



Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM
Processo Seletivo de Mestrado 2019



Nº de inscrição:

PROCESSO SELETIVO DE MESTRADO 2019
PROVA DE CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS – 22/01/2019
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
TRATAMENTO DE MINÉRIOS

CHAVE DE RESPOSTAS

Instruções aos candidatos:

- 1) Preencher o número de inscrição em todas as folhas;
- 2) O candidato que assinar a prova ou se identificar de qualquer forma diferente ao número de inscrição será desclassificado;
- 3) As questões devem ser respondidas no espaço reservado a elas;
- 4) Questões respondidas fora dos locais indicados serão desconsideradas;
- 5) Atente-se ao verso das folhas;
- 6) Utilizar caneta azul ou preta.



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM

Processo Seletivo de Mestrado 2019

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS

Nº de inscrição:



QUESTÃO 01

Os minérios de grafita cristalina (em flocos, palhetas ou *flakes*) geralmente possuem teores de carbono inorgânico entre 3 % e 8 %, tem ganga majoritária o quartzo (densidade de 2,65) e outros minerais silicatados como minerais secundários (com densidade média de 2,7). Embora as lâminas de grafeno que constituem a grafita apresentem fortíssima resistência mecânica (fruto das fortes ligações químicas entre os átomos de carbonos do plano), a força de ligação entre lâminas contíguas é muito débil, pois são ligações de van der Waals. Isso tem como consequência a muito baixa dureza do mineral (resultando grande facilidade de esfoliação e impregnação de superfícies de contato).

Uma campanha de desenvolvimento de processos para o aproveitamento de minério típico de grafita (densidade igual a 2,1) foi feita. A rota selecionada foi flotação com limpeza do concentrado por mesa oscilatória (tipo Wilfley). O minério em questão tem uma fração de argila (caulinita e esmectita) que pode ser retirada previamente por hidrociclonação, restando praticamente grafita e quartzo na alimentação do circuito de separação por espécie (concentração).

O coeficiente de esfericidade de Wadell (razão entre a área da esfera equivalente e a área superficial da partícula) era igual a 0,2 para as partículas de grafita e a 0,75 para as partículas de quartzo. A viscosidade dinâmica do fluido (água) é igual a 0,001 Pa.s.

Estudos prévios indicaram que, após cominuição e deslamagem (na alimentação da flotação), a distribuição de tamanhos (d_p) de partículas de quartzo era bem descrita pela equação de Rosin–Rammler–Sperling–Benett, dada em termos de fração passante acumulada e expressa por:

$$Y_{pass} = 1 - \exp \left[\ln \left(\frac{1}{2} \right) \times \left(\frac{d_p}{d_{50}} \right)^n \right]$$

A mediana do tamanho de partícula para esta distribuição resultou: $d_{50} = 40 \mu\text{m}$, enquanto que o índice de agudez, $n = 1,127$. Isso equivale a dizer, por exemplo, que 25 % ficariam retidos em uma peneira de $74 \mu\text{m}$.

Ensaio prospectório de flotação indicaram o uso de 80 g de óleo de pinho (primacialmente espumante) por tonelada de sólidos alimentados, em consórcio com querosene (como extensor de cadeia), dosado a 100 g/t, no pH 8,0, como ponto ótimo de operação. Não há necessidade de depressor de silicatos.

As partículas de ganga (quartzo) que são flotadas têm a mesma distribuição granulométrica da alimentação do circuito de flotação. Entretanto, a partição de quartzo para o rejeito da mesa é a seguinte: 100,0 % para partículas maiores que 74 micrômetros; e 32,0 % para partículas menores que esse tamanho. A partição de grafita para o concentrado da mesa era de 96 % para qualquer tamanho.



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEM
Processo Seletivo de Mestrado 2019
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS

Nº de inscrição:



QUESTÃO 01 - CONTINUAÇÃO

Nessa campanha experimental viu-se que, se o teor de grafita na alimentação do circuito de flotação era $v = 5\%$, resultava o teor de grafita no concentrado nesse circuito igual a $x = 16,0 \times v$ e, o correspondente teor de rejeito era igual a $y = 0,15 \times v$. O concentrado da flotação alimentava a mesa oscilatória, sendo o teor do rejeito da mesa igual a z e o concentrado da mesa igual a w .

Considerando — para facilidade de cálculo — circuito aberto de concentração, pede-se:

- A recuperação metalúrgica global de grafita no circuito de concentração (que engloba flotação e separação densitária em mesa);
- A recuperação metalúrgica global de quartzo no circuito de concentração (que engloba flotação e separação densitária em mesa);
- Causas plausíveis para a recuperação de quartzo na etapa de flotação, uma vez que óleo de pinho e querosene não apresentam atividade interfacial apreciável nas superfícies de silicato, no pH de trabalho.



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM
Processo Seletivo de Mestrado 2019
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS



Nº de inscrição:

RESPOSTA - QUESTÃO 01

Granulometria da alimentação do circuito de concentração:

$$Y_{puz} = 1 - \exp \left[\ln\left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{d_p}{d_{50}}\right)^n \right]$$

$d_{50} =$	40,0 μm
$n =$	1,127

Para tamanho: $d_p = 74,00 \mu\text{m}$, o passante acumulado será: $75,00\% = 1 - \text{EXP}(\text{LN}(0,5) * (d_p/d_{50})^n)$
e o retido será igual a: $25,00\% = \text{EXP}(\text{LN}(0,5) * (d_p/d_{50})^n)$

As partículas de quartzo flotadas têm a mesma distribuição granulométrica da alimentação da flotação.

Partição na mesa:		P/rejeito ("pesado")	P/concentrado ("leve")
Quartzo: partículas menores que	74,00 μm :	32,0%	68,0% = 1-G13
Quartzo: partículas maiores que	74,00 μm :	100,0%	0,0% = 1-G14
Grafita de qualquer tamanho:		4,0%	96,0% = 1-G15

Teor de grafita na alimentação da flotação: $v =$	5,0% = v
Teor de grafita no concentrado da flotação: $x =$	80,0% = $16 * v$
Teor de grafita no rejeito da flotação: $y =$	0,8% = $0,15 * v$
Recuperação metalúrgica de grafita na flotação:	85,80% = $R_{gra1} = (x/v) * (v-y) / (x-y)$
Recuperação metalúrgica de quartzo na flotação:	1,13% = $R_{qua1} = ((1-x)/(1-v)) * ((1-v)-(1-y)) / ((1-x)-(1-y))$
Teor de grafita na alimentação da mesa: $x =$	80,0% = x
Teor de grafita no concentrado da mesa: $w =$	88,3% = $w = x * K15 / (x * K15 + (1-x) * (H7 * K13 + H8 * K14))$
Teor de grafita no rejeito da mesa: $z =$	24,6% = $z = x * I15 / (x * I15 + (1-x) * (H7 * I13 + H8 * I14))$
Recuperação metalúrgica de grafita na mesa:	96,00% = $R_{gra2} = (w/x) * (x-z) / (w-z)$
Recuperação metalúrgica de quartzo na mesa:	51,00% = $R_{qua2} = ((1-w)/(1-x)) * ((1-x)-(1-z)) / ((1-w)-(1-z))$

Recuperação metalúrgica global de grafita:	82,37% = $R_{gra1} * R_{gra2}$
Recuperação metalúrgica global de quartzo:	0,58% = $R_{qua1} * R_{qua2}$

Mecanismos plausíveis para explicar a flotação do quartzo:

- 1) Flotação de quartzo devido a contaminação superficial com grafita por atrição ("smearing");
- 2) Carreamento fluidodinâmico das partículas;
- 3) Engalioamento mecânico das partículas na espuma ("entrapment");
- 4) Eventual cobertura por lama grafitica na superfície do quartzo ("slime coating"; menos provável).



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEM

Processo Seletivo de Mestrado 2019

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS

Nº de inscrição:

ENGENHARIA
MINERAL

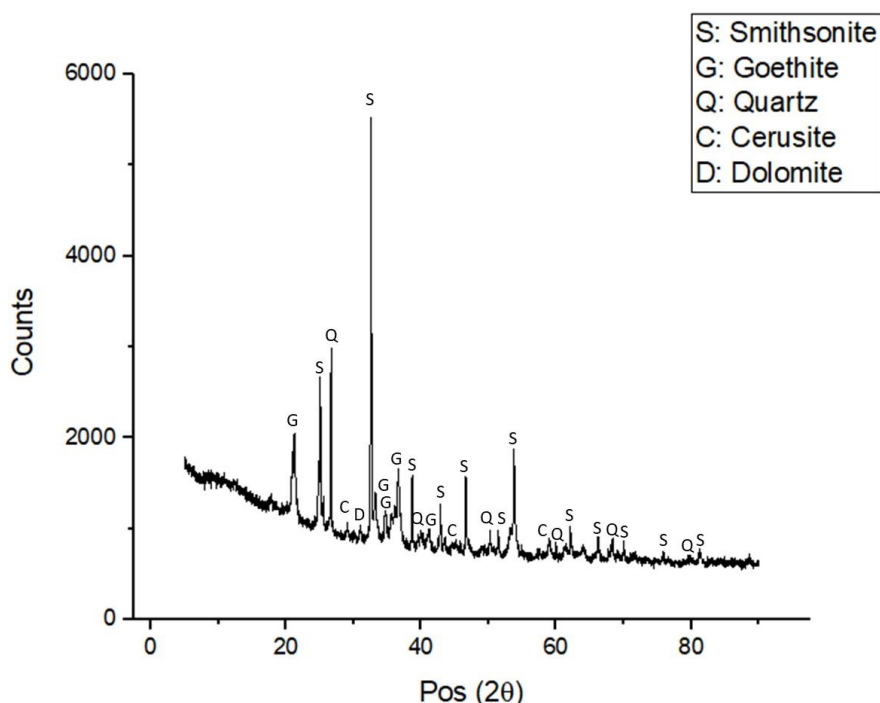


ALMA MATER IN
MINERALIA BRASILIENSIS

QUESTÃO 02

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINÉRIOS

No difratograma de raios X de uma amostra de minério de zinco oxidado de Ambrósia Norte (figura abaixo) foram identificados os seguintes minerais: smithsonita ($ZnCO_3$), goethita ($HFeO_2$), quartzo (SiO_2), cerussita ($PbCO_3$) e dolomita $CaMg(CO_3)_2$. A composição química da amostra foi: Zn = 10,6%, Fe = 31,2 %, Si = 6,3%; Pb = 2,3%, Ca = 1,7% e Mg = 1,1%.



Pede-se:

- Explicar o significado físico dos picos no difratograma de raios X.
- Como a amostra de minério deve ser preparada para análise por difração de raios X?
- Como são identificados os minerais no difratograma de raios X de uma dada amostra de minério?
- Com base na composição química da amostra, calcular a proporção dos minerais presentes na mesma.

Massas atômicas:

Zn = 65,4; Fe = 56; Si = 28, Pb = 207, Ca = 40, Mg = 24,3, O = 16, C = 12 e H = 1



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM

Processo Seletivo de Mestrado 2019

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS

**ENGENHARIA
MINERAL**



ALMA MATER IN
MINERALIA BRASILIENSIS

Nº de inscrição:

RESPOSTA - QUESTÃO 02

- a) R – Deverá escrever a equação da lei de Bragg e o que significado cada um dos termos da mesma. Em seguida, explicar o que ocorre quando lei de Bragg é satisfeita.
- b) R – Deverá descrever o método do pó total, contendo a faixa granulométrica das partículas para a referida análise.
- c) R – Deverá descrever como é efetuada a identificação dos minerais, usando o método de Hanawalt ou por software.
- d) R – Deverá fazer cálculos estequiométricos para determinação o teor teórico de cada um dos minerais. Em seguida, com base nos teores fornecidos, determina-se a proporção de cada um dos minerais.



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM

Processo Seletivo de Mestrado 2019

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS

ENGENHARIA
MINERAL



ALMA MATER IN
MINERALIA BRASILIENSIS

Nº de inscrição:

QUESTÃO 03

Foram realizados ensaios de separação em meio denso para a caracterização da separação densitária de uma amostra de minério de estanho obtendo os resultados:

Faixa Densitária	Alimentação		Afundado	
	% em massa	%Sn	% em massa	Sn(%)
- 2,55	2,0	0,003	0,0	0,003
2,55 – 2,60	9,0	0,04	6,0	0,04
2,60 – 2,65	26,0	0,04	13,5	0,04
2,65 – 2,70	20,0	0,04	27,0	0,04
2,70 – 2,75	12,0	0,2	44,0	0,2
2,75 – 2,80	10,5	0,3	67,5	0,3
2,80 – 2,85	8,0	0,4	79,5	0,4
2,85 – 2,90	2,5	1,3	90,5	1,3
+ 2,90	10,0	9,6	100	9,6

Conforme a análise dos resultados, pede-se:

- Porcentagem em massa da alimentação que se reporta para o afundado?
- Qual o teor de estanho na amostra de minério em estudo?
- Se a separação densitária for realizada na densidade 2,77 qual a porcentagem em massa do minério será recuperada?
- Qual o valor de recuperação metalúrgica de estanho no produto afundado?
- Explique **duas** utilidades dos ensaios de separação em meio denso?
- Para a concentração do minério em estudo com granulometria entre 10 e 3mm qual o equipamento gravítico deve ser utilizado? Qual o princípio de funcionamento do equipamento e as principais partes constituintes?



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEM

Processo Seletivo de Mestrado 2019

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS

ENGENHARIA
MINERAL



ALMA MATER IN
MINERALIA BRASILIENSIS

Nº de inscrição:

RESPOSTA – QUESTÃO 03

Foram realizados ensaios de separação em meio denso para a caracterização da separação densitária de uma amostra de minério de estanho obtendo os resultados:

Faixa Densitária	Alimentação		% peso para o produto afundado	Afundado		Distribuição de Sn(%)
	% em peso	%Sn		% em peso	Sn(%) no afundado	
- 2,55	2,0	0,003	0,0	0,0	0,003	0,0
2,55 – 2,60	9,0	0,04	6,0	0,5	0,04	0,02
2,60 – 2,65	26,0	0,04	13,5	3,5	0,04	0,1
2,65 – 2,70	20,0	0,04	27	5,4	0,04	0,2
2,70 – 2,75	12,0	0,2	44	5,3	0,2	1,0
2,75 – 2,80	10,5	0,3	67,5	7,1	0,3	2,0
2,80 – 2,85	8,0	0,4	79,5	6,3	0,4	2,3
2,85 – 2,90	2,5	1,3	90,5	2,3	1,3	3,0
+ 2,90	10,0	9,6	100	10,0	9,6	87,3
-----	100	1,1		40,4		95,89 (95,9)

Conforme a análise dos resultados, pede-se:

a) Porcentagem em massa da alimentação que se reporta para o afundado?

Resposta: 40,4%

b) Qual o teor de estanho na amostra de minério em estudo?

Resposta: 1,1%



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEM

Processo Seletivo de Mestrado 2019

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS

ENGENHARIA
MINERAL



ALMA MATER IN
MINERALIA BRASILIENSIS

Nº de inscrição:

CONTINUAÇÃO RESPOSTA – QUESTÃO 03

c) Se a separação densitária for realizada na densidade 2,77 qual a porcentagem em massa do minério será recuperada?

Resposta: 67,5%

d) Qual o valor de recuperação metalúrgica de estanho no produto afundado?

Resposta: 95,9%

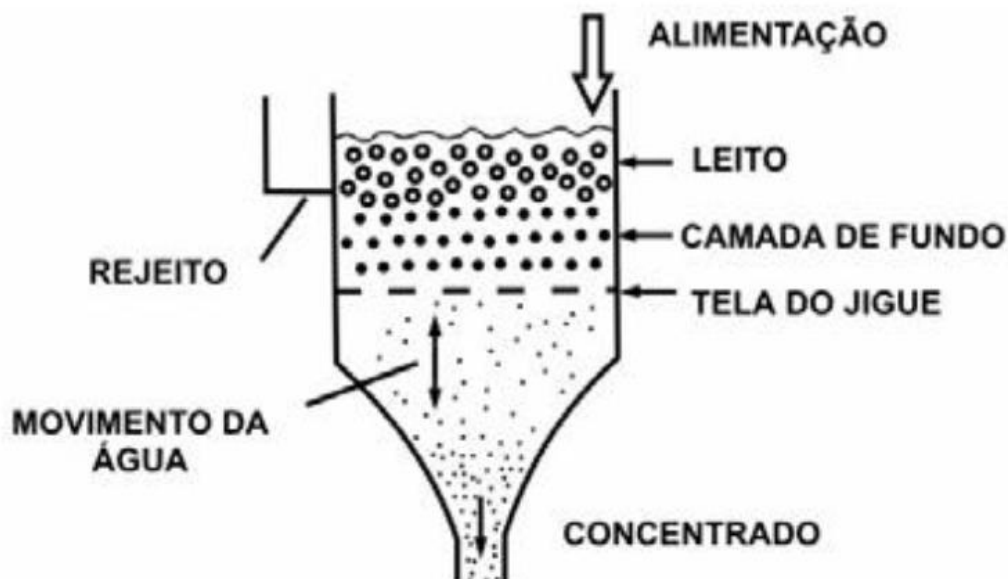
d) Explique **duas** utilidades dos ensaios de separação em meio denso?

Chave de resposta: Estudo do grau de liberação das espécies minerais presentes em uma amostra; investigar a viabilidade técnica de utilização de métodos de concentração gravítica em desenvolvimento de processos; controle de ensaios de concentração gravítica; avaliação quantitativa e qualitativa de produtos da concentração gravítica; caracterização de carvões, visando o beneficiamento (curvas de lavabilidade) e avaliação de desempenho de equipamentos de separação gravítica (curva de Tromp).

e) Para a concentração do minério em estudo com granulometria entre 10-3mm qual o equipamento gravítico deve ser utilizado? Qual o princípio de funcionamento do equipamento e as principais partes constituintes?

Chave de resposta: Jigue

Conceito clássico que considera o movimento das partículas, descrição Gaudin (1971, Burt, 1984) apresentada nas referências indicadas no edital de seleção PPGEM, que sugeriu três mecanismos: sedimentação retardada, aceleração diferencial e consolidação intersticial.





UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEM

Processo Seletivo de Mestrado 2019

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS

**ENGENHARIA
MINERAL**



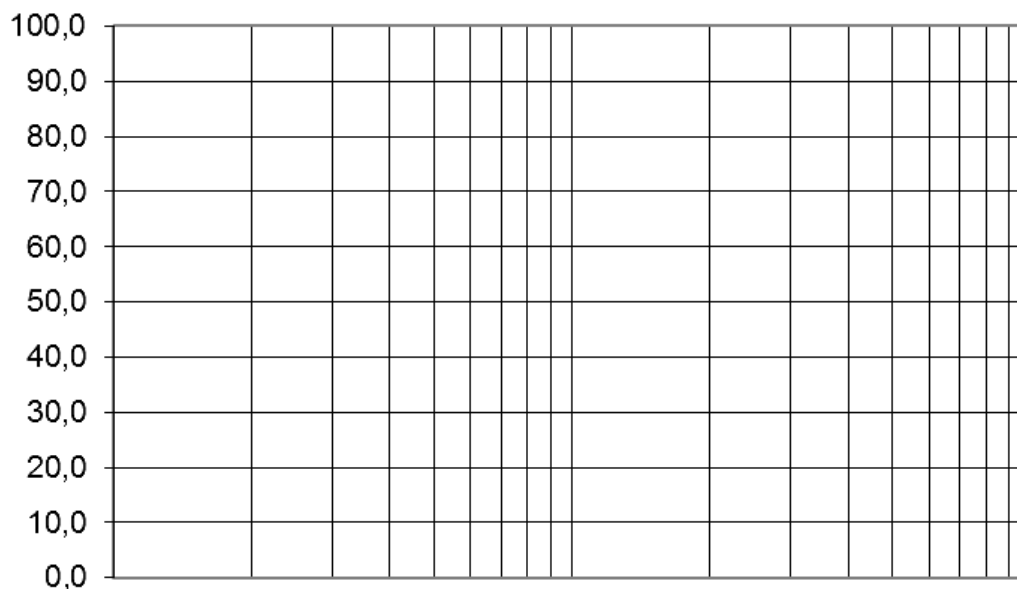
ALMA MATER IN
MINERALIA BRASILIENSIS

Nº de inscrição:

QUESTÃO 04

Faça a análise granulométrica dos dados abaixo, construa o gráfico correspondente, analise a massa retida e compare com a massa máxima, considerando $X = 3$ (número de camadas). Massa específica do minério 3 g/cm^3 e o diâmetro da peneira 20 cm.

Tamanho μm	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulado	Massa máxima
9500	71,65				
8000	82,41				
6300	99,57				
5600	31,85				
3360	100,22				
2000	67,71				
1180	48,86				
840	19,53				
590	17,47				
500	6,86				
300	12,08				
212	8,78				
150	4,16				
-150	1,99				
Total					





UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEM

Processo Seletivo de Mestrado 2019

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS

ENGENHARIA
MINERAL



ALMA MATER IN
MINERALIA BRASILIENSIS

Nº de inscrição:

QUESTÃO 04 - CONTINUAÇÃO

- Qual tipo de peneiramento sugerido para esse material considerando a umidade 2%?
- Quais os cuidados para o peneiramento a seco ser eficiente?
- Esse peneiramento poderia ser melhorado? Como?

RESPOSTA - QUESTÃO 04

Tamanho μm	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante acumulado	Massa máxima g
9500	71,65	12,50131	12,50131	87,49869	-
8000	82,41	14,37869	26,87999	73,12001	211,95
6300	99,57	17,37272	44,25271	55,74729	240,21
5600	31,85	5,557106	49,80982	50,19018	98,91
3360	100,22	17,48613	67,29595	32,70405	316,512
2000	67,71	11,81387	79,10982	20,89018	192,168
1180	48,86	8,524968	87,63478	12,36522	115,866
840	19,53	3,407544	91,04233	8,957672	48,042
590	17,47	3,048121	94,09045	5,909551	35,325
500	6,86	1,196915	95,28736	4,712636	12,717
300	12,08	2,107687	97,39505	2,604948	28,26
212	8,78	1,531912	98,92696	1,073036	12,4344
150	4,16	0,725826	99,65279	0,34721	8,7606
-150	1,99	0,34721	100	0	-
Total	573,14				



UFOP
Universidade Federal
de Ouro Preto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - PPGEM

Processo Seletivo de Mestrado 2019

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRATAMENTO DE MINÉRIOS

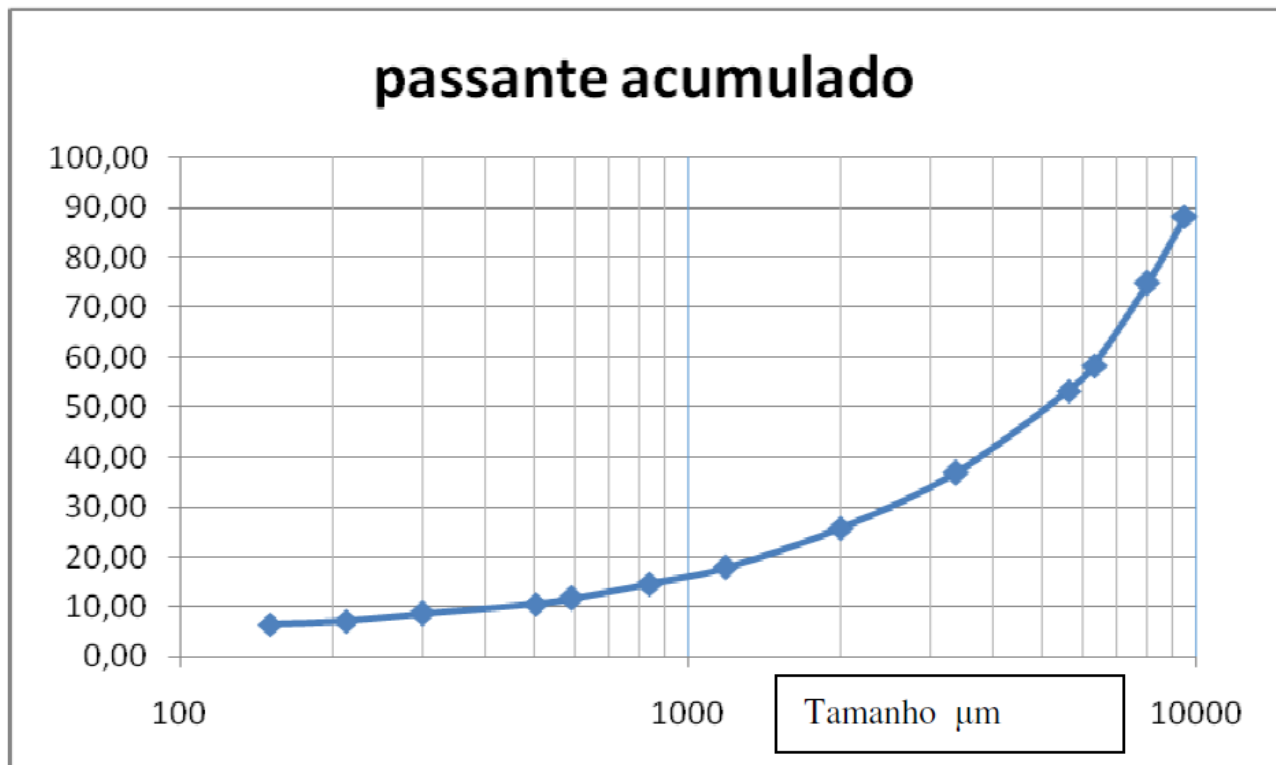
ENGENHARIA
MINERAL



ALMA MATER IN
MINERALIA BRASILIENSIS

Nº de inscrição:

CONTINUAÇÃO RESPOSTA - QUESTÃO 04



a) Peneiramento a seco;

b) massa de material a ser ensaiada; escolha adequada das técnicas de peneiramento; limpeza apropriada das peneiras, para evitar o obstrução das mesmas; tempo de peneiramento; umidade.

c) Como observado todas as massas retidas foram superiores a massa máxima, portando diminuir a massa, refazer o peneiramento observado que a primeira peneira reteve mais que 5%, portanto deve ser acrescentadas mais peneiras.