ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS E DE PETRÓLEO
LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MATÉRIAS PRIMAS MINERAIS

EXERCÍCIO DE (SUB)AMOSTRAGEM PARA ESTUDOS DE CARACTERIZAÇÃO

Prof. Dr. Henrique Kahn
Profa. Dra. Carina Ulsen

lct@lct.poli.usp.br
www.lct.poli.usp.br

COMO DETERMINAR A MASSA MÍNIMA?

Dois principais casos:

Amostra sem disponibilidade de informações:

Tabela de Richards

Amostra com disponibilidade de informações:

Teoria de Pierre Gy

TABELA DE RICHARDS

Determinação da massa mínima de amostra para amostras
Sem disponibilidade de informações

A partir do diâmetro da maior partícula e de características da amostra determina-se a massa mínima para amostragem através da tabela empírica

TABELA DE RICHARDS

Determinação da massa mínima de amostra (kg) - Richards

Diâmetro da maior partícula (mm)	*CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA*					
	Muito pobre ou muito uniforme	Pobre ou uniforme	Médios	Rico ou *spotty*	Muito rico ou exclusivamente *spotty*	Ouro
203	9.600	32.000				
127	3.800	12.500				
102	2.400	8.000	40.000			
51	600	2.000	10.000	26.000		5.000
38	350	1.150	5.000	14.000		2.500
25	150	500	2.500	6.500		1.000
19	85	300	1.400	3.600		500
13	35	125	600	1.600		200
6,4	10	30	150	400	14.000	100
3,2	2,5	8,5	43	110	3.800	38
1,68	0,5	2,0	11	30	900	
1,20	0,4	1,0	5	14	500	13
0,84	0,2	0,5	3	7	250	5
0,60	0,08	0,3	1,5	3,5	120	2
0,42	0,04	0,2	0,7	1,7	60	0,5
0,30	0,02	0,1	0,3	0,9	30	
0,21	0,01	0,03	0,2	0,4	15	
0,15	0,005	0,02	0,1	0,2	7,5	
0,10	0,003	0,01	0,05	0,1	4	
0,074	0,002	0,005	0,02	0,05		

Spotty – grande concentração do mineral útil em pontos preferenciais

Amostragem de materiais particulados
Teoria de Pierre Gy

Grande utilidade prática, pois:

É capaz de descrever várias características complexas, abordando-as de maneira simples

Para sua aplicação, deve-se supor:

- **Material inteiramente homogeneizado**
- **Não existem erros inerentes ás ferramentas de amostragem ou equipamentos de cominuição**
- **Partículas “iguais” possuem mesma probabilidade de serem selecionadas**

AMOSTRAGEM DE MATERIAIS PARTICULADOS
TEORIA DE PIERRE GY

$$M = m.l.f.h.d^3 / (S_a)^2$$

M = massa em gramas

m = fator de composição mineralógica, em g/cm^3;

l = fator liberação;

f = fator forma de partículas;

h = fator de distribuição de tamanho de partículas;

d = diâmetro da maior partícula, 90 a 95% passante (cm);

S_a = estimativa do erro total de amostragem, expresso como desvio padrão

TEORIA DE PIERRE GY

$$M = m.l.f.h.d^3 / (S_a)^2$$

m, fator de composição mineralógica:

$m = x.(100-x)\ \rho$

$$\boxed{m = x.(100-x).[(x/100).\rho_a + (100-x).\rho_b /100]}$$

ρ = peso específico da amostra;

x = teor do mineral útil (%)

ρ_a = peso específico do mineral útil;

ρ_b = peso específico dos minerais de ganga.

TEORIA DE PIERRE GY

$$M = m.l.f.h.d^3 / (S_a)^2$$

l, fator de liberação mineral:

se $d \leq d_L \Rightarrow l = 1$ ou

$$\boxed{\text{se } d > d_L \Rightarrow l = \sqrt{d_L/d}}$$

sendo que $l \geq 0,03$;

d = diâmetro da maior partícula na amostra (cm)

d_L = diâmetro de liberação do mineral útil (cm)

TEORIA DE PIERRE GY

$$M = m.l.f.h.d^3 / (S_a)^2$$

f, fator forma das partículas:

f = 1,0 (cubo perfeito)

f = 0,5 ($\cong$ constante, valor prático adotado)

h, fator de distribuição de tamanho das partículas:

h = 0,25 material cominuído, sem remoção de finos

h = 0,50 material com remoção de fração fina

h = 1,00 todas as partículas com a mesma dimensão (ex. dentro de um intervalo granulométrico)

Teoria de Pierre Gy

$$M = \underbrace{m.f.h.}_{\text{constantes}}l.d^3 / (S_a)^2$$

$$M = K.l.d^3 / (S_a)^2$$

Se: $d \leq d_L \Rightarrow l = 1$

$$M = K\, d^3 / (S_a)^2 \Rightarrow (S_a)^2 = f\, d^3$$

Se: $d > d_L \Rightarrow l = \sqrt{d_L/d}$

$$M = K \sqrt{d_L/d}\,.d^3 / (S_a)^2 \Rightarrow (S_a)^2 = f\, d^{5/2}$$

TEORIA DE PIERRE GY

Encontrando a estimativa do erro total da amostragem

O erro total da amostragem (Ea), considerando-se que os parâmetros do material amostrado se distribuem segundo uma distribuição normal, pode ser expresso por:

$$\boxed{E_a = \pm\, t_{(kn-1;\alpha/2)} \,.\, \sigma \,/\, \sqrt{kn} \quad \text{(I)}}$$

$t_{(kn-1;\alpha/2)}$ = t – Student para nível de confiança $\alpha/2$ e $kn-1$ graus de liberdade

k = número de amostras primárias retiradas do universo amostrado

n = número de incrementos retirados para compor uma amostra

σ = variabilidade do material (desvio padrão)

TEORIA DE PIERRE GY

$$M = m.f.h.l.d^3 / (S_a)^2$$

S_a , é a estimativa do erro total da amostragem, expressa como <u>desvio padrão</u>

Para uma amostragem aleatória, o desvio padrão do erro de amostragem é dado por:

$$\boxed{S_a = \sigma \, / \, \sqrt{n} \qquad (II)}$$

σ = variabilidade do material (desvio padrão)
n = número de incrementos retirados para compor a amostra

TEORIA DE PIERRE GY

Encontrando a estimativa do erro total da amostragem

Substituindo:

$$S_a = \sigma / \sqrt{n} \quad (\mathrm{II})$$

$$E_a = \pm\, t_{(kn-1;\alpha/2)} \,.\, \sigma / \sqrt{kn} \quad (\mathrm{I})$$

temos:

$$\boxed{E_a = \pm\, t_{(kn-1;\alpha/2)} \,.\, S_a / \sqrt{k}}$$

EXERCÍCIO

ESTUDO DE CASO - ZnS

Teoria de Pierre Gy

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(Exercício exemplo: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

Um minério de zinco contém aproximadamente 5% de ZnS (blenda) e tamanho máximo de partícula de 25 mm. O peso específico da blenda é de 4,0 g/cm³ e o peso específico da ganga é de 2,6 g/cm³. O minério necessita ser cominuído a 1,5 mm para que a blenda fique completamente liberada.

Qual a massa mínima de amostra que deve ser retirada, de forma que o erro total da amostragem não seja maior que 0,2% ZnS a um nível de confiança de 95% ?

Teoria de Pierre Gy

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(SOLUÇÃO: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

Aplicando a equação de Pierre Gy, podemos calcular a massa mínima necessária: $\mathbf{M = m.l.f.h.d^3 / (S_a)^2}$

m = fator de composição mineralógica

l = fator liberação

f = fator forma de partículas

h = fator de distribuição de tamanho de partículas

d = diâmetro da maior partícula, 90 a 95% passante (cm)

S_a = estimativa do erro total da amostragem, desvio padrão

Teoria de Pierre Gy

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(SOLUÇÃO: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

Primeiramente, vamos encontrar a **estimativa do erro total da amostragem**, que é expresso como desvio padrão:

$E_a = \pm\, t_{(kn-1;\alpha/2)} \,.\, S_a \,/\, \sqrt{k}$, isolando S_a $\Longrightarrow$ $\boxed{S_a = E_a \,.\, \sqrt{k} \,/\, t_{(kn-1;\alpha/2)}}$

Do enunciado, temos que o erro total da amostragem (E_a) é de 0,2%, e considera-se que será retirada apenas uma amostra do todo, portanto temos que $k = 1$.

TEORIA DE PIERRE GY

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(SOLUÇÃO: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

O nível de confiança exigido é de 95%, e na amostra há um grande número de partículas, portanto $n = \infty$.

Portanto, temos uma distribuição t – Student com infinitos graus de liberdade e 95% de nível de confiança.

$$t_{(\infty;95\%)}$$

TEORIA DE PIERRE GY

Analisando a tabela t – Student (caso bilateral) ao lado, temos que:

$t_{(\infty;95\%)} = \mathbf{1{,}96}$

Graus de Liberdade	Nível de Confiança (%)							
	50	75	90	95	97,5	99	99,5	99,9
6	1,00	2,41	6,31	12,7	25,5	63,7	127	637
2	0,816	1,60	2,92	4,30	6,21	9,92	14,1	31,6
3	0,765	1,42	2,35	3,18	4,18	5,84	7,45	12,9
4	0,741	1,34	2,13	2,78	3,50	4,60	5,60	8,61
5	0,727	1,30	2,01	2,57	3,16	4,03	4,77	6,86
6	0,718	1,27	1,94	2,45	2,97	3,71	4,32	5,96
7	0,711	1,25	1,89	2,36	2,84	3,50	4,03	5,40
8	0,706	1,24	1,86	2,31	2,75	3,36	3,83	5,04
9	0,703	1,23	1,83	2,26	2,68	3,25	3,69	4,78
10	0,700	1,22	1,81	2,23	2,63	3,17	3,58	4,59
11	0,697	1,21	1,80	2,20	2,59	3,11	3,50	4,44
12	0,695	1,21	1,78	2,18	2,56	3,05	3,43	4,32
13	0,694	1,20	1,77	2,16	2,53	3,01	3,37	4,22
14	0,692	1,20	1,76	2,14	2,51	2,98	3,33	4,14
15	0,691	1,20	1,75	2,13	2,49	2,95	3,29	4,07
16	0,690	1,19	1,75	2,12	2,47	2,92	3,25	4,01
17	0,689	1,19	1,74	2,11	2,46	2,90	3,22	3,96
18	0,688	1,19	1,73	2,10	2,44	2,88	3,20	3,92
19	0,688	1,19	1,73	2,09	2,43	2,86	3,17	3,88
20	0,687	1,18	1,72	2,09	2,42	2,85	3,15	3,85
21	0,686	1,18	1,72	2,08	2,41	2,83	3,14	3,82
22	0,686	1,18	1,72	2,07	2,41	2,82	3,12	3,79
23	0,685	1,18	1,71	2,07	2,40	2,81	3,10	3,77
24	0,685	1,18	1,71	2,06	2,39	2,80	3,09	3,74
25	0,684	1,18	1,71	2,06	2,38	2,79	3,08	3,72
26	0,684	1,18	1,71	2,06	2,38	2,78	3,07	3,71
27	0,684	1,18	1,70	2,05	2,37	2,77	3,06	3,69
28	0,683	1,17	1,70	2,05	2,37	2,76	3,05	3,67
29	0,683	1,17	1,70	2,05	2,36	2,76	3,04	3,66
30	0,683	1,17	1,70	2,04	2,36	2,75	3,03	3,65
40	0,681	1,17	1,68	2,02	2,33	2,70	2,97	3,55
60	0,679	1,16	1,67	2,00	2,30	2,66	2,91	3,46
120	0,677	1,16	1,66	1,98	2,27	2,62	2,86	3,37
∞	0,674	1,15	1,64	1,96	2,24	2,58	2,81	3,29

TEORIA DE PIERRE GY

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(SOLUÇÃO: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

Temos que:

$$S_a = E_a \,.\, \sqrt{k} \,/\, t_{(kn-1;\alpha/2)}$$

$E_a = 0{,}2\%$

$k = 1$

$t_{(\infty;95\%)} = 1{,}96$

Portanto:

$$\boxed{S_a = 0{,}2 \,.\, \sqrt{1} \,/\, 1{,}96 = \mathbf{0{,}102}}$$

Teoria de Pierre Gy

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(SOLUÇÃO: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

Calculando o fator de composição mineralógica (m)

Temos que: m = x.(100-x).[(x/100).ρ_a + (100-x).ρ_b /100]

x = teor do mineral útil (%) = **5% de ZnS**

ρ_a = *peso específico do mineral útil* = **4,0 g/cm³**

ρ_b = *peso específico dos minerais de ganga* = **2,6 g/cm³**

Portanto: m = **5.**(100-**5**).[(**5**/100).**4** + (100-**5**).**2,6**/100] = **1.268,25 g/cm³**

TEORIA DE PIERRE GY

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(SOLUÇÃO: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

Calculando o fator de liberação (l)

Do enunciado temos que o diâmetro máximo de partícula é de 25 mm e que o material necessita ser cominuído a 1,5 mm para que ocorra a liberação:

d = diâmetro da maior partícula na amostra = **2,5 cm**

d_L = diâmetro de liberação do mineral útil = **0,15 cm**

Portanto: se $d > d_L \Rightarrow l = \sqrt{d_L/d} = \sqrt{\mathbf{0{,}15/2{,}5}} = \mathbf{0{,}245}$

Teoria de Pierre Gy

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(SOLUÇÃO: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

Calculando o fator forma de partículas (f)

Para minérios em geral, o valor prático adotado é 0,5

Portanto: f = **0,5**

TEORIA DE PIERRE GY

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(SOLUÇÃO: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

Calculando o fator de distribuição de tamanho das partículas

Temos que:

h = 0,25   material cominuído, sem remoção de finos;

h = 0,50   material com remoção de fração fina;

h = 1,00   todas as partículas com a mesma dimensão

Do enunciado, sabe-se que o material foi cominuído e não é comentado sobre remoção dos finos, então :

$\boxed{h = \mathbf{0{,}25}}$

TEORIA DE PIERRE GY

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(SOLUÇÃO: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

Com a estimativa do erro e da amostragem e todos os outros fatores calculados, temos: $\mathbf{M = m.l.f.h.d^3 / (S_a)^2}$

m = fator de composição mineralógica = **1.268,25 g/cm³**

l = fator liberação = **0,245**

f = fator forma de partículas = **0,5**

h = fator de distribuição de tamanho de partículas = **0,25**

d = diâmetro da maior partícula, 90 a 95% passante = **2,5 cm**

Sa = estimativa do erro total da amostragem = **0,102**

TEORIA DE PIERRE GY

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

(SOLUÇÃO: CETEM – Tratamento de Minérios - 5ª edição)

Com a estimativa do erro e da amostragem e todos os outros fatores calculados, temos: $\mathbf{M = m.l.f.h.d^3 / (S_a)^2}$

$M = \mathbf{1.268{,}25} \times \mathbf{0{,}245} \times \mathbf{0{,}5} \times \mathbf{0{,}25} \times (\mathbf{2{,}5})^3 / (\mathbf{0{,}102})^2$

Massa mínima = M = **58.272 g**

EXERCÍCIO

ESTUDO DE CASO - ESTANHO

EXERCÍCIO AMOSTRAGEM

- Um minério de estanho contém 0,9% de Sn (dosado por análise quantitativa por FRX), associado ao mineral cassiterita, e fragmentos da ordem de 25 mm. A densidade da ganga é de 2,7 g/cm³. A liberação da cassiterita ocorre em condição de cominuição abaixo de 1,68 mm.
- Qual a massa mínima de amostra que deve ser retirada do minério para estudos de caracterização tecnológica, de forma que o erro total da amostragem não seja maior que 0,05% de Sn a um nível de confiança de 95% ?

SOLUÇÃO

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

Aplicando a equação de Pierre Gy, podemos calcular a massa mínima necessária: $\mathbf{M = m.l.f.h.d^3 / (S_a)^2}$

m = fator de composição mineralógica

l = fator liberação

f = fator forma de partículas

h = fator de distribuição de tamanho de partículas

d = diâmetro da maior partícula, 90 a 95% passante (cm)

S_a = estimativa do erro total da amostragem, desvio padrão

SOLUÇÃO

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

Primeiramente, vamos encontrar a **estimativa do erro total da amostragem (Ea)**, que é expresso como desvio padrão:

$E_a = \pm\, t_{(kn-1;\alpha/2)} \,.\, S_a \,/\, \sqrt{k}$, isolando S_a $\Longrightarrow$ $\boxed{S_a = E_a \,.\, \sqrt{k} \,/\, t_{(kn-1;\alpha/2)}}$

$t_{(kn-1;\alpha/2)}$ = t – Student para nível de confiança α/2 e kn-1 graus de liberdade

k = número de amostras primárias retiradas do universo amostrado

Sa = desvio padrão

Do enunciado, temos que o erro total da amostragem (E_a) tolerado é de 0,05%, e considera-se que será retirada apenas uma amostra do todo, portanto temos que k = 1.

SOLUÇÃO

O nível de confiança exigido é de 95%, e na amostra há um grande número de partículas, portanto $n = \infty$.

Portanto, temos uma distribuição t – Student com infinitos graus de liberdade e 95% de nível de confiança. $t_{(\infty;95\%)}$

Analisando a tabela t – Student (caso bilateral) ao lado, temos que: $\boxed{t_{(\infty;95\%)} = \mathbf{1{,}96}}$

Graus de Liberdade	Nível de Confiança (%)							
	50	75	90	95	97,5	99	99,5	99,9
6	1,00	2,41	6,31	12,7	25,5	63,7	127	637
2	0,816	1,60	2,92	4,30	6,21	9,92	14,1	31,6
3	0,765	1,42	2,35	3,18	4,18	5,84	7,45	12,9
4	0,741	1,34	2,13	2,78	3,50	4,60	5,60	8,61
5	0,727	1,30	2,01	2,57	3,16	4,03	4,77	6,86
6	0,718	1,27	1,94	2,45	2,97	3,71	4,32	5,96
7	0,711	1,25	1,89	2,36	2,84	3,50	4,03	5,40
8	0,706	1,24	1,86	2,31	2,75	3,36	3,83	5,04
9	0,703	1,23	1,83	2,26	2,68	3,25	3,69	4,78
10	0,700	1,22	1,81	2,23	2,63	3,17	3,58	4,59
11	0,697	1,21	1,80	2,20	2,59	3,11	3,50	4,44
12	0,695	1,21	1,78	2,18	2,56	3,05	3,43	4,32
13	0,694	1,20	1,77	2,16	2,53	3,01	3,37	4,22
14	0,692	1,20	1,76	2,14	2,51	2,98	3,33	4,14
15	0,691	1,20	1,75	2,13	2,49	2,95	3,29	4,07
16	0,690	1,19	1,75	2,12	2,47	2,92	3,25	4,01
17	0,689	1,19	1,74	2,11	2,46	2,90	3,22	3,96
18	0,688	1,19	1,73	2,10	2,44	2,88	3,20	3,92
19	0,688	1,19	1,73	2,09	2,43	2,86	3,17	3,88
20	0,687	1,18	1,72	2,09	2,42	2,85	3,15	3,85
21	0,686	1,18	1,72	2,08	2,41	2,83	3,14	3,82
22	0,686	1,18	1,72	2,07	2,41	2,82	3,12	3,79
23	0,685	1,18	1,71	2,07	2,40	2,81	3,10	3,77
24	0,685	1,18	1,71	2,06	2,39	2,80	3,09	3,74
25	0,684	1,18	1,71	2,06	2,38	2,79	3,08	3,72
26	0,684	1,18	1,71	2,06	2,38	2,78	3,07	3,71
27	0,684	1,18	1,70	2,05	2,37	2,77	3,06	3,69
28	0,683	1,17	1,70	2,05	2,37	2,76	3,05	3,67
29	0,683	1,17	1,70	2,05	2,36	2,76	3,04	3,66
30	0,683	1,17	1,70	2,04	2,36	2,75	3,03	3,65
40	0,681	1,17	1,68	2,02	2,33	2,70	2,97	3,55
60	0,679	1,16	1,67	2,00	2,30	2,66	2,91	3,46
120	0,677	1,16	1,66	1,98	2,27	2,62	2,86	3,37
∞	0,674	1,15	1,64	1,96	2,24	2,58	2,81	3,29

SOLUÇÃO

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

Temos que:

$$S_a = E_a \cdot \sqrt{k} \mathbin{/} t_{(kn-1;\alpha/2)}$$

$E_a = 0{,}05\%$

$k = 1$

$t_{(\infty;95\%)} = 1{,}96$

Portanto:

$$\boxed{S_a = 0{,}05 \cdot \sqrt{1} \mathbin{/} 1{,}96 = \mathbf{0{,}026}}$$

SOLUÇÃO

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

Calculando o fator de composição mineralógica (m)

Temos que: $m = x.(100-x).[(x/100).\rho_a + (100-x).\rho_b /100]$

x = *teor do mineral útil (%)* = **0,9% de Sn**

ρ_a = *peso específico do mineral útil (cassiterita)* = **7,0 g/cm³**

ρ_b = *peso específico dos minerais de ganga* = **2,7 g/cm³**

Portanto: $\boxed{m = \mathbf{0{,}9.}(100-\mathbf{0{,}9}).[(\mathbf{0{,}9}/100).\mathbf{7} + (100-\mathbf{0{,}9}).\mathbf{2{,}7}/100] = \mathbf{244{,}265\ g/cm^3}}$

SOLUÇÃO

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

Calculando o fator de liberação (l)

Do enunciado temos que o diâmetro máximo de partícula é de 25 mm e que o material necessita ser cominuído a 1,68 mm para que ocorra a liberação:

d = diâmetro da maior partícula na amostra = **2,5 cm**

d_L = diâmetro de liberação do mineral útil = **0,168 cm**

Portanto: se $d > d_L \Rightarrow l = \sqrt{d_L/d} = \sqrt{\mathbf{0{,}168/2{,}5}} = \mathbf{0{,}259}$

SOLUÇÃO

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

Calculando o fator forma de partículas (f)

Para minérios em geral, o valor prático adotado é 0,5

Portanto: f = **0,5**

SOLUÇÃO

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

Calculando o fator de distribuição de tamanho das partículas

Temos que:

h = 0,25   material cominuído, sem remoção de finos;

h = 0,50   material com remoção de fração fina;

h = 1,00   todas as partículas com a mesma dimensão

Do enunciado, sabe-se que o material foi cominuído e não é comentado sobre remoção dos finos, então :

h = **0,25**

SOLUÇÃO

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

Com a estimativa do erro e da amostragem e todos os outros fatores calculados, temos: $\mathbf{M = m.l.f.h.d^3 / (S_a)^2}$

m = fator de composição mineralógica = **244,265 g/cm³**

l = fator liberação = **0,259**

f = fator forma de partículas = **0,5**

h = fator de distribuição de tamanho de partículas = **0,25**

d = diâmetro da maior partícula, 90 a 95% passante = **2,5 cm**

Sa = estimativa do erro total da amostragem = **0,026**

SOLUÇÃO

Determinação da massa mínima da amostra utilizando Pierre Gy

Com a estimativa do erro e da amostragem e todos os outros fatores calculados, temos: $\mathbf{M = m.l.f.h.d^3 / (S_a)^2}$

$M = \mathbf{244{,}265} \times \mathbf{0{,}26} \times \mathbf{0{,}5} \times \mathbf{0{,}25} \times (\mathbf{2{,}5})^3 / (\mathbf{0{,}026})^2$

Massa mínima = M = **190.041,06 g**