

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA EM REJEITO DA USINA
DE BENEFICIAMENTO DE MORRO DO OURO, PARACATU, MG

M.M.M.L.Tassinari¹ ; C.A.I.Oba² ; J.L.Beraldo³

Os estudos de caracterização tecnológica efetuados em amostras de rejeito final de lixiviação da planta industrial da RPM (Rio Paracatu Mineração), tiveram por objetivo determinar a forma de ocorrência do ouro remanescente, principalmente quanto aos seus aspectos de associação com a ganga presente.

Por tratarem-se de produtos com granulação extremamente fina, o que dificulta sobremaneira o emprego de técnicas tradicionais de caracterização tecnológica, houve a necessidade de se aliar vários tipos de separação ou concentração, de modo a propiciar a obtenção de produtos mineralogicamente puros ou quase, os quais refletissem através do seu conteúdo em ouro, a partição do mesmo entre as várias espécies presentes e através dessas informações obter parâmetros para melhorar a performance da instalação existente.

Os resultados desses estudos sugerem que o ouro presente está associado ao material carbonoso, sulfetos e aos óxidos/hidróxidos de ferro.

TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF "MORRO DO OURO"
TAILINGS

The objective of this work was to determine the incident mode of the gold contained in a leaching tail sample, mainly with regard to its aspects of association with the present gangue.

These studies were developed with samples of extremely fine size distribution, what implies in a great difficulty on executing this kind of evaluation.

Therefore, there was a need to employ several techniques of separation or concentration in laboratory scale, for determining not only the mineralogical composition, but also, and mainly, the partition of gold among the other mineral constituents.

The results of these studies suggest that the gold is associated with coal-graphite, sulfides and iron oxides-hydroxides.

¹Paulo Abib Engenharia S.A., Rua Capitão Francisco Teixeira, No-
queira, 154, São Paulo - SP Brasil; CEP 05038

²Paulo Abib Engenharia S.A.

³Paulo Abib Engenharia S.A.

INTRODUÇÃO

A mina de Morro do Ouro está localizada nas proximidades da Cidade de Paracatu, MG.

Morro do Ouro é uma elevação com encostas de pequena inclinação formada por filitos intemperizados, contendo um único horizonte de 1 a 2 m de quartzitos. Não há praticamente cobertura estéril a ser removida.

Com o programa de pesquisa efetuado demonstrou-se uma reserva medida de 124 milhões de toneladas, com teor de ouro de 0,54g/t e uma reserva indicada de 174 milhões de toneladas, com teor de ouro de 0,48g/t.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O esquema do procedimento experimental adotado está exposto na Figura 1. A amostra foi submetida a análise granulométrica por peneiramento a úmido em peneiras com telas de 0,149; 0,074 e 0,037 mm, respectivamente 100, 200 e 400 malhas Tyler, sendo a fração passante em 0,037 mm deslamada em microciclone de laboratório ($d \approx 5 \mu\text{m}$ para o ouro).

A seguir, com as frações até 0,037 mm foram executados ensaios de separações minerais por líquidos densos, nas densidades $2,50\text{g/cm}^3$; $2,90\text{g/cm}^3$ e $3,30\text{g/cm}^3$, obtendo-se por fração um produto flutuado em $2,50\text{g/cm}^3$, um produto flutuado em $2,90\text{g/cm}^3$, um produto flutuado em $3,30\text{g/cm}^3$ e um produto afundado em $3,30\text{g/cm}^3$. O objetivo básico das separações densimétricas foi separar a mineralogia presente, determinando-se o conteúdo de ouro associado a cada produto, procurando-se obter os seguintes produtos:

Produto	Mineralogia
$d < 2,50\text{g/cm}^3$	- material carbonoso com ouro associado
$2,50 < d < 2,90\text{g/cm}^3$	- material carbonoso e silicatos, ambos com ouro associado.

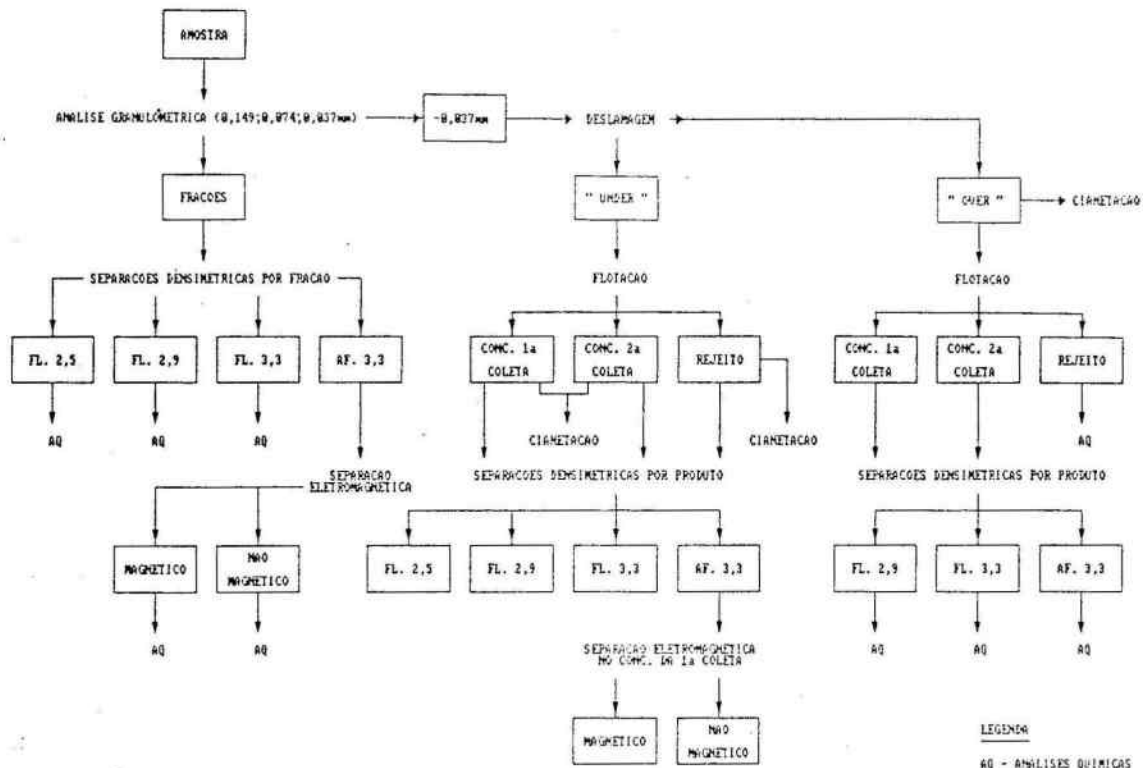


FIGURA 1
ESQUEMA DE PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

$2,90 < d < 3,30\text{g/cm}^3$

- silicatos leves liberados
- material carbonoso e silicatos, com ouro associado

$d > 3,30\text{g/cm}^3$

- sulfetos liberados
- óxidos/hidróxidos de ferro liberados
- sulfetos e óxidos/hidróxidos de ferro com ouro associado

Os produtos afundados obtidos foram submetidos a ensaios de separação eletromagnética em aparelho Frantz (utilizando média e alta densidades), gerando um produto magnético e um não magnético. Neste ensaio procurou-se separar a seguinte mineralogia:

Produto	Mineralogia
magnético	<ul style="list-style-type: none"> - Óxidos/hidróxidos de ferro liberados - óxidos/hidróxidos de ferro com algum ouro - algum sulfeto magnético contendo ou não ouro associado
não magnético	<ul style="list-style-type: none"> - sulfetos liberados - ouro misto ou livre, se existir.

A fração - 0,037 mm deslamada ("underflow") foi submetida a ensaio de flotação com coleta estagiada, gerando um concentrado correspondente à 1ª coleta, um concentrado correspondente à 2ª coleta e um rejeito final.

Todos os produtos obtidos a partir da flotação do "underflow" foram submetidos a ensaios da separação densimétrica em líquidos densos, escala de laboratório em $2,50\text{g/cm}^3$; $2,90\text{g/cm}^3$ e $3,30\text{g/cm}^3$, sendo efetuada, com o produto afundado em $3,30\text{g/cm}^3$ concentrado da 1ª coleta, separação eletromagnética em aparelho Frantz, obtendo-se um produto magnético e um não magnético.

A lama ("overflow" do microciclone) também foi submetida a ensaio de flotação estagiada, obtendo-se o concentrado da 1^a coleta, o da 2^a coleta e um rejeito final; os dois concentrados foram igualmente submetidos a ensaios de separação densimétrica.

Todos os produtos obtidos foram analisados química e mineralogicamente (análises de Au por Absorção Atômica).

Paralelamente efetuaram-se ensaios de cianetação em garrafa no concentrado da 1^a coleta + 2^a coleta do "underflow", no rejeito do "underflow" e em uma alíquota do "overflow".

RESULTADOS OBTIDOS

Características Gerais - Tabela I e Tabela II

A amostra de rejeito é constituída por quartzo e minerais micáceos, com óxidos/hidróxidos de ferro (hematita, magnetita e goethita) e sulfetos subordinados (pirita e traços de pirrotita), além de pequena quantidade de material carbonoso e ouro. Sua composição química está exposta na Tabela I.

TABELA I

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO REJEITO (%)

SiO ₂	69,6
Al ₂ O ₃	19,8
Fe ₂ O ₃	5,46
Mat. Volátil	4,45
Carbono Fixo	1,28
S ²⁻	0,33
Au	3,02g/t

A análise granulométrica efetuada, indica tratar-se de um produto com granulometria fina, com 69% em peso na forma de lama ("overflow" do microciclone), fração esta que contém aproximada-

TABELA II

DISTRIBUIÇÃO DE TEORES POR FAIXA GRANULOMÉTRICA

FRAÇÃO	% PESO		TEOR	DISTRIBUIÇÃO
	RETIDO	ACUMUL.	Au (g/t)	Au (%)
+0,149 mm	2,60	2,60	12,67	10,95
-0,149 +0,074 mm	5,05	7,65	11,97	20,04
-0,074 +0,037 mm	6,17	13,82	5,91	12,09
"underflow"	17,46	31,28	6,68	38,67
" overflow"	68,72	100,00	0,80	18,24
Total Calc.	100,00	- - -	3,01	100,00

mente 18% do ouro total da amostra; acima de 0,037 mm estão contidos cerca de 43% do ouro total (Tabela II).

Observa-se que os teores de ouro decrescem progressivamente para os finos: até a fração +0,074 mm situam-se na faixa de 12g/t; abaixo de 0,074 mm até a fração -0,037 mm deslamada ("underflow" do microciclone) permanecem da ordem de 6g/t e na lama cai para 0,80g/t.

Separações Minerais na Fração +0,037 mm - Tabela III

Os teores mais elevados de ouro estão associados aos produtos flutuados na densidade $d = 2,50\text{g/cm}^3$ e aos produtos afundados na densidade $d = 3,30\text{g/cm}^3$ não magnéticos.

A separação em $d = 2,50\text{g/cm}^3$ gerou um produto leve com teor médio de ouro de 166g/t, o que significa cerca de 10% do ouro (4,2% em relação ao ouro total da amostra). Ao longo do intervalo granulométrico considerado o teor mais elevado obtido (408g/t) ocorre na fração +0,149 mm, com decréscimo acentuado em direção aos finos. Este produto apresenta 37% de carbono fino, na forma de carvão.

O produto afundado em $d = 3,30\text{g/cm}^3$ não magnético, apresenta teor médio de 191g/t, o que significa cerca de 8% do ouro contido (3,6% em relação ao ouro total da amostra). Ao longo do intervalo granulométrico considerado os teores de ouro mais elevados ocorrem nas frações extremas, atingindo valor máximo de 315g/t na fração +0,149 mm. Neste produto concentram-se os sulfetos (arsenopirita e pirita), aos quais o ouro parece estar associado.

Fração -0,037 mm Deslamada ("Underflow")

Os ensaios de flotação efetuados, cujos resultados estão expostos na Tabela IV indicam ser possível a obtenção de um concentrado correspondente à 1ª coleta, com teor de 56,5g/t, o que significa 84% do ouro contido (cerca de 33% do ouro total da amostra); um concentrado da 2ª coleta com teor de ouro de 2,4g/t

TABELA III

DISTRIBUIÇÃO DE TEORES NOS PRODUTOS DE SEPARAÇÃO MINERAL

FRAÇÃO mm	PRODUTO	% PESO		TEOR	Distribuição (%)	
		Ensaio	Amostra	Au	Au	
				(g/t)	Ensaio	Amostra
+0,149	d<2,50	0,77	0,02	408	24,75	2,71
	2,50<d<2,90	69,23	1,80	4,32	23,56	2,58
	2,90<d<3,30	17,69	0,46	8,15	11,36	1,24
	d>3,30 MAG	12,15	0,32	38,00	36,37	3,98
	d>3,30 NMAG	0,16	0,00416	315	3,97	0,43
	Total Calc.	100,00	2,60	12,70	100,00	10,95
-0,149+0,074	d<2,50	0,67	0,03	106	5,94	1,19
	2,50<d<2,90	51,92	2,62	1,26	5,47	1,10
	2,90<d<3,30	13,30	0,67	5,86	6,52	1,31
	d>3,30 MAG	33,64	1,70	27,30	76,80	15,39
	d>3,30 NMAG	0,47	0,02	134	5,27	1,06
	Total Calc.	100,00	5,05	11,96	100,00	20,04
-0,074+0,037	d<2,50	0,37	0,02	43,90	2,75	0,33
	2,50<d<2,90	61,63	3,80	0,16	1,67	0,20
	2,90<d<3,30	8,07	0,50	0,16	0,22	0,03
	d>3,30 MAG	29,46	1,82	15,60	77,85	9,41
	d>3,30 NMAG	0,47	0,03	220	17,51	2,12
	Total Calc.	100,00	6,17	5,90	100,00	12,09
Total +0,037	d<2,50	0,55	0,08	166	9,83	4,23
	2,50<d<2,90	59,51	8,22	1,42	9,00	3,88
	2,90<d<3,30	11,79	1,63	4,76	5,98	2,58
	d>3,30 MAG	27,73	3,83	22,71	66,82	28,78
	d>3,30 NMAG	0,41	0,06	191	8,37	3,61
	Total Calc.	100,00	13,82	9,39	100,00	43,08

TABELA IV

RESULTADOS DO ENSAIO DE FLOTAÇÃO NO "UNDERFLOW"

FRAÇÃO	PRODUTO	% PESO		TEOR	DISTRIBUIÇÃO %	
		Ensaio	Amostra	Au (g/t)	Ensaio	Amostra
"underflow"	1 ^a Coleta	9,96	1,74	56,52	84,22	32,57
	2 ^a Coleta	13,83	2,41	2,39	4,95	1,91
	REJEITO	76,21	13,31	0,95	10,83	4,19
	Total Calc.	100,00	17,46	6,68	100,00	38,67

(5% do ouro da fração; 2% do ouro total da amostra) e um rejeito com teor de cerca de 1g/t (correspondente a 11% do ouro da fração ; 4% do ouro total da amostra).

As separações minerais executadas no concentrado da 1^a coleta (Tabela V) indicam ser possível a obtenção de um produto afundado em $3,30\text{g/cm}^3$ não magnético, com teor de ouro de 3500g/t, o que significa 68% do ouro contido (22% do ouro total da amostra). Este produto é essencialmente constituído por sulfetos. O produto magnético correspondente apresenta um teor de ouro de 54g/t, o que significa 30% do ouro contido ou cerca de 10% do ouro total da amostra. Este produto é essencialmente constituído por óxidos/hidróxidos de ferro e secundariamente por pirrotita.

Para o rejeito a separação densimétrica gerou um produto afundado em $d = 3,30\text{g/cm}^3$ com teor de ouro de 5,5g/t, o que significa 84% do ouro contido (3,5% do ouro total da amostra).

O ensaio de cianetação efetuado nos concentrados das 1^a + 2^a coletas, indicou que cerca de 79% do ouro contido são passíveis de lixiviação, o que corresponde a cerca de 27% do ouro total da amostra.

Para o rejeito dessa flotação, o ensaio de cianetação indicou que aproximadamente 66% do ouro aí contido é passível de lixiviação, o que significa 2,8% em relação ao ouro total da amostra.

Fração Lama ("Overflow")

A flotação efetuada, cujos resultados estão expostos na Tabela VI resultou em um concentrado da 1^a coleta com teor de ouro da ordem de 1g/t, o que significa 40% do ouro do produto (7% em relação ao ouro total da amostra); o concentrado da 2^a coleta recupera cerca de 1% do ouro total da amostra e o rejeito mantém um teor residual de ouro de 0,6g/t, o que significa 53% do ouro do produto (aproximadamente 10% do ouro total da amostra).

Os ensaios de separação densimétrica efetuados para os con-

TABELA V

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SEPARAÇÃO MINERAL
NOS PRODUTOS DE FLOTAÇÃO DO "UNDERFLOW"

FRAÇÃO	PRODUTO	% PESO		TEOR	DISTRIBUIÇÃO (%)	
		Ensaio	Amostra	Au (g/t)	Ensaio	Amostra
"underflow"	d<2,90	57,60	1,00	0,42	0,43	0,14
1 ^a Coleta	2,90<d<3,30	9,50	0,17	10,80	1,82	0,59
	d>3,30 MAG	31,81	0,55	53,50	30,15	9,82
	d>3,30 NMAG	1,09	0,02	3500	67,60	22,02
	Total Calc.	100,00	1,74	56,52	100,00	32,57
"underflow"	d<2,90	69,03	1,67	0,11	3,18	0,06
2 ^a Coleta	2,90<d<3,30	13,30	0,32	3,02	16,83	0,32
	d>3,30	17,67	0,43	10,80	79,98	1,53
	Total Calc.	100,00	2,41	2,39	100,00	1,91
"underflow"	d<2,90	75,09	9,99	0,08	6,33	0,27
REJEITO	2,90<d<3,30	10,42	1,39	0,86	9,44	0,40
	d>3,30	14,49	1,93	5,52	84,24	3,53
	Total Calc.	100,00	13,31	0,95	100,00	4,19
"underflow"	d<2,90	72,51	12,66	0,11	1,20	0,47
TOTAL	2,90<d<3,30	10,73	1,87	2,11	3,39	1,31
	d>3,30	16,76	2,93	38,00	95,41	36,90
	Total Calc.	100,00	17,46	6,67	100,00	38,67

TABELA VI

RESULTADOS DO ENSAIO DE FLOTAÇÃO NO "OVERFLOW"

FRAÇÃO	PRODUTO	% PESO		TEOR	DISTRIBUIÇÃO %	
		Ensaio	Amostra	Au (g/t)	Ensaio	Amostra
"overflow"	1 ^a Coleta	26,59	18,27	1,21	40,15	7,32
	2 ^a Coleta	7,59	5,22	0,77	7,29	1,33
	REJEITO	65,82	45,23	0,64	52,56	9,59
	Total Calc.	100,00	68,72	0,80	100,00	18,24

centrados da 1^a e da 2^a coletas (Tabela VII), indicam para a 1^a coleta que 80% do ouro aí contido permanecem associados ao produto leve ($d < 2,90\text{g/cm}^3$), o que significa cerca de 6% do ouro total da amostra; o produto afundado em $d = 3,30\text{g/cm}^3$ atinge um teor de ouro de 18g/t, mas recupera apenas 0,35% do ouro total da amostra.

O ensaio de cianetação efetuado indica que 72% do ouro (13% do ouro total da amostra) é passível de ser lixiviado.

Todos os resultados obtidos ao longo dos estudos efetuados estão resumidos na Figura 2.

CONCLUSÕES

A conjugação dos ensaios de separações minerais e dos testes de cianetação efetuados na amostra de rejeito de hidrometalurgia, originado no processo desenvolvido pela RPM, sugerem que o ouro contido ($\sim 3\text{g/t}$) encontra-se associado ao material carbonoso, aos sulfetos e aos óxidos/hidróxidos de ferro presentes, estimando-se as seguintes partições em relação ao ouro total contido:

	partição Au (%)
material carbonoso	25
sulfetos	28
óxidos/hidróxidos de ferro	47

Com base nos resultados obtidos a partir dos estudos de caracterização tecnológica efetuados nesse rejeito, a RPM optou por executar testes em escala piloto, os quais resultaram em mudanças na etapa de flotação e na implantação de etapa CIL, conseguindo-se assim minimizar o efeito do material carbonoso presente, resultando num aumento da recuperação global do processo.

AGRADECIMENTOS

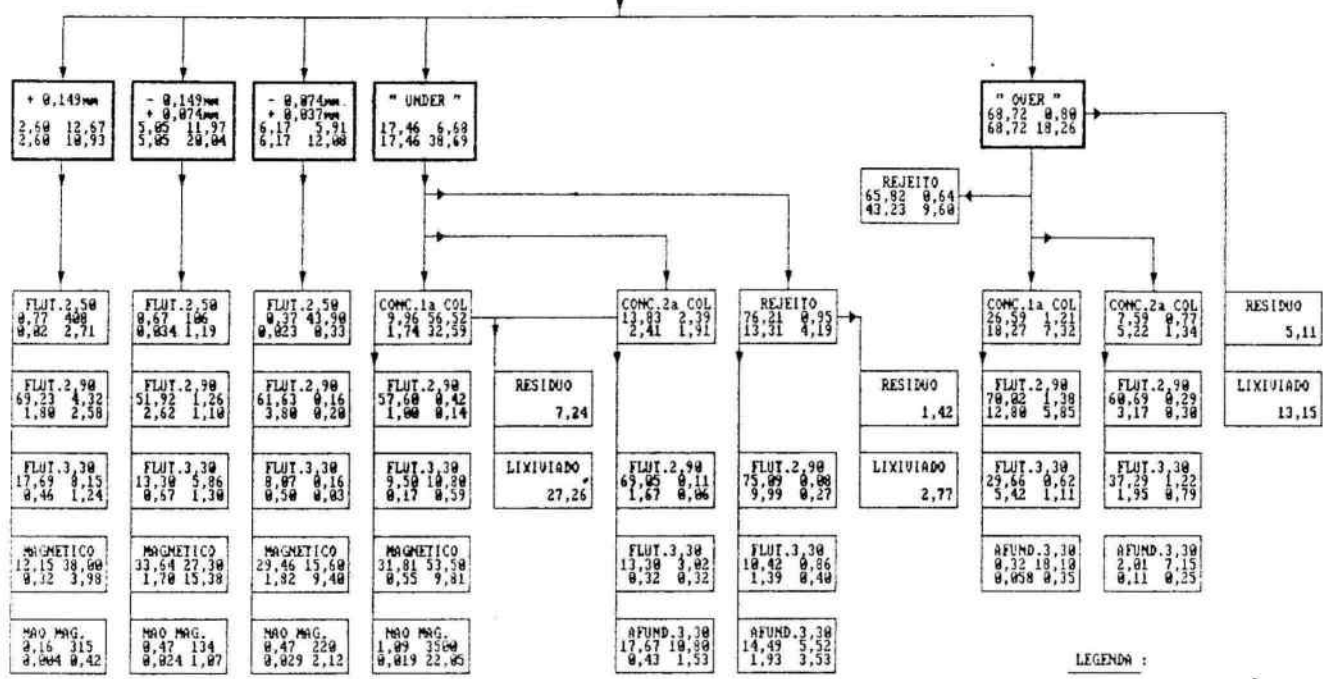
Os autores agradecem à diretoria da RPM pela autorização da publicação dos dados obtidos na execução deste trabalho.

TABELA VII

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE SEPARAÇÃO MINERAL
NOS PRODUTOS DE FLOTAÇÃO DO "OVERFLOW"

FRAÇÃO	PRODUTO	% PESO		TEOR	DISTRIBUIÇÃO %	
		Ensaio	Amostra	Au (g/t)	Ensaio	Amostra
"overflow"	d<2,90	70,02	12,79	1,38	79,98	5,86
1 ^a Coleta	2,90<d<3,30	29,66	5,42	0,62	15,22	1,11
	d>3,30	0,32	0,06	18	4,79	0,35
	Total Calc.	100,00	18,27	1,21	100,00	7,32
"overflow"	d<2,90	60,69	3,17	0,29	22,72	0,30
2 ^a Coleta	2,90<d<3,30	37,29	1,95	1,22	58,73	0,78
	d>3,30	2,01	0,10	7,15	18,55	0,25
	Total Calc.	99,99	5,22	0,77	100,00	1,33
TOTAL	d<2,90	67,95	15,96	1,16	71,18	6,16
1 ^a e 2 ^a	2,90<d<3,30	31,36	7,36	0,78	21,91	1,90
Coletas	d>3,30	0,70	0,16	11	6,91	0,60
	Total Calc.	100,00	23,49	1,11	100,00	8,65

REJEITO
100,00 3,02
100,00 100,00



LEGENDA :

AMOSTRA	
% PESO ENSAIO	Au g/t
% PESO AMOSTRA	RECUP. Au
	% NA AMOSTRA

FIGURA 2
RESULTADOS DAS SEPARACOES MINERAIS