - fração do minério com densidade superior a do bromofórmio;
- c) Amostra da fração mais densa do rejeito de cianetação - fração do rejeito do minério cianetado, com densidade superior a do bromofórmio.

Para a preparação das amostras de fração densa foi utilizada a técnica de separação densimétrica por centrifugação do material imerso em bromofórmio ($d_b = 2.83 \pm 0,01\text{g/cm}^3$). Utilizou-se um centrífugador de laboratório, FAMEN modelo 206-R, com suporte para 4 recipientes de diâmetro de 4 cm e capacidade para 100 ml. Colocava-se em cada um dos recipientes 70 ml de bromofórmio e 5 g de minério e centrifugou-se por 3 min. sob uma rotação de 1.500 rpm (rotação estimada, correspondente na centrífuga à velocidade "3"). Com este procedimento obteve-se uma quantidade de material afundado representando entre 7 % e 13 % da massa total. O material afundado obtido da amostra de cabeça apresentou em média uma relação de 9 % da massa inicial, enquanto a do material de rejeito foi de 11%.

As lâminas e seções polidas do material particulado foram confeccionadas pelo laboratório de mineralogia da SUTEC.

2 METODOLOGIA DOS ENSAIOS DE CIANETAÇÃO

De maneira geral os ensaios de cianetação foram precedidos de simulações onde buscou-se adequar os procedimentos de ensaio. Também houve a preocupação de manter para os diferentes ensaios parâmetros idênticos, tais como: concentração de cianeto ([NaCN]), características das amostras de minério, densidade de polpa (exceto para a cianetação por faixas granulométricas), qualidade dos reagentes e ainda:

- Estabeleceu-se como concentração de cianeto padrão, para todos os ensaios de extração, [NaCN], a faixa de 1000 a 500 mg/l. Este nível foi escolhido em função das características cianicidas dos sulfetos presentes na amostra de minério RM, particularmente a pirrotita;

- As alíquotas do minério RM utilizadas nos ensaios eram obtidas após homogeneização e quarteamento de alíquotas maiores. Apenas nos ensaios de pré-aeração e cianetação comparativa II foram colhidas alíquotas de valores pré-fixados (1 e 2 kg);

- Na formação das polpas minerais sempre foi empregada água destilada;

- Todos os reagentes utilizados neste trabalho foram substâncias para análise (pa), com exceção do oxigênio, sendo usado gás comercial.

- A injeção de ar foi feita por ar comprimido, previamente filtrado para eliminar contaminantes oleosos e vazão controlada por fluxômetro na faixa de 1 a 15 l/min;

- A injeção de O₂ foi feita a partir de cilindro de oxigênio comprimido e vazão controlada por fluxômetro na faixa de 1 a 15 l/min.;

- A adição de H₂O₂ nos ensaios de pré-aeração foi feita pelo gotejamento do reagente controlado por bureta volumétrica previamente calibrada, e para os demais ensaios foi utilizada bomba peristáltica com vazão previamente calibrada.

O condicionamento da polpa por agitação visou evitar a sedimentação do material, sem no entanto utilizar excessiva agitação que pudesse diminuir o efeito da difusão sobre o controle cinético da cianetação, item 3.3.5.

Nos primeiros testes em becker (sem defletores) observou-se uma progressiva decantação, obrigando que periodicamente o material decantado fosse revolvido com uso de bastão de vidro. A manutenção da polpa em suspensão durante os ensaios foi obtida com a implantação de defletores nos becker e a substituição da pá de perfil tubular por pás de maior área frontal, conforme apresentadas nas figuras 9 e 10. A perfeita suspensão da polpa foi obtida somente a partir dos ensaios de pré-aeração.

2.1 ENSAIOS DE CIANETAÇÃO POR FAIXA GRANULOMÉTRICA

Os ensaios de cianetação em diferentes faixas granulométricas do minério cominuído procuram estabelecer qual a faixa que apresenta a melhor recuperação de ouro, ou seja, o percentual de ouro susceptível de ser recuperado por cianetação - ouro cianetável. Estes ensaios possibilitam definir também a granulometria de processo, uma vez levado em conta a relação “cominuição - recuperação - custos de moagem”. As faixas granulométricas escolhidas foram: -0,250 +0,149mm (-60 +100# Tyler), -0,149 +0,105mm (-100 +150# Tyler), -0,105 +0,074mm (-150 +200# Tyler), -0,074 +0,053mm (-200 +270# Tyler) e -0,053mm (-270# Tyler).

Para a obtenção destas faixas granulométricas partiu-se de uma alíquota de material britado com aproximadamente 5,3 Kg, realizando-se primeiramente um peneiramento em 60 malhas, visando minimizar os efeitos da sobre moagem. O retido foi então moído, em bateladas com 1 Kg de minério durante 15 min., empregando-se moinho de bolas. A amostra total moída representou 98,5% menor que 60 malhas. Através do peneiramento a úmido obteve-se as faixas granulométricas escolhidas

Os ensaios de cianetação direta por faixa granulométrica foram realizados em copos becker de 2 l e utilizando-se agitador modelo Fizaton e pá de perfil tubular de 15 mm de diâmetro. A massa das amostras ensaiadas variaram em torno de 150 e 300 g.

As condições e procedimento destes ensaios foram as seguintes.

TEMPO DE ENSAIO - 48 h;

POLPA - densidade de 33% p/p de sólidos em massa;

A baixa densidade estabelecida teve o intuito de manter uma maior relação de massa entre cianeto e minério e tornar mais lenta a variação da concentração do cianeto;

CONDICIONAMENTO - agitação da polpa com pá a 150 rpm;

CONCENTRAÇÃO DE CIANETO (NaCN) - concentração inicial de 1000 mg/l (0,1%).

Visando manter a concentração de cianeto nunca inferior a 500 mg/l, ao longo dos ensaios, foi efetuada a adição de cianeto, tomando-se por base o consumo de cianeto observado em testes simulados e em um teste paralelo realizado com minério na faixa granulométrica -0,053mm.

CONTROLE DE pH - Inicialmente mediu-se o pH natural da polpa, que no caso apresentou valores entre 6 e 7. Para corrigir a polpa ao pH =10,5 utilizou-se a adição de solução de NaOH 0,1N. O pH inicial da polpa corrigido após a adição do cianeto apresentou valores entre 10,3 e 10,4. O controle de pH foi realizado ao longo dos testes não tendo sido mais necessária sua correção. O pH final apresentou valores em torno de 10,9 e 11,3.

COLETA DO MATERIAL PARA ANÁLISE - Ao final de cada ensaio a polpa era filtrada a vácuo. Durante a filtragem o rejeito foi intensamente lavado para a recuperação completa do ouro dissolvido no licor. O rejeito sólido foi seco em estufa a 60^o C. O licor diluído no procedimento de lavagem do rejeito foi colocado em copos becker e levado a chapa aquecedora a 150^o C, para a redução de volume e conseqüente concentração. Finalmente o licor concentrado era novamente filtrado e seu volume ajustado para 100 ml. Os rejeitos e licores de cada faixa granulométrica foram enviados para análise dos teores de ouro e prata.

2.2 TIPOS DE TESTES DE LIXIVIAÇÃO EMPREGADOS

Os testes descritos a seguir foram empregados nas lixiviações dos ensaios de extração, pré-aeração e cianetações comparativas.

2.2.1 TESTE EM "GARRAFA ROLANDO" - BOTTLE ROLL LEACH TEST

O teste de lixiviação em garrafa rolando, *bottle roll leach test*⁶¹ foi utilizado em cinco dos sete ensaios de extração.

A escolha desta técnica deveu-se ao fato de ser usada pela SUTEC para ensaios de lixiviação (Alvos de Extração)⁶², aliada à facilidade de serem reproduzidas as condições do teste, quais sejam: geometria da garrafa e velocidade de rotação; permitindo a comparação dos resultados obtidos no LAPROM com aqueles fornecidos pela SUTEC.

Outra vantagem do seu emprego para este estudo, foi o de também permitir extrapolar os resultados das lixiviações de material britado como previsão das recuperações a serem conseguidas em lixiviações em pilha ou tanque, em função da analogia admitida pela SUTEC⁶².

A montagem deste teste no LAPROM foi uma adaptação do teste observado na SUTEC, e consiste de um garrafão de PVC de 20 l (garrafão de água mineral) posto a rolar sobre roletes acionados por motor elétrico, que lhe submetem uma rotação aproximada de 60 rpm,

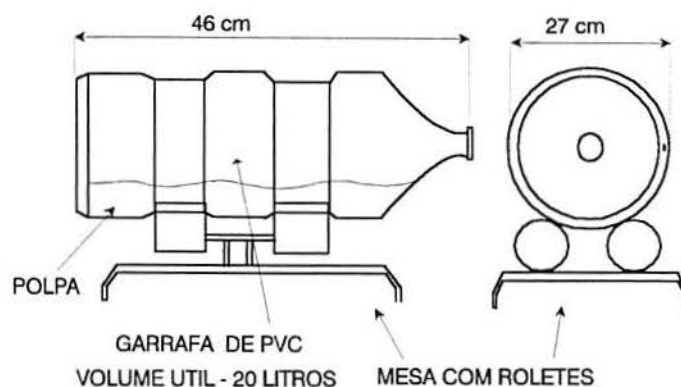


Figura 8 - Dimensões do equipamento para testes em garrafão.

2.2.2 TESTES EM REATORES TIPO VASO (CONVENCIONAL)

Os ensaios de lixiviação em laboratório com reatores convencionais, guardadas as devidas proporções, pretendem simular condicionamentos semelhantes aos existentes em situação de lixiviação industrial.

O uso deste tipo de teste para a maioria dos ensaios deveu-se à facilidade de adaptação para adição de agentes oxidantes (gás e líquido).

Foram utilizados nos ensaios três dimensões de reatores (volumes), dependendo da massa de minério a ser ensaiada: 2 l (becker), 5 l (Reator 1 - becker) e 50 l (Reator 2), Figura 9.

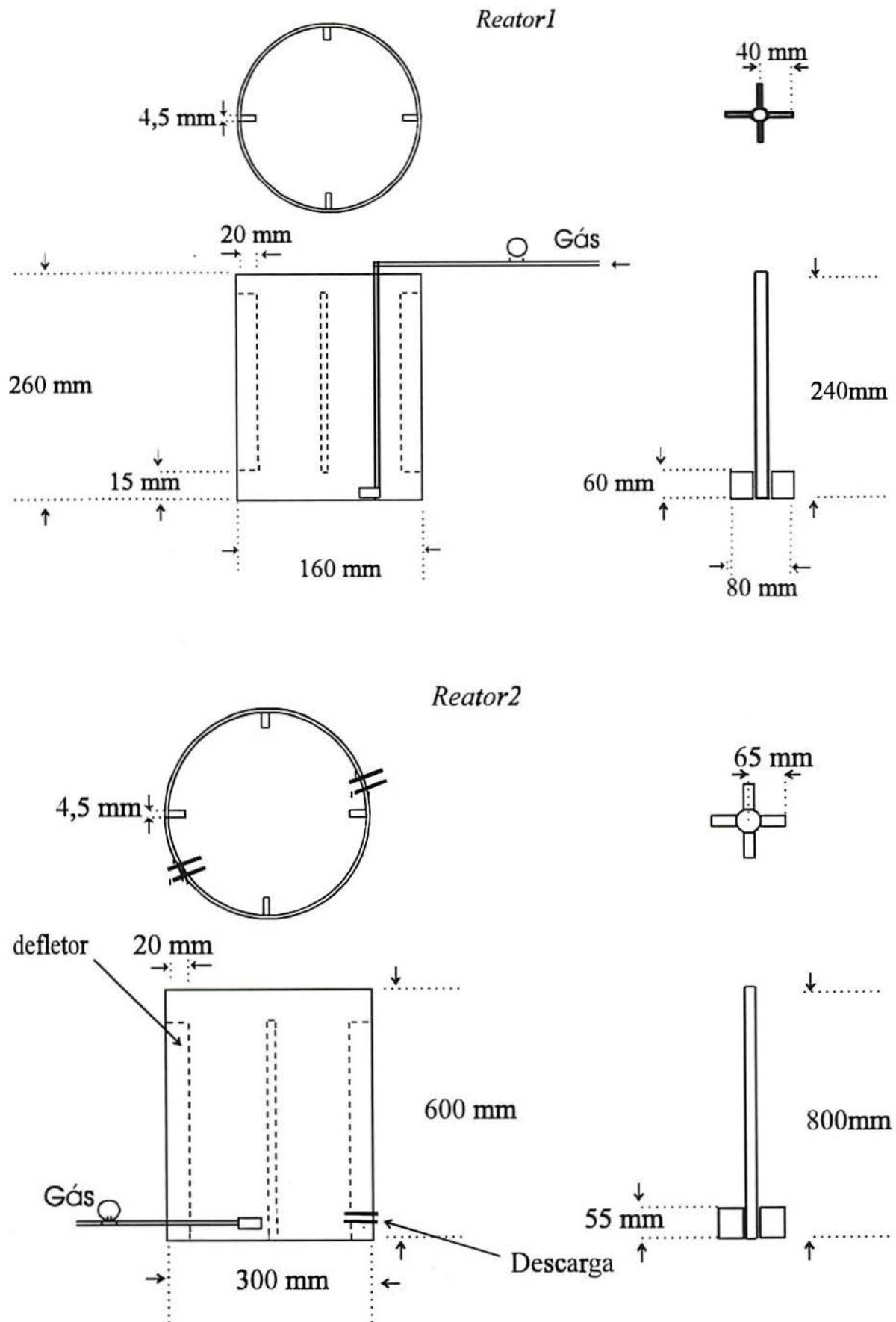


Figura 9 - Dimensões dos Reatores 1 e 2

O Reator 1 foi construído a partir de um becker de 5 l, ao qual foi adicionado 4 defletores (*baffles*) de vidro colados com silicone. O reator de 2 l apresenta as mesmas características do Reator 1. Para a agitação da polpa usou agitador Fisatom de múltiplas velocidades.

O Reator 2 foi construído pela Muri Equipamentos a partir de projeto desenhado pelo LAPROM⁶³. Consiste em um tanque de 50 l, com defletores, entrada para gás e descarga de polpa e pá de agitação, ambos confeccionados em aço e revestidos com pintura anti-corrosiva. A agitação é acionada por motor elétrico e transmissão por polia e correia, sendo utilizada uma velocidade em torno de 160 rpm.

2.3 ENSAIOS DE EXTRAÇÃO

Os ensaios de extração visaram determinar o comportamento do minério de ouro quanto (1) à cinética de extração ou dissolução do ouro ao longo do tempo de cianetação,; (2) o tempo em que se obtém a máxima extração de ouro; (3) e o consumo de cianeto e de óxido de cálcio.

Para estes ensaios foram utilizadas amostras do minério britado a $100\% < 4 \text{ mm}$ e moído a aproximadamente $85\% < 0,074 \text{ mm}$.

As alíquotas de minério britado provêm da amostra total recebida e britada nesta granulometria.

As amostras de minério moído foram obtidas conforme a padronização de moagem estabelecida para a granulometria de processo, definida como $85\% < 0,074\text{mm}$. Para obtenção das amostras de minério moído para os ensaios de extração foram efetuadas duas campanhas de moagem. Em razão disto, as análises granulométricas das amostras empregadas nestes ensaios mostraram cominuições de 83% e 85% passantes em 0,074mm.

A seguir estão relacionados os ensaios de extração com suas respectivas identificações, granulometria e massa do minério, duração e tipo de teste de lixiviação:

- GB72 - $100\% < 4\text{mm}$, 2.000 g, 72h, garrafa rolando;
- GC48 - $85\% < 0,074\text{mm}$, 2.960 g, 48h, garrafa rolando;
- GD48 - $83\% < 0,074\text{mm}$, 2.249 g, 48h, garrafa rolando;
- GE72 - $83\% < 0,074\text{mm}$, 2.696 g, 72h, garrafa rolando;

- GF72 - 100% < 4mm, 2.333 g, 72h, garrafa rolando;
- BA24 - 83% < 0,074mm, 1,586 g, 24h, reator becker (2l);
- RA48 - 83% < 0,074mm, 5,171 g, 48h, Reator 2;

Para testes, os ensaios de extração foram realizados mantendo-se constantes os seguintes parâmetros:

TEMPO - Os ensaios apresentaram durações de 24 h, 48 h e 72 h.

POLPA - densidade de 50% p/p de sólidos em massa;

CONDICIONAMENTO - pré-aeração de 1 h em pH de 10,5.

A pré-aeração teve a intensão de reduzir o efeito dos minerais cianídicos. Nos ensaios em becker a polpa foi submetida a uma agitação de 150 rpm.

CONCENTRAÇÃO DE CIANETO (NaCN) - concentração inicial de 1000 mg/l (0,1%).

Procurou-se manter a concentração de NaCN ao longo dos ensaios na faixa entre 1.000 mg/l e 500 mg/l. Sendo assim, quando a concentração medida era inferior a 600 mg/l esta era corrigida para 1000 mg/l.

CONTROLE DO pH - A polpa natural, em vários ensaios, apresentou valores de pH entre 4 e 7. Visando manter a polpa em condições alcalinas de pH 10,5, foi empregada a adição de CaO. Para dar-se início à pré-aeração de 1h, primeiramente o pH era corrigido para 10,5. Da mesma forma, tanto no início da cianetação como durante o ensaio e sempre antes das adições de cianeto, a polpa era corrigida para pH 10,5, de maneira que o cianeto não mascarasse o efeito da alcalinização pelo CaO. Com a adição do cianeto, num primeiro momento, o valor do pH aumentava sensivelmente, para valores em torno de 10,8.

COLETA DO MATERIAL PARA ANÁLISE - Ao longo dos ensaios foram coletadas alíquotas de licor (solução filtrada) para: análise do teor de Au, análise da concentração de cianeto e medição do pH. O material sólido filtrado retornava para a lixiviação, sendo repostos o volume de solução em água e de cianeto na concentração referente às alíquotas de licor coletadas. Amostras do rejeito e licores foram enviados para análise dos teores de ouro. Foram também analisados os teores de ouro por faixas granulométricas da amostra de cabeça (+ 0,147mm, -0,147mm + 0,074mm e -0,074mm) e para os rejeitos dos ensaios, GE72, BA24 (+ 0,147mm, -0,147mm + 0,074mm, -0,074mm + 0,044mm, -0,044mm + 0,037mm e -0,037mm) e GD48 (+ 0,147mm, -0,147mm

+0,074mm e -0,074mm), como também os teores de arsênio contido no rejeito e licor final dos ensaios GD48, GF72 e BA24.

2.4 ENSAIOS DE PRÉ-AERAÇÃO

Os ensaios de pré-aeração tiveram os seguintes objetivos:

a) Determinar o tempo ideal de pré-aeração que possibilitaria o menor consumo de reagentes na etapa de lixiviação;

b) Testar o efeito da utilização de agentes oxidantes na pré-aeração do minério em condições de polpa alcalina, pH em torno de 10,5 e neutra (natural), pH em torno de 7;

c) Estabelecer os procedimentos de medição dos parâmetros: oxigênio dissolvido (OD) e potencial redox (Eh).

A seguir estão relacionados os ensaios de pré-aeração/lixiviação com suas respectivas identificações, duração, pH e tipo de agente oxidante na pré-aeração:

- PAG-4 - 4h, pH neutro, incorporação de ar por agitação;
- PAR-4 - 4h, pH neutro, injeção de ar (1l/min.);
- POX-4 - 4h, pH neutro, injeção de O₂ (1l/min.);
- PPO-4 - 4h, pH neutro, gotejamento de H₂O₂, 30% (0,25ml/min);
- PAG-4A - 4h, pH alcalino, incorporação de ar por agitação;
- PAR-4A - 4h, pH alcalino, injeção de ar (1l/min.);
- POX-4A - 4h, pH alcalino, injeção de O₂ (1l/min.);
- PPO-4A - 4h, pH alcalino, gotejamento de H₂O₂, 30% (0,25ml/min);
- PAG-8A - 8h, pH alcalino, incorporação de ar por agitação;
- PAR-8A - 8h, pH alcalino, injeção de ar (1l/min.);
- POX-8A - 8h, pH alcalino, injeção de O₂ (0,5ml/min).

Foi realizado também um teste de pré-aeração de 12 h para avaliar unicamente o consumo de CaO.

- P12 - 12h, pH alcalino, injeção de ar (1l/min.).

Os ensaios foram conduzidos dentro das seguintes condições e procedimento, sendo a lixiviação realizada sem introdução de oxidante:

MINÉRIO - 1000g cominuído em torno de 85% < 0,074mm;

POLPA - densidade de 50% de sólidos em massa;

CONDICIONAMENTO - em becker de 2 l sob agitação entre 170 e 250 rpm;

CONCENTRAÇÃO DE CIANETO [NaCN] - concentração inicial de 2000 mg/l (0,2%), sem correção durante a cianetação;

CONTROLE DO pH - O pH foi monitorado durante os ensaios, sendo corrigido, com adição de CaO, para valores em torno de 10,5 na etapa de pré-aeração alcalina e durante as lixiviações;

PARÂMETROS MEDIDOS - pH, Eh, OD e [NaCN]_{final};

COLETA DO MATERIAL PARA ANÁLISE - Ao final da cianetação foram recolhidas amostra do licor e rejeito para análise dos teores de ouro.

2.5 ENSAIOS DE CIANETAÇÕES COMPARATIVAS

Nestes ensaios buscou-se comparar os efeitos da adição de diferentes agentes oxidantes durante a cianetação do minério moído. Foram realizadas 4 modalidades (cianetação comparativa I, II, III e IV) apresentadas a seguir, que tiveram em comum os seguintes parâmetros;

MINÉRIO - cominuído em torno de 85% < 0,074mm;

POLPA - densidade de 50% de sólidos em massa;

CONDICIONAMENTO - as cianetações comparativas I, II, III foram realizadas em Reator 1, com agitação em torno de 170 rpm, e a cianetação comparativa IV em Reator 2 com 160 rpm;

CONCENTRAÇÃO DE CIANETO [NaCN] - concentração inicial de 1000 mg/l (0,1%).

Procurou-se manter a concentração de NaCN ao longo dos ensaios na faixa entre 1.000 mg/l e 500 mg/l. Sendo assim, quando a concentração medida era inferior a 600 mg/l esta era corrigida para 1000 mg/l;

CONTROLE DO pH - O pH foi monitorado ao longo dos ensaios, sendo corrigido com adição de CaO para valores em torno de 10,5 quando apresentava valores inferiores a este;

PARÂMETROS MEDIDOS - pH, Eh, OD, [NaCN];

COLETA DE MATERIAL PARA ANÁLISE - Ao longo dos ensaios foram coletadas alíquotas de licor (solução filtrada) para: análise do teor de ouro e/ou prata e análise da concentração de cianeto. O material sólido filtrado retornava para a lixiviação, sendo repostos o volume de solução em água e de cianeto na concentração referente à alíquota de licor coletada. Amostras do rejeito e licores foram enviados para análise dos teores de ouro.

Para alguns ensaios foram realizadas análises adicionais, como análise dos teores finais de ferro, cobre, níquel e arsênio em solução e de ouro e/ou prata por faixa granulométrica do rejeito, as quais são comentadas nos respectivos ensaios.

2.5.1 CIANETAÇÃO COMPARATIVA I

Consistiu de três ensaios introdutórios visando estabelecer: o tempo de cianetação para que fossem alcançadas extrações máximas de ouro/prata e ajustar os procedimentos de ensaio, com etapas de pré-aeração de 6h e lixiviação de 48h.

A seguir são relacionados os ensaios e respectivas identificações, agentes oxidantes e análises adicionais:

- LAG - ar incorporado pela agitação;
- LA - ar injetado (1ml/min) e analisado teores de Fe, Cu e Ni no licor final;
- LO - O₂ injetado (1ml/min) e analisado teores de Fe, Cu e Ni no licor final.

2.5.2 CIANETAÇÃO COMPARATIVA II

O objetivo deste conjunto de ensaios foi estudar a cinética de extração de ouro e prata para cada tipo de agente oxidante empregado em lixiviação de 48h.

A pré-aeração foi realizada com injeção de ar e tempo de 12h, transcorrida durante a noite, afim de ajustar os horários de coletas de licor. O CaO necessário à alcalinização da polpa foi adicionado no início da etapa e o monitoramento realizado apenas no início e fim da pré-aeração. Simulações de pré-aeração alcalina indicaram consumos de CaO da ordem de 2,7 a 2,9 g/kg de minério RM.

A seguir são relacionados os ensaios com as respectivas identificações, massas, agentes oxidantes empregados na cianetação e análises adicionais:

- L IV - 3138g, ar injetado (1l/min). Analisados os teores de Fe, Cu, Ni e As no licor final e faixas granulométricas do rejeito (+0,074mm; -0,074mm +0,037mm; -0,037mm);
- L VII - 2812g, O₂ injetado (1l/min). Analisados os teores de Fe, Cu, Ni e As no licor final e faixas granulométricas do rejeito (+0,074mm; -0,074mm +0,037mm; -0,037mm);
- L VIII - 3050g, O₂ injetado (0,5l/min). Analisados os teores de Fe, Cu, Ni e As no licor final e faixas granulométricas do rejeito (+0,074mm; -0,074mm +0,037mm; -0,037mm);
- L X - 2932g, H₂O₂ 30% gotejado (0,3ml/min.). Analisados os teores de Fe, Cu e Ni no licor final;
- L XI - 3089g, H₂O₂ 30% gotejado (0,3ml/min.). Analisados os teores de Fe, Cu e Ni no licor final, lixiviação de 24h e análise dos teores de ouro nas alíquotas de licor realizado pelo LAMET/UFRGS.

2.5.3 CIANETAÇÃO COMPARATIVA III

Foram ensaios semelhantes ao anterior (cianetação comparativa II) onde alterou-se apenas a massa de minério para valores em torno de 8kg, usando-se o Reator 2.

A seguir são relacionados os ensaios com as respectivas identificações, massas, agentes oxidantes empregados na cianetação e análises adicionais:

- LR I - 7744g, ar injetado (1l/min.);
- LR III - 8213g, O₂ injetado (1l/min.);
- LR IV - 9226g, H₂O₂ 30% (0,3ml/min.).

2.5.4 CIANETAÇÃO COMPARATIVA IV

Trataram-se de ensaios de referência onde alguns procedimentos foram alterados ou interrompidos. Seus objetivos, características e análises adicionais são apresentados a seguir:

- L II - Avaliar a cinética de extração nas primeiras 10h com injeção de ar (1l/min.) e sem pré-aeração. Análise dos teores de Fe, Cu, Ni e As no licor final e teores de Au e Ag por faixa granulométrica do rejeito (+0,074mm; -0,074mm +0,037mm; -0,037mm);

- L VI - Identificar a contribuição de cada fração granulométrica na parcela inicial de ouro cianetável, mediante a interrupção da lixiviação após 4h e análise das frações granulométricas do rejeito (+0,149mm; -0,149mm +0,074mm; -0,074mm +0,044mm; -0,044mm +0,037mm; -0,037mm). Pré-aeração de 12h e agente oxidante O₂ (1 a 0,5l/min.);
- L IX - Identificar a contribuição de cada fração granulométrica na parcela inicial de ouro cianetável, mediante a interrupção da lixiviação, após 8h e análise das frações granulométricas do rejeito (+0,074mm; -0,074mm +0,037mm; -0,037mm). Pré-aeração de 12h e agente oxidante O₂ (0,5l/min.).

3 PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO (pH, Eh e OD)

3.1 pH

Para as medições de pH foram utilizados eletrodos combinados INGOLD e DIGIMED sistema Ag/AgCl/barreira iônica, solução de referência KCl 3M, acoplados a pH-metro DIGIMED modelo DMPH-2.

A calibração do eletrodo era feita ao início de cada ensaio ou quando ocorria uma variação de temperatura da polpa maior que 5°C. Para sua calibração na faixa de pH alcalino usou-se soluções tampão (*buffer*) de pH $7 \pm 0,02$ e de pH $9 \pm 0,01$.

As medições de pH foram realizadas mergulhando o eletrodo diretamente na polpa mineral em repouso, sendo feita a leitura após 2 minutos. Testes simulados, comparando-se medições de pH diretamente na polpa e no licor filtrado, não mostraram diferenças sensíveis nos resultados obtidos, quando o mesmo conjunto eletrodo/voltímetro era utilizado nos dois procedimentos de medição. Apesar da medição em polpa afetar progressivamente o eletrodo, quanto ao tempo de resposta, não foi notada alteração na sensibilidade do mesmo.

3.2 Eh - POTENCIAL REDOX

Nas medições de Eh foi empregado eletrodo combinado de anel de platina DIGIMED, modelo DMR-CP1, sistema Ag/AgCl/barreira iônica, solução de referência KCl 3M, aconselhado para medidas de cromo e cianeto.

A calibração era feita periodicamente em solução de ferrocianeto/ferricianeto de potássio, fosfato dissódico, água destilada, que apresenta potencial redox de 220 mV a 25°C para eletrodos com eletrólito de referência AgCl/KCl 3M ⁶⁴.

As medições de Eh foram realizadas mergulhando o eletrodo diretamente na polpa mineral em repouso, sendo feita a leitura após 2 minutos. Testes simulados mostraram tempos de resposta longos (em torno de 10 min.) em solução ou polpa alcalina e cianetada. Após aproximadamente 2 min. o valor do potencial registrado era de 80 a 90% em relação à leitura do potencial estabilizado.

Os valores de Eh universalmente são expressos em referência ao potencial de padrão de hidrogênio (*Standard Hydrogen Electrode* - SHE). Como na prática as medições são feitas em relação a um eletrodo de referência, diferente do SHE, o valor do seu potencial em referência ao SHE deve ser considerado. No caso, o eletrólito do eletrodo usado é o Ag/AgCl, KCl 3M que apresenta um potencial padrão de 207 mV a 25°C. Os valores de Eh apresentados neste trabalho estão referenciados ao SHE através da seguinte equação ⁶⁴.

$$Eh = Eh_m + Eh_{ref} + Eh_c, \text{ onde:}$$

Eh = potencial redox em referência a SHE;

Eh_m = potencial redox medido;

Eh_{ref} = potencial redox do eletrodo (Ag/AgCl, KCl 3 M), em referência a SHE;

Eh_c = correção do potencial redox devido a calibração.

De acordo com as medições realizadas em solução de calibração, a correção apresentou valor nulo, não sendo então considerada.

Como os valores de Eh apresentam variações em função da temperatura, os valores de Eh_{ref} usados no cálculo do Eh foram ponderados baseados na Tabela XII ⁶⁴.

Tabela XII - Potencial padrão do eletrodo Ag/AgCl, KCl 3M em função da temperatura

Temperatura °C	Eh
30	203,4
25	207,0
20	210,5
15	214,0
10	217,4

De acordo com a convenção européia⁶⁵, quanto maior o valor do potencial redox (Eh), mais oxidante é o ambiente do sistema medido.

3.3 OXIGÊNIO DISSOLVIDO - OD

O medidor de oxigênio dissolvido (OD) empregado foi o oxímetro digital modelo OX901 - ANALION e o sensor de oxigênio modelo S920 - ANALION, para a faixa de 0 a 20 ppm de O₂.

A medição de OD foi feita diretamente na polpa mineral em agitação branda após 2 min., tempo suficiente para a estabilização da medida. Antes do início dos ensaios era feita: limpeza, recarga de solução e calibração do sensor em relação a saturação de oxigênio em água destilada. No caso de formação de bolhas na solução interna do sensor durante os ensaios o sensor era novamente limpo e calibrado. Nos ensaios de cianetação comparativa as medições foram realizadas diretamente no reator.

Para os ensaios de pré-aeração, de outra forma, o OD foi obtido a partir da retirada do reator de uma alíquota de polpa, com aproximadamente 300 ml, mantida em agitação por agitador magnético. Este procedimento foi adotado como alternativa à medição diretamente no reator, devido à interferência causada no oxímetro quando utilizou-se agitador com leitura de velocidade por sistema eletromagnético. A técnica de leitura de OD em alíquota separada mostrou-se pouco confiável, tendendo a diminuir os valores de OD lidos, resultando em erros consideráveis para baixas concentrações de oxigênio dissolvido na polpa. Nestes ensaios também ocorreu a contaminação da solução interna por material sólido e formação de bolhas com conseqüente prejuízo das leituras de OD.

Em razão disto os valores de OD nos ensaios de pré-aeração são apresentados com certa reserva e em muitos casos não foram considerados.

4 ANÁLISES QUÍMICAS

4.1 ANÁLISE DE TEORES DE ELEMENTOS METÁLICOS

Os teores de Au, Ag, Fe, Cu, Ni e As presentes nas amostras sólidas de minério e rejeito e em amostras de licor de cianetação foram obtidos através de análise por espectrofotometria de absorção atômica (EAA).

As análises de Au, Ag, Fe, Cu e Ni foram realizadas pelo Laboratório de Análises Químicas da Cia. Brasileira do Cobre e quando necessário foi feita confirmação dos resultados pelo Laboratório de Análises para Metalurgia LAMET/UFRGS. O As foi analisado no laboratório do Centro de Ecologia da UFRGS.

Em um EAA o erro não deveria ultrapassar 0,1 ou 0,2 % em valor relativo, sendo a exatidão dependente dos padrões utilizados. A infidelidade das medidas pode decorrer de soluções de calibração, para a curva de absorção, insuficientemente parecidas com as amostras. A dosagem de ouro, nesta técnica, sofre interferência principalmente da presença do Ca, Cu e Fe em solução⁶⁶, os quais são elementos presentes nos licores obtidos nos ensaios de lixiviação realizados.

O Laboratório de Análises Químicas da Cia. Brasileira do Cobre entende que para análises de ouro em EAA por eles realizadas, deve ser considerado como um valor de erro mais realista a faixa de 0,5 ppm.

Nas planilhas dos ensaios, anexo 3, algumas análises de ouro (ouro na alíquota) foram desconsideradas em função das discrepâncias de seus valores e substituídos por valores acompanhando a tendência de extração. Isto refletiu sobre os resultados de extração apresentados no capítulo IV, sendo indicados como “valores extrapolados”.

4.2 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CIANETO LIVRE

A concentração de cianeto apto a complexar com o ouro (cianeto livre), presentes na solução cianetada é um importante parâmetro de controle do processo. Neste trabalho a

concentração de cianeto livre foi determinada na forma do sal ([NaCN]) em mg/l, sendo obtida através da titulação com nitrato de prata (AgNO_3) de amostras dos licores.

Esta técnica permite identificar $[\text{CN}^-]$ superiores a 1 mg/l ⁶⁷.

O procedimento adotado compreendeu os seguintes passos:

- a) Coleta de alíquota de polpa e filtragem do licor;
- b) Pipetagem de duas amostras do licor de 20 ou 10 ml em frasco Erlenmeyer e adição de 5 ou 3 gotas de indicador (rodamina ou KI);
- c) Titulação empregando bureta ambar com AgNO_3 (0,0204N).

A concentração de NaCN em mg/l foi obtida pela seguinte fórmula de cálculo⁶⁸:

$$[\text{NaCN}] \text{ mg/l} = \text{VT} \times \text{N} \times 98 / \text{VA} \times 0,001$$

onde:

VT = volume titulado de AgNO_3 em ml;

N = normalidade da solução de AgNO_3 (0,0204 N);

98 = Mol de NaCN;

VA = volume da amostra titulada em ml;

0,001 = fator de correção de unidades.

V RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será discutida a caracterização tecnológica do minério de Riacho dos Machados, com direcionamento à cianetação. A ênfase do estudo foi na comparação dos efeitos de três agentes oxidantes (ar, gas O_2 e H_2O_2) sobre a cinética da cianetação do ouro durante na etapa de lixiviação. Os parâmetros medidos e controlados foram: concentração de cianeto, pH, Eh (potencial redox), OD (oxigênio dissolvido), teores de Au, Ag, Fe, Cu e Ni. Especulou-se os efeitos sobre a etapa de pré-aeração, do tempo, agente oxidante e pH.

1 ENSAIOS DE CIANETAÇÃO POR FAIXA GRANULOMÉTRICA

A primeira campanha de ensaios procurou avaliar o potencial de ouro e prata cianetáveis (ouro/prata expostos ao ataque do cianeto) para o minério RM moído, através da cianetação direta de diferentes faixas granulométricas e assim estabelecer uma relação ótima entre extração de ouro/prata e granulometria máxima (*top size*), tendo em vista o método de lixiviação em polpa agitada.

O objetivo destes ensaios foi escolher qual a granulometria de moagem mais indicada para o minério visando, o tratamento em escala industrial (granulometria de processo), sendo também aquela a ser usada nos ensaios posteriores.

As faixas granulométricas utilizadas nos ensaios foram: $-0,250 +0,149$ mm, $-0,149 +0,105$ mm, $-0,105 +0,074$ mm, $-0,074 +0,053$ mm e $-0,053$ mm. A Tabela XIII mostra a análise granulométrica da amostra de minério empregado nos testes de cianetação por faixa granulométrica, introduzindo, além das peneiras utilizadas para selecionar as faixas a serem ensaiadas, as peneiras de 0,044mm (325#) e 0,037 mm (400# tyler).

Tabela XIII - Análise granulométrica do minério RM empregado nos testes de cianetação por faixa granulométrica

Peneira (mm)	(# Tyler)	% Retido	% Acumulado
0,149	100	21,2	21,2
0,105	150	16,6	37,8
0,074	200	10,7	48,5
0,053	270	11,7	60,2
0,044	325	3,1	63,3
0,037	400	5,1	68,8
-0,037	-400	31,6	100

Na produção desta amostra teve-se a preocupação de não produzir um excesso de finos e assim tentar preservar características mineralógicas semelhantes para todas as faixas.

Na Tabela XIV são apresentados os resultados dos ensaios de cianetação por faixa granulométrica. O anexo III contém as planilhas destes ensaios.

Analisando inicialmente apenas os dados referentes ao ouro cianetável, observa-se o crescimento progressivo das taxas de recuperação de ouro à medida que ocorre a redução da faixa granulométrica do minério. Da mesma forma, os teores dos rejeitos demonstram a menor liberação do ouro para a cianetação em faixas de maior granulometria.

Tabela XIV - Recuperação e dosagem de ouro e prata por faixa granulométrica, minério RM

Faixa Gran. (mm)	Massa %	Aliment. Recalc.		Distribuição		Recuperação		Rejeito ppm	
		Au ppm	Ag ppm	Au %	Ag %	Au %	Ag %	Au	Ag
-0.25 +0.149*	21.2	4.87	2.71	16.7	18.3	56.5	27.3	2.14	1.9
-0.149 +0.105	16.6	5.23	2.58	14.1	13.8	62.2	38.3	1.99	1.6
-0.105 +0.074	10.7	5.40	2.88	9.4	9.9	65.7	31.2	1.56	2.0
-0.074 +0.053	11.7	6.21	3.14	11.8	11.9	71.8	33.4	1.76	2.1
-0.053	39.8	7.45	3.63	48.0	46.1	86.6	23.7	1.01	2.8
Total	100	6.18	3.12	100	100	-	-	-	-

* A Faixa -0,25 +0,149 mm contém 6,8% de material + 0,25 mm

Compondo os resultados da Tabela XIV de forma a obter-se a recuperação acumulada para os diferentes cortes granulométricos, Tabela XV, confirma-se o ganho expressivo na recuperação do ouro com a redução da granulometria.

Tabela XV - Recuperação acumulada de Au/Ag das diversas faixas granulométricas

Granulometria (mm)	Au (%)	Ag (%)
- 0,25	70,9	30,4
- 0,149	74,0	30,5
- 0,105	77,3	28,5
- 0,074	79,7	30,7
- 0,053	86,6	23,7

Na Figura 10 são visualizados o aumento da recuperação com a diminuição da granulometria do minério e a correlação entre as distribuições de massa e ouro nas diversas

diversas faixas granulométricas. Tal fato pode ser um indicativo da presença do ouro na forma de partículas muito finas ⁶⁷, confirmando as observações microscópicas.

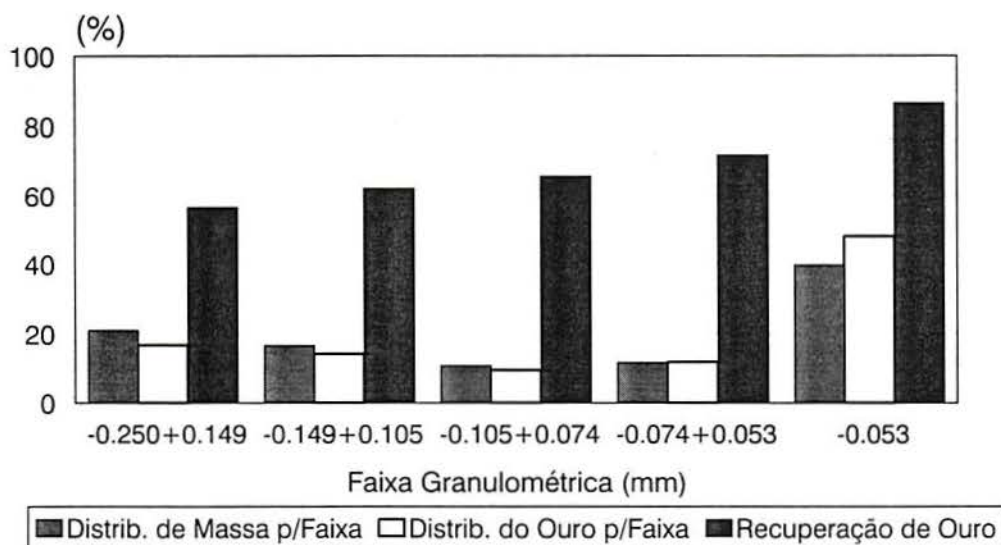


Figura 10 - Distribuição e recuperação do ouro por faixa granulométrica.

Os parâmetros controlados durante estes ensaios foram o pH e a concentração de NaCN. O pH foi mantido entre 10 e 11, sendo corrigido sempre para 10,5 com adição de solução 1 N de NaOH. A concentração de cianeto inicial foi de 1000 mg NaCN por litro de solução. Visando manter esta concentração nunca inferior a 500 mg/l, ao longo dos ensaios, foi efetuada a adição de cianeto, tomando por base o consumo de cianeto observado em testes simulados e em um teste paralelo realizado com minério na faixa granulométrica de -0,053mm. Os dados de consumo de cianeto estão apresentados na Tabela XVI.

Tabela XVI - Consumo de cianeto, minério RM -0,053mm, polpa 33%, concentração inicial de NaCN 0,1% , agitação < 150 rpm

Tempo (h)	Consumo Acumulado	
	kg NaCN/ton minério	mg NaCN/l sol.
4	1,08	540
10	1,64	840
23	2,24	1.120
34	2,86	1.430
48	3,34	1.670

O condicionamento da polpa não foi ideal, ocorrendo sedimentação, obrigando o revolvimento periódico do material sedimentado.

1.1 Avaliação do potencial de ouro/prata cianetável

A extração máxima de ouro, em torno de 86 %, obtida na faixa - 0,053 mm, permite estabelecer um patamar aproximado do conteúdo de ouro cianetável presente na amostra.

Por sua vez, os resultados de recuperação de prata, Tabelas XIV e XV, foram extremamente baixos, incapazes até de indicar uma tendência de recuperação em função da granulometria. Tais resultados, num primeiro momento, podem indicar a ausência de condições propícias à dissolução da prata, como a necessidade de tempo de cianetação mais longo ou maior concentração de cianeto na solução.

1.2 Granulometria de processo

Adotou-se a moagem do minério em torno de 80% < 0,074 mm como granulometria de processo, em razão dos resultados das faixas de granulométrias maiores que 0,074 mm não indicaram recuperações satisfatórias para lixiviação sob agitação, sendo uma cominuição semelhante à empregada nos ensaios realizados pela SUTEC com o minério de Riacho dos Machados⁶², usualmente empregada também em plantas industriais.

1.3 Interpretação dos resultados com base nas análises mineralógicas e químicas

Os dados de teores de ouro/prata recalculados da alimentação, Tabela XIV, para cada faixa granulométrica (Aliment. Recalc.) indicam uma distribuição relativamente uniforme do ouro e prata no minério, com uma tendência para aumento da concentração nas faixas menores. Isto vem de encontro com a análise mineralógica, que observou tratar-se de ouro fino (submicroscópico) o responsável pela maior porção de ouro da amostra RM, se comparado os teores de minério RM analisados à raridade de partículas com tamanho máximo de 0,04 mm, observadas por microscopia ótica (maior aumento de 2.500 vezes)¹¹.

A amostra do minério de Riacho dos Machados, minério RM, tem apresentado teores de ouro entre 6 g/t e 8 g/t, superiores portanto ao teor da amostra trabalhada pela SUTEC (3,2 g Au/t)⁶². Com base nos dados das análises químicas da amostra RM, Tabela I, que indicam valores superiores de ferro e enxofre aos do relatório SUTEC, temos o

indicativo de que o teor superior de ouro na amostra RM pode estar relacionado à maior quantidade de sulfetos presentes.

A prata não foi observada na microscopia ótica, devendo portanto estar associada a outros minerais, principalmente à arsenopirita e na forma de electrun.

Os sulfetos presentes no minério são responsáveis pela sua característica cianicida, principalmente a pirrotita (fortemente reativa) que representa entre 60 e 70% dos sulfetos. A característica refratária do minério RM também é decorrente desta associação, atribuída à arsenopirita, que responde entre 20 e 30% dos sulfetos, à pirita e à calcopirita, que representam em torno de 10% dos sulfetos, presentes na amostra. Arsenopirita, pirita e calcopirita são bem menos cianicidas (menos reativos) e portanto menos propensos a liberar o ouro a eles associados ^{11, 62, 67}.

2 ENSAIOS DE EXTRAÇÃO

Os ensaios de extração procuraram quantificar o ouro cianetável da amostra de minério RM. Foram realizados ensaios no minério RM britado. Nesta etapa não foi avaliada a extração de prata em vista de suas baixas recuperações (dissolução por cianeto) observadas nos ensaios anteriores.

2.1 ENSAIOS COM MINÉRIO BRITADO

As alíquotas de minério ensaiadas apresentavam granulometria de 100%<4mm. A análise granulométrica do minério RM britado é mostrada na Tabela XVII.

Tabela XVII - Análise granulométrica amostra minério RM britado 100%<4mm

Peneira (mm)	(# Tyler)	% Retido	% Acumulado
3,36	6	7,3	7,3
2,38	8	18,3	25,6
1,19	16	32,0	57,6
0,50	32	12,5	70,1
0,25	60	8,3	78,4
0,147	100	5,7	84,1
-0,147	-100	15,9	100,00

Os dados dos ensaios são apresentados na Tabela XVIII. No ensaio GB72 não realizou-se as correções de NaCN e pH entre os períodos de coleta de licor, quando então o pH e a concentração de NaCN eram corrigidos, acarretando concentrações de cianeto e valores de pH extremamente baixos ao final de cada intervalo de tempo. Já no ensaio GF72 entre os períodos de 24, 48 e 72 horas realizaram-se as correções da concentração de NaCN e pH, o que influenciou sobre o consumo final destes reagentes. Isto pode ter contribuído no valor pouco superior que a taxa de extração de ouro apresentou para o ensaio GF72.

Tabela XVIII - Extração de ouro do minério RM britado

Tempo (h)	Taxa de Extração (%)	
	GB72	GF72
1	22,0	-
2	-	24,1
3	28,5	-
4	-	29,5
8	36,3	38,4
24	44,2	47,3
48	48,5	52,9
72	51,6	55,0
Rejeito (ppm)	3,95	2,63
Alimentação Calc. (ppm)	8,16	5,75
Consumo NaCN (g/kg)	3,13	4,70
Consumo CaO (g/kg)	0,95	2,9

A baixa extração de ouro, em torno de 50%, nos ensaios com minério britado deve-se a fraca exposição do ouro em granulometrias grosseiras. A Tabela XIX mostra o elevado conteúdo de ouro em diferentes faixas granulométricas do rejeito de cianetação do minério britado, onde se observa a sensível melhora na recuperação do ouro em granulometrias menores que 0,074 mm.

Tabela XIX - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio GF72

Peneira (mm)	% Massa	Distribuição Au %	Teor Au ppm
+ 2,38	19,8	29,9	5,25
-2,38 +0,595	31,4	44,9	4,97
-0,595 +0,147	14,1	15,1	3,75
-0,147 +0,074	5,9	4,3	2,61
-0,074	28,8	5,7	0,69
Total	100	100	3,48

2.2 ENSAIOS COM MINÉRIO MOÍDO

Para produzir alíquotas do minério RM na granulometria de processo, -0,074 mm foram realizados testes de moagem, em moinho de bolas. As condições escolhidas como padrão para as moagens do minério RM foram: carga de ½ kg e tempo de 40 min., Tabela XX.

Tabela XX - Resultados dos testes de moagem

Carga de Minério(Kg)	Tempo de Moagem (min.)	% Cominuído < 0,149 mm	% Cominuído < 0,074 mm
1	30	82,6	55,0
1	40	92,6	69,4
1	50	93,8	71,6
1/2	40	96,5	85,0

A Tabela XXI apresenta os resultados dos ensaios de extração do ouro em alíquotas do minério RM moído, mostrando extrações próximas de 90% para períodos de cianetação superiores a 24 horas.

Tabela XXI - Extração de ouro do minério RM

Tempo (h)	Taxa de Extração (%)				
	GC48 (1)	GD48 (2)	GE72 (1)	BA24 (1)	RA48 (1)
1	44,9	-	52,7	39,1	47,8
2	59,4	55,7	62,3	50,0	54,4
4	65,6	-	76,5	63,9	63,5
5	-	68,7	-	-	-
8	80,3	77,8	78,8	76,7	72,7
24	81,1	84,2	91,7	87,7	79,4
30	84,7	89,0	-		-
48	89,7	87,1	92,7		84,9
72			92,2		
Rejeito (ppm)	0,73	0,95	0,52	0,85	1,2
Alimentação Cal. (ppm)	7,12	7,36	6,66	6,92	7,95
Cons. NaCN (g/kg)	2,0	3,0	2,7	1,4	6,9
Cons. CaO (g/kg)	2,2	2,3	2,7	1,7	2,0

(1) amostra de cabeça 83% < 0,074 mm (2) amostra de cabeça 85% < 0,074 mm

É importante salientar que no ensaio RA48 (reator 2), por decorrência do pequeno volume de polpa utilizado foi verificado o lançamento e acúmulo de material nas paredes

do reator, obrigando durante o ensaio a ser feita a remoção do material aderido. Ao final do ensaio foi observado o decréscimo do volume de polpa. Tal fato prejudica a representatividade dos dados para este ensaio.

Na observação das curvas de extração dos ensaios BA24, GD48 e GB72, apresentadas na Figura 11, nota-se o comportamento típico da cinética de dissolução do ouro em polpas cianetadas, fortemente reativa nas primeiras 8 horas para estas condições de ensaios, quando o ouro exposto é totalmente dissolvido. O progresso extremamente lento da extração de ouro a partir deste instante mostra a dificuldade do ataque do cianeto ao restante do metal, em parte devido à exposição ineficaz de suas partículas. A influência sobre a cinética deve-se também à natureza refratária de alguns sulfetos como a pirita e a arsenopirita, que são bastante estáveis em soluções de cianeto. Aos minerais refratários pode ser creditada também a limitação da recuperação em 90%, principalmente a arsenopirita, onde em muitos casos o ouro pode estar combinado à estrutura cristalina ⁶⁷.

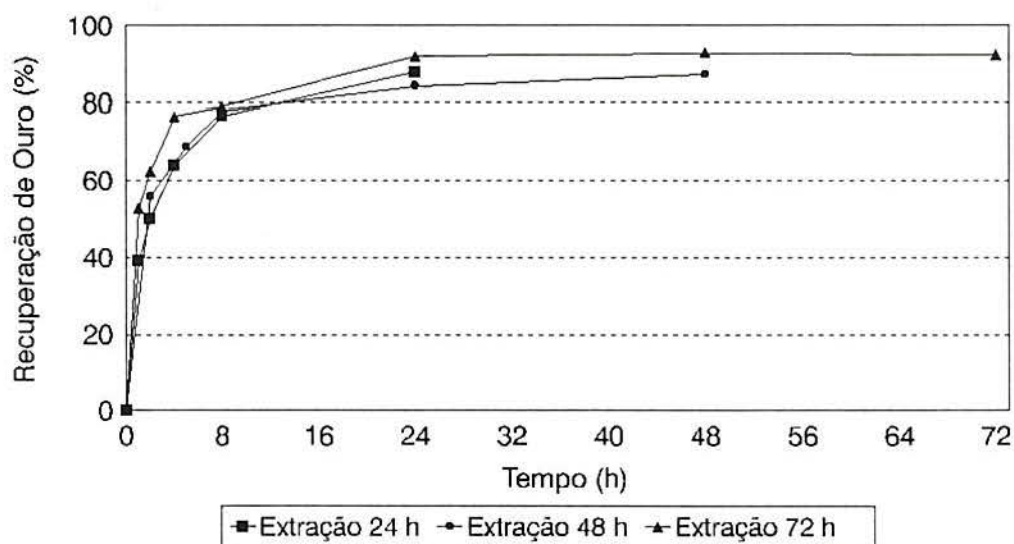


Figura 11 - Comportamento da extração do ouro no minério 83% -0,074mm.

Quanto ao consumo de cianeto durante os ensaios, constatou-se um incremento progressivo ao longo do tempo, visualizado na Figura 12, (ensaios BA24, GD48 e GB72).

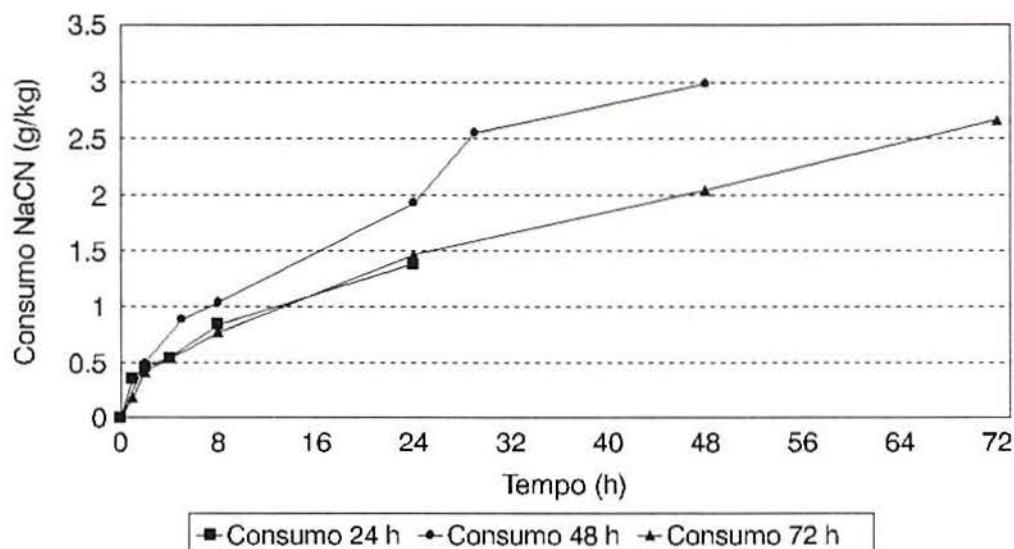


Figura 12 - Consumo de NaCN ao longo dos ensaios de extração

Procurando avaliar a relação entre granulometria e refratariedade do minério foram realizadas para alguns rejeitos, análises dos teores de ouro por faixas granulométricas. Como referencial foi realizado também análise do teor de ouro em uma amostra do minério da alimentação, cujo resultado está na Tabela XXII.

Tabela XXII - Distribuição do ouro no minério de alimentação.

Faixa Gran. (mm)	% Massa	Teor Au ppm	Distribuição Au %
-0,250+0,149	4,1	8,55	5,5
-0,149+0,074	13,3	4,57	9,5
- 0,074	82,6	6,56	85,0
Total	100	6,40	100

A distribuição uniforme do ouro nas diferentes granulometrias observado na Tabela XIV e Figura 10, é confirmada pela semelhança dos valores percentuais da distribuição em massa e distribuição do ouro por faixa granulométrica, da amostra da alimentação, Tabela XXII e das amostras de rejeito, Tabelas XXIII, XXIV e XXV.

As distribuições percentuais do ouro contido nos rejeitos de cianetação de BA24, GD48 e GE72, mostra o maior percentual de ouro na faixa de menor granulometria.

Tabela XXIII - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio BA24

Faixa Gran.(mm)	% Massa	Teor Au ppm	Distribuição Au %
+0,149	3,6	5,1	17,8
-0,149 +0,074	12,8	1,24	14,86
-0,074 +0,044	13,7	1,47	20,35
-0,044 +0,037	7,5	1,21	9,94
-0,037	62,4	0,55	37,77
Total	100	1,00	100

Tabela XXIV - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio GD48

Faixa Gran. (mm)	% Massa	Teor Au ppm	Distribuição Au %
+0,149	5,1	1,64	6,8
-0,149 +0,074	12,0	1,59	15,7
-0,074	82,9	1,14	77,5
Total	100	1,22	100

Tabela XXV - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio GE72

Faixa Gran. (mm)	% Massa	Teor Au ppm	Distribuição Au %
+0,149	4,4	0,20	1,5
-0,149 +0,074	12,1	0,82	17,0
-0,074 +0,044	14,8	0,83	21,8
-0,044 +0,037	6,8	0,96	11,5
-0,037	61,9	0,44	48,2
Total	100	0,45	100

A frações menores que 0,074 mm são responsáveis entre 70 e 80% do ouro perdido nos rejeitos analisados e as frações menores que 0,037 mm respondem em torno de 50% das perdas, como pode ser visto na Figura 13.

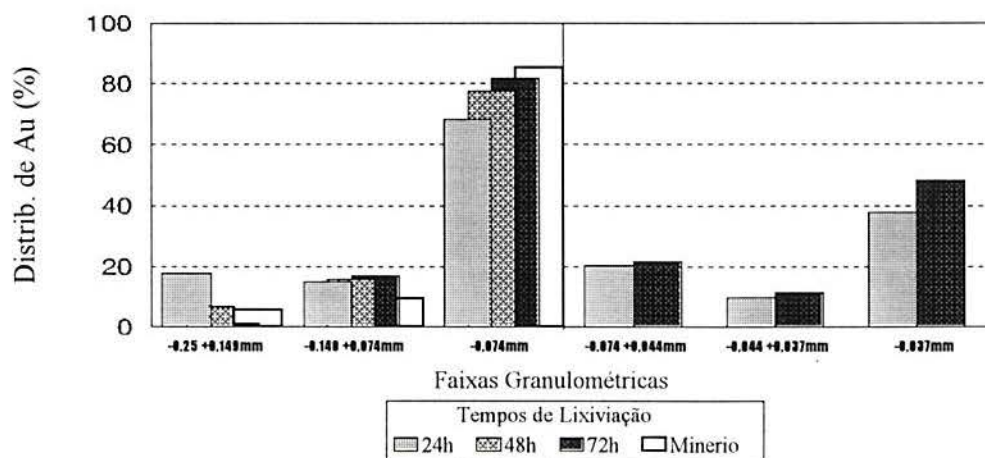


Figura 13 - Distribuição de ouro em frações granulométricas dos rejeitos/minério.

2.3 Ouro cianetável

As taxas de recuperação de ouro cianetável, próximas a 90%, para o minério moído, correspondem em parte ao ouro livre, observado na análise microscópica, anexo II, e principalmente ao ouro submicroscópico, presente nos sulfetos, principalmente pirrotita, a qual é bastante reativa em soluções de cianeto, possibilitando assim a exposição e dissolução do ouro associado. O longo período de cianetação (24 - 48 horas) necessário para obter-se recuperações próximas de 90% indicam que parcela do ouro cianetável não se encontra totalmente exposto ao ataque do cianeto ⁶⁷.

No caso do minério britado a exposição do ouro ao cianeto ficou bastante reduzida, resultando na fraca extração, em torno de 50 %. A baixa recuperação obtida desaconselha a aplicação de processos de lixiviação em pilha ou tanque. No entanto ensaios com processos de cominuição alternativa obtiveram resultados bastante favoráveis em ensaios do material grosseiro ⁴³.

2.4 Consumo de reagentes

Quanto ao consumo de NaCN e CaO, os valores obtidos mostram-se elevados. O consumo do cianeto foi progressivo ao longo do tempo, apresentando valores em torno de 1,5 gNaCN/kg de minério para as primeiras 24 h, sendo relativamente alto se comparado ao consumo deste minério obtidos nos testes da SUTEC, abaixo de 0,5 gNaCN/kg. Isto em parte se explica pela quantidade de sulfetos presentes no minério RM, que compreendem aproximadamente o dobro do conteúdo de sulfetos da amostra usada nos testes da SUTEC.

2.5 Influência da moagem

Para granulometria menor que 0,037 mm a redução dos teores (em torno de 0,5 ppm) aparentemente indica uma pequena melhora na exposição do ouro fino. A intensificação da moagem possivelmente possibilitaria uma redução no tempo de cianetação por proporcionar uma melhor exposição do ouro cianetável e algum aumento na quantidade de ouro cianetável, dependendo do grau de cominuição.

No entanto deve se ter presente a influência da moagem sobre os custos industriais.

2.6 Metodologia de teste

Comparando os resultados do ensaio em reator com as extrações obtidas nas 24 horas iniciais de cianetação dos ensaios em garrafão, não é evidenciado haver influência das duas metodologias de ensaios sobre os resultados de extração obtidos.

2.7 Reprodutibilidade

A dificuldade de obter-se homogeneidade em amostras de minérios auríferos, implica na variabilidade dos valores de teores obtidos para o minério RM.

3 ENSAIOS DE PRÉ-AERAÇÃO

A partir do conhecimento das características cianicidas do minério RM, estabeleceu-se a necessidade de submeter o minério a tempos de pré-aeração (oxidação branda) maiores do que o aplicado nos ensaios de extração (1 h de pré-aeração), visando minimizar o consumo de reagentes (CaO e NaCN).

Sabe-se que pequenas quantidades de sulfetos podem ser oxidadas usando técnicas de pré-aeração. No caso de minérios contendo pirrotita a pré-aeração é bastante eficaz promovendo exposição do ouro associado a ela. Para polpas em condições de pH levemente ácido, entre 6 e 7, a pirrotita tende a formar íons Fe^{2+} e S^{2-} . Com o aumento da alcalinidade sua oxidação se dá em direção à produção de $Fe(OH)_3$ e SO_4^{2-} (ver item 5.2.1)

5.14

Para a etapa de pré-aeração foram estabelecidos tempos de 4 e 8 horas, condições distintas de pH (neutro e alcalino) e quatro formas de introdução de oxigênio à polpa mineral, quais sejam: (1) aeração pela simples agitação da polpa, (2) borbulhamento de ar, (3) borbulhamento de oxigênio e (4) adição de peróxido de hidrogênio, com objetivos de comparar estas condições de pré-aeração quanto:

- a) à intensidade de oxidação do minério através do consumo relativo de óxido de cálcio durante a pré-aeração e consumo de óxido de cálcio e cianeto durante a lixiviação;
- b) à recuperação de ouro em 24h de lixiviação;
- c) além de estabelecer procedimentos de medição para Eh e OD.

Estas etapas seriam melhor definidas como de pré-oxidação branda, porém utilizou-se o termo pré-aeração, por ser mais geral e elucidativo.

Após cada etapa de pré-aeração testada, as adições forçadas de oxidantes eram interrompidas e a polpa mineral alcalinizada com CaO para pH 10,5. Na etapa de lixiviação (24h), empregou-se concentração inicial de cianeto de 2000 mgNaCN/l (0,2 %). A adoção de uma maior concentração de cianeto teve a intenção de suprir seu consumo durante a

lixiviação e assim não ser necessário realizar retiradas de alíquotas de polpa durante os ensaios.

Deve ser ressaltado que em alguns ensaios não foi possível considerar os parâmetros medidos em razão de falhas nos procedimentos de medição.

Os ensaios de pré-aeração foram realizados em duas faixas de pH. Determinou-se o pH natural das polpas (entre 6 e 7) como o nível menos alcalino, para a comparação com a faixa de alcalinidade de pH entre 10 e 11 em que estão sendo executados os ensaios de cianetação.

A seguir serão apresentadas Tabelas contendo a síntese do comportamento dos parâmetros controlados e monitorados durante as etapas de pré-aeração e lixiviação, como também os resultados de extração de ouro. As planilhas completas de cada ensaio constam do anexo III, onde pode ser melhor compreendidas algumas tendências de parâmetros comentadas.

3.1 PRÉ-AERAÇÃO EM pH NEUTRO

Com a pré-aeração em polpas neutras, procurou-se obter a oxidação dos sulfetos na forma de Fe(II). A Tabela XXVI mostra os resultados dos ensaios PAG-4, PAR-4, POX-4 e PPO-4.

Nos ensaios PAG-4 e PAR-4, com ar incorporado à polpa durante a pré-aeração, foi observado o surgimento de forte coloração ocre, indicando presença de óxidos de ferro. Os níveis de OD e potencial Eh apresentaram valores baixos, apontando no sentido da intensidade de reações consumidoras de oxigênio, aliado à ineficiência da aeração.

Para as etapas de pré-aeração dos ensaios POX-4 (O_2) e PPO-4 (H_2O_2) a coloração ocre da solução se repetiu com menos intensidade. O ensaio PPO-4 produziu intensa formação de espuma durante as primeiras duas horas, ocorrendo a flotação parcial dos sulfetos. Espuma típica, porém menos intensa foi observada também no ensaio POX-4 ao final da pré-aeração. A concentração de oxigênio dissolvido foi extremamente elevada, sendo acompanhada pela elevação dos valores de potencial redox, Eh, indicando condições mais favoráveis à oxidação dos sulfetos.

Tabela XXVI - Ensaio de pré-aeração (4h) em pH neutro e cianetação (24h),

[NaCN] = 2000mg/l

	PAG-4	PAR-4	POX-4	PPO-4
PRÉ-AERAÇÃO 4h	Ar p/agitação	Ar (1l/min.)	O ₂ (1l/min.)	H ₂ O ₂ (0,25ml/min.)
pH inicial/final	7,1 / 7,5	6,5 / 7,5	7,1 / 7,5	6,9 / 6,5
Eh inicial/final (mV)	173 / -40	96 / 8	89 / 281	396 / 525
OD inicial/final (ppm)	2,5 / < 2	2,5 / < 2	1,3 / > 20	> 20 / > 20
LIXIVIAÇÃO 24h				
CaO adic. (g/kg)	1,9	1,9	1,75	3,0
pH inicial/final	10,6 / 10,5	10,4 / 10,3	10,6 / 10,5	10,6 / 10,5
Eh inicial/final (mV)	-100 / -22	0 / 112	148 / 76	96 / 136
OD inicial/final (ppm)	-- / < 2	-- / < 2	7,2 / 3,0	15,1 / 4,5
[NaCN]final (mg/l)	0	0	180	20
NaCN cons. (g/kg)	2,0	2,0	1,82	1,98
Au no licor (ppm)	0,3	2,1	4,5	3,8
Au no rejeito (ppm)	5,01	3,67	1,33	1,8
Au extraído (%)	5,6	36,4	77,2	67,9
Au alim.calc. (ppm)	5,31	5,77	5,83	5,6

Em virtude de nas etapas de lixiviação a incorporação de oxigênio à polpa ter sido feita apenas por agitação, nos ensaios PAG-4 e PAR-4, isto não foi suficiente para elevar os níveis de OD, que permaneceram extremamente baixos. Por outro lado, para os ensaios POX-4 e PPO-4 o nível de OD ao final da lixiviação se mantinha em valores moderados, sem prejuízos à cianetação do ouro.

3.1.1 Consumo de reagentes

Nos ensaios que empregaram ar e O₂ como oxidantes na pré-aeração, os consumos de CaO nas etapas de lixiviação foram semelhante aos observados nos Ensaios de Extração, enquanto para o ensaio com adição de H₂O₂ o consumo foi 50% superior, em virtude da maior capacidade acidificante do H₂O₂, implicando na redução do pH ao final da etapa de pré-aeração.

Quanto ao consumo de cianeto, nos ensaios que utilizou-se ar na pré-aeração (PAG-4 e PAR-4) não é possível uma avaliação quantitativa, porém indicaram um consumo bastante elevado, possivelmente pela intensa formação de tiocianato e outros compostos cianídica. Para os ensaios utilizando O₂ e H₂O₂ o consumo de cianeto manteve-se na faixa observada nos Ensaios de Extração.

3.1.2 Extração de ouro

Os valores inexpressivos de extração para os ensaios com agitação e ar devem ser atribuídos aos níveis extremamente baixos de oxigênio durante a lixiviação e em grande parte causado pelo recobrimento das partículas de ouro por óxidos de ferro (coloração ocre observada nos ensaios), impedindo assim a reação com cianeto, como também a passivação do ouro pela presença do íon S- favorecido pelas condições da lixiviação em solução com ausência de oxigênio, (ver item 5.2.1¹⁴). Da mesma forma, as baixas extrações nos ensaios que empregaram O₂ e H₂O₂, podem ter sido resultado da ação dos óxidos de ferro e pela competição de outros compostos cianídicos. Tais resultados mostram a ineficiência do procedimento utilizado de pré-aeração em pH neutro.

3.2 PRÉ-AERAÇÃO ALCALINA

As Tabelas XXVII e XXVIII apresentam os resultados de extração de ouro para os ensaios de pré-aeração alcalina de 4 e 8 h respectivamente.

Tabela XXVII - Ensaio de pré-aeração (4h) em pH alcalino e cianetação (24h),

[NaCN] = 200mg/l.

	PAG-4A	PAR-4A	POX-4A	PPO-4A
PRÉ-AERAÇÃO	Ar p/agitação	Ar (1l/min.)	O2 (1l/min.)	H2O2 (0,2ml/min.)
CaO adic. (g/kg)	1,9	1,95	2,25	2,55
pH inicial/final	10,9 / 10,4	10,7 / 10,4	10,8 / 10,5	10,7 / 10,1
Eh inicial/final (mV)	-56 / 161	-- / 194	101 / 213	≈ 250 / 292
OD inicial/final (ppm)	2 / < 2	< 2 / < 2	6,5 / > 20	7,2 / > 20
LIXIVIAÇÃO				
CaO adic. (g/kg)	0,15	0,1		0,1
pH inicial/final	10,7 / 10,5	10,4 / 10,5	10,6 / 10,5	10,7 / 10,4
Eh inicial/final (mV)	-21 / 85	54 / 97	86 / 158	164 / 139
OD inicial/final (ppm)	< 2 / 3,4	< 2 / 3,0	17,3 / 6,0	> 20 / 7,4
[NaCN] final (mg/l)	230	150	140	250
NaCN cons. (g/kg)	1,77	1,85	1,86	1,75
Au no licor (ppm)	6,3	4,5	6,0	6,0
Au no rejeito (ppm)	0,89	2,12	1,06	0,6
Au extraído (%)	87	67	84	90
Au alim.calc. (ppm)	7,1	6,62	7,06	6,6

A maioria das operações utilizando pré-aeração são realizadas em valores de pH na faixa de 8 a 11. Nestas condições os sulfetos de ferro tendem a ser oxidados formando hidróxidos de ferro e sulfatos ^{5, 14}.

Nestas baterias de ensaios o comportamento dos níveis de OD e potencial Eh mantiveram a tendência apresentada nas pré-aerações em pH neutro. Porém não foi observada a coloração ocre da solução.

Para as pré-aerações de 4h onde o ar foi utilizado como agente oxidante os valores de OD mantiveram-se abaixo de 2 ppm. Em tempo de pré-aeração de 8 h o nível de OD final aumentou para valores mais próximos ao de saturação do ar na água. Com a introdução de O₂ e H₂O₂ os níveis após 1 h atingem valores superiores a 10 ppm e após 4 h superaram a concentração de 20 ppm.

O potencial redox apresentou valores finais próximos de 200 mV, quando usou-se ar e O₂ na pré-aeração tanto de 4 e 8 h. Com o uso de H₂O₂, após 4 h de pré-aeração o Eh atingiu 290 mV.

As lixiviações das polpas sujeitas à pré-aeração com ar realizaram-se em condições de baixa concentração de OD (principalmente as de 4 h de pré-aeração) e sob potenciais redox inferiores a 200 mV.

Tabela XXVIII - Ensaio de pré-aeração (8h) em pH alcalino e cianetação (24h),

[NaCN] = 2000mg/l

	PAG-8A	PAR-8A	POX-8A
PRÉ-AERAÇÃO	Ar p/agitação	Ar (1l/min.)	O2 (0,5l/min.)
CaO adic. (g/kg)	2,05	2,3	2,15
pH inicial/final	10,4 / 10,6	10,7 / 10,4	10,9 / 10,6
Eh inicial/final (mV)	--	-- / 202	180 / 213
OD inicial/final (ppm)	--	4,7 / 7,0	> 20 / > 20
LIXIVIAÇÃO	Ar p/agitação	Ar (1l/min.)	O2 (0,5l/min.)
CaO adic. (g/kg)			
pH inicial/final	10,8 / 10,5	10,7 / 10,5	10,6 / 10,7
Eh inicial/final (mV)	46 / 81	48 / 113	80 / 52
OD inicial/final (ppm)	2,4 / 4,9	7,0 / 5,1	> 20 / 4
[NaCN] final (mg/l)	240	235	--
NaCN cons. (g/kg)	1,76	1,77	--
Au no licor (ppm)	4,7	5,0	5,6
Au no rejeito (ppm)	2,33	1,34	0,88
Au extraído (%)	67	79	86,4
Au alim.calc. (ppm)	7,2	6,65	6,5

3.2.1 Consumo de reagentes

O consumo de CaO manteve-se na faixa de 2 a 2,5 g/kg, praticamente determinado durante a fase de pré-aeração, não havendo influência considerável do aumento do tempo de 4 para 8 h. Como já foi mencionado, o uso de H₂O₂ age no sentido de acidificar a solução, implicando em um maior consumo de CaO.

Quanto ao consumo de cianeto, também não foi notada redução significativa quando o tempo de pré-aeração foi aumentado de 4 para 8 h.

3.2.2 Extração de ouro

Nas lixiviações com pré-aeração alcalina, a extração de ouro foi semelhante à obtida nos ensaios de extração. A utilização de oxidantes mais fortes (gás O₂ e H₂O₂) na pré-aeração, implicou em melhores resultados de extração final. Estes resultados podem ser relacionados a uma maior oxidação dos sulfetos e a melhora nos níveis de OD em que se deu a cianetação.

4 ENSAIOS DE CIANETAÇÕES COMPARATIVAS

Os ensaios comparando os efeitos da incorporação forçada de agentes à polpa durante a lixiviação estão divididos em quatro grupos. As planilhas completas de cada ensaio constam do anexo III, onde podem ser melhor analisadas as tendências e observações apresentadas.

4.1 CIANETAÇÃO COMPARATIVA I

Nestes ensaios procurou-se comparar os efeitos dos agentes oxidantes, ar (por agitação e borbulhamento) e oxigênio, tanto durante a pré-aeração (6 h em ambiente alcalino) como na lixiviação (48 h), acompanhando também a cinética de extração do ouro e prata. Foram também analisados o conteúdo de Fe, Cu e Ni no licor final da lixiviação. A Tabela XXX apresenta a síntese do comportamento dos parâmetros controlados e monitorados durante as etapas de pré-aeração e lixiviação, como os resultados de extração de ouro/prata ao longo da cianetação.

Tabela XXIX - Comparação entre Ar e O₂ durante a pré-aeração (6h) e lixiviação (48h).

	LAG	LA	LO		
PRÉ-AERAÇÃO - 6h	Ar p/agitação	Ar 1l/min./kg	O ₂ 0,5l/min./kg		
CaO adic. (g/kg)	2,2	2,1	2,2		
pH inicial/final	10,7 / 10,6	10,2 / 10,0	10,7 / 10,4		
Eh inicial/final (mV)	27 / 172	254 / 283	124 / 247		
OD inicial/final (ppm)	3,5 / 1	3,3 / 4,7	3,3 / 16		
LIXIVIAÇÃO - 48h					
CaO adic. (g/kg)	0,13	0,4	0,3		
pH inicial/final	10,7 / 10,6	10,6 / 10,5	10,6 / 10,4		
Eh inicial/final (mV)	-3 / 73	135 / 121	121 / 166		
OD inicial/final (ppm)	1,1 / 4,3	3,2 / 8	11 / > 20		
NaCN cons. (g/kg)	2,5	2,7	2,5		
Extração (%)	Au	Au	Ag	Au	Ag
1 h	22,1	39,5	18,7	60,6	13,6 ⁽²⁾
4 h	65,1	65,4	19,2 ⁽²⁾	73,4	14,7
16/18 h	89,3	75,1	32,5	79,4	26,0
24/25 h	84,3 ⁽¹⁾	81,3	34,5	79,0 ⁽¹⁾	26,1
41/42 h	91,0	82,9	52,4	84,7	37,7
48 h	90,4 ⁽¹⁾	88,4	52,5 ⁽²⁾	88,9	37,8 ⁽²⁾
Rejeito (ppm)	0,65	0,79	1,9	0,73	2,2
Aliment.calcul. (ppm)	6,8	6,83	3,31	6,6	3,34
Fe no licor final (ppm)	9	29,5		14,4	
Cu no licor final (ppm)	22,0	22,5		31,0	
Ni no licor final (ppm)	4,2	7,5		7,5	

(1) Anterior à retirada de alíquota foi realizada correção do nível da polpa.

(2) valores extrapolados

A comparação dos resultados de extração, Figura 14, indicam o incremento da cinética de dissolução nas primeiras horas de lixiviação com o aumento da eficiência de incorporação de O₂ na polpa e consequente aumento do OD, Figura 16.

As extrações finais de ouro, independentemente do agente oxidante apresentaram índices próximos de 90%. Em razão dos tempos de cianetação longos (48h), a extração final corresponde ao ouro cianetável presente nas amostras dos ensaios.

O comportamento observado na extração de ouro no entanto, não ocorreu no caso da extração de prata, Tabela XXXIX, não sendo observada qualquer influência do agente oxidante sobre a razão de dissolução da prata. Os dados de extração da prata para o ensaio LAG mostram um comportamento atípico, de maneira que não foram considerados, sendo apresentados no anexo III.

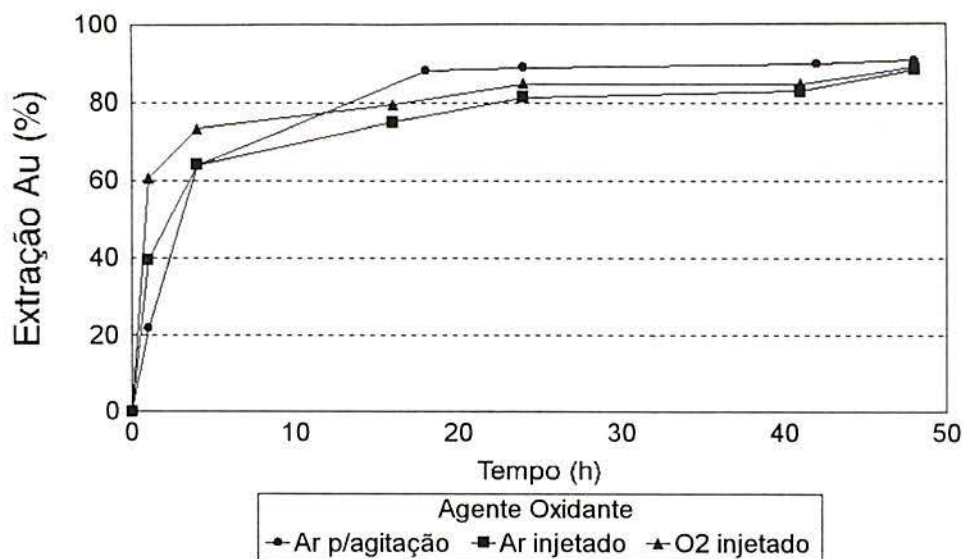


Figura 14 - Extração de ouro na cianetação do minério RM, para diferentes métodos de incorporação de oxidantes.

Os consumos de CaO (pré-aeração/lixiviação), Tabela XXXIX, e NaCN, Figura 15, foram semelhante para os três ensaios.

Estes ensaios tiveram uma melhora no monitoramento dos parâmetros de potencial redox (Eh) e oxigênio dissolvido (OD), em razão da eliminação de interferências sobre os medidores de OD e Eh, além da adequação dos procedimentos de medida e calibração. Isto possibilitou o melhor acompanhamento dos parâmetros monitorados como o OD.

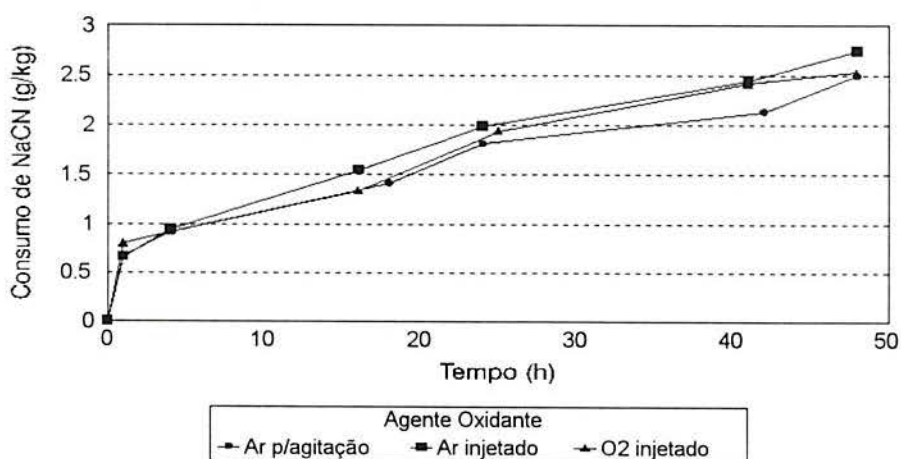


Figura 15 - Consumo de NaCN para diferentes métodos de incorporação de oxidantes, ensaios: LAG, LA e LO

Na Figura 16 visualizam-se as flutuações do OD durante as etapas de pré-aeração e lixiviação.

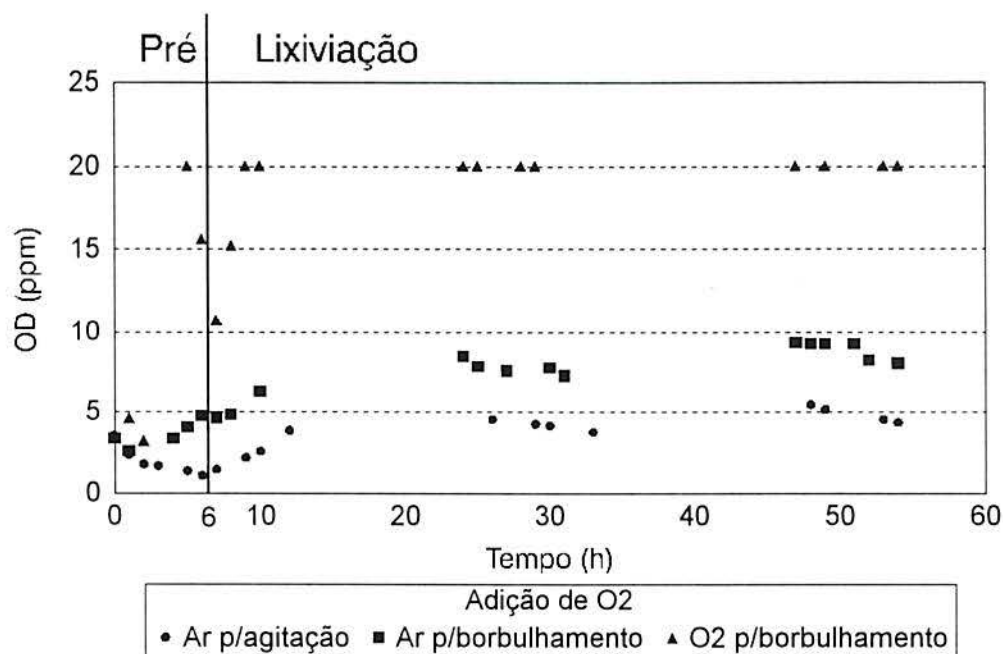


Figura 16 - Comportamento do OD durante a pré-aeração/lixiviação para os ensaios: LAG, LA e LO

A queda dos níveis de OD na passagem da etapa de pré-aeração para a lixiviação, Figura 16, mostra o intenso consumo de oxigênio durante a cianetação. No ensaio que incorpora o ar, através apenas da agitação da polpa (LAG), nota-se que mesmo na etapa de pré-aeração o nível de OD tende a diminuir progressivamente, continuando abaixo de 2 ppm durante as primeiras 4 h de lixiviação.

A simples adição de ar por borbulhamento (LA) produziu uma melhora no nível de OD, mantendo-o entre 2,5 e 4 ppm durante a pré-aeração e primeira hora da lixiviação, e a partir de então cresce progressivamente de 4 a 8 ppm.

Já o emprego do borbulhamento de oxigênio estabeleceu níveis de saturação próximos de 20 ppm durante praticamente todo o ensaio, exceto: (1) nas primeiras horas de pré-aeração, provavelmente devido à baixa eficiência no processo de dissolução do O_2 , (2) e na primeira hora da lixiviação, neste caso devido ao consumo nas reações de cianetação.

O comportamento do Eh, Figura 17, indica que o incremento no potencial redox não se dá na mesma proporção do aumento da concentração de oxigênio, mostrando a pouca eficiência obtida em aumentar o nível do Eh através da elevação do OD.

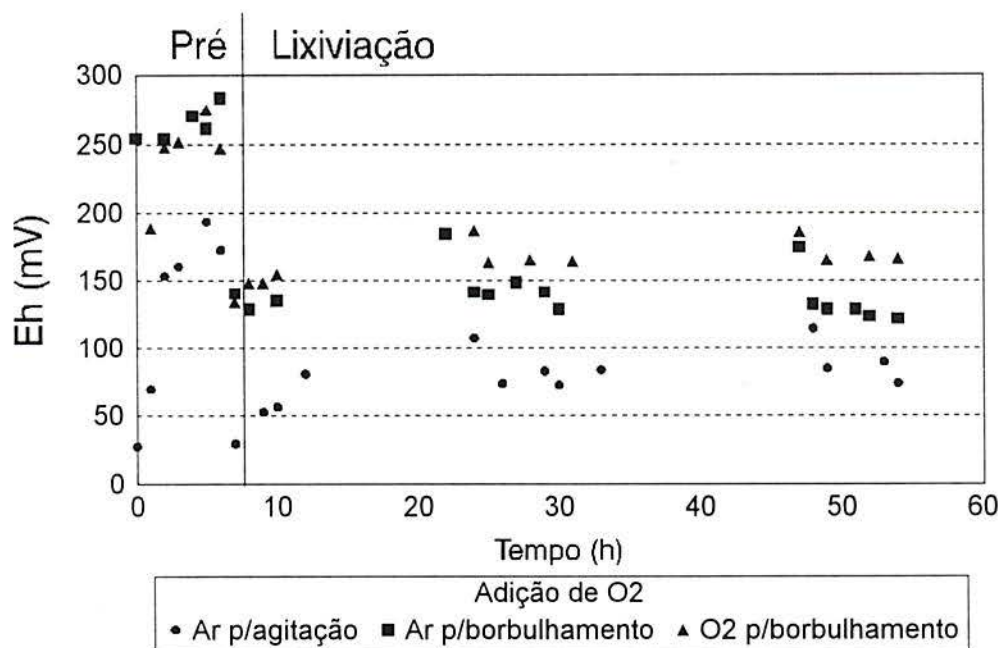


Figura 17 - Comportamento do Eh durante a pré-aeração/lixiviação para os ensaios: LAG, LA e LO

4.2 CIANETAÇÃO COMPARATIVA II

A partir dos resultados dos ensaios de cianetação comparativa I, este grupo de ensaios dá continuidade à avaliação dos efeitos dos agentes oxidantes sobre a cianetação do minério RM.

A Tabela XXXI apresenta a síntese dos parâmetros monitorados e controlados, os resultados das extrações de ouro e o conteúdo de alguns metais presentes no licor final.

Na etapa de pré-aeração foi aplicado borbulhamento de ar em ambiente alcalino com duração de 12h. As lixiviações foram realizadas: uma com borbulhamento de ar (LIV), duas com borbulhamento de O₂ (LVII e LVIII) e duas com adição de H₂O₂ (LX e LXI).

Tabela XXX - Comparação entre lixiviações com diferentes agentes oxidantes,
Ar, O₂ e H₂O₂

	LIV	LVII	LVIII	LX	LXI
PRÉ-AERAÇÃO -12h					
Ar					
CaO adic. (g/kg)	2,9	2,9	2,9	2,95	2,7
pH inicial/final	12,0 / 10,1	12,1 / 10,0	12,0 / 10,0	12,2 / 10,4	12,1 / 10,2
Eh inicial/final (mV)	23 / 266	96 / 272	71 / 269	-30 / 249	182 / 240
OD inicial/final (ppm)	2,1 / 4,8 ⁽¹⁾	2,7 / 7,5	2,9 / 7,6	3,6 / 5,2	4,8 / 5,3
LIXIVIAÇÃO - 48h					
	Ar	O ₂	O ₂	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂
CaO adic. (g/kg)	0,4	0,3	0,3	2,1	0,35
pH inicial/final	10,7 / 10,5	10,6 / 10,4	10,6 / 10,4	10,5 / 10,5	10,5 / 10,4
Eh inicial/final (mV)	83 / 101	113 / 125	103 / 110	249 / 131	240 / 140
OD inicial/final (ppm)	5,8 / 8,1	>20/ >20	17 / >20	ocilou 10-20	ocilou 10-20
NaCN cons. (g/kg)	3,6	2,7	3,3	6,4	2,7
Extração Au (%)					
1 h	37,9	65,4	60,1	65,5	78,4
2 h	47,3	66,1	67,1	74,0	81,7
4 h	67,6	77,5 ⁽²⁾	78,8	74,9	85,1 ⁽²⁾
6-8 h	68,3	78,4	79,6	79,6	86,0
10-11 h	69,7	79,2	80,3	80,5	87,0 ⁽²⁾
23-24 h	79,5	80,0	87,4	81,5	87,9 ⁽²⁾
33-35 h	80,2	80,8	88,3 ⁽²⁾	82,4 ⁽²⁾	
48-49 h	88,5	89,2	89,1	83,3 ⁽²⁾	
Rejeito (ppm)	0,8	0,7	0,7	1,1	1,0
Aliment. calcul. (ppm)	6,6	6,6	6,3	6,5	8,0
Licor final (ppm)					
Au	5,5	5,5	5,3	5,0 ⁽²⁾	6,6
Ag	1,5	1,6	1,5	1,3	1,8
Fe	15,7	15,3	14,7	25,5	11,2
Cu	21,8	29,1	31,2	4	8,3
Ni	5,2	4,9	5,0	8,2	3,1

(1) adição de ar interrompido durante a pré-aeração

(2) valores extrapolados

As vazões de ar, O₂ e a adição de H₂O₂ em relação à massa de minério foram reduzidas para os seguintes valores:

- Durante as pré-aerações e na lixiviação do ensaio LIV a vazão de ar ficou em torno de 0,32 l/min.kg;
- A vazão de gás O₂ ficou em torno de 0,17 l/min.kg;
- A adição de H₂O₂ foi interrompida toda a vez que se formava uma camada de espuma espessa, acompanhada de níveis de OD superior a 20 ppm. Foram empregadas

soluções de H_2O_2 em concentrações de 30% (LX) e 10% (LXI) e vazão de aproximadamente 0,1ml/min.kg.

Estas reduções de vazão dos oxidantes não implicaram em prejuízo do níveis de OD e no desempenho das lixiviações, mostrando comportamentos semelhantes aos observados nos ensaios de cianetação comparativa I.

Na Figura 18, são visualizadas as curvas da cinética de extração de ouro durante as lixiviações empregando como agentes oxidantes: ar, O_2 e H_2O_2 , correspondentes aos ensaios LIV, LVIII e LX.

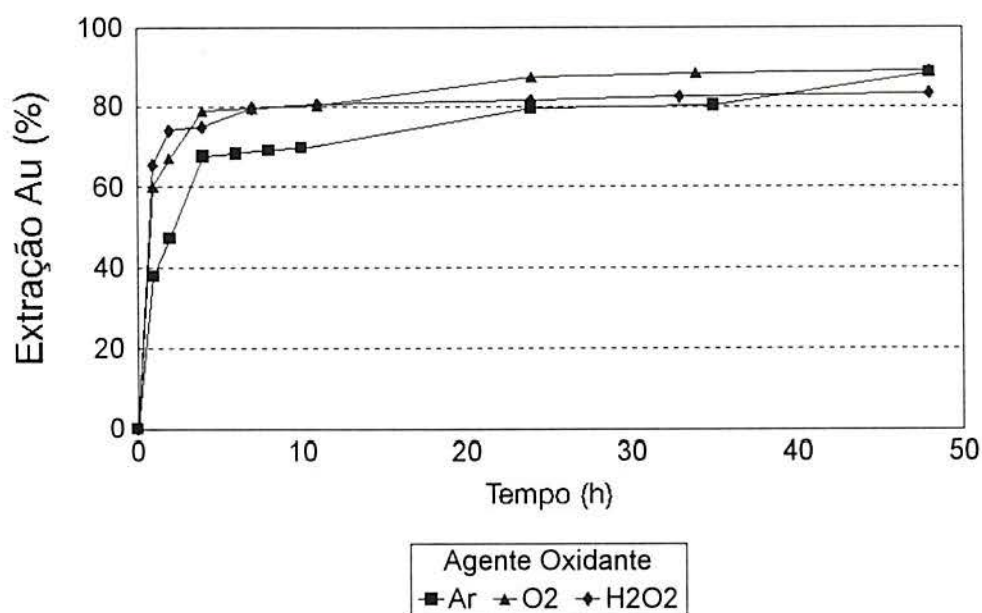


Figura 18 - Extração de ouro na cianetação do minério RM, oxidantes: Ar, O_2 e H_2O_2 , ensaios LIV, LVIII e LX

Os ensaios LIV, LVIII e LX podem ser considerados representativos do comportamento cinético em relação aos oxidantes utilizados.

O efeito do poder oxidante de cada agente sobre a razão de dissolução do ouro é característico nas primeiras horas de lixiviação, quando a grande parte do ouro cianetável apresenta-se com boa exposição.

Conforme a Tabela XXX na primeira hora de lixiviação o uso de H_2O_2 representou a extração do ouro na faixa de 65 a 80%, enquanto que com o O_2 a extração ficou entre 60 e 65% e com o uso de ar não superou os 40%. Isto indica um incremento na razão de dissolução do ouro conferido pelo uso de agente oxidante mais forte (H_2O_2).

A Tabela XXXI apresenta os índices de extração de prata nas lixiviações com os agentes oxidantes ar, O_2 e H_2O_2 .

Tabela XXXI - Extrações de prata na lixiviações do minério RM, com diferentes agentes oxidantes:

	LIV	LVII	LVIII	LX	LXI
LIXIVIAÇÃO	Ar	O ₂	O ₂	H ₂ O ₂	H ₂ O ₂
Extração Ag (%)					
1 h	24,8	27,4	21,4	42,2	26,9
2 h	34,9	36,9	28,7	47,6 ⁽¹⁾	40,1 ⁽¹⁾
4 h	45,2	43,4	36,1	48,1	40,6
6-8 h	51,0	46,9	36,5	48,7	41,0 ⁽¹⁾
10-11 h	51,5	50,4	44,0	49,3	41,5 ⁽¹⁾
23-24 h	61,8	50,9 ⁽¹⁾	44,4	49,8	47,9
33-35 h	62,4	51,4 ⁽¹⁾	44,8	50,4 ⁽¹⁾	
48-49 h	64,5	52,0	45,8	50,9 ⁽¹⁾	
Rejeito (ppm)	0,9	1,6	1,9	1,5	2,1
Aliment. calcul. (ppm)	2,5	3,3	3,5	3,1	4,0

(1) valores extrapolados.

Como já havia sido observado nos ensaios de cianetação comparativa I, o emprego do gás O₂ na lixiviação não resultou em aumento da razão de extração da prata, ao contrário apresentando extrações pouco inferiores àquelas obtidas com uso de ar como agente oxidante. Os resultados da lixiviação com adição de H₂O₂, apresentaram nas 2 h iniciais da lixiviação um aumento pouco expressivo na razão de dissolução da prata. A cinética de extração da prata pode ser visualizado Figura 19.

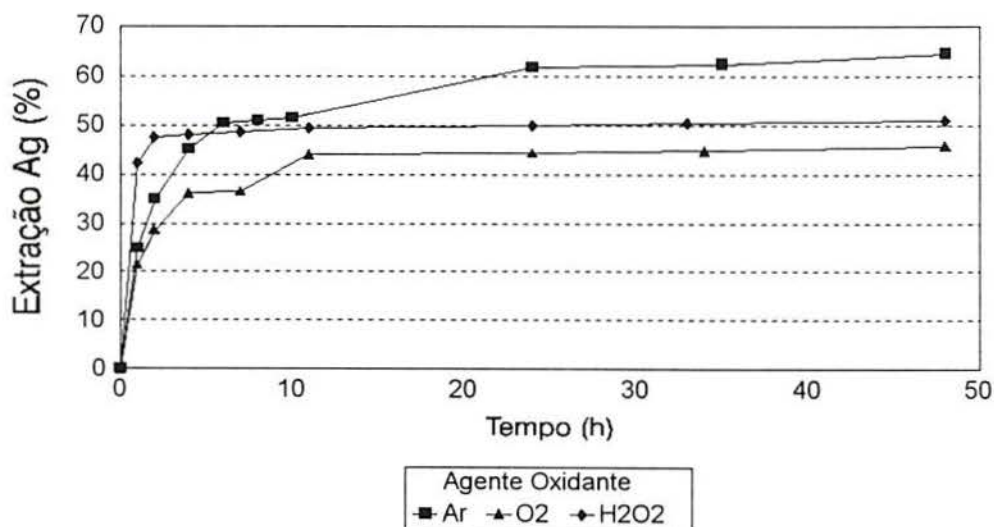


Figura 19 - Extração de prata na cianetação do minério RM, oxidantes: Ar, O₂ e H₂O₂, ensaios LIV, LVIII e LX

Em razão de ter sido estabelecido para os ensaios de Cianetação Comparativa II, III e IV o tempo de 12 h de pré-aeração, foi realizado um teste para avaliar o consumo de CaO. A Tabela XXXII apresenta os resultados dos consumos parciais de CaO.

Tabela XXXII - Consumo de CaO em pré-aeração alcalina, pH=10,5

Tempo (h)	Consumo de CaO (g/kg)
1	1,80
4	2,15
6	2,35
9	2,50
12	2,75

Do CaO consumido nos diversos ensaios, Tabela XXXII, praticamente 90 % correspondeu à adição realizada na etapa de pré-aeração. A necessidade de adição de CaO para a correção do pH durante a lixiviação, mostra consumos semelhantes quando são empregados ar ou O₂, em torno 0,2g/kg para 24 h e 0,3 g/kg para 48 h. Com a utilização de H₂O₂, em circunstância do seu efeito acidificante, houve um pequeno acréscimo na adição de CaO, sendo de 0,35g/kg para 24 h e 2,1 g/kg para 48 h,.

Comparando o cianeto (NaCN) consumido pelas lixiviações dos diversos agentes oxidantes empregados, Figura 20, observa-se o excessivo consumo apresentado na lixiviação com H₂O₂, superior ao dobro do registrado para os outros oxidantes.

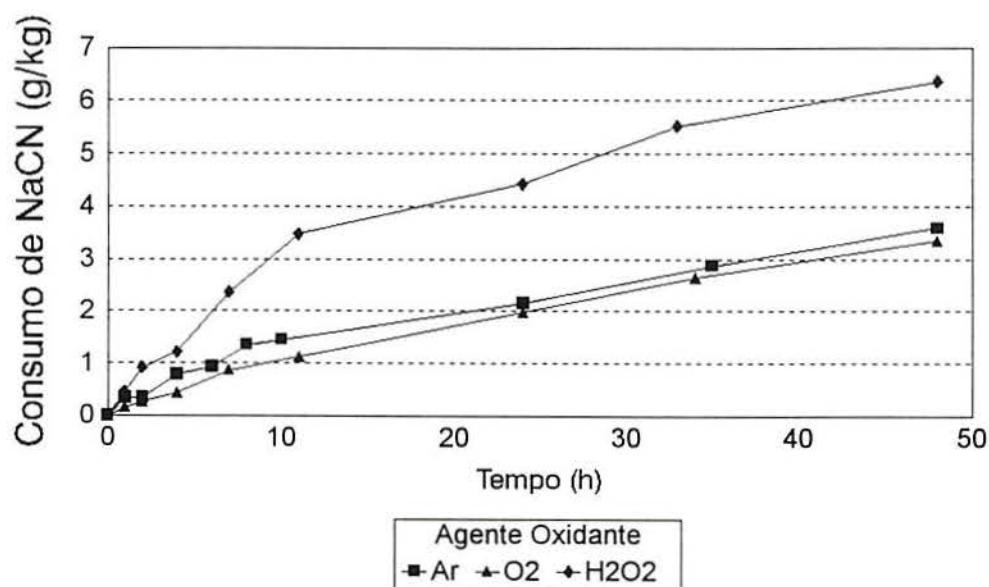


Figura 20 - Consumo de NaCN durante a lixiviação, oxidantes: Ar, O₂ e H₂O₂, ensaios LIV, LVIII e LX

Este consumo muito elevado pode ser explicado pela forte ação oxidante do H_2O_2 sobre o cianeto, provocando a formação de cianato (OCN^-), reação 21⁴⁸ e pela dissolução do Fe e Ni na forma de cianocomplexos.

O comportamento dos níveis de OD para as lixiviações dos ensaios LIV, LVIII e LX são apresentadas na Figura 21.

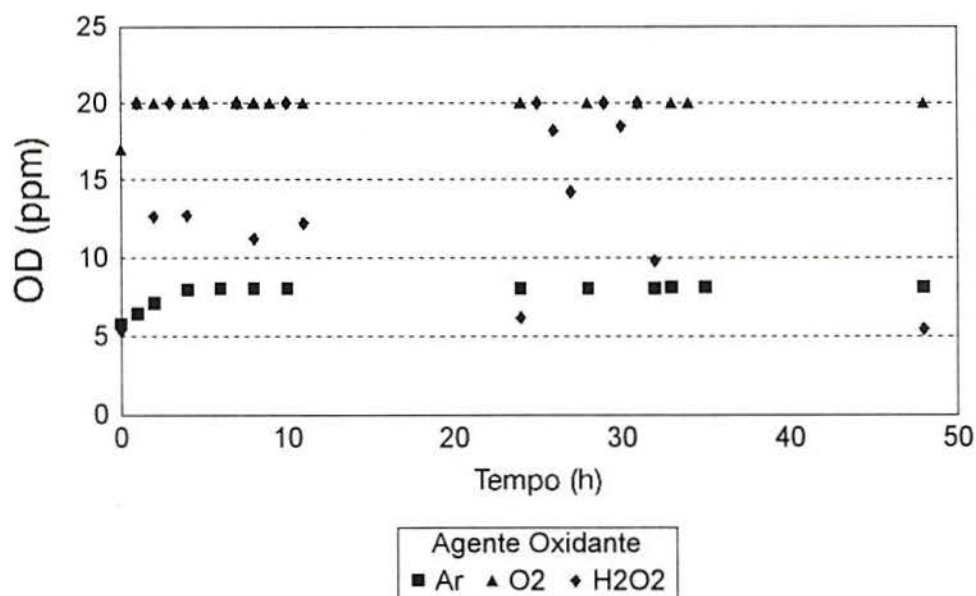


Figura 21 - Níveis de OD durante as lixiviações, oxidantes: Ar, O₂ e H₂O₂, ensaios LIV, LVIII e LX

A flutuação do OD observada nas lixiviações empregando H₂O₂, ocorreu devido à adição intermitente do oxidante. Este procedimento foi adotado em decorrência da formação de uma espessa camada de espuma que dificultava a coleta de alíquotas de polpa e a realização das medições. O aspecto da espuma não indicava flotação preferencial para alguma espécie mineral. Visualmente constatou-se ser formada principalmente por material argiloso

A Figura 22 apresenta as medições de Eh para os ensaios LIV, LVIII e LX. Os valores mais altos do Eh correspondetes à lixiviação com adição de H₂O₂ indica o maior potencial oxidante deste agente sobre os demais.

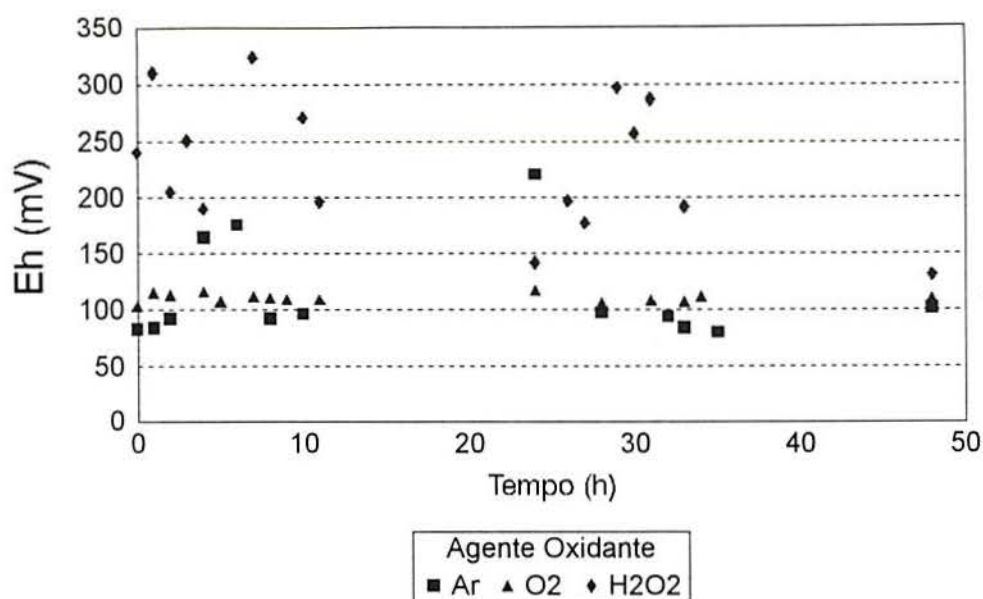


Figura 22 - Valores dos potenciais Eh durante as lixiviações, oxidantes: Ar, O₂ e H₂O₂, ensaios LIV, LVIII e LX

A observação das planilhas de ensaio, anexo III, mostra a influência do pH sobre o Eh, em uma relação inversa. A Figura 23, referente à lixiviação com adição de H₂O₂ (LX), apresenta os níveis de Eh e pH, onde pode ser visualizada a relação entre estes dois parâmetros.

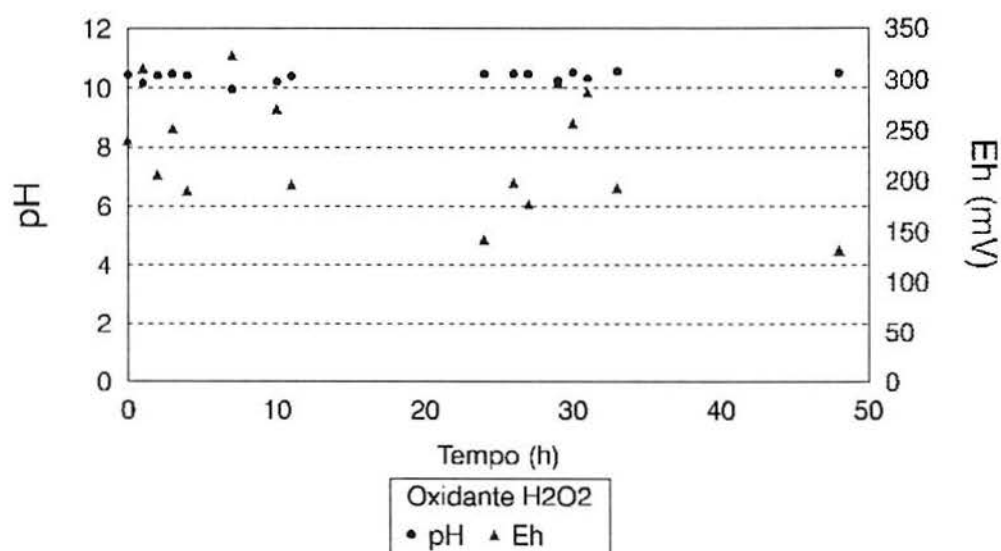


Figura 23 - Comportamento do Eh,e pH na lixiviação com H₂O₂ (LX).

Nos rejeitos dos ensaios LIV (ar), LVII e LVIII (O₂), foram feitas análises de ouro e prata por faixas granulométricas, respectivamente Tabelas XXXIII, XXXIV e XXXV.

Tabela XXXIII - Distribuição do ouro e prata no rejeito da lixiviação (LIV) c/ ar.

Faixa Gran. (mm)	Massa (%)	Ouro		Prata	
		Teor (ppm)	Distribuição (%)	Teor (ppm)	Distribuição (ppm)
+0,074	20,5	0,85	23,0	0,6	13,3
-0,074 +0,037	24,4	1,22	39,2	0,8	21,1
-0,037	55,1	0,52	37,8	1,1	65,5
Total	100	0,76	100	0,9	100

Tabela XXXIV - Distribuição do ouro e prata no rejeito da lixiviação (LVII) c/ gás O₂.

Faixa Gran. (mm)	Massa (%)	Ouro		Prata	
		Teor (ppm)	Distribuição (%)	Teor (ppm)	Distribuição (ppm)
+0,074	18,1	1,01	26,3	1,46	13,9
-0,074 +0,037	24,6	1,09	42,3	1,66	21,6
-0,037	57,3	0,38	31,4	2,13	64,5
Total	100	0,69	100	1,9	100

Tabela XXXV - Distribuição do ouro e prata no rejeito da lixiviação (LVIII) c/gás O₂.

Faixa Gran. (mm)	Massa (%)	Ouro		Prata	
		Teor (ppm)	Distribuição (%)	Teor (ppm)	Distribuição (ppm)
+0,074	18,1	0,81	20,8	1,0	11,5
-0,074 +0,037	24,8	1,13	39,7	1,5	23,5
-0,037	57,1	0,49	39,5	1,8	65,0
Total	100	0,71	100	1,9	100

A distribuição do ouro confirma o padrão estabelecido em análises anteriores, ou seja, apresenta a redução dos teores para faixas granulométricas menores e a maior parcela de ouro perdido, mais de 70 %, nas granulometrias menores que 0,074 mm (200#) e mais de 30 % em granulometrias abaixo de 0,035 mm (400#), referente neste último ao ouro tipicamente refratário.

Os pequenos picos de teores de ouro observados na faixa de -0,074 +0,035 mm, podem indicar a presença ainda de uma parcela de ouro não exposto e no caso, propício a ser liberado por moagem.

A prata contida nos rejeitos de lixiviação apresenta um aumento do teor do metal à medida em que a granulometria diminui, sendo as faixas menos 0,074 mm (200#) e menos 0,037 mm (400#), responsáveis respectivamente por aproximadamente 85 % e 65 % da prata refratária.

Por ser a distribuição de ouro/prata no rejeito dependente unicamente do grau de exposição dos metais no minério moído, não foi considerada necessária a análise dos rejeitos nos ensaios empregando H_2O_2 .

4.3 CIANETAÇÃO COMPARATIVA III

A Tabela XXXVI apresenta a síntese dos parâmetros monitorados e controlados e os resultados das extrações.

Tabela XXXVI - Comparação entre lixiviações com diferentes agentes oxidantes, Ar, O_2 e H_2O_2 .

	LRI	LRIII	LRIV
PRÉ-AERAÇÃO - 12h	Ar	Ar	Ar
CaO adic. (g/kg)	2,9	2,7	2,7
pH inicial/final	12,1 / 10,0	11,9 / 9,9	12,0 / 10,1
Eh inicial/final (mV)	133 / 253	122 / 252	-- / 170
OD inicial/final (ppm)	4,4 / 5,8	3,7 / 5,5	3,0 / 7,9
LIXIVIAÇÃO - 48h	Ar	O_2	H_2O_2
CaO adic. (g/kg)	0,3	0,4	0,4
pH inicial/final	10,6 / 10,4	10,6 / 10,4	10,6 / 10,4
Eh inicial/final (mV)	79 / 116	99 / 11	-- / 284 ⁽¹⁾
OD inicial/final (ppm)	6,5 / 7,4	14,4 / >20 ⁽¹⁾	8,3 / >20 ⁽¹⁾
NaCN cons. (g/kg)	3,9	4,1	9,5
Extração Au (%)			
1	51,8	65,0	61,2
2	62,5	72,2	76,4
4	62,7	73,9	79,6 ⁽²⁾
6-8	83,7	74,2 ⁽²⁾	81,4
11	84,3	74,5	83,2 ⁽²⁾
24	84,7	77,6	85,0
Rejeito (ppm)	0,95	1,64	1,0
Aliment. calcul. (ppm)	6,1	7,31	6,8

(1) Valores correspondentes à 11h de lixiviação.

(2) Valor extrapolado.

Na realização destes ensaios foi empregado o reator 2, que possui maior capacidade volumétrica, possibilitando a lixiviação de maior massa de minério, em torno de 8 kg e reduções na vazão de oxidante em relação à massa das amostras. As demais condições de ensaio foram mantidas iguais às da cianetação comparativa II.

As vazões de ar, O_2 e H_2O_2 em relação à massa de minério foram as seguintes:

a) Durante as pré-aerações e na lixiviação do ensaio RLI a vazão de ar ficou em torno de 0,13 l/min.kg;

b) A vazão de gás O_2 ficou em 0,13 l/min.kg;

c) A adição de H_2O_2 (10%) foi de 0,03 ml/min.kg.

Em todos os ensaios ocorreu a formação de uma camada de espuma, sendo mais acentuada nos ensaios com O_2 e H_2O_2 . Atribuiu-se este efeito às elevadas concentrações de oxigênio dissolvido, intensificado pelo vigor da agitação produzida pelo reator utilizado, o que promoveu um melhor cisalhamento da fase gasosa. Isto obrigou a algumas interrupções da adição destes agentes durante a lixiviação, para conter a excessiva formação de espuma. Com a interrupção da adição de O_2 e H_2O_2 após 11h de lixiviação os valores de OD e Eh ao final do ensaio (24 h) foram inferiores aos registrados na lixiviação com ar, sem indicar prejuízo à extração total do ouro.

De maneira geral, o comportamento da extração de ouro e dos parâmetros medidos nas lixiviações deste grupo de ensaios, manteve aqueles já observados nas cianetações comparativas I e II. Da mesma forma, os comportamentos dos diversos parâmetros medidos, observados nesta bateria de ensaios confirmam aqueles obtidos nos ensaios anteriores. Nas figuras 24 e 25 são visualizados respectivamente os comportamentos da cinética de extração de ouro e consumo de cianeto.

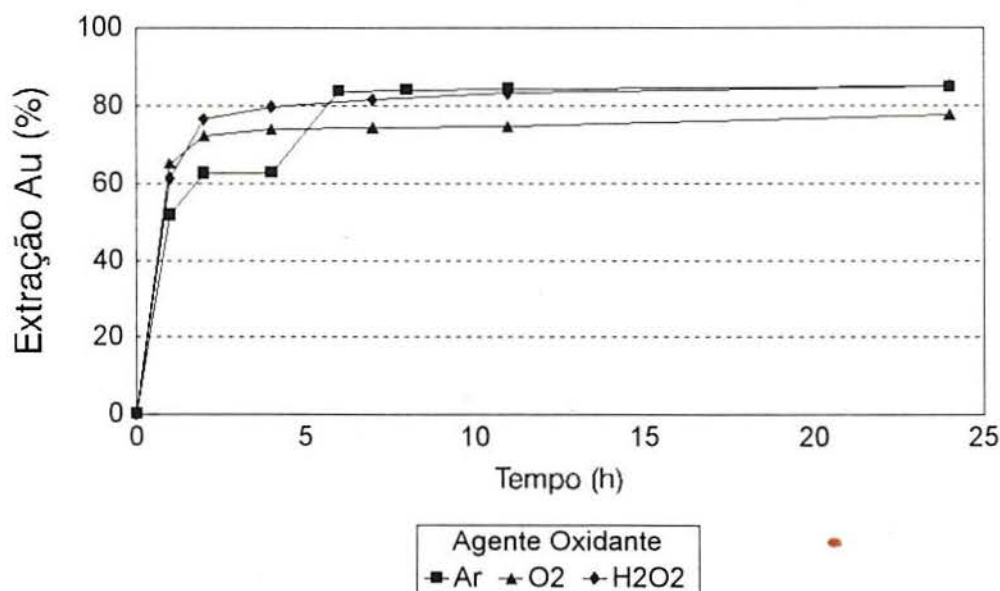


Figura 24 - Extração de ouro na cianetação do minério RM, oxidantes: Ar, O_2 e H_2O_2 , ensaios: RLI, RLIII e RLIV.

Novamente a maior razão de dissolução do ouro correspondendo ao uso de H_2O_2 ocorreu nas primeiras 4 h de lixiviação

A Figura 25 registra os consumos de cianeto, sendo observado um consumo excessivo de cianeto na utilização do H_2O_2 .

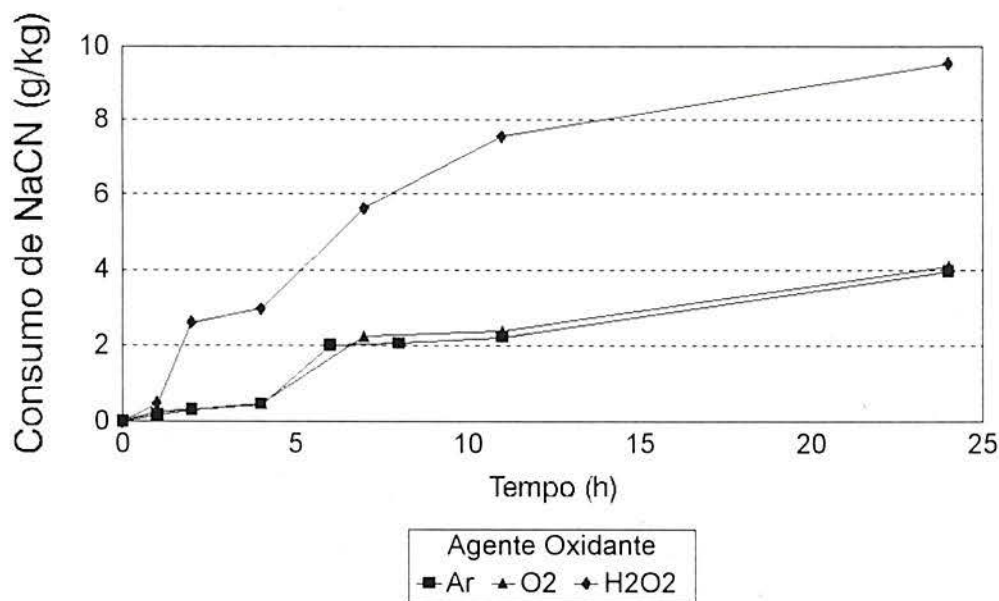


Figura 25 - Consumo de NaCN durante a lixiviação, oxidantes: Ar, O₂ e H₂O₂, ensaios: RLI, RLIII e RLIV

As Figuras 26 e 27 apresentam respectivamente as flutuações do OD e Eh..

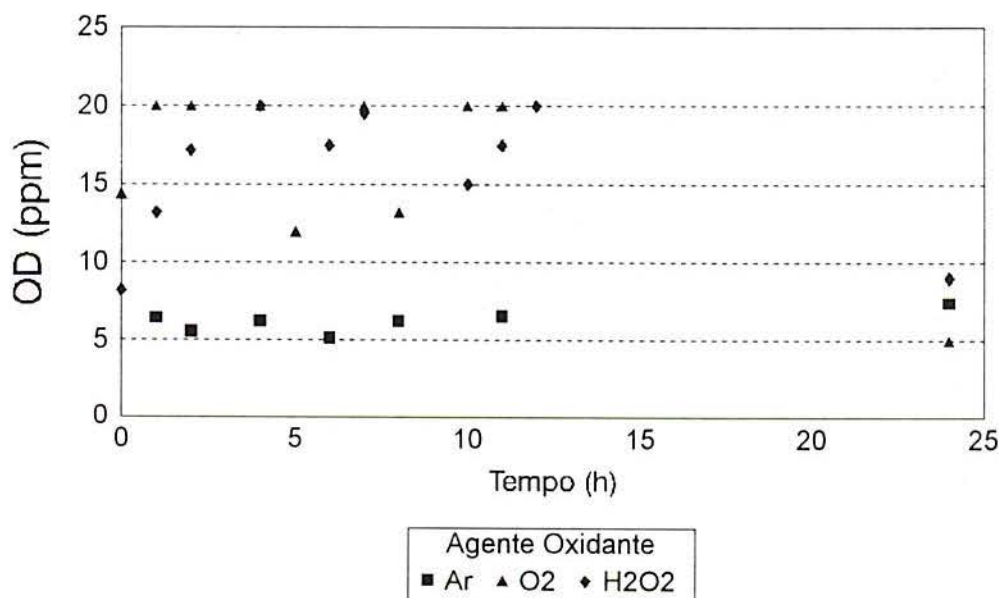


Figura 26 - Níveis de OD durante as lixiviações, oxidantes: Ar, O₂ e H₂O₂, ensaios: RLI, RLIII e RLIV.

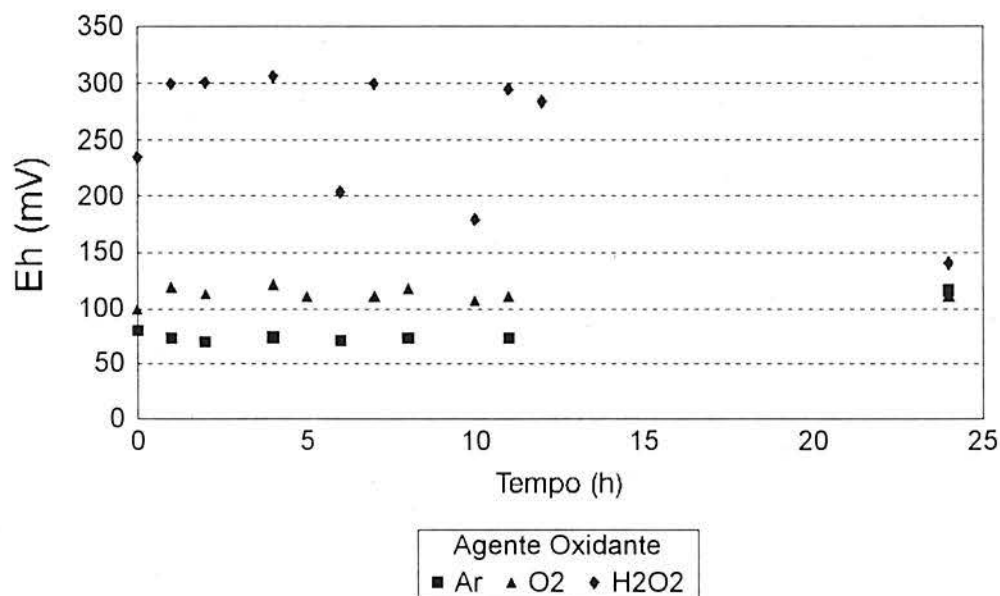


Figura 27 - Valores dos potenciais Eh durante as lixiviações, oxidantes: Ar, O₂ e H₂O₂, ensaios: RLI, RLIII e RLIV.

Comparando as lixiviações com ar e O₂, Figuras 26 e 27, é possível visualizar que o crescimento do nível de OD, de um patamar de 6 ppm (ar) para 20 ppm (O₂) resultou em um pequeno incremento do nível de Eh, de 80 mV (ar) para 120 mV (O₂).

No entanto, quando o agente oxidante é o H₂O₂ há um aumento considerável do nível de Eh, atingindo valores de 300 mV.

4.4 CIANETAÇÃO COMPARATIVA IV

Este item agrupa alguns ensaios especulativos, a saber:

O ensaio LII, Tabela XXXVII, foi realizado para observar a cinética de extração nas primeiras 10 horas de cianetação, com injeção de ar e sem a realização de pré-aeração, de forma a ser um referencial das condições de máximo consumo de reagentes.

A razão de dissolução do ouro, extremamente baixa nas primeiras 2 h, Figura 28, o baixo nível de OD e o elevado consumo de cianeto, apresentados na Tabela XXXVIII, em comparação com os demais ensaios que empregaram ar como oxidante, mostram o efeito deletério dos sulfetos presentes, particularmente a pirrotita, sobre a cinética nas primeiras horas de lixiviação, quando o minério não é submetido a uma etapa de pré-aeração.

Tabela XXXVII - Cinética de extração (10h) do minério RM moído, sem pré-aeração.

LIXIVIAÇÃO LII		Ar \approx 1l/min./kg
CaO adic.	(g/kg)	1,8
pH inicial/final		10,6 / 10,5
Eh inicial/final	(mV)	-20 / 88
OD inicial/final	(ppm)	2 / 5,3
NaCN cons.	(g/kg)	2,0
Extração (%) Au		
1 h		16,1
2 h		38,9
4 h		60,5
6 h		64,5
8 h		72,0
10 h		76,3
Rejeito	(ppm)	1,47
Aliment. calcul.	(ppm)	6,21

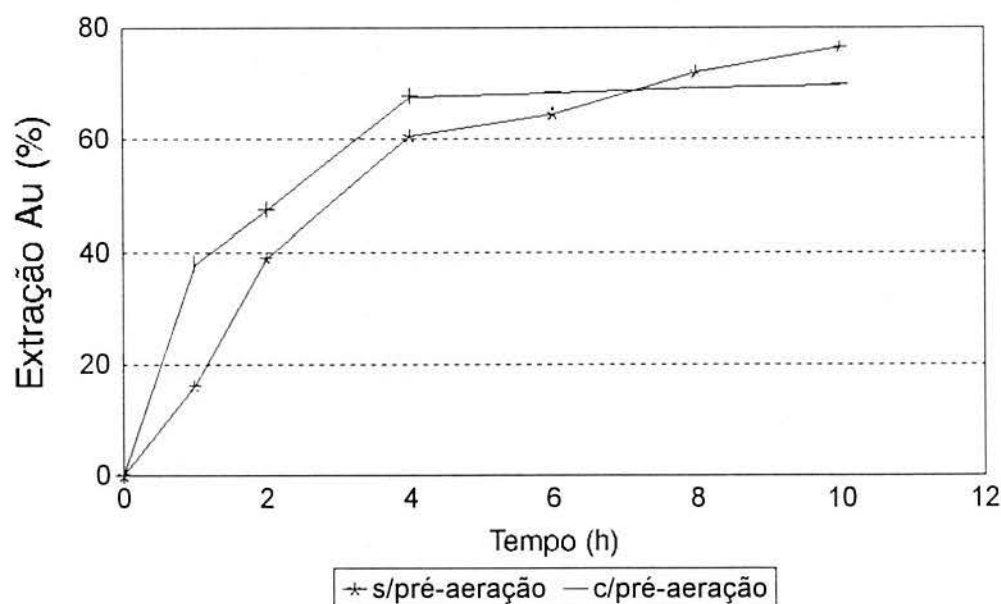


Figura 28 - Efeito da pré-aeração sobre a cinética de extração do ouro, ensaios LII (s/pré aeração) e LIV (c/ pré-aeração).

Os ensaios LVI e LIX foram realizados para avaliar a contribuição das diferentes frações granulométricas sobre a parcela inicial de ouro extraído, após 4 e 8 h de lixiviação com adição de O₂. Os dados de extração destes ensaios estão apresentados na Tabela XLII.

Tabela XXXVIII - Extração de ouro do minério RM moído, pré-aeração (12h), cianetação c/O₂.

Tempo (h)	Taxa de Extração (%)	
	LVI	LIX
1	57,8	57,1
2	70,7	71,5
4	79,1	77,4
6,5		85,1
8		83,9
Rejeito (ppm)	1,37	0,93
Alimentação Calc. (ppm)	6,57	5,78
Consumo NaCN (g/kg)	0,45	1,2
Consumo CaO (g/kg)	3,0	2,7

As Tabelas XXXIX e XL apresentam os resultados das análises dos teores de ouro por faixas granulométricas dos rejeitos correspondentes aos ensaios LVI e LIX, respectivamente.

Tabela XXXIX - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio LVI, lixiviação (4 h), c/adicação de O₂

Faixa Gran. (mm)	% Massa	Teor Au ppm	Distribuição Au %
+0,074	17,9	1,52	19,8
-0,074 +0,044	16,9	1,63	20,4
-0,044 +0,037	7,4	1,58	8,5
-0,037	57,7	1,22	51,3
Total	100	1,37	100

Tabela XL - Distribuição do ouro no rejeito do ensaio LIX, lixiviação (8 h) c/adicação de O₂.

Faixa Gran. (mm)	% Massa	Teor Au ppm	Distribuição Au %
+0,074	30,7	1,18	38,9
-0,074 +0,037	19,8	1,41	29,8
-0,037	49,5	0,59	31,3
Total	100	0,93	100

Análises das frações granulométricas dos rejeitos referentes aos ensaios com 48 h de lixiviação indicaram uma melhor exposição do ouro na fração menor que 0,037 mm. O resultado obtido no ensaio LIX, lixiviação de 8 h, parece confirmar esta tendência.

Para o ensaio LVI, com apenas 4 h de cianetação, o teor de 1,2 ppm na fração menor que 0,037 mm deve ser considerado alto, mostrando nete caso, ainda haver

presença de ouro cianetável nesta fração. Da mesma forma as frações maiores que 0,037 mm apresentam teores superiores aqueles normalmente registrados em lixiviações de 48 h e portanto devem ainda conter uma parcela de ouro cianetável.

Supondo então a continuidade da cianetação no ensaio LVI, e conseqüente redução do teor da fração -0,037 para 0,5 ppm, a extração final poderia alcançar 85 %. Para obter extrações próximas a 90 %, a contribuição viria das frações + 0,037 mm. Em suma não foi identificada uma faixa granulométrica que pudesse ser descartada após um período curto de lixiviação.

4.5 RESULTADOS COMPILADOS DAS CIANETAÇÕES COMPARATIVAS

4.5.1 *Relação entre OD, Eh e pH*

A partir da maior confiabilidade das medições tentou-se avaliar as relações entre OD, Eh e pH. A complexidade dos fatores termodinâmicos não controlados que determinam o potencial redox dos sistemas de pré-aeração/lixiviação, permitiram apenas observações superficiais, quais sejam: (1) o incremento acentuado do OD, não foi acompanhado necessariamente por um aumento expressivo do Eh; (2) as variações no potencial redox, Eh, responderam principalmente à força do agente oxidante empregado, assim os maiores níveis de Eh foram registrados na presença do H_2O_2 na solução; (3) por outro lado, o monitoramento durante os ensaios mostraram que pequenas quedas nos valores de pH eram normalmente acompanhados de aumentos do Eh, certamente em razão do efeito oxidante do H^+ .

4.5.2 *Seletividade na extração de ouro com emprego de agentes oxidantes*

O efeito da presença de metais interferentes (cianídeos) como ferro, cobre e níquel, pode ser avaliado comparando suas concentrações com as de ouro/prata, presentes ao final da lixiviação, Tabela XXX-licor final. É marcante a pouca seletividade na cianetação do minério de ouro, sendo que para cada parte de ouro dissolvido, mais de 3 partes de ferro, 10 partes de cobre e 1 (uma) parte de níquel foram também dissolvidas.

¹⁹ Teixeira sugere a possibilidade de realizar a cianetação do ouro em uma zona delimitada pelos valores de pH e Eh onde seja minimizada a competição de outros metais, principalmente ferro e cobre. A observação dos diagramas Eh-pH dos sistemas Au-CN- H_2O , Fe-S-CN- H_2O e Cu-CN- H_2O , figuras 3, 5 e 6, indicam que para as condições de

concentração e pureza dos diagramas, na faixa de pH entre 10 a 11, há necessidade de potenciais de oxidação bastante elevados, superiores a 200 mV e 500 mV para alcançar as regiões de predominância respectivamente do FeOOH e CuO (insolúveis).

Estas avaliações contudo são apoiadas nos diagramas de Eh-pH que não retratam as condições em que foram realizadas as lixiviações deste trabalho. Deve ser ressaltado também, que as extrações dos metais deletérios (Fe, Cu e Ni) foram obtidas em tempos de lixiviação máximos (4h), onde o efeito da cinética de dissolução destes metais é pouco representativa, além do número muito pequeno de análises e as grandes variações nos resultados da extração de alguns metais para lixiviações sob condições semelhantes. Sendo assim, não é possível comparar a seletividade da cianetação em função da extração do ouro.

Os níveis de Eh obtidos, empregando o ar como agente oxidante, ficaram em torno de 100mV. A utilização do O₂ como oxidante não promoveu uma elevação significativa do potencial redox. Por outro lado o uso de H₂O₂ implicou em um incremento do Eh para patamares mais oxidantes, entre 200 e 300 mV.

O incremento do Eh observado com a adição de O₂, indica a dificuldade de posicionar a cianetação do ouro em condições termodinâmicas de menor interferência dos agentes cianídicas, ou seja em condições mais oxidantes.

A Tabela XLI apresenta os resultados das extrações de Fe, Cu e Ni para lixiviações com ar, O₂ e H₂O₂, dados extraídos das Tabelas XXIX e XXX. Comparando os resultados, quando empregados ar e O₂ nas lixiviações, nota-se que o Fe e Ni apresentaram valores semelhantes de dissolução, enquanto o Cu mostrou-se mais sensível ao aumento da concentração do O₂.

Tabela XLI - Extrações de metais interferentes nas lixiviações (48h), minério RM, em função do agente oxidante

Elementos	Ar	O ₂	H ₂ O ₂
Fe	15,7	15 ppm	25,5 ppm
Cu	21,8	30 ppm	4 ppm
Ni	5,2	5 ppm	8,2 ppm

A expectativa de uma diminuição no teor de ferro em função de realizar a cianetação em condições mais oxidantes, não se confirmou, ao contrário foi registrado um teor maior que a média dos resultados anteriores. Enquanto que para a concentração de Cu,

ao invés de permanecer inalterada, pois a lixiviação com H_2O_2 ainda situou-se na zona de predominância do $Cu(CN)_3^{2-}$, o resultado de análise mostrou um valor extremamente baixo. Apenas os resultados das concentrações de Ni, que se mantiveram num mesmo patamar, confirmaram a expectativa, uma vez que o $Ni(CN)_6^{4-}$ apresenta zona de estabilidade bastante abrangente, semelhante à do Au.

No caso do Fe, a manutenção de concentrações superiores a 500 mg/l ($> 10^{-2}M$) implicou no aumento das zonas de estabilidades de seus cianocomplexos, principalmente do $Fe(CN)_6^{3-}$ presente em Eh elevado, Figura 5, o que certamente influenciou sobre o aumento dos teores de Fe no licor final. Quanto ao Cu, a zona de estabilidade de seu cianocomplexo está próxima da linha O_2/H_2O , de forma que o aumento do Eh deslocamento a reação para fora da zona de estabilidade do $Cu(CN)_3^{2-}$, não sendo anulado por elevadas concentrações de cianeto, Figura 6.

4.5.3 Extração de ouro/prata

As extrações máximas do ouro e prata obtidas para o minério RM por cianetação direta (ouro cianetável) é de 90% do ouro e 60% da prata. E, como era esperado, a variação das condições oxidantes estudadas não tiveram efeito significativo sobre a extração total, ou seja, sobre a quantidade do ouro cianetável disponível.

De maneira geral, a perda de 10% do ouro e 50% da prata, só poderá ser revertida com uma abertura da fase mineral que os contém; seja através da liberação, por quebra da partícula mineral que os envolve, seja através da destruição do mineral a eles associados, principalmente sulfetos, por métodos de oxidação bem mais vigorosos, como ustulação, oxidação sob pressão, oxidação ácida, etc.

4.5.4 Cinética de extração do ouro/prata

A tentativa de buscar uma melhor adição de oxigênio à polpa mineral através da injeção de agentes oxidantes (oxigenadores), ar, gás O_2 e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), visou o incremento da razão de dissolução, ou seja, redução do tempo de residência.

Nos sistemas de lixiviação de polpa mineral, em condições ambiente, o nível de oxigênio dissolvido (OD) é um parâmetro crítico na eficiência da cianetação do ouro/prata. As variações observadas na razão de dissolução do ouro, em função principalmente de alterações nos níveis de OD, mostraram que o transporte de oxigênio é o controlador da cinética da reação para a concentração de cianeto na faixa de 1000 a 500 mg/l de NaCN.

Este efeito é válido nas primeiras horas de lixiviação, enquanto o ouro melhor exposto não foi totalmente dissolvido.

A comparação das extrações de ouro obtidas em todos os ensaios realizados, Tabela XLII, indicou que além do agente oxidante empregado, também o tipo de teste de lixiviação utilizado, podem influenciar a cinética de extração do ouro, principalmente no caso de uso somente do ar.

Tabela XLII - Valores médios de extração de ouro, minério RM, em relação ao oxidante e tipo de teste de liciviação.

Oxidante	Lixiviação	Extração de Au (%) no tempo					
		1h	2 h	4 h	6-8 h	24 h	48 h
Ar	<i>Bottle Roll Test</i>	49	59	70	79	86	90
	p/agitação - Reator 1	30	50	64	77	88	
	p/borbulh. - Reator 1	39	48	67	70	80	89
	p/borbulh. - Reator 2	52	62	63	84	85	
O ₂	p/borbulh. - Reator 1	63	67	78	79	84	89
	p/borbulh. - Reator 2	65	72	74	74	78	
H ₂ O ₂	p/borbulh. - Reator 1	72	78	80	83	85	
	p/borbulh. - Reator 2	61	76	80	81	85	

A partir deste conjunto de ensaios de extração é possível tecer uma série de análises comparativas entre as cinéticas de extração, de modo a estabelecer algumas tendências:

a) A extração do ouro em lixiviações com incorporação de ar, para os diferentes métodos de ensaio empregados, permite estabelecer os seguintes comportamentos:

- A maior razão de dissolução do ouro ocorreu nas primeiras 8 horas de lixiviação, quando entre 70 e 80% do ouro contido nas amostras foi extraído;
- Os ensaios realizados em garrafão (*bottle roll test*) e no reator 2 apresentaram taxas de extração nas primeiras 2 h em torno de 60% do ouro, enquanto nos ensaios em becker e no reator 1 (becker c/defletores) a taxa de extração foi de 50% do ouro, para o mesmo período. Esta diferença deve ser atribuída a melhor eficiência de agitação da polpa obtida nos ensaios em garrafão e no reator 2, que proporcionou uma maior eficiência de dissolução do ar no licor;
- Tendo em vista os tempos de pré-aeração empregados nos diversos ensaios, 1 h nos ensaios de extração, 6 h nas cianetações comparativas I e 12 h nas

cianetações comparativas II e III, não foi constatado efeito do tempo de pré-aeração sobre a cinética de extração do ouro.

b) Com a adição de gás O_2 e H_2O_2 e conseqüente maior disponibilidade de oxigênio em solução, ocorreu um incremento na razão de dissolução nas primeiras horas de lixiviação:

- Em média, aproximadamente 75% do ouro foi dissolvido nas primeiras 4 h, contra aproximadamente 65% de extração obtido na lixiviação com ar, para o mesmo período.
- As diferenças mínimas observadas entre as extrações obtidas no reator 1 e 2 não permitem estabelecer qualquer efeito do tipo de teste de lixiviação.

c) Pode ser observado também que após a extração de 80 % do ouro, as curvas tomam uma tendência assintótica. Estabeleceu-se este índice de extração como representativo da mudança do controle da cinética de dissolução do ouro, que deixa de ser o transporte de oxigênio (difusão dos reagentes na camada limite), para ser dependente então do grau de exposição do ouro, como por exemplo a difusão em poros, ou velocidade de decomposição dos sulfetos (principalmente a pirrotita).

Comparando os três oxidantes utilizados, em relação ao tempo necessário para obter 80 % de extração do ouro, em condições de ensaio de lixiviação semelhantes, reator 1, temos:

- Ar como oxidante necessitou cianetação de 24 h para extrair 80 % do ouro;
- O_2 como oxidante necessitou cianetação de 7 h para extrair 79 % do ouro;
- H_2O_2 como oxidante necessitou cianetação de 4 h para extrair 80 % do ouro.

Estes resultados se aproximam da expectativa de obter razões de dissolução 4,8 vezes maior, quando é solubilizado na polpa oxigênio ao invés de ar⁵⁰.

O tamanho das partículas de ouro também influecia o tempo de lixiviação. Na análise microscópica feita na amostra de minério RM¹¹ foram observadas partículas de ouro com dimensões de até 40 μm . Sabendo-se que, sob condições de velocidade de extração controlada por difusão, em solução cianetada saturada com ar, o ouro se dissolve a uma razão de 3,25 mg/cm²/h, e portanto uma partícula de 44 μm de diâmetro levará 13 h para se dissolver¹⁴, assim pode ser atribuído ao tamanho máximo das partículas de ouro presentes no minério RM o período de 8 a 24 h de cianetação necessário para ser obtido 80 % de extração, no caso do agente oxidante ser o ar.

Em relação à cinética de extração da prata não foi notada influência significativa do agente oxidante. A análise mineralógica por microscopia ótica realizado no minério RM não observou a presença de prata na forma nativa ¹¹. De acordo com a bibliografia é possível que a prata esteja intimamente associada ao ouro na forma de electrum e associada juntamente com o ouro aos minerais refratários implicando em sua baixa recuperação. No entanto, a escassez de informação e estudo da associação da prata neste minério somente permitem suposições.

4.5.5 Consumo de reagentes

Os processos de cianetação de minérios de ouro empregam três reagentes básicos, o cianeto, o regulador de pH ou protetor alcalino e o oxidante. Para os ensaios de cianetação do minério RM utilizou-se como reagentes, aqueles usualmente empregados em processos industriais, que são o cianeto de sódio (NaCN), óxido de cálcio ou cal (CaO) e oxigênio, este em sua mistura no ar, ou pela adição do gás O₂ ou do H₂O₂ em solução.

Dos três reagentes utilizados nos ensaios, o NaCN e o CaO tiveram seu consumo mensurado, enquanto que para o O₂ foi apenas avaliada sua disponibilidade em relação ao tipo de ensaio de lixiviação e do agente oxidante, através da medição do oxigênio dissolvido (OD).

A seguir são comentados os efeitos dos agentes oxidantes sobre o consumo dos reagentes e implicações na extração do ouro:

a) Oxigênio - Os ensaios de cianetação comparativa comprovam que a concentração de oxigênio é o controlador da reação de dissolução do ouro até serem alcançados índices de extração ao redor de 80 %. Ar, O₂ e H₂O₂ tiveram os seguintes efeitos sobre a concentração de oxigênio (OD):

- A lixiviação com incorporação de ar apenas por agitação (LAG) apresentou o mais baixo gradiente de OD, de 1 ppm inicial a 4 ppm, ao final. A cinética de extração do ouro extremamente lenta, neste caso, mostra uma insuficiência na disponibilidade de O₂ para atender o consumo das reações de oxidação.

- A adição forçada de ar por borbulhamento durante a lixiviação (LA e LIV) apresentou uma melhora no nível de OD inicial, respectivamente 3,5 e 6 ppm, com crescimento ao longo das primeiras 4 horas de lixiviação, quando então o OD aproximou-se do valor de saturação do ar em água. Esta melhora na disponibilidade de O₂ se refletiu no aumento da velocidade de cianetação do ouro, porém os níveis de OD relativamente

menores no início da lixiviação indicaram ainda a insuficiência no aporte de O_2 . A estabilização dos valores de OD indicam o período da lixiviação em que ocorre o equilíbrio entre o consumo de O_2 e a reposição através do ar em solução.

- A uso de gás O_2 implicou em melhoras bastante representativas sobre a velocidade da reação de cianetação do ouro, devido é claro aos altos níveis de oxigênio dissolvido, superiores a 20 ppm.

- Nos casos da adição intermitente de H_2O_2 , resultando em valores de OD menores, entre 10 e 20 ppm, obteve-se as maiores velocidades da reação de cianetação do ouro, indicando que a concentração de oxigênio ótima deve encontrar-se nesta faixa.

b) CaO - A adição de CaO durante a pré-aeração variou em função do tempo, de 2,2 g/kg para 6 h até 2,9 g/kg para 12 h. Desde que houvesse uma etapa anterior de pré-aeração, a adição de CaO necessária à correção do pH foi mínima durante as lixiviações, com valores máximos de 0,4 g/kg:

c) NaCN - Os consumos de cianeto foram semelhantes para as lixiviações empregando ar e O_2 como oxidantes. No caso do uso de H_2O_2 houve um expressivo aumento de consumo, provavelmente devido à oxidação do cianeto para cianato.

O efeito do tempo de pré-aeração sobre os resultados de consumo de NaCN e CaO, para lixiviações com polpa aerada, pode ser observado na Tabela XLIII.

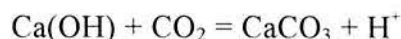
Tabela XLIII - Consumos de reagentes (NaCN e CaO) em relação ao tempo de pré-aeração, na lixiviação de polpas aeradas, ensaios BA24, LAG, LA, LIV.

Lixiviação c/Ar		Consumo de reagente (g/kg) no tempo					
Reagente	Pré-eração	1 h	2 h	4 h	8 h	24 h	48h
NaCN	Ar p/agitação 1 h	0,36	0,46	0,55	0,85	1,39	
	Ar p/agitação 4 h	0,67		0,91		1,81	2,49
	Ar p/borbulh. 6 h	0,66		0,94		1,99	2,75
	Ar p/borbulh. 12 h	0,34	0,34	0,78	1,36	2,16	3,60
CaO	Ar p/agitação 1 h	1,48	1,54	1,54	1,54	1,69	
	Ar p/agitação 4 h	2,15		2,15		2,18	2,28
	Ar p/borbulh. 6 h	2,2		2,2		2,4	2,5
	Ar p/borbulh 12 h	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3

Quanto ao consumo de cianeto, ao contrário da expectativa, em tempos de pré-aeração maiores, foram registrados consumos finais maiores. Os dados de consumo de cianeto registrado nas primeiras horas de lixiviação não permitem identificar uma tendência. Este efeito pode ter sido resultado de não descartar a solução da polpa pré-

aerada antes da etapa de lixiviação e com isto manter na polpa espécies químicas cianílicas (compostos metaestáveis de metais).

Em relação ao consumo de CaO, este foi determinado pela necessidade de correção na etapa de pré-aeração e por conseguinte implicou em maiores consumos para os ensaios de maior tempo de pré-aeração. O borbulhamento de ar promove também a incorporação do CO₂, o que influencia no consumo de CaO por carbonatação e diminuição do pH, conforme a seguinte reação:



Relacionando as adições de CaO e o consumo de NaCN em função da extração de ouro e respectivo tempo de lixiviação, Tabela XLIV, é possível uma avaliação primária da viabilidade de aplicação de agentes oxidantes como O₂ e H₂O₂ na lixiviação do minério RM.

Tabela XLIV - Consumos de reagentes em função da extração e tempo de lixiviação, valores médios dos ensaios de cianetação comparativa II

Oxidante	Extração de Au (%)	Tempo de lixiviação (h)	NaCN (g/kg)	CaO (g/kg)
Ar	60	4	0,78	3,06
	80	35	2,88	3,25
	90	48	3,60	3,30
O ₂	60	1	0,19	2,99
	80	11	1,22	3,06
	90	48	3,04	3,23
H ₂ O ₂	70	1	1,38	2,78
	80	1-7	1,65	2,90
	85	24 -48	4,55	3,33

Os resultados da Tabela XLIV demonstram que com o uso na cianetação de agentes oxidantes mais fortes em comparação com o ar, são obtidas altas extrações em tempos de lixiviação menores. Tomando por base a extração de 80% de ouro, o ganho em tempo de lixiviação não implicou em aumento dos consumos de CaO e NaCN. Isto mostra a potencialidade da aplicação destes agentes oxidantes em processos industriais de lixiviação de minérios auríferos, onde o custo da utilização de oxidantes como O₂ e H₂O₂ podem ser compensados pela redução no tempo de residência.

VI CONCLUSÕES

A amostra de minério primário estudada proveniente da jazida de Riacho dos Machados - MG, apresenta teores na faixa de 6 a 7 g/t de ouro e 2 a 3 g/t de prata.

O ouro e a prata apresentam-se na forma de partículas finas de grandeza microscópica e submicroscópica, associados aos sulfetos presentes. Os metais preciosos se distribuem de maneira uniforme nas frações granulométricas do minério moído.

O percentual de ouro e prata cianetáveis no minério RM é de aproximadamente 90 % do ouro e 50% da prata, para um grau de cominuição de $85\% < 0,074$ mm, implicando no emprego de processo de lixiviação em polpa.

De maneira geral, a perda de 10% do ouro e 50% da prata, na cianetação do minério moído, deve-se ao caráter refratário de suas mineralogias.

A resposta da cianetação no minério britado a $100\% < 4$ mm alcançou extrações de 50% do ouro, desaconselhando o emprego de métodos convencionais de lixiviação em pilha.

O emprego da etapa de pré-aeração minimizou os efeitos deletérios dos sulfetos presentes no minério, sobre a cinética de extração e consumo de cianetonas primeiras horas de lixiviação. No entanto não foram observadas reduções nos consumos de reagentes em função dos tempos de pré-aeração testados, para o procedimento empregado.

Mantendo a concentração de NaCN em solução, na faixa de 1000 a 500 mg/l, e realizando a lixiviação em condições ambientes e agitação moderada, a cinética de extração do ouro é controlada pela concentração de oxigênio em solução.

A concentração ótima de oxigênio para se obter a máxima cinética de extração encontra-se na faixa entre 10 e 20 ppm, sendo necessário para isto a incorporação do gás O_2 ou H_2O_2 à polpa mineral durante a lixiviação.

Com a adição de gás O_2 e H_2O_2 , e conseqüente maior disponibilidade de oxigênio em solução, ocorreu um incremento apreciável na razão de dissolução durante as primeiras horas de lixiviação, sendo que mais de 75 % do ouro foi dissolvido nas primeiras 4 h, contra aproximadamente 65 % de extração obtida quando apenas o ar era utilizado como oxidante.

No caso da incorporação somente do ar à polpa, a cinética de extração foi influenciada também pelo tipo de teste de lixiviação empregado em conseqüência das variações da agitação da polpa.

Para uma mesma condição de ensaio, os agentes oxidantes apresentaram a seguinte performance de extração:

- Ar como oxidante necessitou cianetação de 24 h para extrair 80 % do ouro;
- O_2 como oxidante necessitou cianetação de 7 h para extrair 79 % do ouro;
- H_2O_2 como oxidante necessitou cianetação de 4 h para extrair 80 % do ouro.

Em relação à cinética de extração da prata não foi notada influência significativa do agente oxidante.

A difusão dos reagentes é o fator determinante da cinética de extração de ouro, até serem alcançados índices de extração em torno de 80%; após este patamar o controle da cinética de extração passa a ser dependente então do grau de exposição do ouro, para a cominuição de $85\% < 0,074 \text{ mm}$

A utilização de agentes oxidantes mais fortes em comparação com o ar não implicaram em aumento dos consumos de CaO e NaCN, para extrações em torno de 80% de ouro.

Constatou-se a influência ao processo de cianetação dos metais deletérios presentes no minério, sendo que para cada parte de ouro dissolvido, foram também dissolvidas: mais de 3 partes de ferro, 10 partes de cobre e 1 parte de níquel.

O incremento do potencial redox (Eh) durante a lixiviação não resultou em uma melhor seletividade dos metais preciosos em relação aos metais deletérios analisados, para tempos de lixiviação de 48 h. Isto indica a dificuldade de posicionar a cianetação do ouro em níveis de potencial de oxidação adequados, onde ocorra uma redução da interferência dos agentes cianicidas, através da adição de oxigênio e peróxido de hidrogênio, na lixiviação do minério RM, em condições ambiente.

A distribuição do ouro e prata refratários nos rejeitos de lixiviação mostra que a maior parcela de ouro e prata perdidos, mais de 70% do ouro e 85% da prata, encontram-se nas granulometrias menores que 0,074 mm (200#), correspondendo a teores no intervalo de 1 a 0,5 ppm de ouro e 1 a 2 ppm de prata.

VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - BERBERT, C. O. Geologia do Ouro, **Principais Depósitos Minerais do Brasil**, Departamento Nacional da Produção Mineral, vol. III, Brasília, pp. 290 - 293, 1988.
- 2 - DANA, J. J., HURLBUT Jr, I., Manual de Mineralogia, Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S.A., pp 239, 1976.
- 3 - PATERSON, C. J., Ore Deposits of Gold and Silver, **Mineral Processing and Metallurgy Review**, vol 6, pp 43-66, 1990.
- 4 - MARON, M. A. C., DA SILVA, A. R. B., Perfil Analítico do Ouro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília, 143 pp, 1984
- 5 - MARDSEN, J., HOUSE, I., The Chemistry of Gold Extraction, Inglaterra: Ellis Horwood Limited, 595 pp, 1992.
- 6 - REWHALD, G. The Application of Microscopy in Beneficiation of Ores of the Precious Metals and of the Mofiferrous Metal. pp 508-509
- 7 - VEIGA, M.M. Caracterização Tecnológica de Minérios de Ouro. **I Simpósio Internacional de Ouro**, ABM, 1986, Rio de Janeiro.
- 8 - HENLEY, K. J. Gold-Ore Mineralogy and It's Relation to Metallurgical Treatment, **Mineral Sci. Engng**, vol. 7, pp 289-312, 1975
- 9 - CRAIG, J.R. & VAUGHAN, D.J. Ore Microscopy and Ore Petrography. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons Ed, pp. 303-307, 1990.
- 10 - LORENZEN, L. Some Guidelines to the Desing of a Diagnostic Leaching Experiment, **Mineral Engineering**, Vol 8, pp 247-256, 1995.
- 11 - VILLWOCK, J.A. Caracterização Mineralógica do Minério de Ouro e Prata, Riacho dos Machados, Montes Claros, MG. Relatório interno LAPROM, 1995.
- 12 - MARDSEN, J.O.; MANSANTI, J.G.; SASS, S.A. Innovative methods for precious metals recovery in North America, **Mining Engineering**. pp 1144-1151, september 1993
- 13 - POTTER, G.M., BHAPPU, R.B. The Chemistry of Gold and Silver Recovery from Natural Resources, **Process and Fundamental Considerations of Selected Hydrometaqlurgical Systems**, AIME, New York, pp 27-35, 1981.
- 14 - NICOL, M.J., FLEMING, C.A., PAUL, R.L., The Chemistry of the Extraction of Gold, **The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa**, Vol. 2, cap. 15, pp 831-903, 1987.

-
- 15 - BHAPPU, R.B. Hydrometallurgical Processing of Precious Metal Ores. **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, vol. 6, pp. 67-80, 1990.
 - 16 - GRANATO, M. Metalurgia Extrativa do Ouro, Tecnologia Mineral N° 37, CETEM, 79pp, 1986.
 - 17 - HABASHI, F. Kinetics and mechanism of gold and silver dissolution in cyanide solutions. **Bureau of Mines and Geology**, Buletin n° 59, 42 pp, 1967.
 - 18 - HISKEY, J.B., ATLURI, V.P. Dissolution Chemistry of Gold and Silver in Different Lixivants, **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, Vol. 4, pp 95-134, 1988.
 - 19 - TEIXEIRA, L.A. Utilização de Diagramas de Pourbaix e medição de eH e pH em Hidrometalurgia, Parte II - Aplicações, **II Encontro do Hemisfério Sul sobre Tecnologia Mineral, XII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia**, Vol. II, pp 12-28, Rio de Janeiro, 1987.
 - 20 - FOO, K.A., BATH, M.D., ISMAY, A., CANTERFORD, J.H. New Gold Processing Technologies: An Engineer's Perspective, **World Gold'89- 1st Join Meeting of soc. Min. Eng. & Aus. Inst. Min. & Met.**, USA, pp 233-250, 1989.
 - 21 - HAYES, P.C. Process Selection in Extractive Metallurgy, Austrális, pp 183-189, 1985.
 - 22 - CHAMBERLIN, P.D. Status do Heap, Dump, and In Situ Leaching of Gold and Silver, **World Gold'89- 1st Join Meeting of soc. Min. Eng. & Aus. Inst. Min. & Met.**, USA, pp 225-232, 1989.
 - 23 - LEFLER, C.A. Leaching Practices at Smoky Valley Mine, **Gold and Silver - Leaching, Recovery and Economics**, 11th AIME Meeting, pp 51-55, 1981.
 - 24 - DIX, R.B., PYPER, R. Comparison of Vat & heap Leaching Behaviour in Laboratory Evaluation of Gold & Silver Ores, **RANDOL - Perth Gold 88**, pp 218-220, 1988.
 - 25 - HAQUE, K.E., Gold Leaching from Refractory Ores-Literature Survey, **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, Vol. 2, pp. 235-253, 1987).
 - 26 - JHA, M.C., Refractorines of Certain Gold Ores to Cyanidation: Probable Causes and Possible Solution, **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, Vol. 2, pp.331-352, 1987.
 - 27 - CIMINELLI, V.S.T., OSSEO-ASSARE, K., Decomposição de Minerais Contendo Enxofre e Arsênio em Soluções de Cianeto e seu Efeito na Extração de Metais Presiosos, **II Encontro do Hemisfério Sul sobre Tecnologia Mineral, XII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia**, Vol. II, pp 351-381, Rio de Janeiro, 1987.

-
- 28 - SUBRAHMANYAM, T.V., FORSSBERG, K.S., Recovery Problems in Gold Ore Processing with Emphasis on Heap Leaching, **Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review**, Vol. 4, pp 201-215, 1989.
- 29 - DANA, J. J., HURLBUT Jr, I., Manual de Mineralogia, Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S.A., pp 402, 1976.
- 30 - ARGALL Jr,G.O., Perseverance and Winning Ways at McLaughlin Gold, **E&MJ**, pp 26-32, october, 1986
- 31 - MONHEMIUS, A.J., Recent advances in the treatment of refractory gold ores, **II Encontro do Hemisfério Sul sobre Tecnologia Mineral, XII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia**, Vol. II, pp 281-302, Rio de Janeiro, 1987.
- 32 - PAPANGELAKIS, V.G., DEMOPOULOS, G.P., On the attainment of stable autothermal operation in contiuous pressure leaching reactors, **Hidrometallurgy**, vol. 29, pp - 297-318, 1992.
- 33 - McCLINCY, R.J.M., Unlocking Refractory Gold Ores and Concentrates, **JOM**, pp 10-11. september.1990.
- 34 - DA SILVA, E.J., HAINES, A.K., CRVALHO, T.M., DE MELO,M.P., DOYLE, B.N., Process Selection, Desing, Commissioning and Operation of the Sao Bento Mineração Refractory Gold Ore Treatment Complex, **World Gold'89- 1st Join Meeting of soc. Min. Eng. & Aus. Inst. Min. & Met.**, USA, pp 322-332, 1989.
- 35 - LITZ, J., Recovery of Refractory Gold Sedom Easy, **RANDOL Gold Forum 88**, pp 211-218p, 1988.
- 36 - McKEE, D., The Use of Bio Oxidation Thecnology in The Treatment of Refractory Materials for Gold and Silver Recovery (report).
- 37 - SUTTIL, K.R., Bio-Oxidation for Refractory Gold, **E&MJ**, pp 31-32, september, 1989.
- 38 - FERREIRA, P.M., KNOTT-CRAIG, K., BOYDELL, D.W., Roasting of Refractory Au Concentrates at New Consort, **E&MJ**, pp 26-29, december, 1989.
- 39 - ARRIGADA, F.J., OSSEO-ASARE, K., Roasting of Refractory Auríferos Concentrates, **Department of Material Science and Engineering, The pennsylvania Satate University**.
- 40 - PEITER, C.C., LUZ NETO, H., Ustulação em Leito Fluidizado como Tratamento Preliminar de Minérios Auríferos Refratários à Cianetação, **II Encontro do Hemisfério Sul sobre Tecnologia Mineral, XII Encontro Nacional de**

Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, Vol. II, pp 367-380, Rio de Janeiro, 1987.

- 41 - LIDDELL, K.S., Improved Recoveries of Gold from Pyrite and Calcine By the Metprotech Fine Milling Process, **Gold Mining 88**, pp 319-332.
- 42 - TONDO, L.A., MORRELL, S., JOHNSON, G., A Study of the Energy Consumption for Grinding an Australian Gold Ore in a High Pressure Roll Machine, **XVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia**, pp 65-79, Rio de Janeiro, 1995.
- 43 - EVELIN, S.S., DE SOUZA, D.R., FONSECA, C.A.P., Lixiviação em pilhas do minério de ouro de Riacho dos Machados, com utilização de moinhos não convencionais, **MINERIOS & MINERALES**, N° 207, pp 34-35, 1995.
- 44 - SHOEMAKER, R.S., Gold Recovery by Carbon-in-Pulp, Carbon-in-Leach and Heap Leaching, **I Simpósio Internacional do Ouro**, Rio de Janeiro, 1985.
- 45 - CHANDRASEKARAN, K., OTT, R.E., Design Considerations of a Carbon-in-Leach Circuit at Newmont Gold, **Mining Engineering**, pp 1124-1127, september, 1991.
- 46 - ARNOLD, K.M., STEPHENS, T., Pure Oxygen for Gold Leaching in South Africa and Australian Gold Mines, **RANDOL - PERTH GOLD 88**, pp189-194, 1988.
- 47 - HAZEN RESEARCH, INC., Effect of Oxygen on Gold Leaching Rate and on Consumption of Cyanide, Brief Review of Literature and Patents, (Report), 1984.
- 48 - ELMORE, C.L., BRISON, R.J., KENNY, C.W., The Kamir CILO Process, **RANDOL PERTH GOLD 88**, pp 197-201, 1988.
- 49 - DAYTON, S.H., New Developments to Watch in Gold, **E&MJ**, jun/88, pp 49-81, 1988
- 50 - HAZEN RESEARCH, INC., Effect of Increased Oxygen Concentration on Cyanide Leaching of Gold Ores (report) april 30, 1985.
- 51 - HAZEN RESEARCH, INC., Development of a Carbon-in-Leach with Oxygen (CILO) Process for Gold Ores (report for KAMIR INC.)
- 52 - HAZEN RESEARCH, INC., A Study of the Effects of Oxygen Addition on Gold Ore Heap Leaching, (report for KAMIR INC.), 1987.
- 53 - LOROESCH, J., KNORRE, H., MERZ, F., GOS, S., MARAIS, H.J., The Degusa PAL-System a Future Technology in Cyanidation, **RANDOL PERTH GOLD 88**, pp 202-205, 1988.
- 54 - OLIVEIRA, R.T., PARAENSE FILHO, O.G., GOES, L.M.C., Utilização de Peróxidos na Cianetação, **Cia Vale do Rio Doce**, (relatório).

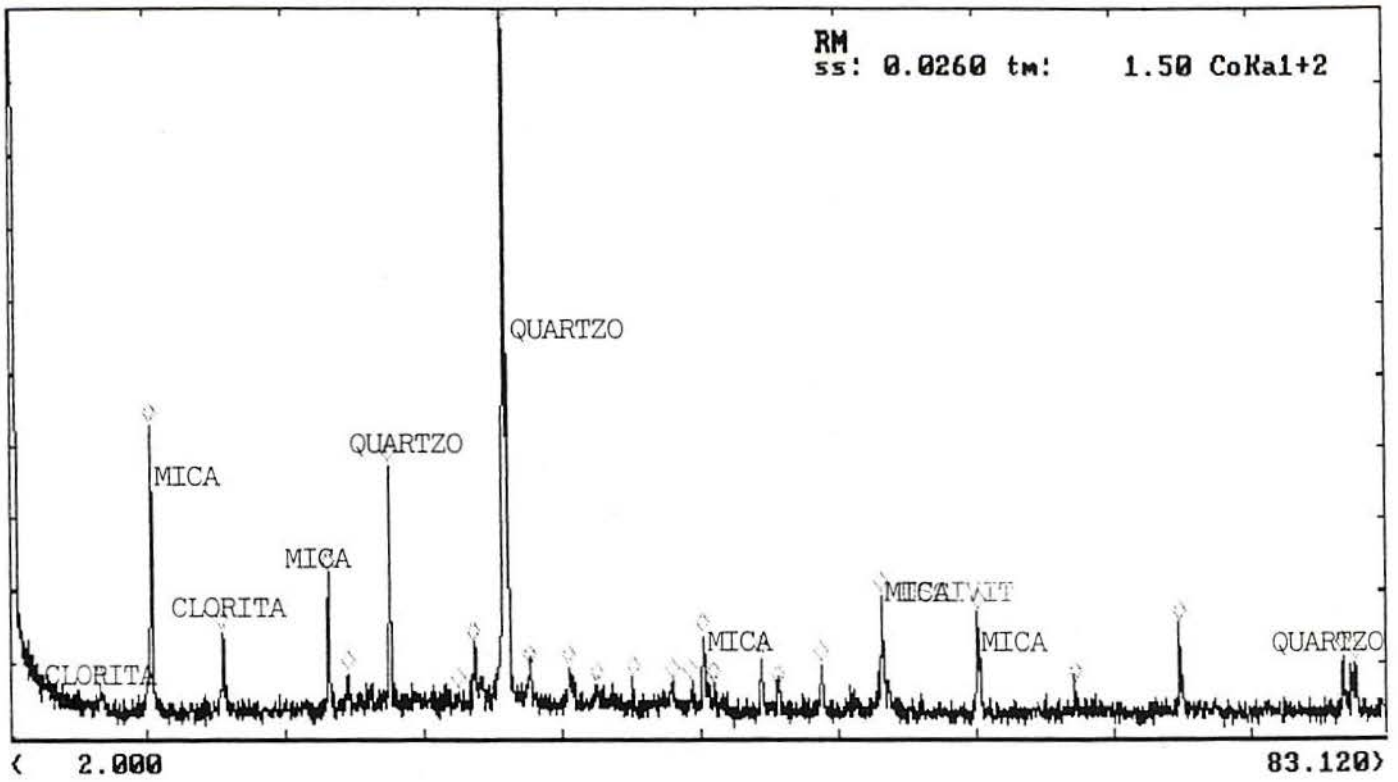
-
- 55 - LORÖSCH, J., VICKELL, G., NORCROSS, R., Peroxide-Assisted Gold Leaching, **E&MJ**, pp 36-37, junho/1991.
- 56 - PERÓXIDOS DO BRASIL LTDA, Peróxido de Cálcio. Uso na Cianetação de Minérios de Ouro, Processo INTEROX, **Informação Técnica**.
- 57 - TREMOLADA, J., ACOSTA, E., Optimización em la Cianuración de Concentrados Piritosos Refractarios Mediamente Vareantes Hidrometalúrgicas, **IV Encuentro del Hemisferio Sur sobre Tecnología Mineral y III Congreso Latinoamericano de Flotacio**, V. IV, pp 347-359, Chile, 1994.
- 58 - WYBORN, P.J., The Use of Peroxygens in the Leaching of Gold Ores, (report)
- 59 - JOHNSON, G., HOLLE, H., A Plant Trial - Peroxide versus Oxygen, **RANDOL VANCOUVER 92**, pp 267-270, 1992.
- 60 - POSSA, M.V., DA LUZ, A.B., Amostragem para processamento mineral, **Dsérie Tecnologia Mineral - DNPM/MME**, 1984.
- 61 - DORR, J.V.N., BOSQUI, F.L., Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores, McGraw-Hill Book Company Inc., pp 34-36, 1950.
- 62 - Caracterização Tecnológica de Minérios Subterrâneos de Riacho dos Machados, CVRD/SUTEC, Relatório Fev/1994.
- 63 - HAUG, H.H., Leaching Sistem Fundamentals (Module 3), **Unit Processes in Extractive Metallurgy Hidrometalurgy (course)**, Montana College of Mineral Science and Tecnology.
- 64 - BÜHLER, H.E., GALSTER, H., Redox Measurement; Principles and problems, **INGOLD**, pp 23, 1980.
- 65 - ADAMIAN, R., Uma introdução às aplicações dos diagramas de Eh-pH em metalurgia, Monografia, Rio de janeiro, 1985.
- 66 - TRESCASES, J.J., Análise Química por Espectrometria de Absorção Atômica, **Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia**, PROMINERIO, Secretaria de Estado da Industria, Comércio, Ciência e Tecnologia - São Paulo, 1984.
- 67 - LENAHAN, W.C., MURRAY-SMITH, R.L., Assay and Analytical Practice in the South African Mining Indurtry, The South African Institute of Mining and Metallury - Monograph Series M6, pp 55-563, 1986.
- 68 - Modified Free Cyanide - Field Test Titration Method Without Distillation, **Tecnical Information/DUPONT**.

ANEXO I

Espectros da análise por difração de raios X da amostra RM

AMOSTRA RM

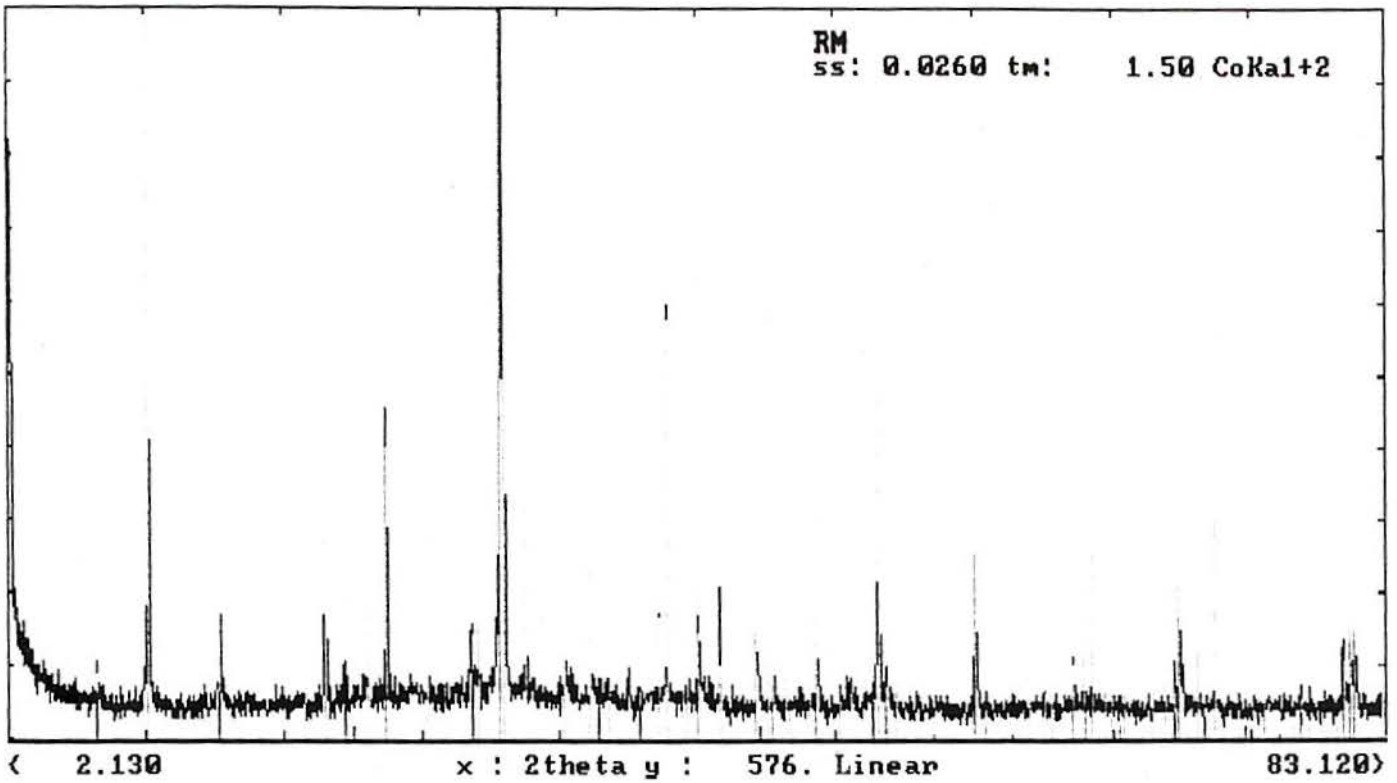
AMOSTRA EM PÓ - ANÁLISE TOTAL



?Help Redo Edit Quit Wfile Print Clear Zoom -> E

AMOSTRA RM

IDENTIFICAÇÃO ATRAVÉS DE COMPUTADOR



33-1161 * SiO2 Quartz syn

16-0362 (Mg,Fe,Al)(Si,Al)4O10(OH)8 Clinocllore IT M I a RG ferroan = CLORITA

OK [Y/N/F]: Y

AMOSTRA RM

AMOSTRA EM PÓ - ANÁLISE TOTAL

Sample: RM
Data file: RM.RAW

9-Aug-1995 16:08:28

Seq	2theta	d	rel. I	Seq	2theta	d	rel. I
1	7.349	13.9605	4.27	9	31.043	3.3432	100.00
2	10.312	9.9551	28.72	2	10.312	9.9551	28.72
3	14.529	7.0750	9.86	6	24.285	4.2533	25.02
4	20.680	4.9845	15.17	4	20.680	4.9845	15.17
5	21.835	4.7237	6.16	21	53.341	1.9932	13.27
6	24.285	4.2533	25.02	24	70.934	1.5419	10.62
7	28.662	3.6144	4.74	22	58.924	1.8190	10.62
8	29.274	3.5404	8.72 ?	3	14.529	7.0750	9.86
9	31.043	3.3432	100.00	16	42.746	2.4549	9.57
10	32.556	3.1918	7.58	8	29.274	3.5404	8.72 ?
11	34.856	2.9871	6.73	25	80.645	1.3826	7.77
12	36.384	2.8656	5.12	10	32.556	3.1918	7.58
13	38.586	2.7078	5.69	18	46.190	2.2808	7.30
14	40.968	2.5565	5.31	20	49.762	2.1264	6.92 ?
15	42.071	2.4924	5.21	11	34.856	2.9871	6.73
16	42.746	2.4549	9.57	26	81.149	1.3755	6.54
17	43.387	2.4203	5.12	5	21.835	4.7237	6.16
18	46.190	2.2808	7.30	23	64.699	1.6720	5.97
19	47.177	2.2357	5.50	13	38.586	2.7078	5.69
20	49.762	2.1264	6.92 ?	19	47.177	2.2357	5.50
21	53.341	1.9932	13.27	14	40.968	2.5565	5.31
22	58.924	1.8190	10.62	15	42.071	2.4924	5.21
23	64.699	1.6720	5.97	17	43.387	2.4203	5.12
24	70.934	1.5419	10.62	12	36.384	2.8656	5.12
25	80.645	1.3826	7.77	7	28.662	3.6144	4.74
26	81.149	1.3755	6.54	1	7.349	13.9605	4.27

ANEXO II

Resumo fotográfico da caracterização mineralógica do minério RM

O ouro na forma nativa, visualizado na observação microscópica, aparece como grãos anédricos, disseminados na matriz da ganga, associado aos demais minerais metálicos, especialmente nas bordas das massas de pirita, e também disposto no contato entre arsenopirita e pirrotita. Os raros grãos observados mostram diâmetros variando entre 0,10mm e 0,025mm. A quantidade de ouro nativo observada pela microscopia em diversas amostras do minério é inferior àquela esperada em face aos teores dosados. Isto demonstra que a maior parte do ouro está na forma de partículas muito finas, podendo estar associado aos sulfetos. As figuras 4, 5 e 6 mostram o modo de ocorrência do ouro microscópico.

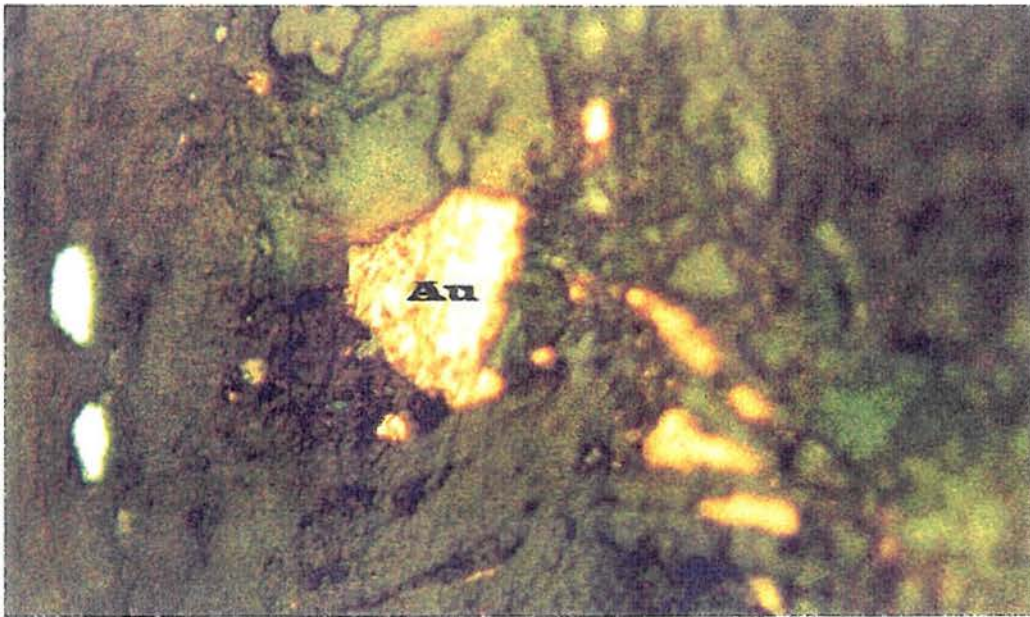


Figura 4 - Grão anédrico de ouro nativo (Au) disseminado em meio à ganga.
Escala: 1 cm = 0,04 mm



Figura 2 - Massa anédrica de pirrotita (Pi) disposta em meio aos leitos ricos em muscovita (Mu). Escala 1 cm = 0,16mm

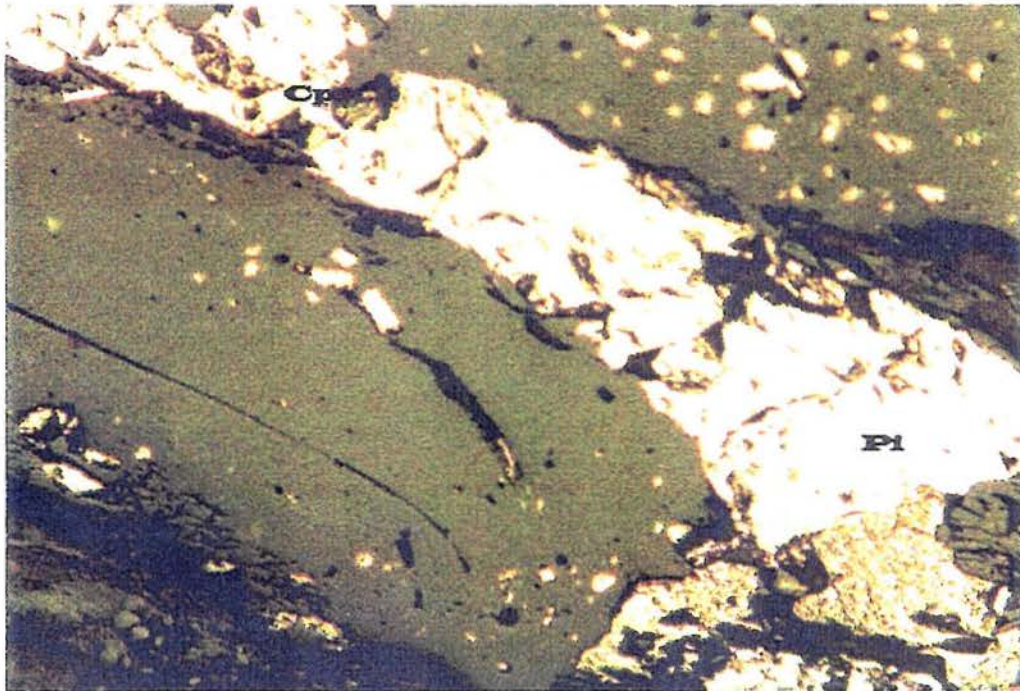


Figura 3 - Associação de pirrotita (Pi), pirita (Py) e calcopirita (Cp) disposta ao longo da xistosidade e disseminações de pirrotita em meio a ganga. Escala: 1 cm = 0,08 mm.

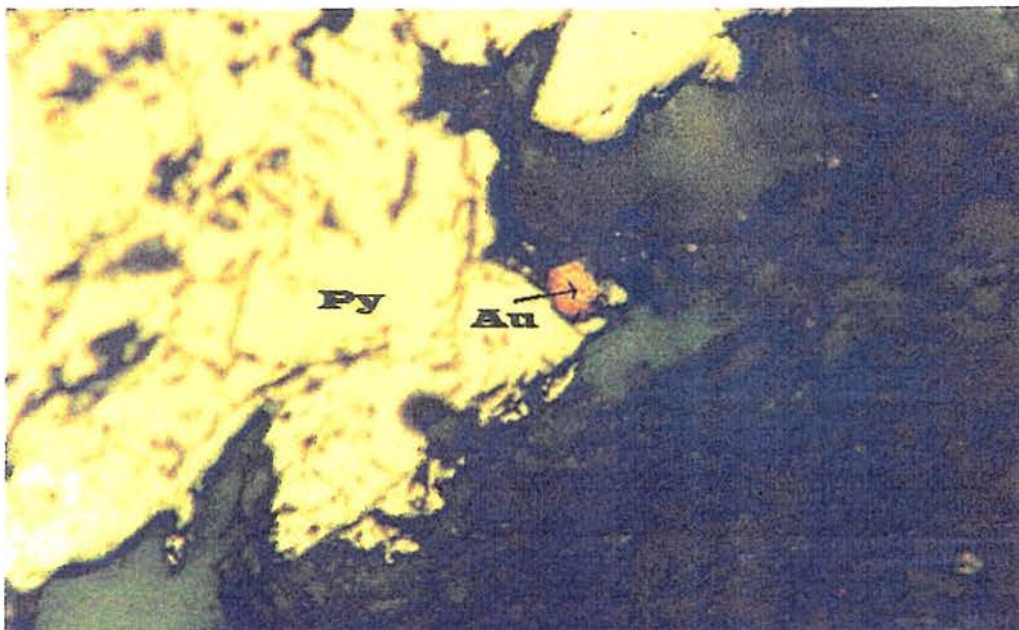


Figura 5 - Grão anédrico de ouro nativo (Au) entre nassa anédrica, deformada, de pirita (Py) e ganga. Escala: 1 cm = 0,04 mm.

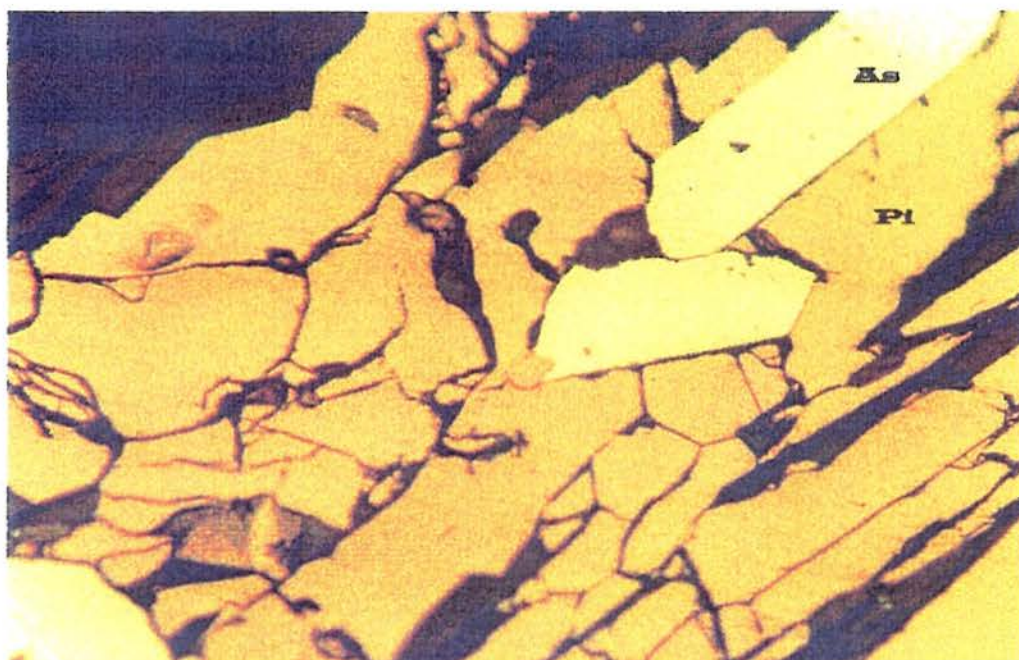


Figura 6 - Cristais euédricos de arsenopirita (As) imerso em agregado granular de pirrotita (Pi), mostrando contatos triplos com ouro nativo (Au). Escala 1 cm = 0,04 mm.

O exame das secções polidas do material cominuído, figuras 7, 8 e 9, confirmou a eficiência da concentração em líquido denso. Indicou também que houve liberação quase completa das fases, podendo ser observados grãos isolados de pirita, arsenopirita, pirrotita, calcopirita, rutilo, e também do ouro nativo.

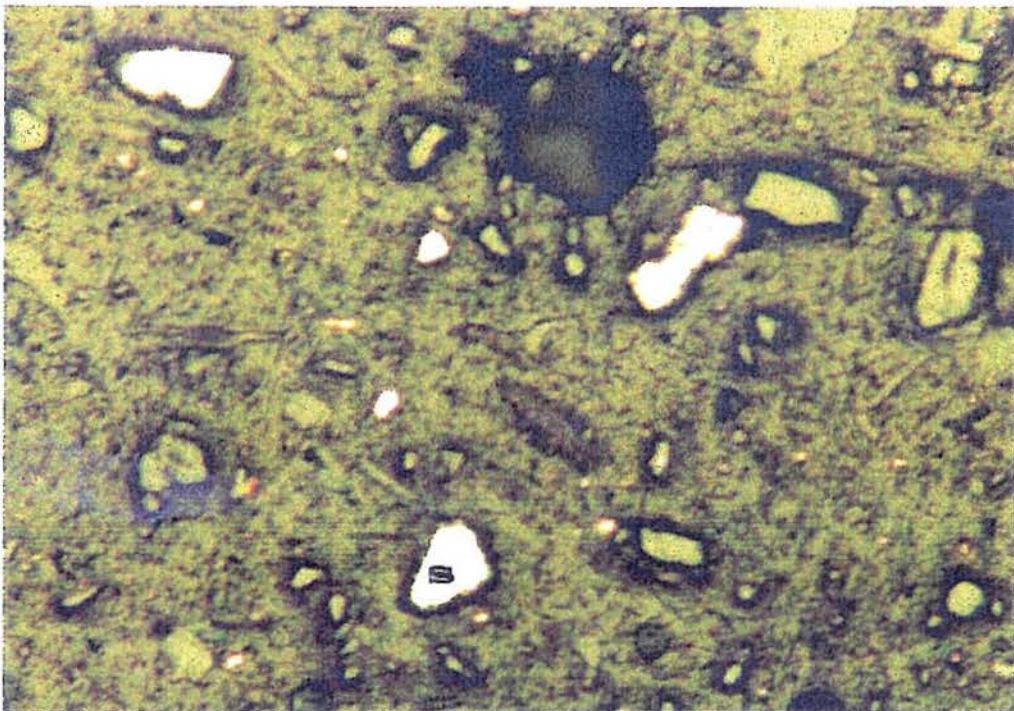


Figura 7 - Material de alimentação. Sulfetos (S) e ganga (G). Escala 1 cm = 0,16 mm

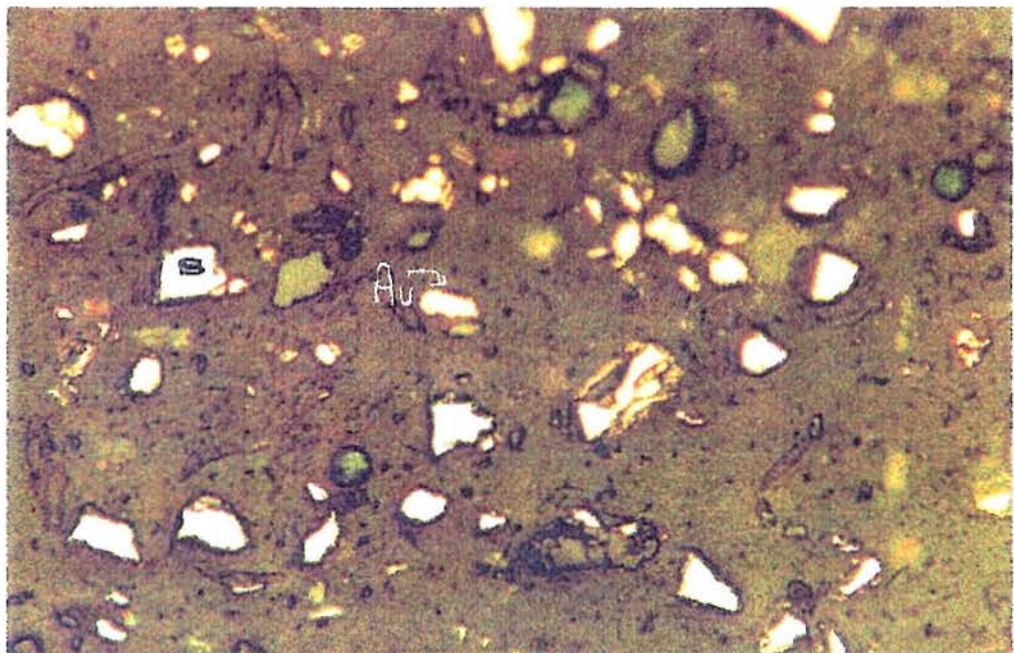


Figura 8 - Afundado da alimentação em bromofórmio. Ouro nativo (Au) e sulfetos (S).
Escala: 1 cm = 0,08 mm.

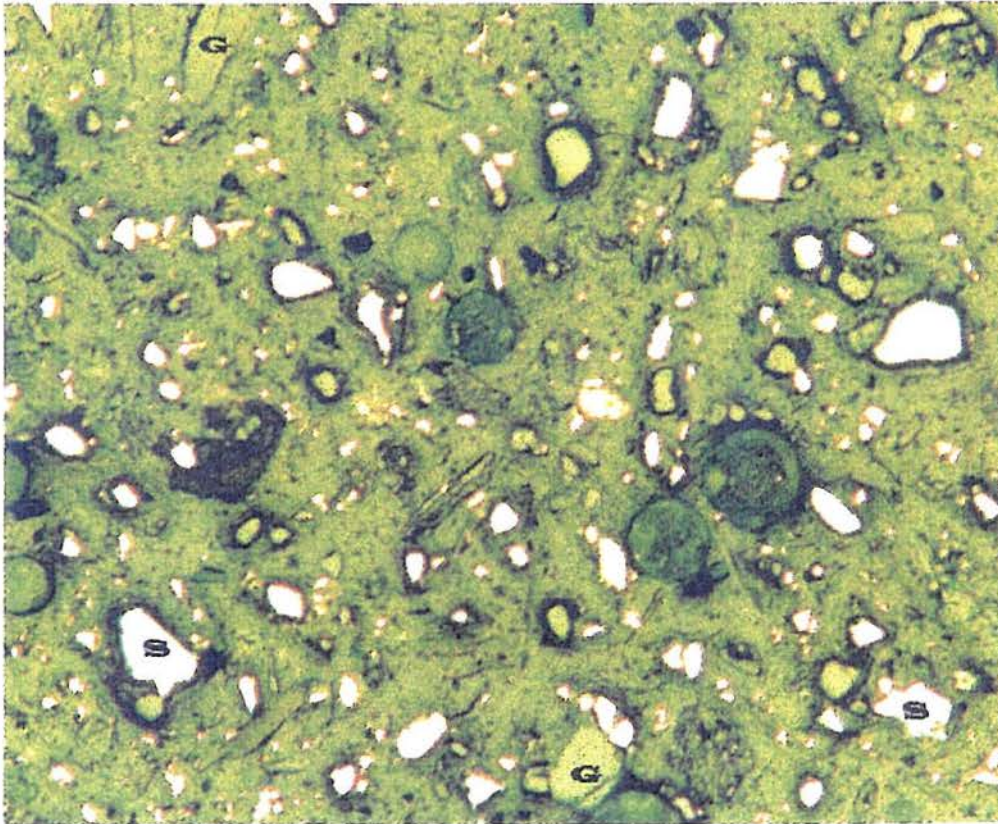


Figura 9 - Afundado do rejeito de cianetação em bromofórmio. Sulfetos (S) e ganga (G).
Escala: 1 cm = 0,16 mm.

A observação do material do rejeito mostrou os resultados da cianetação, não sendo mais notada a presença de partículas de ouro, além de um generalizado arredondamento das partículas de sulfetos, resultante da reação química de cianetação e/ou pela abrasão durante a agitação da polpa. A presença de sulfetos no rejeito da cianetação é responsável pelos teores de ouro remanente ali encontrados

A descrição dos procedimentos experimentais para preparação do material particulado utilizado nesta análise mineralógica consta da presente dissertação no capítulo .

As análises dos teores de ouro no rejeito e no licor da cianetação do material utilizado na preparação das lâminas e seções, indicam uma extração de ouro da ordem de 85%, com teor calculado da amostra de alimentação de 6,9 g/t e teor de rejeito de 1 g/t.

Preparação das Amostras do Material Particulado - Para a preparação das amostras de fração mais pesada foi utilizada a técnica de separação em líquido denso por

centrifugação do material imerso em bromofórmio, tendo sido obtida uma concentração em massa de 10%. Foram confeccionadas lâminas delgadas e seções polidas das seguintes amostras do minério: (1) **amostra de cabeça**, constituída pelo minério moído a 85% -0,074 mm, típico da alimentação do processo de cianetação; (2) **fração afundada da amostra de cabeça**, formada pela fração do minério com densidade superior a do bromofórmio ($d_b = 2830 \pm 10 \text{ kg/m}^3$); e (3) **fração afundada do rejeito de cianetação**, que é a fração do rejeito do minério cianetado com densidade superior a do bromofórmio.

ANEXO III

Planilhas dos ensaios de lixiviação do minério RM

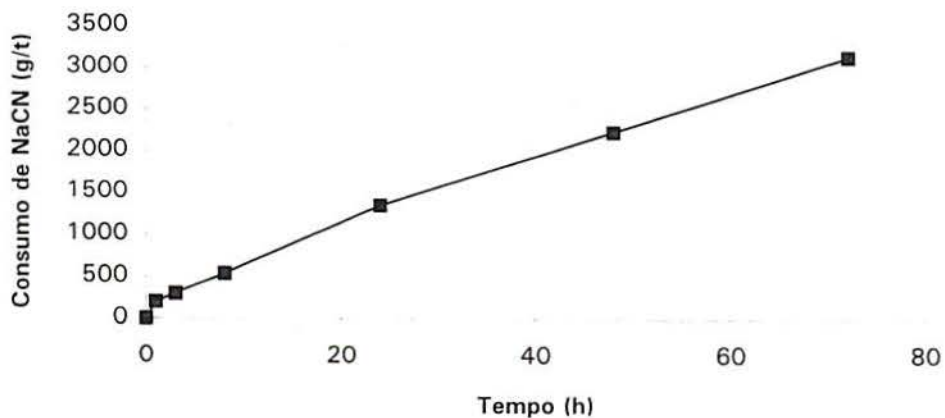
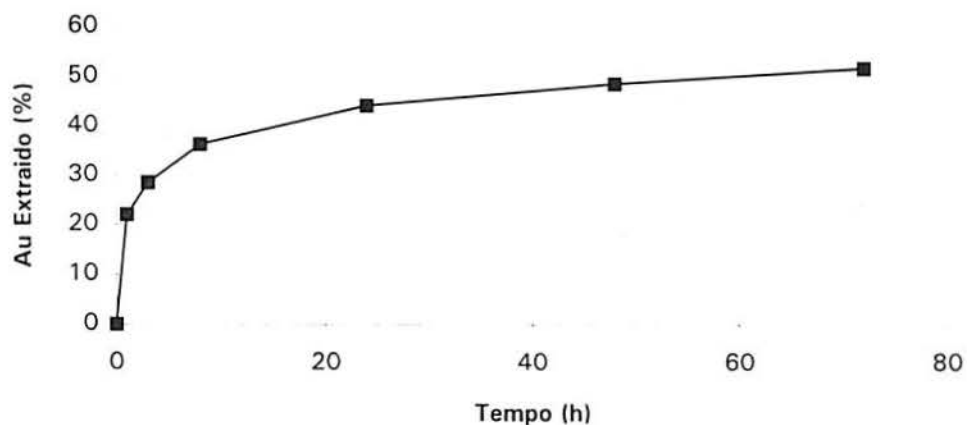
GB72 - Ensaio de Extração Minério RM Britado

Massa de Minério (g):	2000
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	8.16
Tempo de Cianetação (h):	72

Volume da Solução:	2000
Granulometria da Amostra (mm):	- 4
Cal adicionado no início (g):	0.58
pH natural da polpa:	

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0		
1	30	1.8	0.05	3.60	22.0	10.34	800		200	0.03	0.29
3	30	2.3	0.12	4.65	28.5	10.23	700		300	0.07	0.31
8	30	2.9	0.21	5.92	36.3	9.90	460	1.08	540	0.25	0.34
24	30	3.5	0.32	7.21	44.2	9.60	190	1.61	1350	0.46	0.47
48	30	3.8	0.43	7.92	48.5	9.46	120	1.76	2225	0.50	0.70
72	-	4.0	-	8.43	51.6	9.28	100		3125		0.95

Au no rejeito: 3.95 ppm



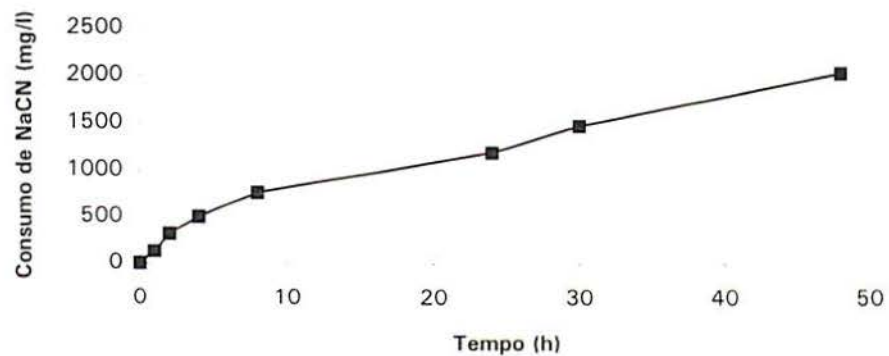
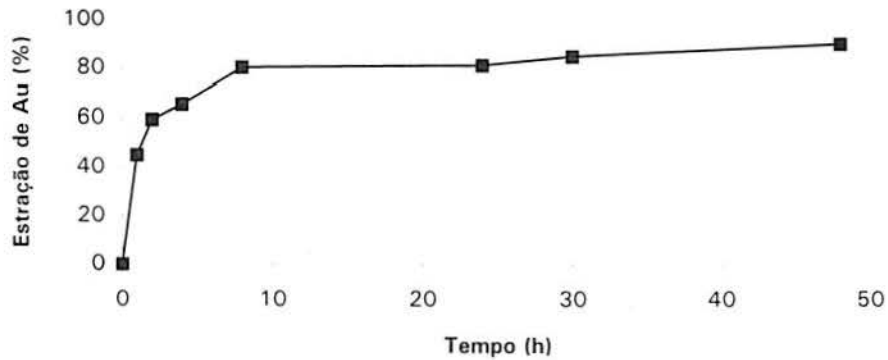
GC48 - Ensaio de Extração Minério RM Moído

Massa de Minério (g):	2962
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	7.12
Tempo de Cianetação (h):	48

Volume da Solução:	2960
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	4.7
pH natural da polpa:	6.5

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN Solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (mg/l)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0		
1	30	3.2	0.10	9.47	44.9	10.39	870		130	0.18	1.59
2	30	4.2	0.22	12.53	59.4	10.52	680		320		1.65
4	30	4.6	0.36	13.84	65.6	10.27	500	1.48	500	0.34	1.65
8	30	5.6	0.53	16.94	80.3	10.27	740		760	0.36	1.76
24	30	5.6	0.70	17.10	81.1	10.51	310	2.04	1190	0.65	1.88
30	30	5.8	0.87	17.86	84.7	10.30	720	0.83	1469	0.30	2.10
48	-	6.1	-	18.93	89.7	10.23	450		2020		2.20

Au no rejeito: 0.73 ppm



GD48 - Ensaio de Extração Minério RM Moído

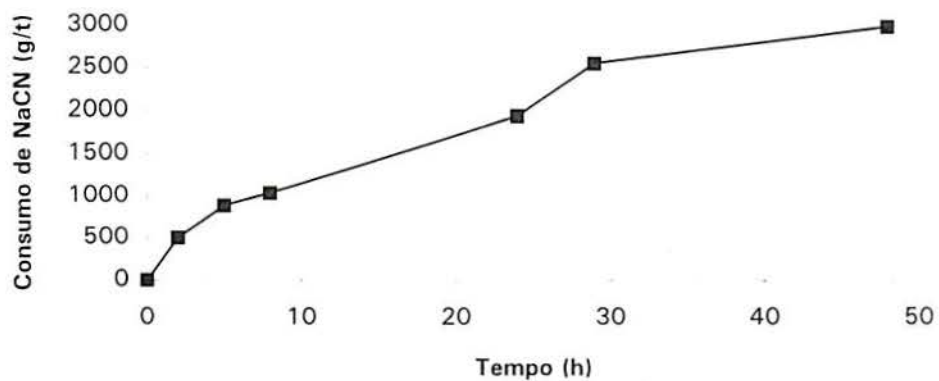
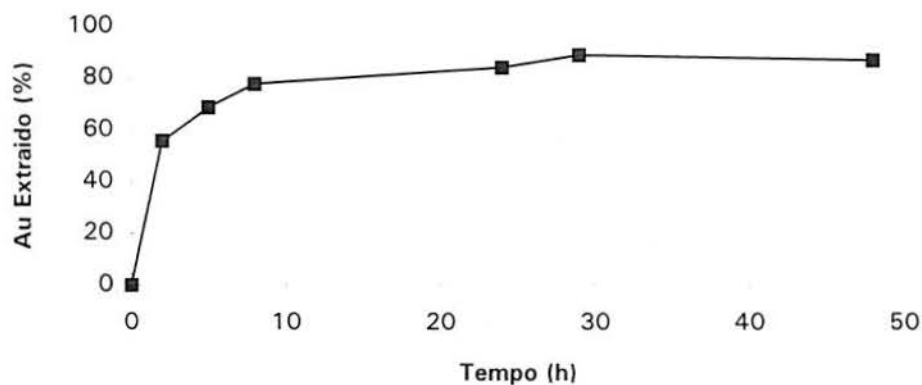
Massa de Minério (g):	2249
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	7.36
Tempo de Cianetação (h):	48

Volume da Solução:	2249
Granulometria da Amostra (mm):	0.074
Cal adicionado no início (g):	3.4
pH natural da polpa:	

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN Solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0		
2	30	4.1	0.12	9.22	55.7	10.57	500	1.12	500	0.50	1.51
5	30	5.0	0.27	11.37	68.7	10.56	670		890	0.10	1.73
8	30	5.6	0.44	12.87	77.8	10.46	520	1.08	1040	0.20	1.78
24	20	6.0	0.56	13.94	84.2	10.32	160	1.89	1940	0.50	1.87
29	20	6.3	0.69	14.73	89.0	10.58	490	1.16	2555	0.50	2.09
48	-	6.1	-	14.41	87.1	10.15	640		2985		2.31

Au no rejeito: 0.95 ppm

Teor de arsênio no licor rico: 0.033 mg/l



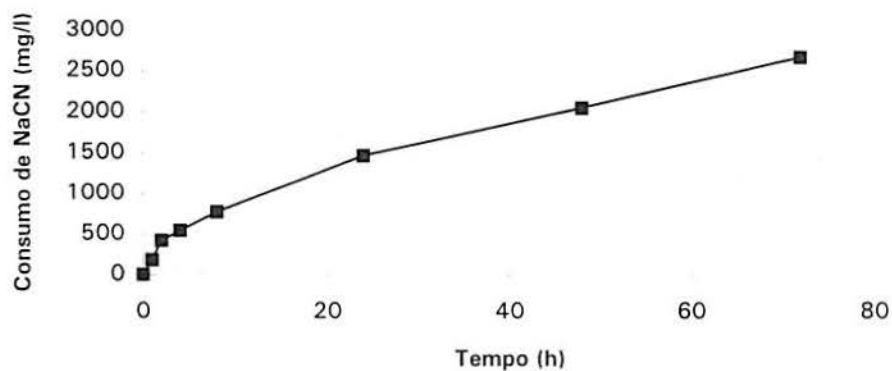
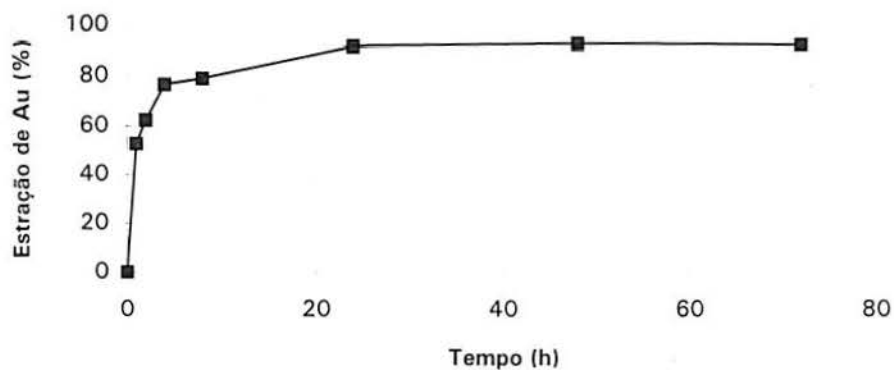
GE72 - Ensaio de Extração Minério RM Moído

Massa de Minério (g):	2696.4
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	6.66
Tempo de Cianetação (h):	72

Volume da Solução:	2700
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	4.7
pH natural da polpa:	

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (mg/l)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0		
1	30	3.5	0.11	9.45	52.7	10.52	820		180		1.74
2	30	4.1	0.23	11.18	62.3	10.18	580	1.13	420	0.25	1.74
4	30	5.0	0.38	13.73	76.5	10.57	840		542	0.13	1.84
8	30	5.1	0.53	14.15	78.8	10.24	610	2.23	772	0.50	1.88
24	30	5.9	0.71	16.46	91.7	10.05	670	1.35	1465	1.06	2.07
48	30	5.9	0.89	16.64	92.7	10.57	540	2.59	2051	0.60	2.46
72	-	5.8	-	16.55	92.2	10.41	800		2666		2.69

Au no rejeito: 0.52 ppm



GF72 - Ensaio de Extração Minério RM Britado

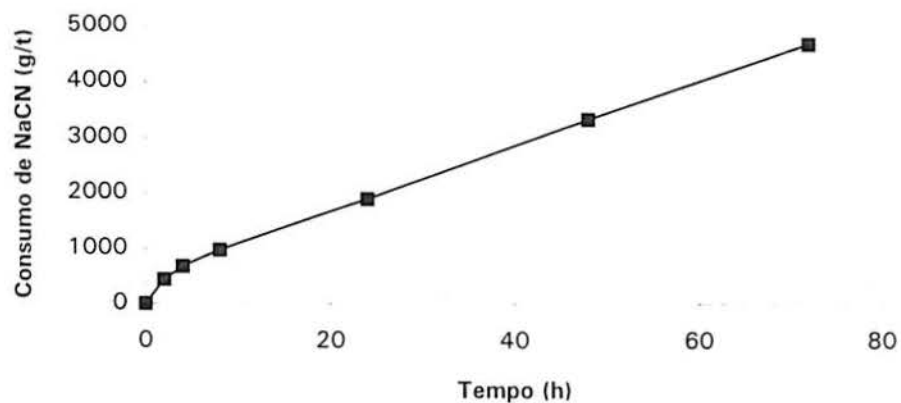
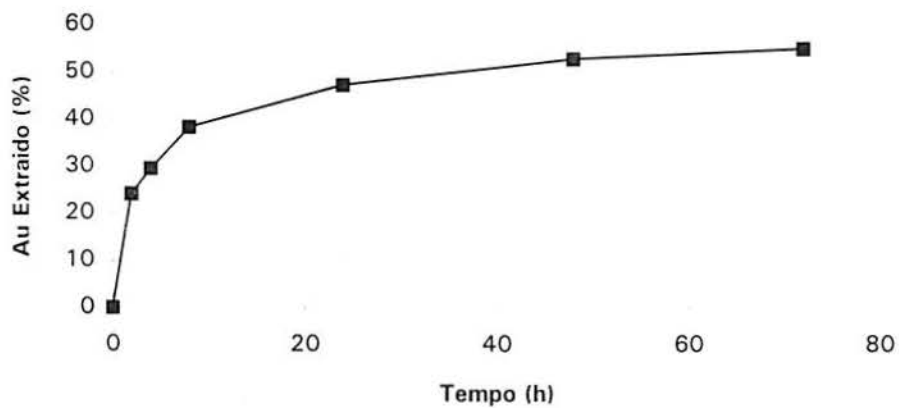
Massa de Minério (g):	2332.5
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	5.75
Tempo de Cianetação (h):	72

Volume da Solução:	2350
Granulometria da Amostra (mm):	- 4
Cal adicionado no início (g):	2.6
pH natural da polpa:	4.6

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0		
2	20	1.4	0.03	3.29	24.1	10.26	560	1.03	440	0.25	1.30
4	20	1.7	0.06	4.02	29.5	10.41	840		677	0.10	1.43
8	20	2.2	0.11	5.23	38.4	10.13	540	1.08	977	0.60	1.48
24	20	2.7	0.16	6.45	47.3	10.10	160	3.15	1898	1.00	1.78
48	20	3.0	0.22	7.21	52.9	9.85	300	2.82	3332	1.20	2.28
72	-	3.1	-	7.51	55.0	9.98	370		4672		2.88

Au no rejeito: 2.63 ppm

As no licor rico: 0,106 mg/l



BA24 - Ensaio de Extração Minério RM Moído

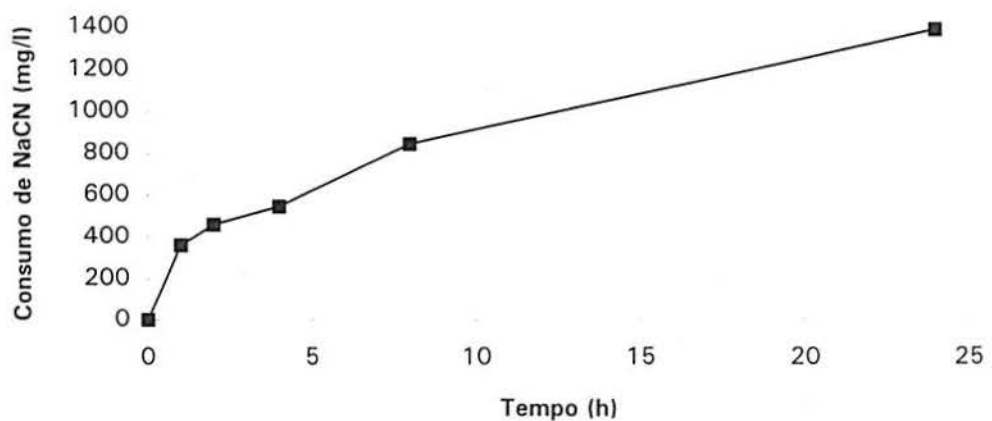
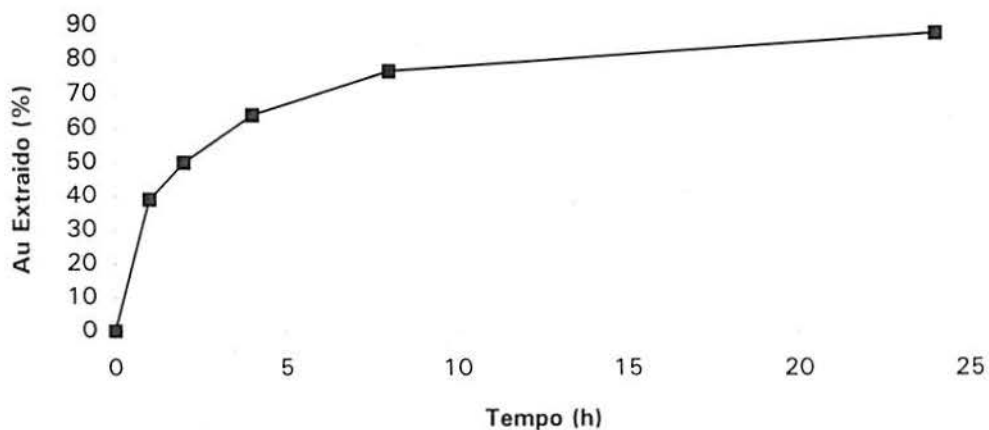
Massa de Minério (g):	1586.4
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	6.92
Tempo de Cianetação (h):	24

Volume da Solução (ml):	1590
Granulometria da Amostra (mm):	0.074
Cal adicionado no início (g):	2.35
pH natural da polpa:	7.07

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (mg/l)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0		
1	30	2.7	0.08	4.29	39.1	10.40	640		360	0.10	1.48
2	30	3.4	0.18	5.49	50.0	10.49	540	0.73	460		1.54
4	30	4.3	0.31	7.02	63.9	10.70	820		545		1.54
8	20	5.1	0.41	8.42	76.7	10.51	520	0.76	845	0.30	1.54
24	-	5.8	-	9.64	87.7	10.35	360		1385		1.69

Au no rejeito: 0.85 ppm

As no licor rico: 0,097 mg/l



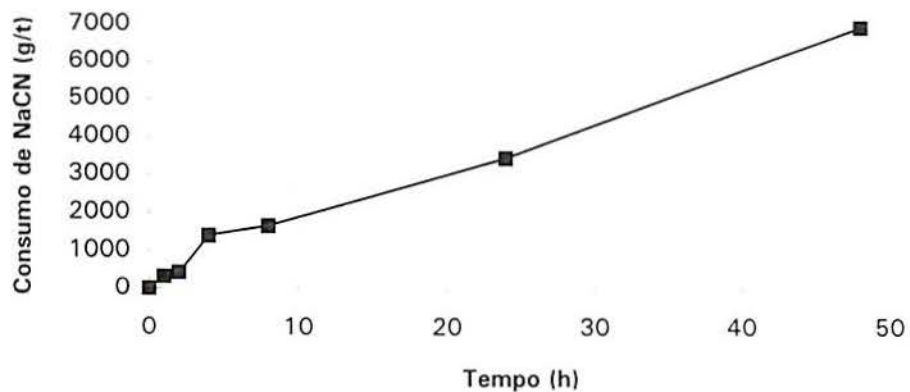
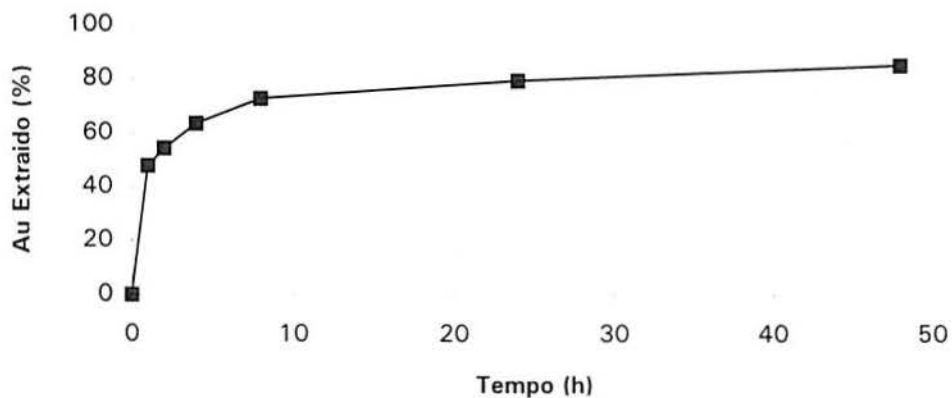
RA48 - Ensaio de Extração Minério RM Moído

Massa de Minério (g):	5171
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	7.95
Tempo de Cianetação (h):	48

Volume da Solução (ml):	5171
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	5.18
pH natural da polpa:	6.81

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0		
1	30	3.8	0.11	19.65	47.8	10.54	680		320		1.00
2	30	4.3	0.24	22.35	54.4	10.43	570	2.22	430	0.31	1.00
4	30	5.0	0.39	26.10	63.5	10.30	710		1400	0.47	1.06
8	30	5.7	0.56	29.87	72.7	10.25	460	2.81	1650	1.87	1.15
24	30	6.2	0.75	32.62	79.4	9.96	80	7.35	3435	2.61	1.51
48	-	6.6	-	34.88	84.9	10.34	270		6920		2.02

Au no rejeito: 1.20 ppm



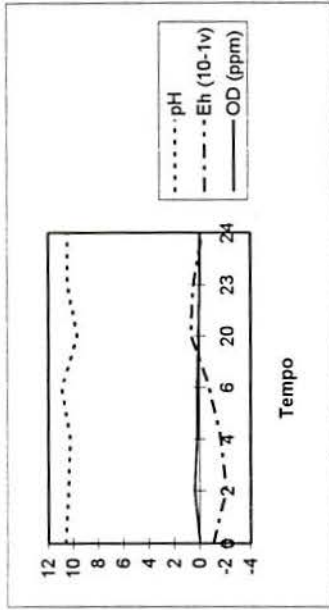
Ensaio: PAG-4 massa(g): 1000 Minério: RM-MII-1 polpa(%): 50 Reator: Becker 2I

PRÉ-AERAÇÃO Temperatura(°C): 20
 Agente Oxidante: Ar Duração(h): 4 Agitação(RPM): 200

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ v)	OD (ppm)	vazão (ml/min)	CaO (g)	pH	Temperatura °C
0	7,05	1,73	2,5				20
2	7,1	-0,16	1,5				
4	7,54	-0,4	0,7				

CIANETAÇÃO Duração da lixiviação(h): 24
 Concentração inicial de NaCN(g/l): 1

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ v)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaC (g)	pH	Temperatura °C
0	10,6	-1	0		1,5	2		20
2	10,42	-2,04	0,4					
4	10,27	-1,62	0,2		0,4			
6	10,93	-0,7	0,2					
20	9,68	0,7	0,1		0,2		10,74	
23	10,45	0,52	0					
24	10,45	-0,22	0	0				



Agente oxigenador: Agitação

Ensaio: PAR-4

massa(g): 1000

Minério: RM-MII-1

Polpa(%): 50

Reator: Becker 2l

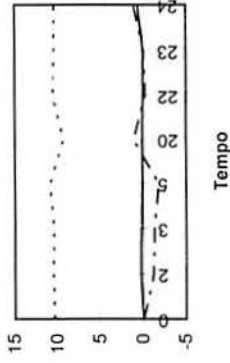
PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante: AR

Duração(h): 4

Temperatura(°C): 20

Agitação(RPM): 250



Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura °C
0	6,5	0,96	2,5	1			20
2	7,4	0,07	1,2	1			
4	7,53	0,08	0,5	1			

CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 2

Duração da lixiviação(h): 24

Agente oxigenador: Agitação

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura °C
0	10,37	0	0		1,5	2		20
2	10,46	-1,17	0,3					
3	10,42	-1,28	0,2		0,4		10,85	
5	10,89	-1,79	0,1					
20	9,29	1,11	0,1		0,2			
22	10,55	-0,19	0					
23	10,41	0	0					
24	10,34	1,12	0,6	0				

Ensaio:PPO-4

massa(g): 1000

Minério:RM moído Mill-1

Polpa(%):50

Reator:Becker 2l

PRÉ-AERAÇÃO

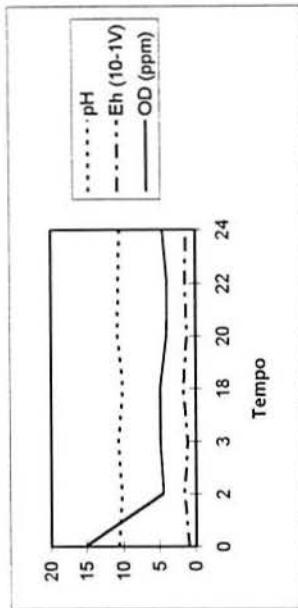
Agente Oxidante:H2O2

Duração(h):4

Temperatura(°C):24

Agitação(RPM):250

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (ml/min)	CaO (g)	pH	Temperatura (°C)
0	6,89	3,94	20	0,25			24
1	6,64	5,09	20	0,25			
4	6,51	5,25	20	0,25			



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l):2

Duração da lixiviação(h):24

Agente oxigenador:Agitação

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura (°C)
0	10,58	0,96	15,1		2,25	2		24
2	10,21	1,59	4,4		0,25			
3	10,63	1,18	4,9					
18	10,03	1,8	4,9		0,5			
20	10,75	1,24	4					
22	10,66	1,39	3,9					
24	10,49	1,36	4,5	20				

Ensaio: POX-4

massa(g): 1000

Minério: RM-MII-1

Polpa(%): 50

Reator: Becker 2l

PRÉ-AERAÇÃO

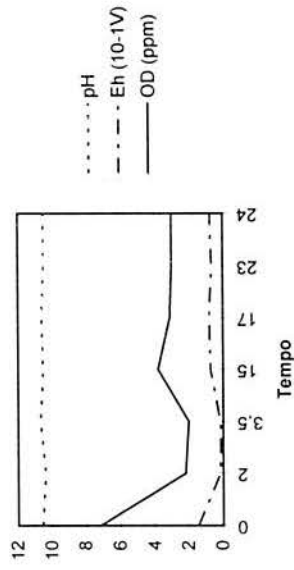
Agente Oxidante: O₂

Duração(h): 4

Temperatura(°C): 24

Agitação(RPM): 250

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (ml/min)	CaO (g)	pH	Temperatura °C
0	7,1	0,89	1,3	1			24
1	7,22	0,77	1,3	1			
2	7,49	2,6	18,4	1			
3	7,54	2,72	17,8	1			
4	7,5	2,81	20	1			



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 2

Duração da lixiviação(h): 24

Agente oxigenador: Agitação

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura °C
0	10,57	1,48	7,2		1,75	2	10,6	24
2	10,4	0,17	2,2					
3,5	10,7	0,15	2					
15	10,53	0,73	3,8					
17	10,61	0,82	3,1					
23	10,51	0,67	3					
24	10,51	0,76	3	180				

Ensaio: PAG-4A

massa(g): 1000

Minério: RM-Moído-MII-1

Polpa(%): 50

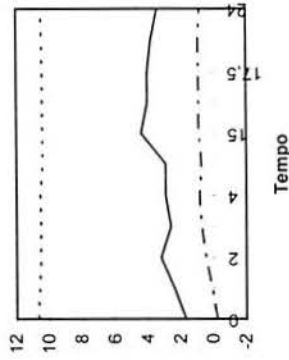
Reator: Becker 2I

PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante: Duração(h): 4

Agitação(RPM): 250

Temperatura(oC): 20



Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura oC
0	10.88	-0.56	2.1		1.75	10.8	20
1	10.31	1.47	2.1				
2	10.13	1.55	1.6		0.15	10.31	
3	10.5	1.26	1.2			10.72	
4	10.35	1.61	1.1				

CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 2

Duração da lixiviação(h): 4

Agente oxigenador: Agitação

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura oC
0	10.69	-0.21	1.7			2	10.71	20
1	10.61	0.11	2.4					
2	10.53	0.48	3.2					
3	10.51	0.72	2.6					
4	10.54	0.86	2.9					
5	10.4	0.75	2.9		0.15		11.13	
15	10.4	0.9	4.4					
16.5	10.4	0.9	4					
17.5	10.41	0.9	4					
22.5	10.45	0.92	3.8					
24	10.47	0.85	3.4	230				

Ensaio: PAR-4A

massa(g): 1000

Minério: RM-MII-1

Polpa(%): 50

Reator: Becker 2I

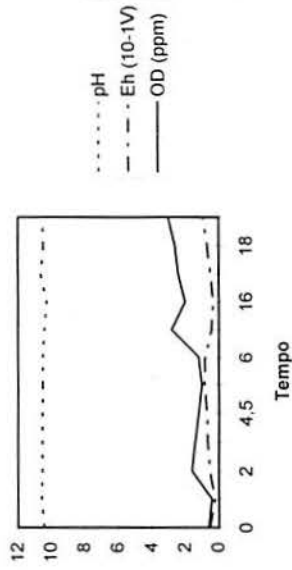
PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante: AR

Duração(h): 4

Temperatura(oC): 17,5

Agitação(RPM): 250



Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura oC
0	7	3,57	0,7	1	1,75	10,7	17,5
1	10,4	1	0,45	1			
2	10,24	1,63	0,8	1	0,1	10,62	
3,5	10,11	1,89	1,9	1	0,1	10,58	
4	10,44	1,94	1,2	1			

CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 2

gNaCN: 2

Duração da lixiviação(h): 24

Agente oxigenador: Agitação

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura oC
0	10,44	0,54	0,6			2		17,5
1	10,58	0,24	0,4					
2	10,54	0,53	1,6					
3	10,54	0,67	1,4					
4,5	10,53	0,72	1,2					
5,5	10,51	0,85	1					
6	10,51	0,82	1,2					
15,3	10,43	0,44	2,8					
16	10,29	0,35	2		0,1		10,79	
17	10,63	0,5	2,4					
18	10,48	0,7	2,6					
24	10,51	0,97	3	150				

Ensaio: POX-4A

massa(g): 1000

Minério:

Polpa(%): 50

Reator: Becker 2l

PRÉ-AERAÇÃO

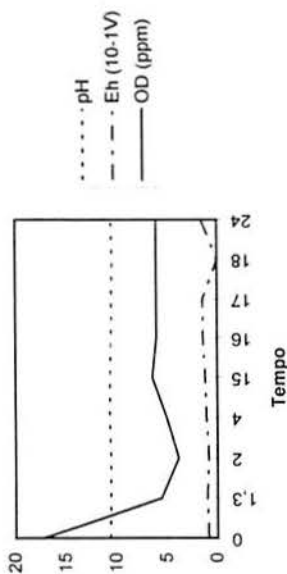
Agente Oxidante: O₂

Duração(h): 4

Temperatura(oC): 20,5

Agitação(RPM): 250

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (ml/min)	CaO (g)	pH	Temperatura oC
0	6,97	1	6,5	1	1,75	10,76	
0,5	10,84	1,01	2,1	1			
1	9,96	1,9	10,05	1	0,25	10,58	
3,5	9,8	2,47	20	1	0,25		
4	10,47	2,13	20	1			



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 2

Duração da lixiviação(h): 24

Agente oxigenador: Agitação

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura oC
0	10,62	0,86	17,3			2		20,5
1,3	10,58	1,01	5,5					
2	10,57	0,88	3,8					
4	10,68	1,08	5					
15	10,64	1,23	6,4					
16	10,52	1,4	6					
17	10,49	1,45	6					
18	10,41	1,5	6					
24	10,47	1,58	6	140				

Ensaio: PPO-4A

massa(g): 1000

Minério: RM-MII-1

Polpa(%): 50

Reator: Becker 2I

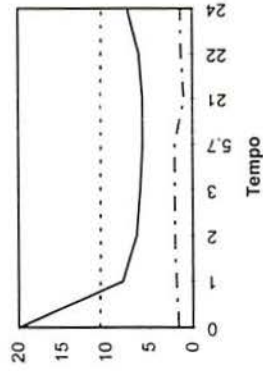
PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante: H2O2

Duração(h): 4

Temperatura(oC): 18,5

Agitação(RPM): 200



Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (ml/min)	CaO (g)	pH	Temperatura oC
0	7,08	2,13	7,2	0,203	1,85	10,71	18,5
1	9,61	3,14	16,1	0,203	0,45	10,73	
2	10,32	2,78	13,6	0,203	0,25	10,88	
4	10,1	2,92	20	0,203	0,1	10,46	

CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 2

Duração da lixiviação(h): 24

Agente oxigenador: Agitação

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura oC
0	10,69	1,64	20			2		18,5
1	10,62	1,9	8					
2	10,58	2,07	6,4					
3	10,58	2,07	6					
5,7	10,53	2,05	5,7					
21	10,56	1	5,7					
22	10,48	1,32	6,1					
24	10,41	1,39	7,4	250				

Ensaio: PAG-8A

massa(g): 1000

Minério: RM-MII-1

Polpa(%): 50

Reator: Becker 2I

PRÉ-AERAÇÃO

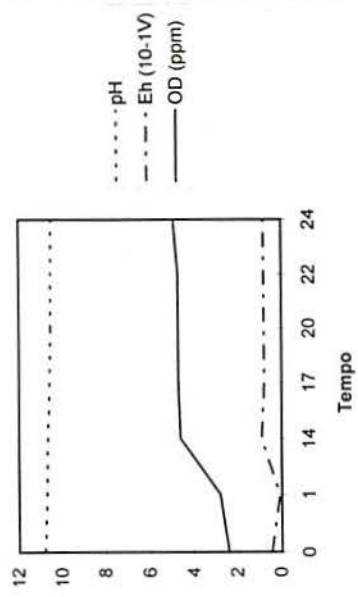
Agente Oxidante: Agitação

Duração(h): 8

Temperatura(°C): 17

Agitação(RPM): 160

Tempo (h)	Ph	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura °C
0	7				1,5		
0,5	10,44				0,2		
3	10,02				0,15	10,61	
4	10,37				0,1	10,77	
6	10,36						
7	10,26				0,1	10,71	
8	10,57						



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 2

Duração da lixiviação(h): 24

Agente oxigenador: Agitação

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura °C
0	10,8	0,46	2,4			2		
1	10,72	0,09	2,8					
14	10,67	0,92	4,6					
17	10,59	0,8	4,7					
20	10,53	0,8	4,7					
22	10,53	0,8	4,7					
24	10,49	0,81	4,9	240				

Ensaio: PAR-8A

massa(g): 1000

Minério: RM-MII-1

Polpa(%): 50

Reator: Becker 2L

PRÉ-AERAÇÃO

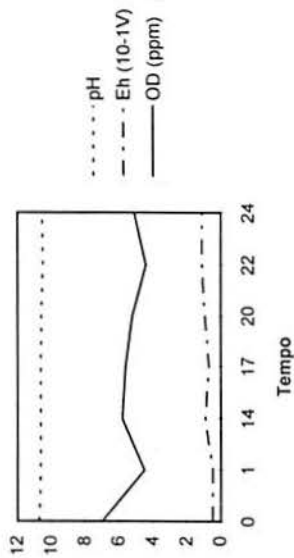
Agente Oxidante: Ar

Duração(h): 8

Temperatura(°C): 17

Agitação(RPM): 250

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (ml/min)	CaO (g)	pH	Temperatura °C
0,5	10,74	2,18	4,7	1	1,65		
0,75	9,25	2	4	1	0,3		10,35
1	10,9	2	4	1			
3	10,5	2,02	3,7	1			
4,5	10,18	2,17	4,8	1	0,15		10,71
6	10,11	2,1	6	1	0,1		10,61
7	10,22	2,07	6,6	1	0,1		10,73
8	10,43	2,02	7	1			



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 2

Duração da lixiviação(h): 24

Agente oxigenador: Agitação

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura °C
0	10,73	0,48	7			2		17
1	10,63	0,47	4,5					
14	10,63	0,94	5,8					
17	10,62	0,7	5,6					
20	10,59	0,96	5,2					
22	10,5	1,12	4,4					
24	10,53	1,13	5,1	235				

Ensaio: POX-8A

massa(g): 1000

Minério: RM-MII-2

Polpa(%): 50

Reator: Becker 2I

PRÉ-AERAÇÃO

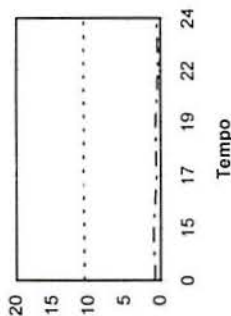
Agente Oxidante: O2

Duração(h): 8

Temperatura(oC): 18

Agitação(RPM): 250

..... pH
 - - - Eh (10⁻¹V)
 - - - OD (ppm)



Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura oC
0	7,12	1,8		0,5	1,65	10,91	18
0	10,69	1,84	20	0,5			
3	10,2	1,88	20	0,5	0,1	10,57	
4	9,63	2,26	20	0,5	0,2	10,59	
5	10,2	2,15	20	0,5	0,2	10,56	
6	10,55	1,97	20	0,5			
8	10,59	0,8	20	0,5			

CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 2

Duração da lixiviação(h): 8

Agente oxigenador: Agitação

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura oC
0	10,59	0,8	20			2		18
15	10,64	1,04	20					
17	10,7	0,57	20					
19	10,67	0,73	20					
22	10,71	0,37	20					
24	10,68	0,52	4					

Reator 1

polpa(%):50

Minério:RM-MII-2

massa(g):2000

Ensaio:LAG

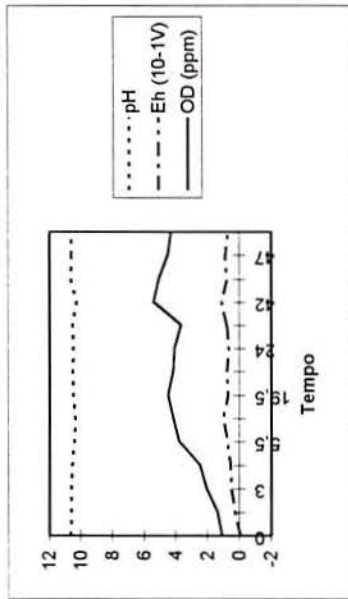
PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante:Ar

Duração(h):6

Temperatura(oC):23

OD em água:3,5



Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura oC
0	7,03	1,22	3,5	1	3,7	10,75	23
0,5	10,64	0,27	2,8	1			
1	10,42	0,69	2,3	1	0,1	10,57	
2	10,91	1,53	1,7	1	0,1	10,52	
2,5	10,4	1,6	1,6	1	0,2	10,67	
5,5	10,29	1,93	1,3	1	0,2	10,64	
6	10,56	1,72	1	1			

CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l):1

gNaCN:2

Duração da lixiviação(h):48

Agente oxigenador:Agitação

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (l/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaC (g)	pH	Temperatura oC
0			10,66	-0,03	1	1,1	1000				23
1	LAG-1	20	10,6	0,29	1	1,4	330		1,3466	10,62	
3			10,59	0,52	1	2,1					
4	LAG-4	20	10,57	0,56	1	2,5	760				
5,5			10,4	0,8	1	3,8					
18	LAG-18	20	10,38	1,07	1	4,2	260		1,4852	10,49	
19,5			10,49	0,73	1	4,5		0,05		10,6	
23			10,53	0,82	1	4,2					
24	LAG-24	20	10,5	0,72	1	4,1	600				
27			10,51	0,83	1	3,7					
42	LAG-42	20	10,27	1,14	1	5,4	280	0,2	1,4456	10,7	
43			10,66	0,84	1	5,1					
47			10,62	0,89	1	4,5					
48	LAG-48	20	10,62	0,73	1	4,3	640				

LAG Ensaio de Extração do Minério RM Moído, pré-aeração(6h) e lixiviação(48h) c/ar p/agitação

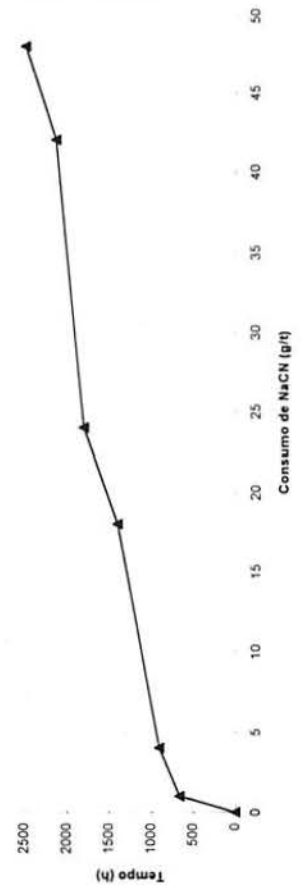
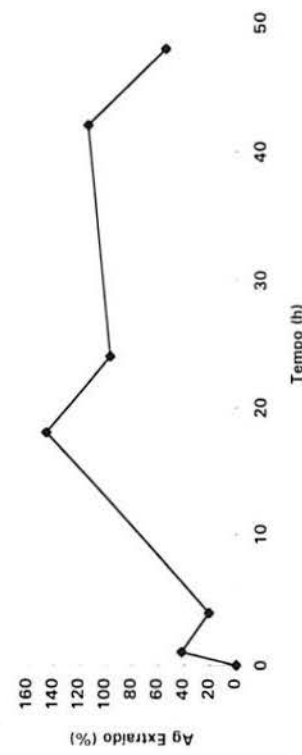
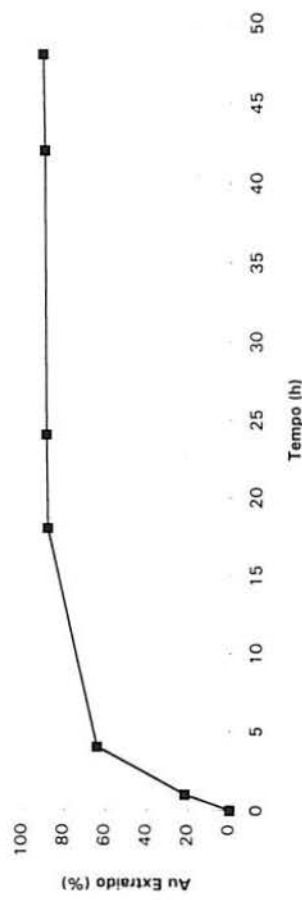
Massa de Minério (g):	2000
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro calc. da alim. (g/t):	6.89
Teor de Prata calc. da alim. (g/t):	1.07

Volume da Solução (ml)	2000
Granulometria da Amostra (mm)	-0.074
Cal adicionado no início (g):	4.3
pH natural da polpa:	7.03

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na aliquota (mg/l)	Ouro na solução (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	Prata na aliquota (mg/l)	Prata na solução (mg)	Prata Extraída (mg)	Taxa Extr. de Prata (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0	10.66		0	670		2.15
1	20	1.5	0.03	3.00	21.8	0.45	0.01	0.9	42.0	10.60	330	1.34	910		2.15
4	20	4.4	0.12	8.83	64.1	0.22	0.00	0.4	20.9	10.57	760	1.48	1410	0.05	2.15
18	20	6.0	0.24	12.12	88.0	1.56	0.03	3.1	145.7	10.33	260	1.48	1810	0.20	2.18
24	20	6.0	0.36	12.24	88.8	1.02	0.02	2.1	96.6	10.50	600	1.44	2130	0.20	2.18
42	20	6.0	0.48	12.36	89.7	1.2	0.02	2.4	112.9	10.27	280	1.44	2490	0.20	2.18
48	-	6.0	-	12.48	90.6	0.56	-	1.1	53.4	10.62	640				2.28

Teores no Rejeito (ppm)	
Au	0.65
Ag	0.5

Teores no licor final (ppm)	
Fe	9
Cu	22
Ni	4.2



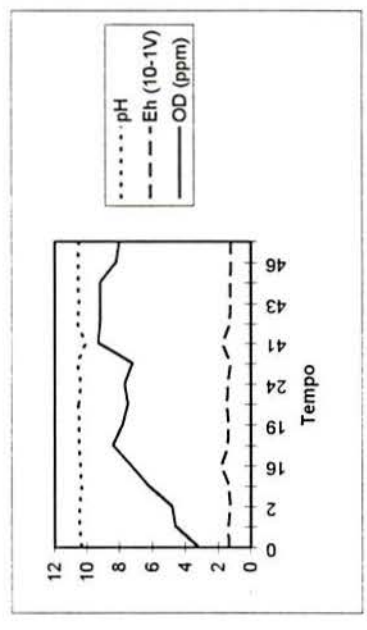
Ensaio: LA massa(g):2000 Minério: RMMII-2 Polpa(%):50 Reator 1 Volume de solução(l):2

PRÉ-AERAÇÃO Temperatura(°C):22 OD em água:7.1

Agente Oxidante:AR Duração(h):6 Agitação(RPM):160

CaO(relação inicial g/kg minério):2

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura °C
0	7,07		3,3	2			22
0,5	10,15	2,54	2,5	2	3,3	10,5	
1,5	10,18	2,54	2,5	2	0,2	10,65	
3,5	9,91	2,7	3,3	2	0,3	10,6	
4,5	9,99	2,61	4	2	0,4	10,54	
6	10	2,83	4,7	2			



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l):1 gNaCN:2 Duração da lixiviação(h):48 Agente oxigenador:AR

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (l/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaC (g)	pH	Temperatura °C
0	0		10,33	1,35	2	3,2		0,2		10,59	
1	LA-1	50	10,44	1,4	2	4,6	340		1,32	10,49	
2			10,45	1,28	2	4,8					
4	LA-4	30	10,34	1,35	2	6,2	720	0,2		10,67	22
16	LA-16	50	10,41	1,84	2	7,3	115	0,2	1,77	10,6	
17,5			10,51	1,41	2	8,4					
19			10,49	1,39	2	7,8					
21			10,53	1,48	2	7,5					
24	LA-24	40	10,39	1,41	2	7,7	560	0,1			
25			10,6	1,28	2	7,2					
41	LA-41	30	10,09	1,74	2	9,3	100	0,1	1,8	10,6	17
42			10,58	1,32	2	9,2					
43			10,5	1,28	2	9,2					
45			10,52	1,28	2	9,2					
46			10,52	1,23	2	8,2					
48	LA-48		10,51	1,21	2	8	730				

L.A Ensaio de Extração do Minério RM Moído, pré-aeração(6h) e lixiviação(48h) c/borbulhamento de ar (11/min.)

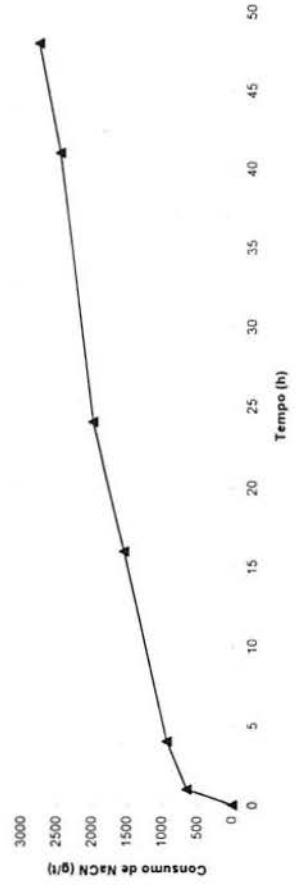
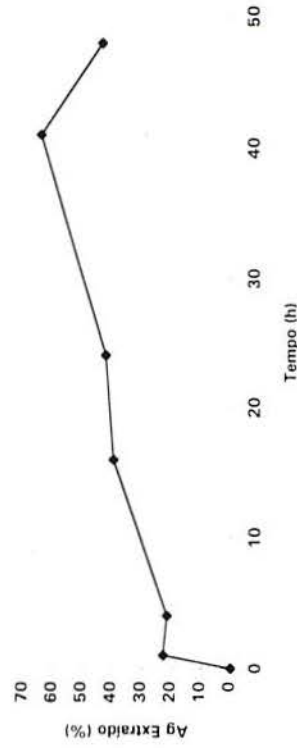
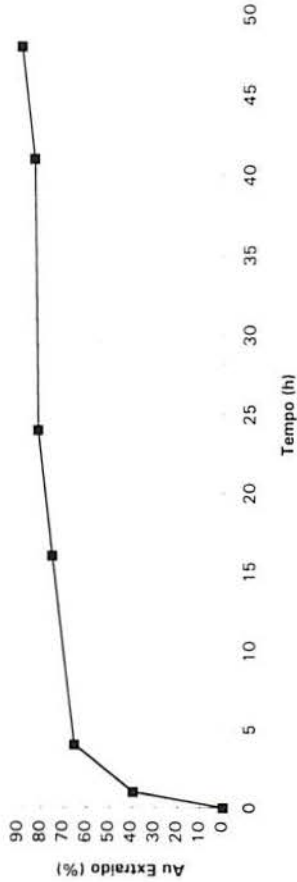
Massa de Minério (g):	2000
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro calc. da alim. (g/t):	6.83
Teor de Prata calc. da alim. (g/t):	3.31

Volume da Solução (ml)	2000
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	4.4
pH natural da polpa:	7.07

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na aliquota (mg/l)	Ouro na solução (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	Prata na aliquota (mg/l)	Prata na solução (mg)	Prata Extraída (mg)	Taxa Extr. de Prata (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0	10.59		0			
1	50	2.7	0.14	5.40	39.5	0.75	0.04	1.5	22.7	10.44	340	1.32	660		2.20
4	30	4.4	0.27	8.94	65.4	0.69	0.02	1.4	21.4	10.34	720		940	0.20	2.20
16	50	5.0	0.52	10.27	75.1	1.29	0.06	2.6	39.3	9.93	115	1.77	1545	0.20	2.30
24	40	5.3	0.73	11.12	81.3	1.35	0.05	2.8	41.7	10.39	560		1985	0.10	2.40
41	30	5.3	0.89	11.33	82.9	2.07	0.06	4.2	63.3	10.09	100	1.80	2445	0.10	2.45
48	-	5.6	-	12.09	88.4	1.38	-	2.8	42.6	10.51	700		2745		2.50

Teores no Rejeito (ppm)	
Au	0.79
Ag	1.9

Teores no licor final (ppm)	
Fe	29.5
Cu	22.5
Ni	7.5



Ensaio:LO

massa(g):2000

Minério:RM-MII-2

polpa(%):50

Reator:Becker 5l

PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante:O2

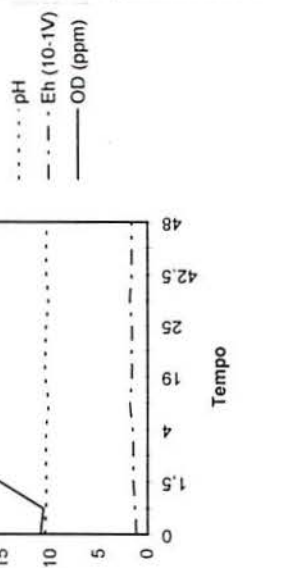
CaO(relação inicial g/kg minério):1.6

Temperatura(oC):22

Agitação(RPM):170

OD em água:4.5

Reator:Becker 5l



Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura oC
0	7.11	1.24	3.3	1	3.3	10.71	22
1	10.56	1.89	4.6	1			
2	10.02	2.48	3.2	1	0.3	10.6	
2.5	10.2	2.52	1.7	1	0.2	10.58	
4.7	9.9	2.75	2.0	1	0.3	10.62	
5.4	10.18	2.59	2.0	1	0.2	10.56	
5.9	10.44	2.47	15.7	1			

CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l):1

gNaCN:2

Duração da lixiviação(h):48

Agente oxigenador:O2

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (l/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura oC
0			10.6	1.21	1	11	1000				22
1			10.47	1.34	1	10.7					
1.5	LO-1.5	20	10.44	1.48	1	15.2	200		1.61	10.53	
3			10.49	1.48	1	20					
4	LO-4	40	10.48	1.55	1	20	880	0.1		10.62	
17.5	LO-17.5	30	10.2	1.87	1	20	460	0.2	1.095	10.62	
19			10.59	1.63	1	20					
22			10.55	1.65	1	20					
25	LO-25	30	10.47	1.64	1	20	400	0.1	1.212	10.64	
41	LO-41	30	10.22	1.86	1	20	520	0.2		10.62	
42.5			10.46	1.65	1	20				10.64	
46			10.45	1.68	1	20					
48	LO-48	30	10.4	1.66	1	20	410				

LO Ensaio de Extração do Minério RM Moído, pré-aeração(6h) e lixiviação(48h) c/borbulhamento de O₂(0,5l/min.)

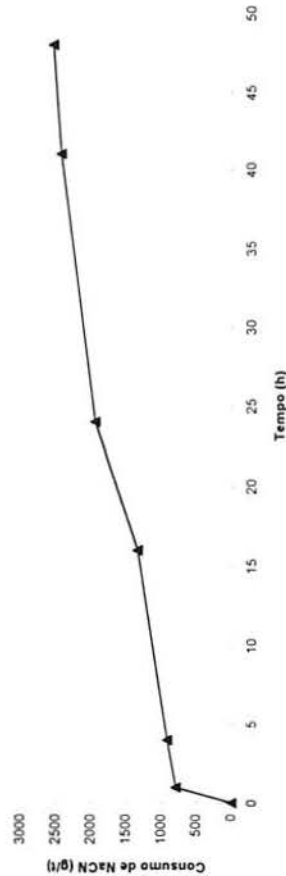
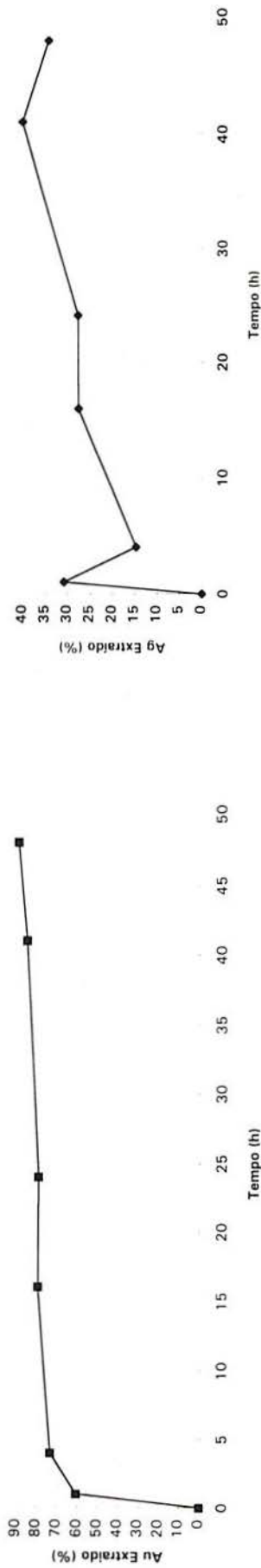
Massa de Minério (g):	2000
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro calc. da alim. (g/t):	6.60
Teor de Prata calc. da alim. (g/t):	3.34

Volume da Solução (ml)	2000
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	4.3
pH natural da polpa:	7.11

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na aliquota (mg/l)	Ouro na solução (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	Prata na aliquota (mg/l)	Prata na solução (mg)	Prata Extraída (mg)	Taxa Extr. de Prata (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0	-	-	-	-	0	-	-	-	0	10.6	-	-	0	-	-
1	20	4.0	0.08	8.00	60.6	1.03	0.02	2.1	30.8	10.44	200	1.60	800	-	2.15
4	40	4.8	0.27	9.68	73.4	0.48	0.02	1.0	14.7	10.48	880	1.08	920	0.20	2.15
16	30	5.1	0.43	10.47	79.4	0.91	0.03	1.8	27.5	10.20	460	1.20	1340	0.20	2.25
24	30	5.0	0.58	10.43	79.0	0.91	0.03	1.8	27.7	10.47	400	1.20	1940	0.10	2.35
41	30	5.3	0.73	11.18	84.7	1.32	0.04	2.7	39.9	10.22	520	-	2420	0.10	2.40
48	-	5.5	-	11.73	88.9	1.12	-	2.3	34.1	10.40	410	-	2530	0.10	2.45

Teores no Rejeito (ppm)	
Au	0.73
Ag	2.2

Teores no licor final (ppm)	
Fe	14.4
Cu	31
Ni	7.5

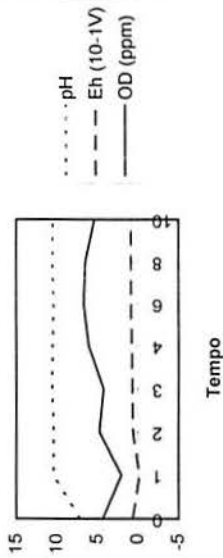


Ensaio:LII massa(g):1930 Reator:Becker 5l Polpa(%):50 Minério:RM Volume de solução(l):1,93

PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante:CaO Duração(h):0 Temperatura(°C):22,5 OD em água: Agitação(RPM):146

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura (°C)
	SEM PRÉ AERAÇÃO						



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l):1 gNaCN:1,93

Duração da lixiviação(h):10

Agente oxigenador:AR

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (l/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura (°C)
0		0	7,08	0,66	1	4,3		3,15		10,63	
1	LII-1	30	10,4	-0,2	1	2	200		1,544	10,42	
2	LII-2	30	10,37	0,61	1	4,7	520	0,2	1,0036	10,69	
3			10,55	0,67	1	4,2				10,55	22
4	LII-4	40	10,5	0,76	1	6	750				
6	LII-6	30	10,4	0,89	1	6,6	600	0,15	0,772	10,68	
8	LII-8	30	10,53	0,86	1	6,4	720			10,5	
10	LII-10		10,45	0,88	1	5,3	640				

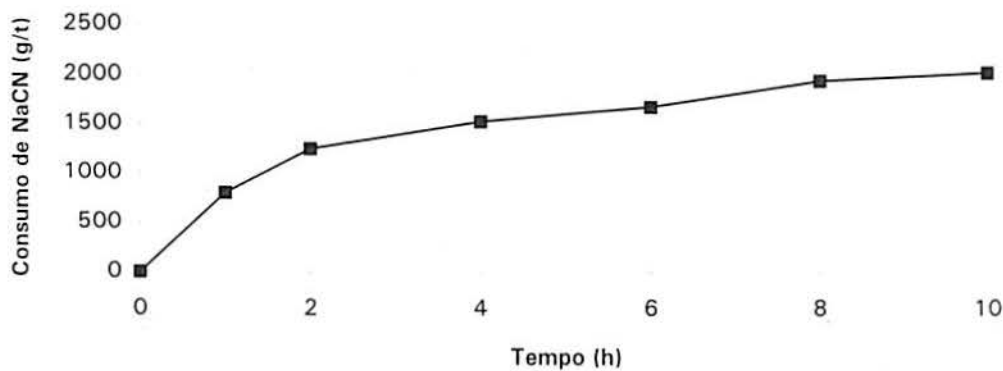
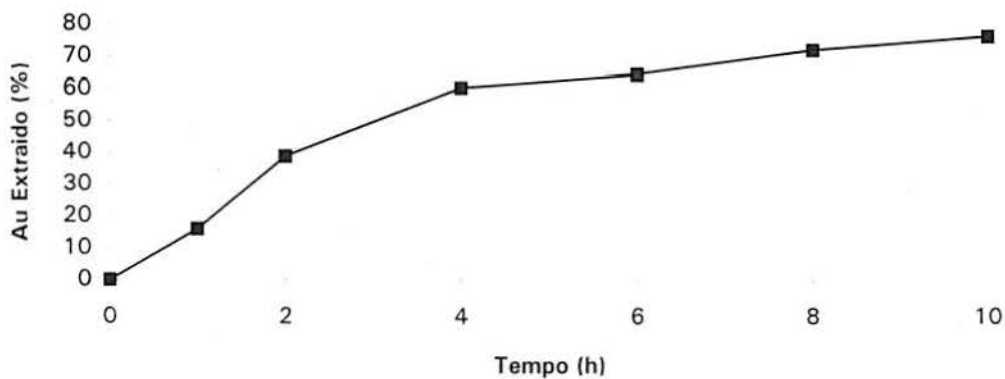
LII Ensaio de Extração do Minério RM Moído,s/ pré-aeração e lixiviação c/ar

Massa de Minério (g):	1930
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	6.21
Tempo de Cianetação (h):	10

Volume da Solução (ml)	1930
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	3.15
pH natural da polpa:	7,08

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0	10,63			0		
1	30	1.0	0.03	1.93	16.1	10,40	200	1.54	800		1.63
2	30	2.4	0.10	4.66	38.9	10,37	520	1.01	1250	0.20	1.63
4	30	3.7	0.21	7.24	60.5	10,50	750		1525		1.74
6	30	3.9	0.33	7.74	64.6	10,40	600	0.77	1675	0.15	1.74
8	30	4.3	0.46	8.63	72.0	10,53	720		1940		1.81
10	-	4.5	-	9.14	76.3	10,45	640		2020		1.81

Auno rejeito: 1.47 ppm

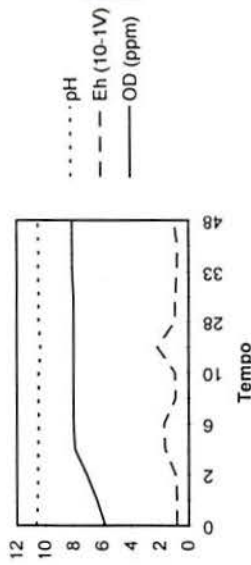


Ensaio:LIV massa(g):3138 Minério:RMII Polpa(%):50 Reator:Becker 5l Volume de solução(l):3,138

PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante:AR Duração(h):12 Temperatura(°C):23 OD em água:5.5
 CaO(relação inicial g/kg minério):2,9 Agitação(RPM):170

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura (°C)
0	7,13			1	9,1	12,09	23
0	12,03	0,23	2,1	1			24
11,5			4,8	1			
12	10,1	2,66	4,8	1	0,3	10,56	



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l):1 gNaCN:3,138 Duração da lixiviação(h):48 Agente oxigenador:AR

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (l/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura (°C)
0	0		10,65	0,83	1	5,8					23
1	LIV-1	30	10,55	0,84	1	6,4				10,5	23
2	LIV-2	40	10,52	0,92	1	7,1	660		1,067	10,51	
4	LIV-4	30	10,51	1,64	1	7,9	770				
6	LIV-6	40	10,46	1,75	1	8	620		1,2168	10,5	
8	LIV-8	30	10,49	0,92	1	8	800			10,5	
10	LIV-10	30	10,47	0,96	1	8	700	0,05		10,53	24
24	LIV-24	30	10,35	2,2	1	8	470	0,15	1,6631	10,58	23
28			10,47	0,97	1	8		0,05		10,55	
32			10,46	0,94	1	8		0,1		10,55	24
33			10,51	0,84	1	8,1				10,51	
35	LIV-35	30	10,47	0,8	1	8,1	580	0,1	1,318	10,55	
48	LIV-48		10,53	1,01	1	8,1	520				

LIV Ensaio de Extração do Minério RM Moído, pré-aeração (12h) e lixiviação c/ar (48h)

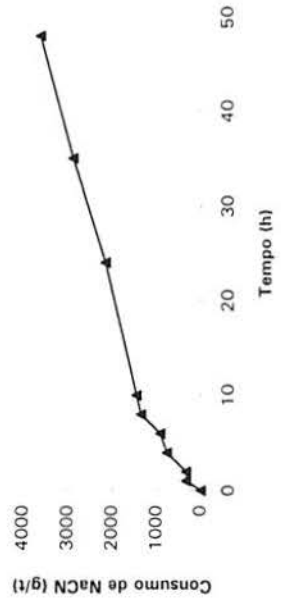
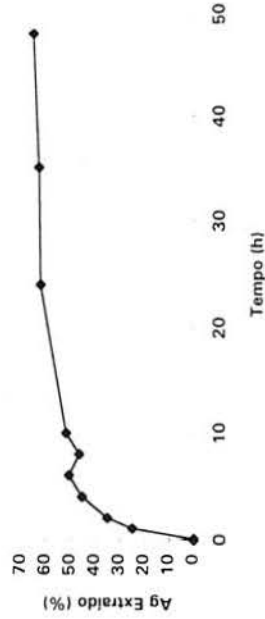
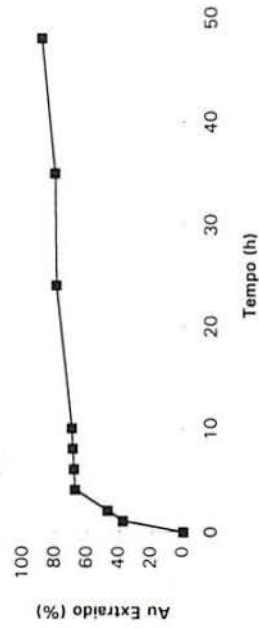
Massa de Minério (g):	3138
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro calc. da alim. (g/t):	6.60
Teor de Prata calc. da alim. (g/t):	2.54

Volume da Solução (ml)	3138
Granulometria da Amostra (mm)	-0.074
Cal adicionado no início (g):	9.4
pH natural da polpa:	7.13

Tempo (h)	Volume da Aliq (ml)	Ouro na aliqota (mg/l)	Ouro na solução (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr de Ouro (%)	Prata na aliqota (mg/l)	Prata na solução (mg/l)	Prata Extraída (mg)	Taxa Extr. de Prata (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (K.g/t)
0					0				0	10,65			0		
1	30	2.5	0.08	7.85	37.9	0.63	0.02	2.0	24.8	10,55	660		340		3.00
2	40	3.1	0.20	9.80	47.3	0.88	0.05	2.8	34.9	10,52	660	1.09	340	0.20	3.00
4	30	4.4	0.33	14.01	67.6	1.13	0.09	3.6	45.2	10,51	770		775		3.06
6	40	4.4	0.51	14.14	68.3	1.25	0.14	4.0	50.4	10,46	620	1.22	925	0.15	3.06
8	30	4.4	0.64	14.31	69.1	1.13	0.17	3.7	46.3	10,49	800		1355	0.15	3.11
10	30	4.4	0.77	14.45	69.7	1.25	0.21	4.1	51.5	10,47	700	0.94	1455	0.15	3.15
24	30	5.0	0.92	16.46	79.5	1.5	0.25	4.9	61.8	10,35	470	1.66	2155	0.15	3.20
35	30	5.0	1.07	16.61	80.2	1.5	0.30	5.0	62.4	10,47	580	1.32	2875	0.15	3.25
48	-	5.5	-	18.33	88.5	1.54	-	5.1	64.5	10,53	520		3595		3.30

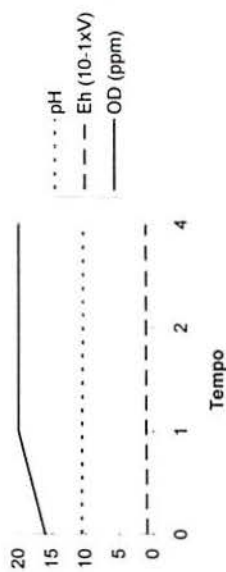
Teores no Rejeito (ppm)	
Au	0.76
Ag	0.9

Teores no licor final (ppm)	
As	0.3
Fe	15.7
Cu	21.8
Ni	5.2



Ensaio:LVI massa(g):2612 Minério:RMM2 Polpa(%):50 Reator:Becker 5l Volume de solução(l):2,612

PRÉ-AERAÇÃO
 Agente Oxidante:AR Duração(h):12 Temperatura(oc):24 OD em água:7,6
 CaO(relação inicial g/kg minério):2,9 Agitação(RPM):166



Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ xV)	OD (ppm)	vazão (ml/min)	CaO (g)	pH	Temperatura (oc)
0	11,93	1,16	3,4	1	7,06	6,99	24
12	10	2,52	6,9	1	0,3	10,53	22,5

CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l):1 gNaCN:2,612 Duração da lixiviação(h):4 Agente oxigenador:O2

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ xV)	vazão (ml/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura (oc)	OBS
0	0		10,6	0,93	1	16						
1	LVI-1	30	10,51	1,04	1	20	780					
2	LVI-2	40	10,44	1,12	0,5	20	740	0,05			24	
4	LVI-4		10,39	1,14	0,5	20	550					

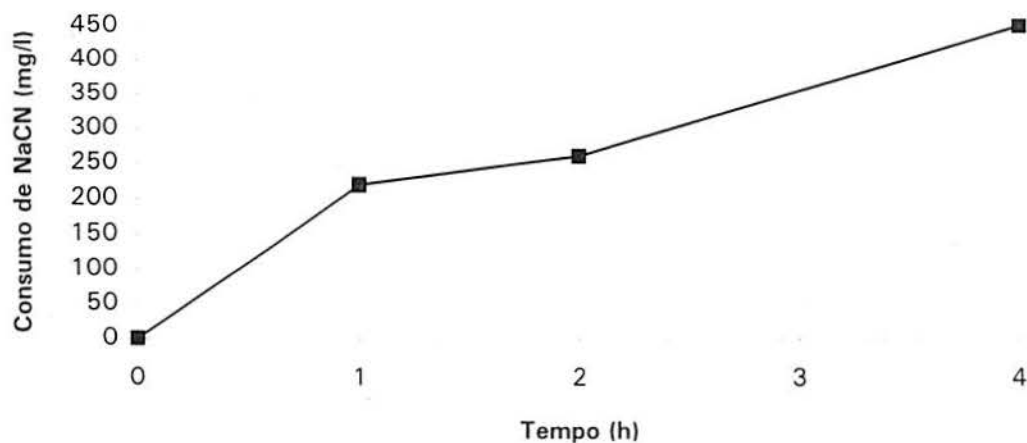
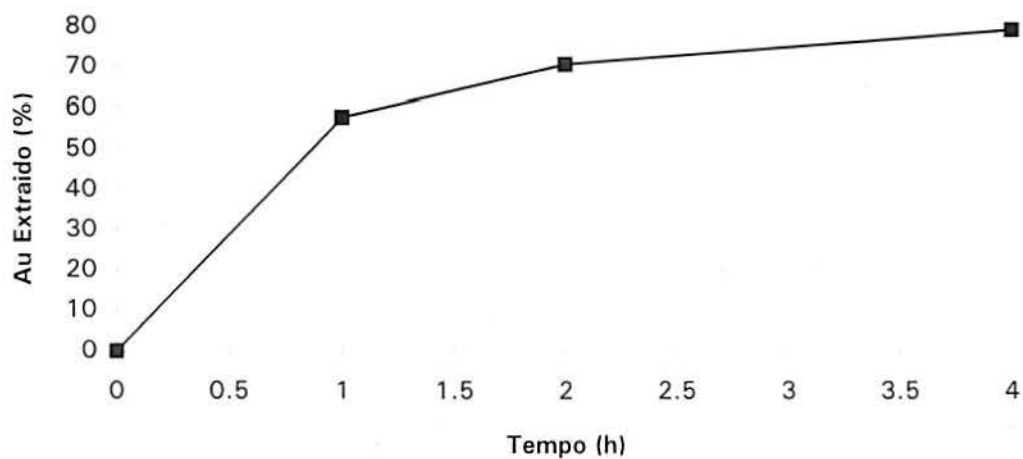
L VI - Ensaio de Extração Minério RM Moído, pré-aeração (12h) - cianetação c/O₂ (4h)

Massa de Minério (g):	2612
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	6.57
Tempo de Cianetação (h):	5

Volume da Solução (ml):	2612
Granulometria da Amostra (mm):	0.074
Cal adicionado no início (g):	7.9
pH natural da polpa:	6,99

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (mg/l)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0	16.6			0		
1	30	3.8	0.11	9.93	57.8	10.51	780		220		3.02
2	40	4.6	0.30	12.13	70.7	10.44	740		260	0.05	3.02
4	-	5.2	-	13.58	79.1	10.39	550		450		3.04

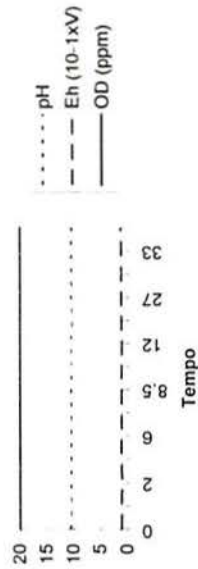
Au no rejeito: 1.37 ppm



Ensaio: LVII massa(g): 2812,4 Minério: RMM2 Polpa(%): 50 Reator: Becker 5l Volume de solução(l): 2,82

PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante: AR Duração(h): 12 Temperatura(°C): 24 OD em água: 7,9
 CaO (relação inicial g/kg minério): 2,9 Agitação(RPM): 160



Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ xV)	OD (ppm)	vazão (ml/min)	CaO (g)	pH	Temperatura (°C)
0	7,13	0,96	2,7	1	8,156		24
12	10	2,72	7,5	1	0,25	10,49	

CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 1 gNaCN: 2,82 Duração da lixiviação(h): 48 Agente oxigenador: O2

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ xV)	vazão (ml/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura (°C)	OBS
0			10,58	1,13	0,5	20						
1	LVII-1	30	10,48	1,19	0,5	20	780		0,8567	10,51		
2	LVII-2	30	10,48	1,1	0,5	20	738		0,9792	10,52		
4	LVII-4	30	10,48	1,2	0,5	20	976	0,05				
6			10,5	1,17	0,5	20						
7	LVII-7	30	10,45	1,16	0,5	20	651	0,1		10,53		
8,5			10,51	1,16	0,5	20					25,5	
11	LVII-11	30	10,43	1,13	0,5	20	607	0,1	1,1083	10,59		
12			10,59	1,08	0,5	20						
23	LVII-23	30	10,34	1,21	0,5	20	564	0,2	0,1546	10,64		
27			10,48	1,21	1	20		0,05			25	
29,5			10,44	1,21	0,5	20		0,1		10,59		
33	LVII-33	30	10,45	1,21	0,5	20	456	0,1	1,534	10,64		
49	LVII-49		10,41	1,25	0,5	20	575				24	

LVII Ensaio de Extração do Minério RM Moído, pré-aeração (12h) e lixiviação c/O2 (48h)

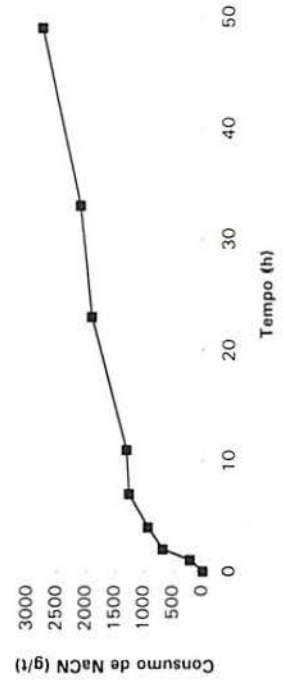
Massa de Minério (g):	2812
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro calc. da alim. (g/t):	6.59
Teor de Prata calc. da alim. (g/t):	3.29

Volume da Solução (ml)	2820
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	8.4
pH natural da polpa:	7,13

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na alíquota (mg/l)	Ouro na solução (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	Prata na alíquota (mg/l)	Prata na solução (mg/l)	Prata Extraída (mg)	Taxa Extr. de Prata (%)	pH da solução	NaCN Solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (mg/l)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (kg/t)
0					0				0	10.58		0			
1	30	4.3	0.13	12.13	65.4	0.9	0.03	2.5	27.4	10.48	780	0.85	220		2.99
2	30	4.3	0.26	12.26	66.1	1.2	0.06	3.4	36.8	10.48	738	0.98	687		2.99
4	30	5.6	0.43	16.05	86.6	1.4	0.11	4.0	43.3	10.48	976		939	0.05	2.99
7	30	5.0	0.58	14.53	78.4	1.5	0.15	4.3	46.8	10.45	651		1264	0.10	3.00
11	30	5.0	0.73	14.68	79.2	1.6	0.20	4.7	50.3	10.43	607	1.11	1308	0.10	3.04
23	30	5.0	0.88	14.83	80.0	2.1	0.26	6.1	66.1	10.34	564	0.15	1906	0.20	3.08
33	30	5.0	1.03	14.98	80.8	1.5	0.31	4.5	48.5	10.45	456	1.53	2089	0.25	3.15
49	-	5.5	-	16.54	89.2	1.6	-	4.8	52.0	10.41	575		2735		3.24

Teores no Rejeito (ppm)	
Au	0.71
Ag	1.58

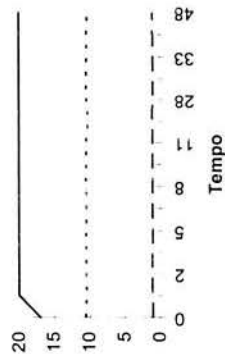
Teores no licor final (ppm)	
As	0.26
Fe	15.7
Cu	21.8
Ni	5.2



Ensaio: LVIII massa(g): 3049,6 Minério: RMM2 Polpa(%): 50 Reator: Becker 5l Volume de solução(l): 3,05

PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante: AR Duração(h): 12 Temperatura(°C): 25 OD em água: 5.5
 CaO (relação inicial g/kg minério): 2,9 Agitação: 156



Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ xV)	OD (ppm)	vazão (ml/min)	CaO (g)	pH	Temperatura (°C)
0	7.12				8.8		26
0	12.01	0.71	2.9	1			
12	9.97	2.69	7.9	1	0.3	10.43	24

CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 1 gNaCN: 3.05 Duração da lixiviação(h): 48 Agente oxigenador: O2

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ xV)	vazão (ml/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura (°C)	OBS
0			10.57	1.03	0.5	17						
1	LVIII-1	30	10.45	1.15	0.5	20	846	0.05		10.5		
2	LVIII-2	30	10.48	1.13	0.5	20	737	0.1		10.57	25	
4	LVIII-4	30	10.48	1.16	0.5	20	564		1,3454			
5			10.49	1.07	0.5	20						
7	LVIII-7	30	10.44	1.12	0.5	20	802	0.1		10.56	25	
8			10.54	1.1	0.5	20						
9			10.48	1.09	0.5	20		0.05		10.53		
11	LVIII-11	30	10.51	1.09	0.5	20	542		1,3952	10.56	25	
24	LVIII-24	30	10.27	1.17	0.5	20	390	0.2	1,8532	10.64	26	
28			10.45	1.06	0.5	20		0.1			27.5	
31			10.49	1.08	0.5	20						
33			10.45	1.07	0.5	20						
34	LVIII-34	30	10.43	1.12	0.5	20	651	0.1	1,0643	10.62	27	
48	LVIII-48	30	10.35	1.1	0.5	20	477					

LVIII Ensaio de Extração do Minério RM Moído, pré-aeração (12h) e lixiviação c/O2 (48h)

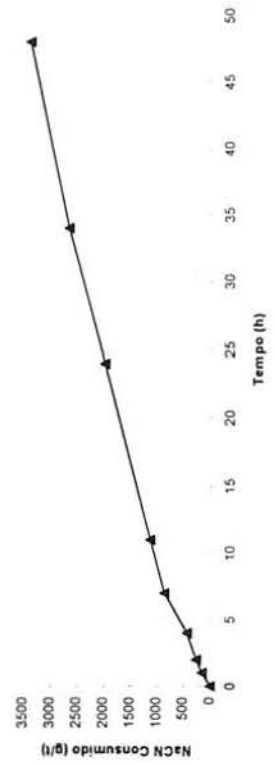
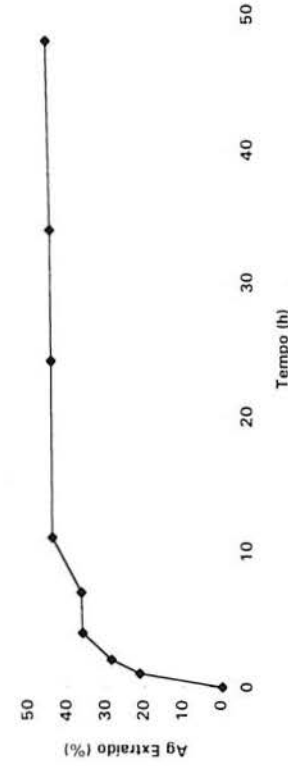
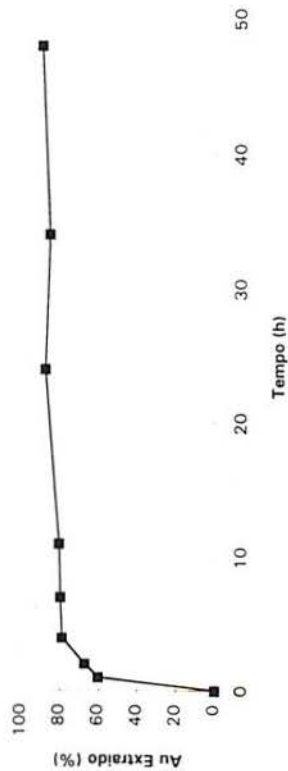
Massa de Minério (g):	3050
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro calc. da alim. (g/t):	6.32
Teor de Prata calc. da alim. (g/t):	3.51

Volume da Solução (ml)	3050
Granulometria da Amostra (mm):	0.074
Cal adicionado no início (g):	9.1
pH natural da polpa:	7.12

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na alíquota (mg/l)	Ouro na solução (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	Prata na alíquota (mg/l)	Prata na solução (mg/l)	Prata Extraída (mg)	Taxa Extr. de Prata (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (K-g/t)
0					0				0	10.57			0		
1	30	3.8	0.11	11.59	60.2	0.75	0.02	2.3	21.4	10.45	846		154	0.05	2.98
2	30	4.2	0.24	12.92	67.1	1	0.05	3.1	28.7	10.48	737		263	0.10	3.00
4	30	4.9	0.39	15.19	78.8	1.25	0.09	3.9	36.1	10.48	564	1.33	436		3.03
7	30	4.9	0.53	15.33	79.6	1.25	0.13	3.9	36.5	10.47	802		863	0.10	3.03
11	30	4.9	0.68	15.48	80.4	1.5	0.17	4.7	44.0	10.51	542	1.40	1123	0.05	3.07
24	30	5.3	0.84	16.85	87.5	1.5	0.22	4.7	44.4	10.27	390	1.86	1975	0.20	3.08
34	30	5.1	0.99	16.40	85.1	1.5	0.26	4.8	44.8	10.43	651	1.06	2644	0.20	3.15
48	-	5.3	-	17.16	89.1	1.52	-	4.9	45.8	10.35	477		3348		3.21

Teores no Rejeito (ppm)	
Au	0.69
Ag	1.9

Teores no licor final (ppm)	
As	0.3
Fe	14.7
Cu	31.2
Ni	5

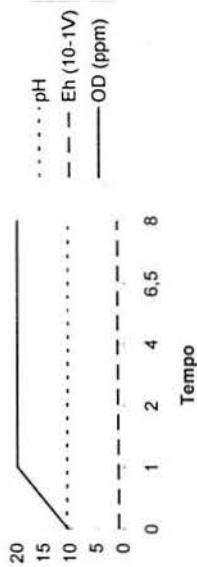


Ensaio:LIX massa(g):2970,2 Minério:RM30 Polpa(%):50 Reator:Becker 5l Volume de solução(l):2,97

PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante:AR Duração(h):12 Temperatura(°C):28 OD em água:7
 CaO(relação inicial g/kg minério):2,7 Agitação(RPM):166

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura °C
0	6,95	-0,55	1,4	1	8,02	11,94	28
12	10,2	1,78	4,7	1		10,63	27



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l):1 gNaCN:2,97

Duração da lixiviação(h):8

Agente oxigenador:O2

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (l/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura °C
0	0		10,72	0,95	0,5	10,5					
1	LIX-1	30	10,65	1,02	0,5	20	911			10,61	27
2	LIX-2	30	10,6	1,14	0,5	20	694			10,55	
4	LIX-4	30	10,5	1,19	0,5	20	542		1,3586	10,57	26
6,5	LIX-6,5	30	10,53	1,22	0,5	20	673			10,59	
8	LIX-8	30	10,47	1,26	0,5	20	521				26

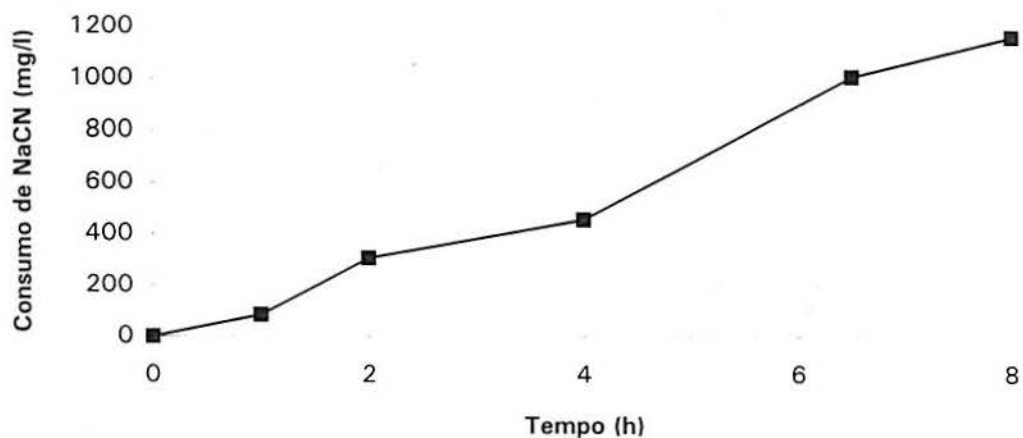
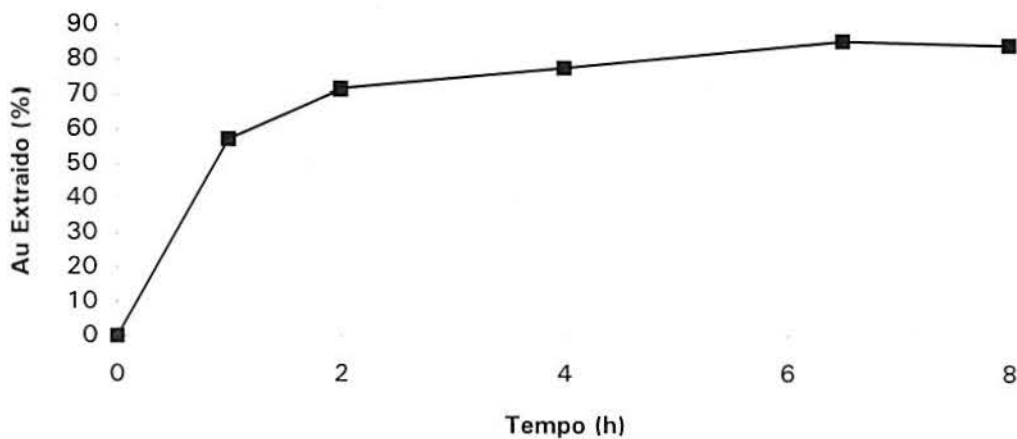
L IX - Ensaio de Extração Minério RM Moído, pré-aeração (12h) cianetação c/O₂(8h)

Massa de Minério (g):	2970.2
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	5.78
Tempo de Cianetação (h):	8

Volume da Solução (ml):	2970
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	8.5
pH natural da polpa:	6.95

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (mg/l)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0	10.72			0		
1	30	3.3	0.10	9.80	57.1	10.65	915		85		2.86
2	30	4.1	0.22	12.28	71.5	10.60	694		306		2.86
4	30	4.4	0.35	13.29	77.4	10.50	543	1.36	457		2.86
6.5	20	4.8	0.45	14.61	85.1	10.53	673		1007		2.86
8	-	4.7	-	14.41	83.9	10.47	521		1159		2.86

Au no rejeito: 0.93 ppm

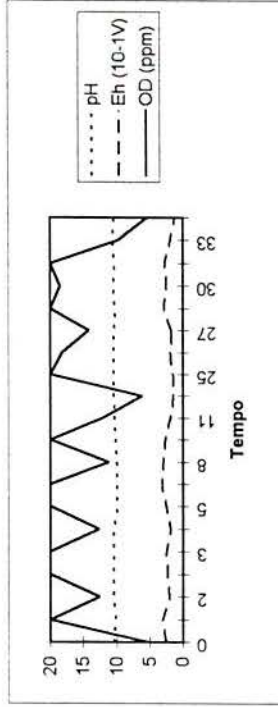


Ensaio: LX massa(g): 2932 Minério: RM86% Polpa(%): 50 Reator: becker 5l Volume de solução(l): 2,95

PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante: AR Temperatura(°C): 26 OD em água: 7,5
 CaO (relação inicial g/kg minério): 2,95 Agitação(RPM): 156

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura (°C)
0			3,6	1	8,06		26
0	12,17	-0,3	3,8	1			
12			5,2	1			



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 1 gNaCN: 2,95

Duração da lixiviação(h): 48

Agente oxigenador: H2O2 30%

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (ml/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura (°C)	Volume total de H2O2 adic
0			10,42	2,49	0,3	5,4		0,05		10,51	26	
1	LX-1	35	10,15	3,1		20	543	0,2	1,3495	10,48		18ml
2	LX-2	35	10,4	2,05	0,3	12,6	780	0,2				
2,5			10,44	2,3		20						
3			10,45	2,51		20						
4	LX-4	35	10,4	1,9	0,3	12,7	477	0,2	1,5415	10,51	25,5	27ml
5			9,93	2,5		20						
7	LX-7	35	9,93	3,23		20	109	0,3	2,6299	10,61	26	
8			10	3		11,2						
10			10,19	2,71		20		0,2		10,45		75,6ml
11	LX-11	35	10,39	1,96	0,3	12,2	304	0,4	2,0532	10,73	26	84,6ml
24	LX-24	35	10,45	1,42	0,3	6,2	369	0,1	1,8616	10,5	26	93,6ml
25			10,45	1,6		20						
26			10,46	1,97		18,2						
27			10,45	1,77	0,3	14,2						
29			10,23	2,97		20		0,2		10,5	26	
30			10,51	2,57	0,3	18,5						
31			10,31	2,87		20		0,2		10,63		98,1ml
33	LX-33	35	10,54	1,92	0,3	9,8	206		2,3415	10,44		107,1ml
48	LX-48	35	10,48	1,31		5,5	542	0,2		10,7	26	

L.X Ensaio de Extração do Minério RM Moído, pré-aeração (12h) e lixiviação c/H₂O₂ (48h)

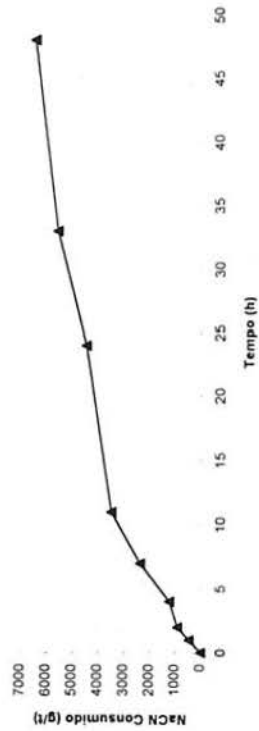
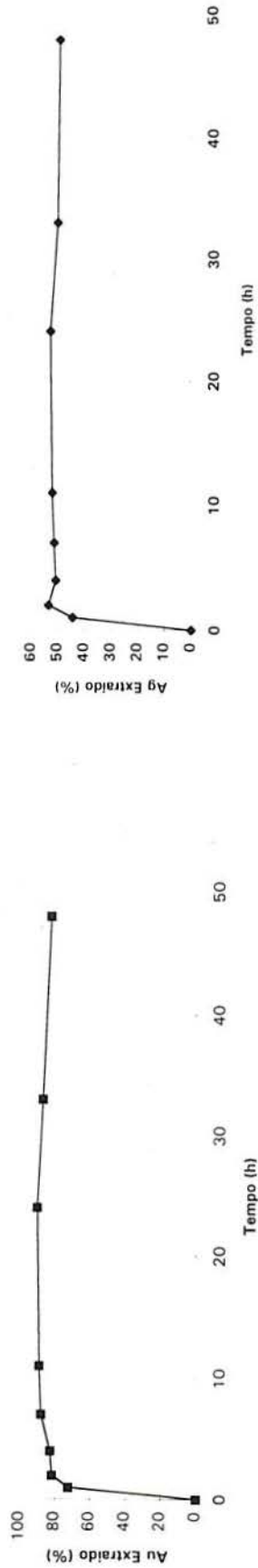
Massa de Minério (g):	2.932
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro calc. da alim. (g/t):	5.92
Teor de Prata calc. da alim. (g/t):	2.95

Volume da Solução (ml)	2950
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	8.1
pH natural da polpa:	

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na alíquota (mg/l)	Ouro na solução (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	Prata na alíquota (mg/l)	Prata na solução (mg/l)	Prata Extraída (mg)	Taxa Extr. de Prata (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (K-g/t)
0					0				0	10.51			0		
1	35	4.3	0.15	12.54	72.3	1.3	0.05	3.8	44.4	10.15	543	1.39	457	0.20	2.76
2	35	4.8	0.32	14.16	81.6	1.55	0.10	4.6	53.4	10.40	780		915	0.20	2.83
4	35	4.8	0.48	14.33	82.6	1.45	0.15	4.4	50.7	10.40	477	1.54	1218	0.20	2.90
7	35	5.0	0.66	15.23	87.8	1.45	0.20	4.4	51.2	9.93	109	2.63	2356	0.50	2.97
11	35	5.0	0.83	15.41	88.8	1.45	0.25	4.5	51.8	10.39	304	2.05	3476	0.40	3.14
24	35	5.0	1.01	15.58	89.8	1.45	0.30	4.5	52.4	10.45	369	1.86	4436	0.50	3.27
33	35	4.8	1.17	15.02	86.6	1.35	0.35	4.3	49.6	10.54	206	2.34	5529	0.20	3.44
48	-	4.4	-	14.15	81.6	1.3	-	4.2	48.4	10.48	543		6362		3.51

Teores no Rejeito (ppm)	
Au	1.09
Ag	1.52

Teores no licor final (ppm)	
As	
Fe	25.5
Cu	4
Ni	8.2



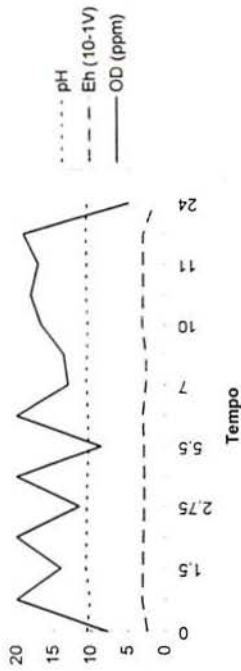
Ensaio: LXI massa(g): 3089 polpa: 50% Reator: Becker 5l Volume de solução(l): 3,1

PRÉ-AERAÇÃO Temperatura(°C): 23 OD em água: 7,8

Agente Oxidante: AR Duração(h): 12 Agitação(RPM): 160

CaO(relação inicial g/kg minério): 2,7

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura (°C)
0	7,2			1	8,34		
0	12,05	1,82	4,8	1			24
12	10,23	2,68	4,5	1			23
12,5	10,2	2,4	5,3	1	0,3	10,4	



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 1 gNaCN: 3,1 Duração da lixiviação(h): 24 Agente oxigenador: H2O2-10%

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (ml/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura (°C)	Volume total de H2O2
0			10,5	2,4	0,3	7,8						
1	LXI-1	35	10,11	3,1	0	20	564	0,5	1,3705			18ml
1,5			10,61	3	0,3	14						27ml
2	LXI-2	35	10,52	2,9	0	20	732					40,5ml
2,75			10,5	2,8	0	11,5						72,5ml
4	LXI-4	35	10,4	2,76	0	20	608	0,1		10,51	24,5	81,5ml
5,5			10,3	2,8	0,3	8,6						108,5ml
6			10,32	2,98	0	20						117,5ml
7	LXI-7	35	10,56	2,54	0,3	13	542	0,2		10,55		
9			10,47	2,53	0,3	13,6			1,4371	10,53		
10			10,32	3,03	0,3	16,6		0,2				
10,2			10,55	2,91	0,3	18						
11	LXI-11	35	10,47	2,85	0	17	412	0,1				
11,5			10,59	2,85	0,3	19			1,8372			
24	LXI-24	35	10,43	1,4	0	4,8	586					

LXI Ensaio de Extração do Minério RM Moido, pré-aeração (12h) e lixiviação c/H₂O₂(24h)

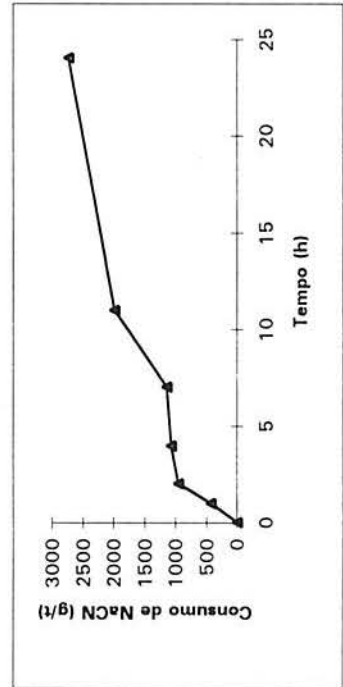
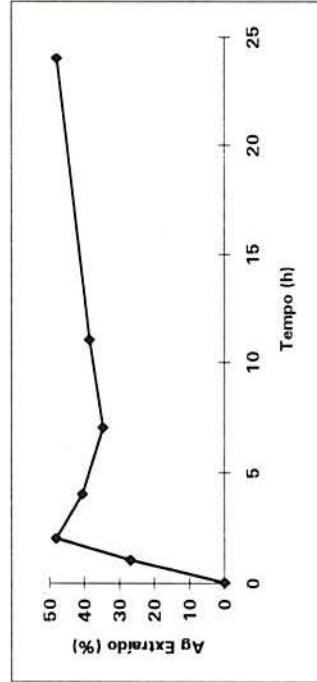
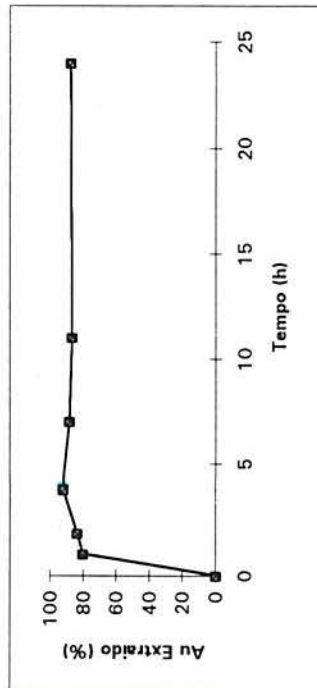
Massa de Minério (g):	3089
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro calc. da alim. (g/t):	7,99
Teor de Prata calc. da alim. (g/t):	4,03

Volume da Solução (ml)	3100
Granulometria da Amostra (mm):	-0,074
Cal adicionado no início (g):	8,64
pH natural da polpa:	7,2

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na alíquota (mg/l)	Ouro na solução (mg)	Ouro na alíquota (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	Prata na alíquota (mg/l)	Prata na solução (mg/l)	Prata Extraída (mg)	Taxa Extr. de Prata (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0	10,5		0			
1	35	6,4	0,22	1,08	80,3	1,08	0,04	3,3	26,9	10,11	564	1,37	0,50	2,80	
2	35	6,6	0,46	1,92	83,8	1,92	0,11	6,0	48,1	10,52	732			2,96	
4	35	7,2	0,71	1,6	92,2	1,6	0,16	5,1	40,7	10,40	608		0,30	2,96	
7	35	6,8	0,95	1,34	88,2	1,34	0,21	4,3	34,7	10,56	542	1,44	0,20	3,06	
11	35	6,6	1,18	1,48	86,7	1,48	0,26	4,8	38,5	10,47	412	1,84	0,10	3,12	
24	-	6,6	-	1,84	87,6	1,84	-	6,0	47,9	10,43	586	2,739		3,15	

Teores no Rejeito (ppm)	
Au	0,99
Ag	2,1

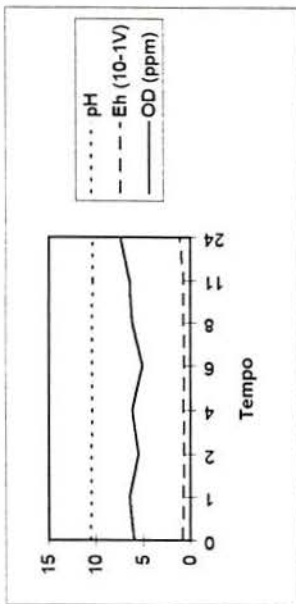
Teores no licor final (ppm)	
Fe	11,2
Cu	8,3
Ni	3,1



Ensaio: LR-I massa(g): 7741 Minério: RMM2 Polpa(%): 50 Reator: Reator 20I Volume de solução(l): 7,8

PRÉ-AERAÇÃO
 Agente Oxidante: AR Duração(h): 12 OD em água: 6,6
 CaO (relação inicial g/kg minério): 2,9 Agitação(RPM): 160

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura °C
0	7,16			1	22,45		23
0	12,12	1,33	4,4	1			
12	9,97	2,53	5,8	1	1	10,59	24,5



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l): 1 gNaCN: 7,8 Duração da lixiviação(h): 24 Agente oxigenador: AR

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (l/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura °C
0			10,59	0,79	1	6				10,63	
1	LRI-1	30	10,53	0,72	1	6,5	824			10,51	
2	LRI-2	30	10,49	0,69	1	5,5	694	0,05		10,51	24
4	LRI-4	30	10,41	0,73	1	6,2	542	0,1	3,5681	10,52	25
6	LRI-6	30	10,45	0,7	1	5,1	802	0,1		10,5	25
8	LRI-8	30	10,44	0,72	1	6,2	737	0,2		10,53	26
11	LRI-11	30	10,37	0,72	1	6,5	575	1	3,315	10,73	26
24	LRI-24		10,35	1,16	1	7,4	505				26

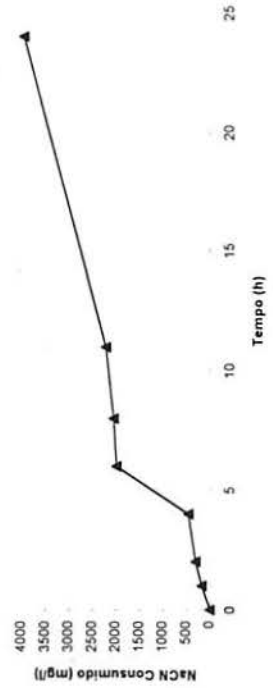
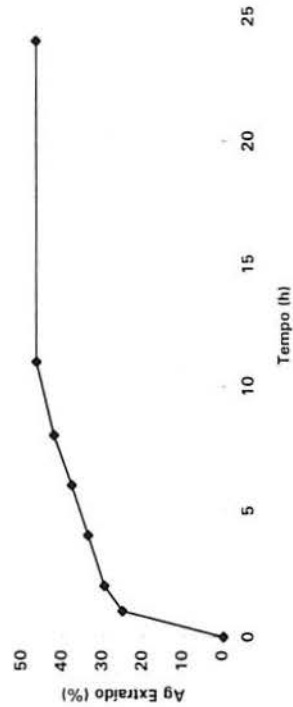
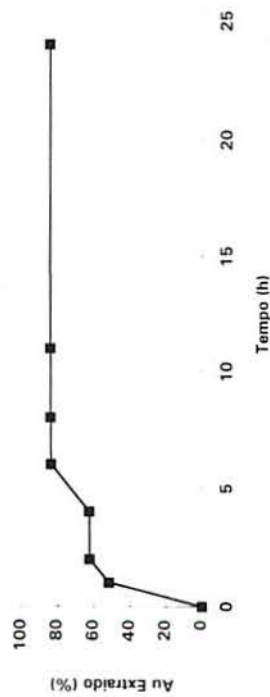
LR I Ensaio de Extração do Minério RM Moído c/ pré-aeração e lixiviação c/ar em reator - duração 24h

Massa de Minério (g):	7741
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro calc. da alim. (g/t):	6.07
Teor de Prata calc. da alim. (g/t):	3.00

Volume da Solução (ml)	7800
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	23.45
pH natural da polpa:	7.16

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg)	Ouro na Aliq. (mg/l)	Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	Prata na solução (mg)	Prata na Aliq. (mg/l)	Extraída (mg)	Taxa Extr. de Prata (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (mg/l)	CaO Adic. (g)	CaO Cons. (Kg/t)
0					0				0	10.59			0		
1	30	3.1	0.09	24.34	51.8	0.02	0.75	5.9	25.2	10.53	824		176		3.03
2	30	3.8	0.21	29.34	62.5	0.03	0.88	6.9	29.7	10.49	694		306	0.05	3.03
4	30	3.8	0.32	29.46	62.7	1	1	7.8	33.8	10.41	542	3.57	458	0.10	3.04
6	30	5.0	0.47	39.32	83.7	0.03	1.12	8.8	37.8	10.45	802		1983	0.10	3.05
8	30	5.0	0.62	39.47	84.0	0.04	1.25	9.8	42.2	10.44	737		2048	0.20	3.06
11	30	5.0	0.77	39.62	84.3	0.04	1.38	10.8	46.6	10.37	575	3.32	2210	1.00	3.09
24	-	5.0	-	39.77	84.7	-	1.38	10.8	46.6	10.35	505		3940		3.22

Teores no Rejeito (ppm)	
Au	0.95
Ag	1.6

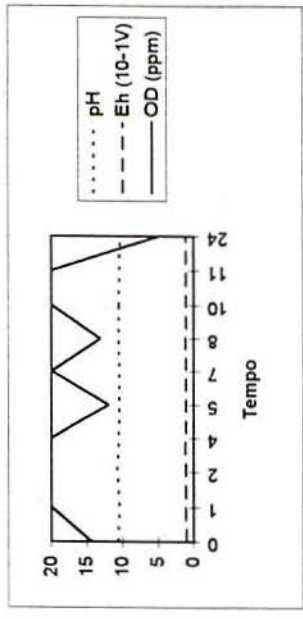


Ensaio:LR-III massa(g):8213 Minério:RM Polpa(%):50 Reator:Reator 20l Volume de solução(l):8,3

PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante:AR Duração(h):12 Temperatura(°C):29 OD em água:5,7
 CaO (relação inicial g/kg minério):2,7 Agitação(RPM):168

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura °C
0	6,94	1,69	3,7	1	22,2		30
0	11,93	1,22	5,8	1			
12	9,86	2,52	5,5	1	1	10,5	



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l):0,1 gNaCN:9,3 Duração da lixiviação(h):24 Agente oxigenador:O2

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (l/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura °C
0	Aliquota										
1	LRIII-1	35	10,58	0,99	1	14,4					
2	LRIII-2	35	10,44	1,19	1	20	716	1		10,8	27,5
4	LRIII-4	35	10,7	1,13	1	20	673		3,9769	10,6	
5			10,55	1,22	1	20	521			10,57	
7	LRIII-7	35	10,5	1,11	1	12					
8			10,48	1,11		20	760	0,3		10,6	28
10			10,55	1,18	1	13,2					
11	LRIII-11		10,51	1,07	1	20					
24	LRIII-24		10,47	1,11	1	20	608	1	3,2564	10,94	27,5
			10,38	1,11	1	5	543				29

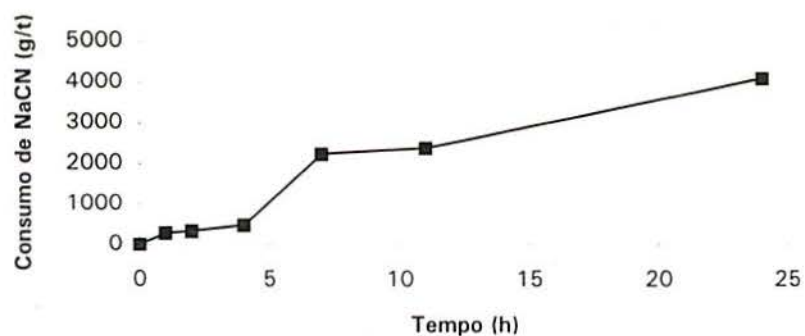
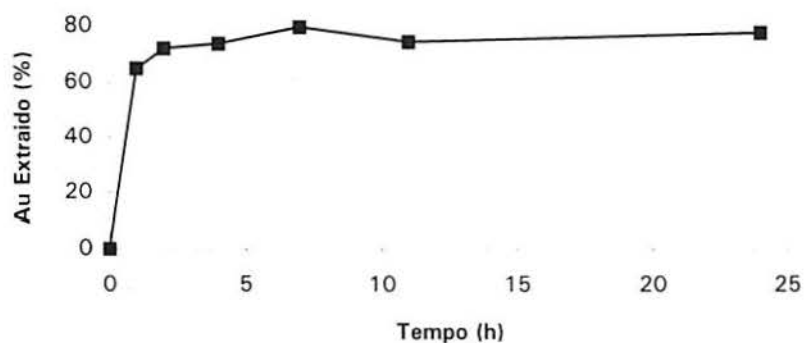
LR III Ensaio de Lixiviação do Minério RM Moído, pré-aeração (12h) e lixiviação c/ O₂ (24h)

Massa de Minério (g):	8213
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	7.31
Tempo de Cianetação (h):	24

Volume da Solução (ml)	8300
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	23.2
pH natural da polpa:	6.94

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	Cal Adic. (g)	Cal Cons. (Kg/t)
0					0	10.58			0		
1	35	4.7	0.16	39.01	65.0	10.44	716		284	1.00	2.82
2	35	5.2	0.35	43.32	72.2	10.70	673		327		2.95
4	35	5.3	0.53	44.34	73.8	10.55	521	3.98	479		2.95
7	35	5.7	0.73	47.84	79.7	10.48	760		2230	0.30	2.95
11	35	5.3	0.92	44.72	74.5	10.47	608	3.26	2382	1.00	2.98
24	-	5.5	-	46.57	77.6	10.38	543		4077		3.10

Teor de ouro no rejeito: 1.64 ppm

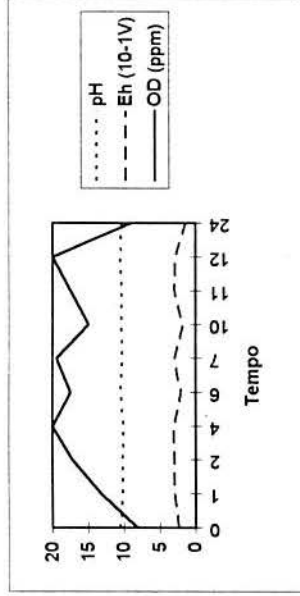


Ensaio:LR-IV massa(g):9226,4 Minério:RM Polpa(%):50 Reator:Reator 201 Volume de solução(l):9,3

PRÉ-AERAÇÃO

Agente Oxidante:AR Duração(h):12 Temperatura(oc):26 OD em água:7
 CaO(relação inicial g/kg minério):2,7 Agitação(RPM):160

Tempo (h)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	OD (ppm)	vazão (l/min)	CaO (g)	pH	Temperatura (oc)
0	6,98	1,73	3	1	25		26
0	12			1			
12,5	10,1	1,7	7,9	1	1	10,54	



CIANETAÇÃO

Concentração inicial de NaCN(g/l):1 gNaCN:9,3

Duração da lixiviação(h):24

Agente oxigenador:H2O2

Tempo (h)	Código Aliquota	Aliquota (ml)	pH	Eh (10 ⁻¹ V)	vazão (ml/min)	OD (ppm)	conc NaCN (mg/l)	Adição CaO (g)	Adição NaCN (g)	pH	Temperatura (oc)
0			10,55	2,35	0,3	8,2					
1	LRIV-1	35	10,15	3	0,3	13,2	500	0,3	4,65		25
2	LRIV-2	35	10,22	3,01	0,3	17,2	738	0,3			
4	LRIV-4	35	10,12	3,07	0,3	20	380	0,5	5,766	10,45	27
6			10,41	2,04	0,3	17,5					
7	LRIV-7	35	10,27	3	0,3	19,5	586	0,5	3,8502	10,43	27
10			10,36	1,79	0,3	15		0,3			
11	LRIV-11	35	10,35	2,95	0,3	17,5	586	0,5	3,8502		27
12			10,54	2,84	0,3	20					
24	LRIV-24	35	10,35	1,4	0,3	9	515				25

LR IV Ensaio de Lixiviação do Minério RM Moído, pré-aeração (12h) e lixiviação c/ H2O2 (24h)

Massa de Minério (g):	9226.4
NaCN inicial na solução (mg/l):	1000
Teor de Ouro Calc. da alim. (g/t):	6.75
Tempo de Cianetação (h):	24

Volume da Solução (ml)	9300
Granulometria da Amostra (mm):	-0.074
Cal adicionado no início (g):	26
pH natural da polpa:	6.98

Tempo (h)	Volume da Aliq. (ml)	Ouro na solução (mg/l)	Ouro na Aliquota (mg)	Ouro Extraído (mg)	Taxa Extr. de Ouro (%)	pH da solução	NaCN solução (mg/l)	NaCN Adic. (g)	NaCN Cons. (g/t)	Cal Adic. (g)	Cal Cons. (Kg/t)
0					0	10.55			0		
1	35	4.1	0.14	38.13	61.2	10.15	500	4.65	500	0.30	2.82
2	35	5.1	0.32	47.57	76.3	10.22	738		2587	0.30	2.85
4	35	5.7	0.52	53.33	85.6	10.12	380	5.77	2945	0.50	2.88
7	35	5.4	0.71	50.74	81.4	10.27	586	3.85	5624	0.80	2.94
11	35	5.9	0.92	55.58	89.2	10.35	586	3.85	7549	0.50	3.02
24	-	5.6	-	53.00	85.0	10.35	515		9545		3.08

Teor de ouro no rejeito: 1.01 ppm

