

FERNANDO UDIHARA AOKI

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINÉRIO DE NÍQUEL
LATERÍTICO DE NIQUELÂNDIA, GO**

**São Paulo
2008**

FERNANDO UDIHARA AOKI

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINÉRIO DE NÍQUEL
LATERÍTICO DE NIQUELÂNDIA, GO**

Trabalho de Formatura em Engenharia
de Minas do curso de graduação do
Departamento de Engenharia de Minas
e de Petróleo da Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Kahn

**São Paulo
2008**

EPMi
TF-2008
A 43c
syro 1735667

78008L
DEDALUS - Acervo - EPMI



31700004211

FICHA CATALOGRÁFICA

Aoki, Fernando Udihara

Caracterização tecnológica de minério de níquel laterítico de Niquelândia, GO / F.U. Aoki. -- São Paulo, 2008.
43 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Níquel 2.Caracterização tecnológica de minérios I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio de muitas pessoas. Tentarei neste curto espaço agradecer a todas elas, sem as quais este trabalho nunca teria sido possível.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Henrique Kahn e à doutoranda Carina Ulsen por toda a ajuda e atenção dada não só durante todo o trabalho, como fora dele.

A todas as pessoas que do LCT e LTM e que me auxiliaram durante toda a realização deste trabalho, tornando-o possível.

Ao Eng. Bruno Pelli e à Anglo American Brasil, que forneceram a amostra para ser estudada e ajudaram com todas as informações necessárias para a realização do trabalho.

Finalmente, gostaria de agradecer a toda minha família, meus pais José Roberto e Maria Lucia e ao meu irmão Gabriel por todo o apoio dado até aqui.

RESUMO

Foram conduzidos estudos de caracterização tecnológica de uma amostra de minério de níquel laterítico da zona de transição da mina de Niquelândia com o objetivo de verificar a possibilidade de elevação do teor de Ni através de peneiramento e descarte da fração grossa. A amostra foi dividida e depois britada em diferentes *top sizes*. Depois, cada fração britada foi tamboorada e peneirada em diversas faixas granulométricas e submetida a análises químicas e mineralógicas.

Os resultados mostraram que maiores teores de níquel estão associados às frações mais finas. Além disso, reduzindo-se o *top size* pela britagem tem-se somente uma diluição dos teores de níquel. Um pequeno enriquecimento no teor de Ni pode ser obtido através do descarte da fração grossa depois da britagem primária; entretanto, são recomendados testes complementares para se avaliar o teor de Ni dos matacões (*boulders*) e a melhor forma para não incorporá-los na alimentação da usina.

Palavras-chave: Caracterização tecnológica, níquel laterítico, tratamento de minérios.

ABSTRACT

Technological characterization studies were carried out with a nickel lateritic ore from the transition zone of the Niquelandia's mine aiming to verify the possibility to increase the Ni grades through screening and discard of the coarsest size fraction. The sample was split followed by crushing at distinct top sizes. Each crushed fraction was then scrubbed, and screened in various fractions sizes followed by chemical and mineralogical analysis.

The results showed that the higher nickel grades are associated to the smaller size fractions. Furthermore, reducing the crushing top size only dilute the Ni grade. A smaller Ni upgrade can be achieved with the discard of the coarsest fraction after the primary crushing; although complimentary tests are recommend to evaluate the boulders fraction Ni grade and the best option to not incorporate this material in the plant feed.

Key-words: technological characterization, Ni laterite, mineral processing.

SUMÁRIO

	pag.
AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	4
ABSTRACT	4
SUMÁRIO	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4. MATERIAIS E MÉTODOS	9
4.1. <i>Preparação das amostras</i>	9
4.2. <i>Britagem</i>	10
4.3. <i>Tamboramento</i>	11
4.4. <i>Peneiramento a úmido</i>	11
4.5. <i>Análise química</i>	12
4.6. <i>Difratometria de raios X</i>	12
4.7. <i>Microscopia eletrônica de varredura</i>	12
5. RESULTADOS OBTIDOS	13
5.1. <i>Amostra estudada</i>	13
5.2. <i>Análise granulométrica</i>	13
5.3. <i>Análise granuloquímica dos produtos de britagem</i>	14
5.4. <i>Sumário dos resultados de análises granuloquímicas</i>	18
5.5. <i>Análises mineralógicas</i>	18
5.6. <i>Sumário das microanálises químicas por EDS</i>	20
6. CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS	23
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS	27
APÊNDICE	28

1. INTRODUÇÃO

Na natureza são encontrados dois tipos de depósitos de níquel, os de sulfetos de Ni associados a Cu e Co e o laterítico, relacionado a processos de intemperismo de rochas ultramáficas. Atualmente, a maior parte da produção de níquel provém de depósitos de níquel sulfetado, no entanto, a maior parte das reservas é de níquel laterítico.

Os custos de processamento do minério laterítico são muito maiores do que os do minério sulfetado, pois não existe tecnologia para a concentração do minério laterítico; desta forma o gasto energético no processamento metalúrgico do minério laterítico é muito alto, encarecendo bastante o processo. Hoje, a única opção de enriquecimento do teor de Ni em alguns minérios lateríticos é o peneiramento seguido da remoção da fração grosseira com um menor teor de níquel.

No presente estudo de caracterização foram estudadas as possibilidades de aumento do teor de Ni do minério saprolítico da mina de Niquelândia, operada pela CODEMIN (Anglo American Brasil Ltda.), através da conjugação das operações de britagem e peneiramento. Os estudos efetuados tiveram por objetivo avaliar comparativamente quatro condições distintas de cominuição, de modo a verificar as possibilidades de elevação dos teores de Ni mediante a remoção dos *boulders* de amostras de minério da zona de transição (minério marginal).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é de se avaliar as possibilidades de elevação do teor de Ni em amostra de minério de níquel laterítico da zona de transição da mina de níquel de Niquelândia da CODEMIN, mediante a remoção dos *boulders*, através de um estudo de caracterização.

O estudo de caracterização compreendeu a realização de classificações granulométricas com determinações químicas por fração para distintas granulometrias de britagem, visando avaliar as possibilidades e condições de descarte de uma fração grossa com baixo teor de Ni.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O níquel é o sexto elemento mais abundante da terra com presença de 2,7 % em relação a todos os elementos, sendo que na crosta terrestre sua participação cai para 0,008 %. É considerado um metal estratégico, devido a sua grande importância como matéria prima na indústria do aço inoxidável e outras ligas metálicas; poucos são os substitutos alternativos para estas aplicações.

As reservas de níquel são irregularmente distribuídas em nosso planeta. As jazidas de níquel são do tipo: magmáticos – sulfetadas, associados às rochas ultrabásicas (28% dos recursos e 58% da produção) ou residuais, estas últimas constituídos por lateritas de níquel formadas a partir do intemperismo de rochas ultrabásicas (72% dos recursos e 42% da produção (DALVI; BACON; OSBORNE, 2004).

Os depósitos de níquel sulfetado são formados por intrusões de rochas ígneas, ricas em níquel, ferro e magnésio. A rocha ígnea que hospeda o níquel sulfetado é originada do magma e em algum momento o enxofre separa-se do magma silicatado formando compostos de sulfetados ricos em Ni, Cu, Co, Fe e platinóides, que por serem mais pesados depositam-se e concentram-se na base do corpo ígneo.

Os depósitos de níquel laterítico são formados através do intemperismo de rochas ultramáficas que contém algum Ni em substituição ao magnésio em silicatos, sendo no intemperismo, tem-se a concentração residual de níquel em silicatos secundários e agregados argilolimoníticos; estes depósitos lateríticos podem ser divididos em dois tipos ou horizontes: *limonítico*, correspondendo à porção superior do perfil de intemperismo apresentando elevado teor de ferro e baixos teores de sílica e magnésio, e *saprolito*, relativo à porção inferior do perfil na qual o níquel está associado preferencialmente a silicatos.

Atualmente, a maior parte da produção de níquel provém de depósitos de níquel sulfetado. Apesar destes não serem a maior parte dos recursos, isto ocorre, pois, diferentemente do minério de níquel laterítico, o minério sulfetado, antes da etapa metalúrgica, pode ser concentrado através de flotação e/ou concentração magnética. No caso do minério laterítico, a única forma de enriquecimento do teor de Ni atualmente viável, é através de peneiramento seguido da remoção da fração grossa com teores mais baixos. Por isso, o custo de processamento do minério laterítico é muito mais elevado do que o do minério sulfetado, pois, ambos os minérios, sulfetado ou laterítico, prosseguem para a etapa metalúrgica. Usualmente, após a concentração do minério sulfetado o minério possui um teor de níquel de 10% e enquanto o minério laterítico apresenta um teor de no máximo 3%, o que implica em maior gasto energético na etapa metalúrgica, com custos de processamento mais elevados (RODRIGUES; COSTA; RODRIGUES, 2008).

O processamento metalúrgico de minérios lateríticos pode ser por piro ou hidrometalurgia. No caso dos minérios do tipo saprolítico normalmente se utiliza o processo pirometalúrgico, tendo como produto final o ferro-níquel ou o matte de níquel. Quando o minério é do tipo limonítico normalmente utilizam-se processos hidrometalúrgicos, principalmente HPAL ou Caron, e o produto final é o níquel metálico e cobalto como subproduto.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental adotado, exposto nas Figuras 1 e 2, compreendeu as atividades descritas na sequência. Todas estas atividades foram conduzidas no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) e Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais (LTM), ambos do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP.

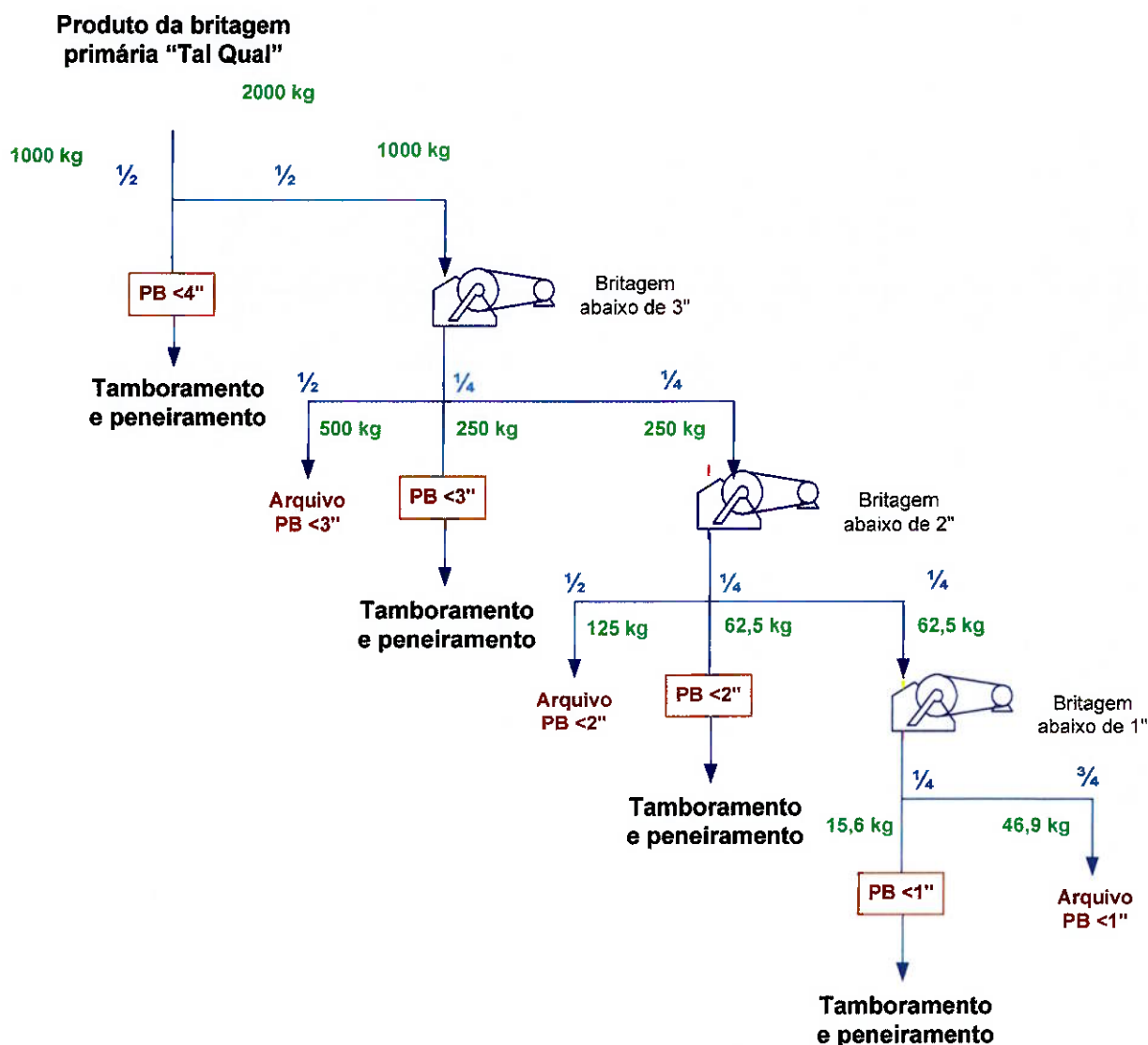


Figura 1 - Esquema de preparação da etapa de homogeneização e geração das alíquotas para os estudos

4.1. Preparação das amostras

- Confeção de pilha de homogeneização.
- Amostragem de $\frac{1}{2}$ do conteúdo da amostra "Tal Qual" $\rightarrow$ PB-4.
- O restante da amostra passou por etapas sucessivas de britagem e homogeneização para geração dos demais produtos de britagem (Figura 1).

- Para manter a representatividade da amostra inicial, as quantidades de amostra analisadas diminuem após redução da granulometria (britagem) (PETERSEN; MINKKINEN; ESBENSEN, 2005).

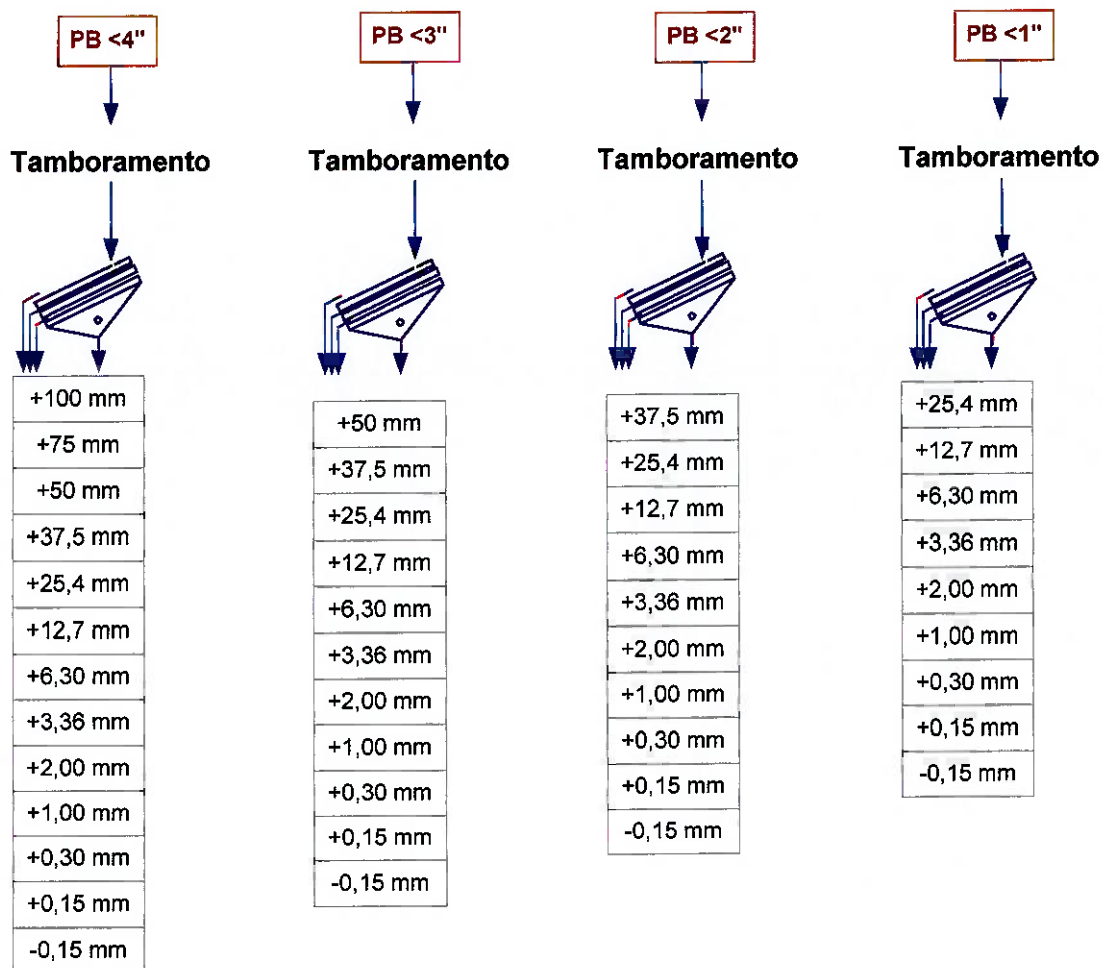


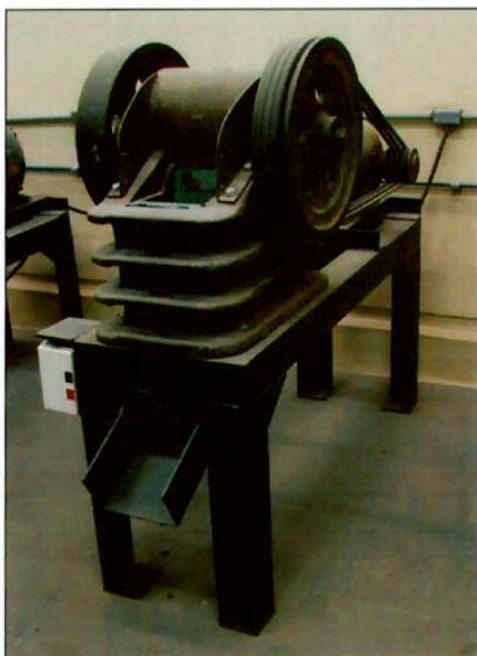
Figura 2 - Detalhe do procedimento de tamboamento e peneiramento

4.2. Britagem

- Uma alíquota da amostra "Tal Qual" foi cominuída sucessivamente em britador de mandíbulas (Fotografia 1) em circuito fechado com peneira em três diferentes *top sizes*, 3"; 2"; 1"; os produtos britados foram denominados, respectivamente: PB-3; PB-2; PB-1.
- Depois de cominuídas as alíquotas das amostras foram homogeneizadas para a geração de alíquotas para os estudos subsequentes.

4.3. Tamboramento

- Cada uma das amostras (quatro produtos da britagem) foi mantida sob agitação por 3 minutos em betoneira a 50% de sólidos (Fotografia 2). O objetivo foi promover a desagregação da fração argila.



**Fotografia 1 - Britador de mandíbulas Denver
5"x6"**



Fotografia 2 - Betoneira de 145 L

4.4. Peneiramento a úmido

- Os quatro produtos da britagem foram peneirados a úmido em peneirador mecânico com peneiras quadradas de 50x50 cm (Fotografia 3).
- As aberturas empregadas nos peneiramentos para cada condição de britagem e as respectivas massas processadas são apresentadas a seguir:
 - PB-4 (1000 kg) em 4", 3", 2", 1", ½", ¼" e 3,35, 2,36, 1,00, 0,30 e 0,15 mm;
 - PB-3 (250 kg) em 2", 1", ½", ¼" e 3,35, 2,36, 1,00, 0,30 e 0,15 mm;
 - PB-2 (62,5 kg) em 1", ½", ¼" e 3,35, 2,36, 1,00, 0,30 e 0,15 mm;
 - PB-1 (15,6 kg) em ½", ¼" e 3,35, 2,36, 1,00, 0,30 e 0,15 mm.



Fotografia 3 - Peneirador mecânico

4.5. Análise química

A composição química das amostras estudadas e respectivas frações granulométricas geradas no peneiramento foi determinada através de espectrometria de fluorescência de raios X (JENKINS, 1975; BUHRKE ET AL., 1998) através de análise quantitativa a partir de amostras fundidas.

4.6. Difratometria de raios X

Análises difratométricas (CULLITY, 1978; BUHRKE ET AL., 1998) de frações selecionadas a partir dos resultados de análises químicas foram efetuadas pelo método do pó em difratômetro da marca PANalytical, modelo X'Pert PRO com radiação de Cu e detector X'Celerator.

A identificação das fases cristalinas foi obtida por comparação dos difratogramas com o banco de dados do ICSD - Inorganic Crystal Structures Database (National Institute of Standards and Technology, NIST, & Fachinformationszentrum Karlsruhe, FIZ, de 2007). Análises semi-quantitativas foram efetuadas pelo método de RIR (Reference Intensity Ratio), utilizando o mesmo banco de dados.

4.7. Microscopia eletrônica de varredura

A avaliação da forma de ocorrência do níquel foi efetuada através de microscópio eletrônico de varredura (MEV) (GOLDSTEIN, 1992) S440, marca Leo, com sistemas de microanálise química por EDS acoplado, Inca, marca Oxford.

De forma semelhante ao item anterior, estes estudos foram efetuados em quatro frações selecionadas a partir dos resultados de análises mineralógicas por difração de raios X. Fragmentos de quatro frações foram amostrados para confecção de seções polidas, as quais foram previamente recobertas com carbono para as observações ao MEV.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Amostra estudada

Os estudos foram realizados sobre uma amostra com massa aproximada de 2 t, referente ao produto de britagem primária.

O procedimento de amostragem e preparação da amostra foi realizado pela CODEMIN, sendo esta a única responsável pela representatividade da amostra coletada.

A amostra é composta essencialmente por sílica (39%), óxido de magnésio (27%) e de ferro (Fe - 12%); o níquel ocorre em teor da ordem de 1,2% enquanto que o cobalto apresenta teor de 0,023%, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química da amostra estudada - amostra "Tal Qual" (%)

Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	PF
1,15	0,023	12,0	38,6	27,1	0,58	1,37	2,06	0,24	11,2

5.2. Análise granulométrica

As curvas de distribuição em massa acumulada no passante para as distintas condições de britagem são apresentadas na Figura 3.

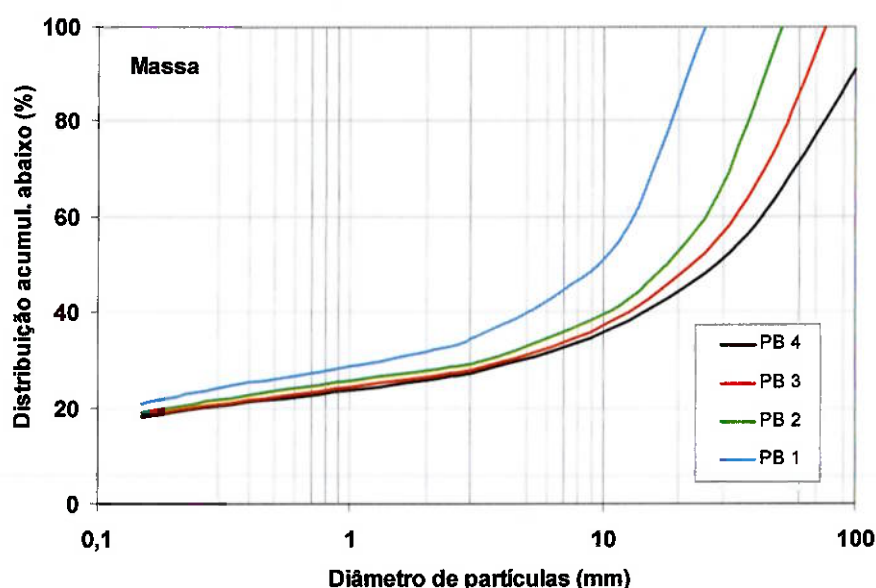


Figura 3 - Distribuição granulométrica dos produtos de britagem (% em massa acumulada no passante)

Não houve aumento expressivo no conteúdo de finos nos produtos de britagem (PB-3 e PB-2) quando comparados com a PB-4; para o PB-1 a quantidade de finos apresentou aumento discretamente maior, porém com magnitude inferior a 3% do total da amostra.

5.3. Análise granuloquímica dos produtos de britagem

Os resultados de análises granuloquímicas indicaram que os teores de Ni, Co, Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO , CaO , Cr_2O_3 , Al_2O_3 , MnO e perda ao fogo apresentam comportamento semelhante para frações iguais em todos os produtos de britagem (Apêndice A).

A relação entre os teores de SiO_2 e MgO apresenta um comportamento semelhante para todos os produtos de britagem, com valor médio de 1,4 nas frações acima de 0,15 mm, aumentando para 1,8 abaixo desta fração (Apêndice A).

Os resultados comparativos para distribuição em massa, teores e distribuição de níquel dos quatro produtos de britagem, são sumariados a seguir na Tabela 2.

Tabela 2 - Sumário dos resultados de análises granuloquímicas

Fração (mm)	Massa retida (%)				Massa acumul. pass. (%)				Teores de Ni%				Distrib. acumul Ni pass.(%)			
	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1
+100	9,1	-	-	-	90,9	-	-	-	0,84	-	-	-	93,3	-	-	-
-100+76,5	10,6	-	-	-	80,3	-	-	-	1,04	-	-	-	83,7	-	-	-
-76,5+50,8	14,5	22,9	-	-	65,8	77,1	-	-	0,98	1,06	-	-	71,3	79,3	-	-
-50,8+37,5	9,5	13,4	20,4	-	56,3	63,7	79,6	-	1,04	1,05	1,01	-	62,7	67,3	82,3	-
-37,5+25,4	8,0	11,4	19,9	-	48,3	52,3	59,7	-	1,07	1,05	1,03	-	55,2	57,1	64,7	-
-25,4+12,7	10,2	12,3	17,1	42,0	38,1	40,0	42,7	58,0	1,11	1,07	1,05	1,05	45,3	45,8	49,3	62,5
-12,7+6,35	6,2	7,0	7,8	14,9	31,9	32,9	34,9	43,1	1,19	1,14	1,19	1,08	38,9	38,9	41,4	48,7
-6,35+3,35	4,0	4,3	5,0	7,7	27,9	28,7	30,0	35,5	1,22	1,21	1,20	1,16	34,6	34,5	36,3	41,1
-3,35+2,36	1,4	1,5	1,6	3,0	26,5	27,2	28,4	32,5	1,21	1,21	1,20	1,15	33,1	33,0	34,7	38,2
-2,36+1,00	2,6	2,7	2,9	4,0	23,9	24,5	25,6	28,5	1,14	1,12	1,10	1,11	30,6	30,4	32,0	34,4
-1,00+0,30	3,4	3,6	3,7	4,4	20,5	20,9	21,8	24,0	0,85	0,84	0,87	0,84	28,1	27,8	29,1	31,2
-0,30+0,15	2,5	2,6	2,9	3,3	18,0	18,3	18,9	20,7	0,82	0,87	0,84	0,84	26,3	25,9	27,1	28,9
-0,15	18,0	18,3	18,9	20,7					1,68	1,66	1,66	1,63				
Total	100,0	100,0	100,0	100,0					1,15	1,17	1,16	1,17	100,0	100,0	100,0	100,0

Os teores de níquel apresentam discretas variações ao longo da granulometria (Tabela 2, Figura 4 e Figura 5); acima de 50,8 mm estes teores estão entre 0,84 e 1,04%; nas frações entre 12,7 e 2,36 mm, ocorre um aumento discreto, porém sistemático dos teores de Ni (que se situam entre 1,15 e 1,21%). Destaca-se um aumento expressivo do conteúdo de níquel abaixo de 0,15 mm independentemente das diferentes condições de cominuição empregadas. Esta fração para os diversos *top sizes* apresenta teor médio de 1,6% de Ni.

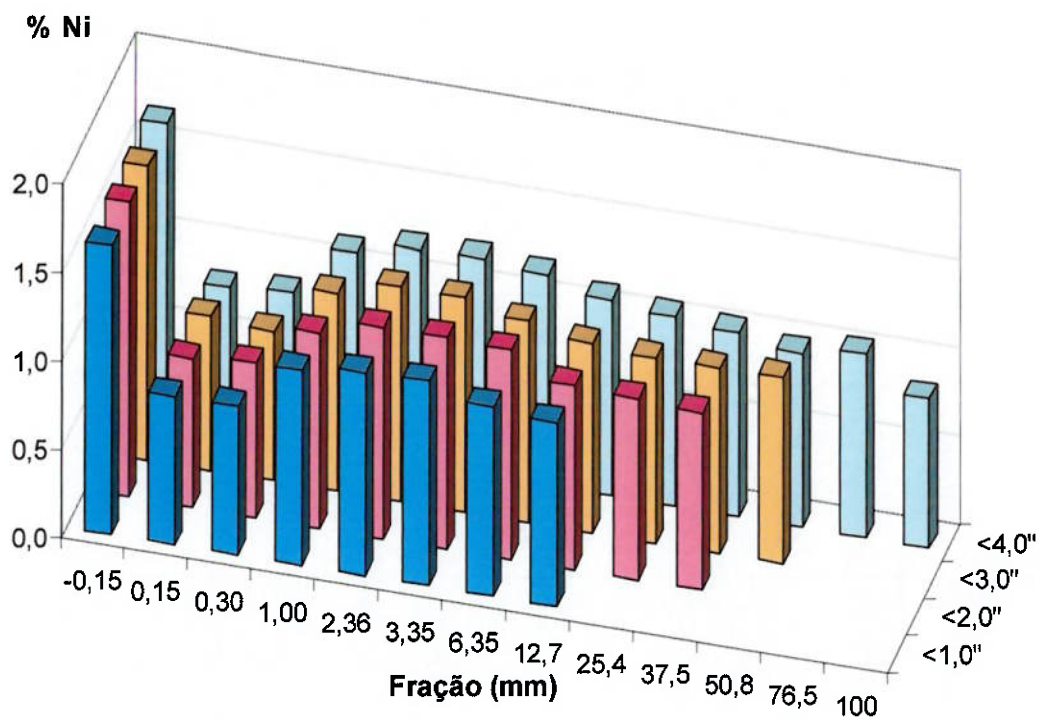


Figura 4 - Teores de Ni para os produtos de britagem

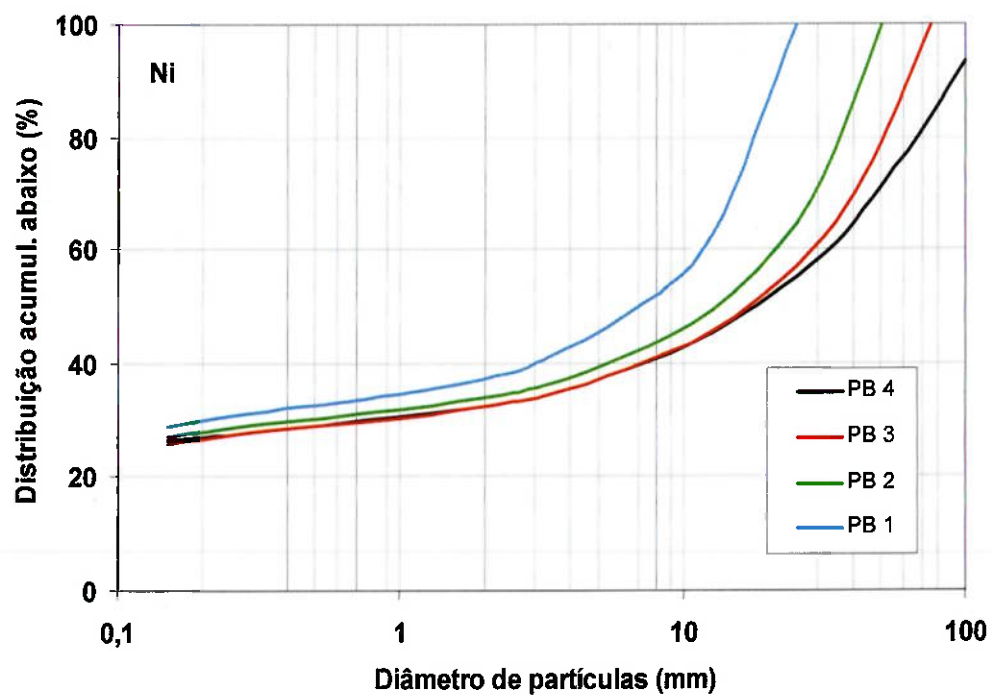


Figura 5 - Distribuições de Ni acumulada no passante para os produtos de britagem

Os teores de Co são bastante homogêneos nas frações granulométricas acima de 2,36 mm e da ordem de 0,015% de Co. Nas frações abaixo de 2,36 mm verifica-se um aumento de teor de Co com a diminuição da granulação do material, de cerca de 0,022% até 0,049% na fração passante em 0,15 mm (Figura 6, Figura 7 e Apêndice A).

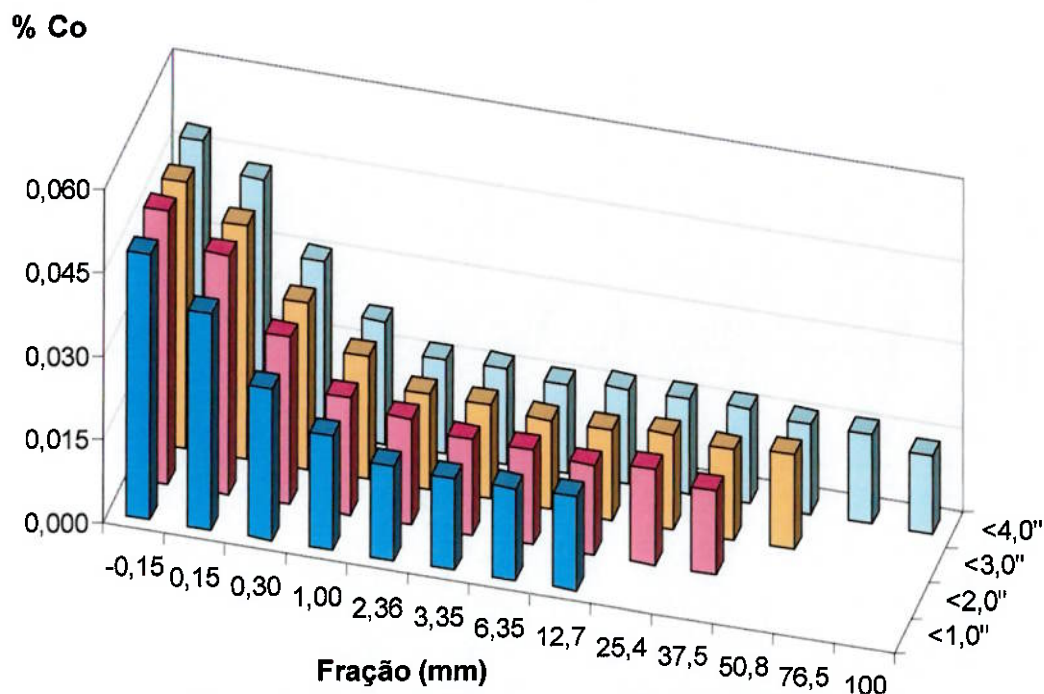


Figura 6 - Teores de Co para os produtos de britagem

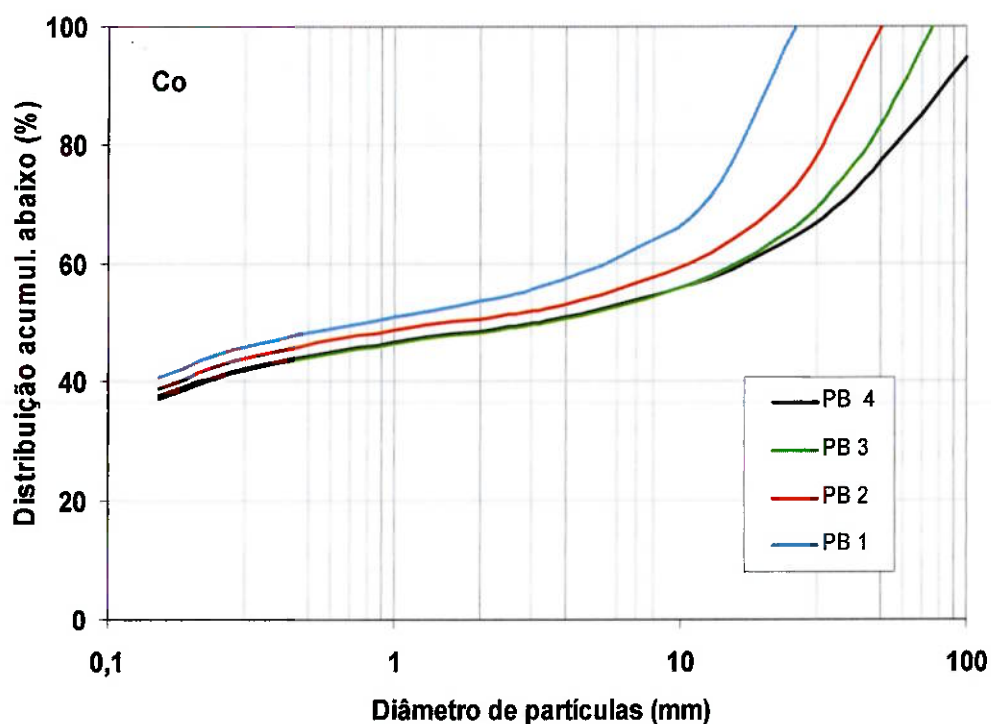


Figura 7 - Distribuições de Co acumuladas no passante para os produtos de britagem

Os teores de Fe mostram comportamento algo semelhante ao citado para o cobalto com os maiores teores junto às frações mais finas (Figura 8, Figura 9 e Apêndice A). Nas frações acima de 1,0 mm, os teores de Fe situam-se entre 9 e 11%, com tendência de elevação para os finos; no intervalo entre 1,0 e 0,15 mm os teores aumentam para cerca de 12 a 15% de Fe. Já na fração passante em 0,15 mm há um aumento expressivo no teor de Fe, com valores da ordem de 22%.

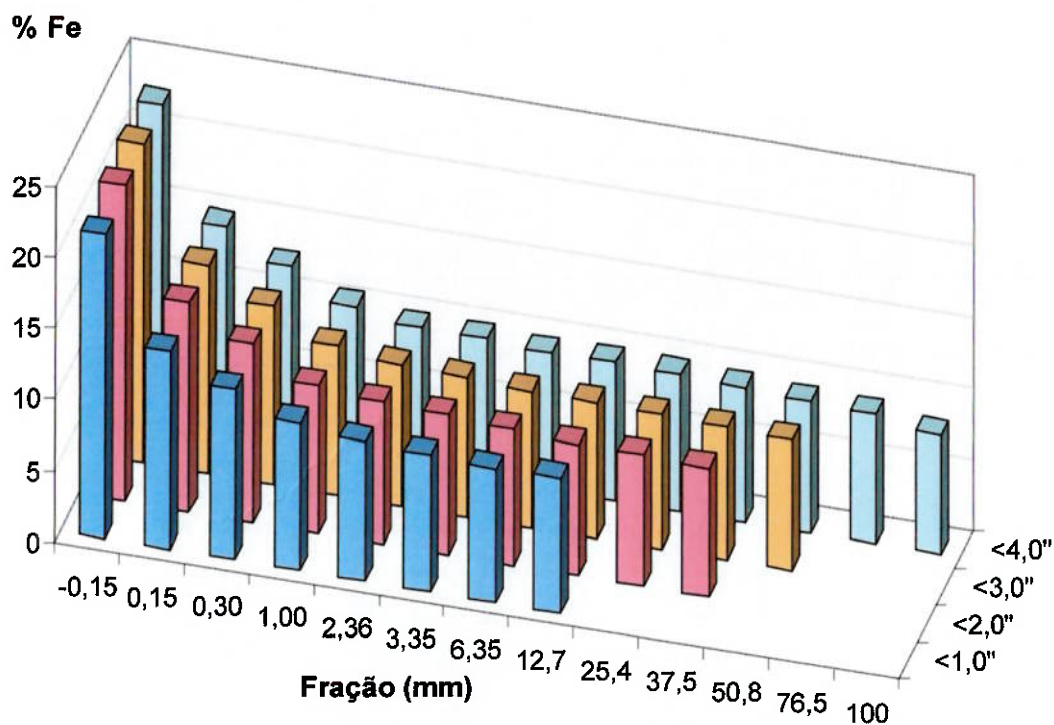


Figura 8 - Teores de Fe para os produtos de britagem

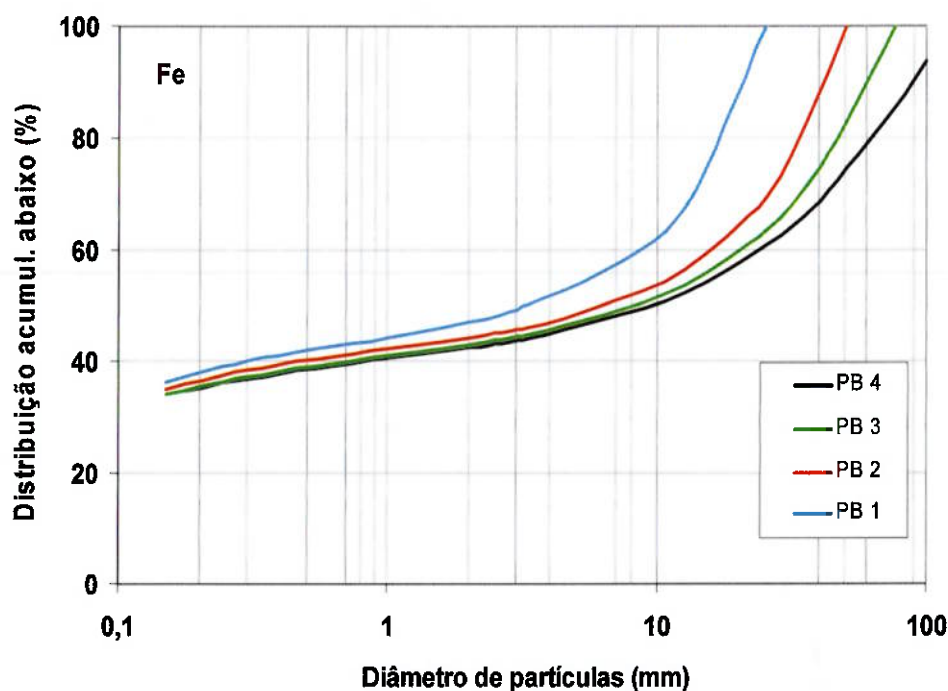


Figura 9 - Distribuições de Fe acumuladas no passante para os produtos de britagem

5.4. Sumário dos resultados de análises granuloquímicas

A Tabela 3 apresenta comparativamente o sumário dos resultados de análises granuloquímicas, com distribuições acumuladas acima e abaixo para as frações granulométricas compreendidas entre 12,7 e 100 mm, considerando-se as distintas condições de britagem. Os teores de Fe, assim como as relações SiO_2/MgO e $\text{Ni}:\text{Co}$ para o processo pirometalúrgico são atendidas em todas as situações abaixo.

Tabela 3 - Sumário dos resultados de análises granuloquímicas

ACUMULADO RETIDO → REJEITO POTENCIAL

Fração (mm)	Massa acumul. retida (%)				Teores de Ni acumul.(%)				Teores de Fe acumul.(%)				Distrib. Ni acumul. (%)			
	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1
+100	9,1				0,84				8,3				6,7			
+76,5	19,7				0,95				8,7				16,3			
+50,8	34,2	22,9			0,96	1,06			8,8	9,1			28,7	20,7		
+37,5	43,7	36,3	20,4		0,98	1,06	1,01		9,0	9,2	9,02		37,3	32,7	17,7	
+25,4	51,7	47,7	40,3		1,00	1,05	1,02		9,1	9,2	9,12		44,8	42,9	35,3	
+12,7	61,9	60,0	57,3	42,0	1,01	1,06	1,03	1,05	9,2	9,3	9,13	9,5	54,7	54,2	50,7	37,5

ACUMULADO PASSANTE → PRODUTO POTENCIAL

Fração (mm)	Massa acumul. passante (%)				Teores de Ni acumul.(%)				Teores de Fe acumul.(%)				Distrib. Ni acumul.(%)			
	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1	PB-4	PB-3	PB-2	PB-1
-100,0	90,9				1,18				12,3				93,3			
-76,5	80,3				1,20				12,8				83,7			
-50,8	65,8	77,1			1,24	1,20			13,5	12,9			71,3	79,3		
-37,5	56,3	63,7	79,6		1,28	1,24	1,20		14,2	13,6	12,7		62,7	67,3	82,3	
-25,4	48,3	52,3	59,7		1,31	1,28	1,26		15,0	14,6	13,9		55,2	57,1	64,7	
-12,7	38,1	40,0	42,7	58,0	1,37	1,34	1,34	1,26	16,4	16,1	15,8	14,2	45,3	45,8	49,3	62,5
Aliment	100,0	100,0	100,0	100,0	1,15	1,17	1,16	1,17	12,0	12,0	12,0	12,2	100,0	100,0	100,0	100,0

Nota: restrições metalúrgicas ($\text{Fe} < 19\%$, relação $\text{SiO}_2/\text{MgO} < 1,75$ e $\text{Ni}:\text{Co}$ 30-35 ou maior); dados informados pela CODEMIN

Pelos resultados obtidos, verifica-se que a redução do *top size* de britagem somente dilui os teores de Ni nos eventuais produtos passíveis de serem obtidos, além de acrescentar eventuais custos de produção.

Considerando-se uma operação de peneiramento com descarte da fração grossa, verifica-se um pequeno enriquecimento do teor de níquel, sem comprometimento das restrições metalúrgicas.

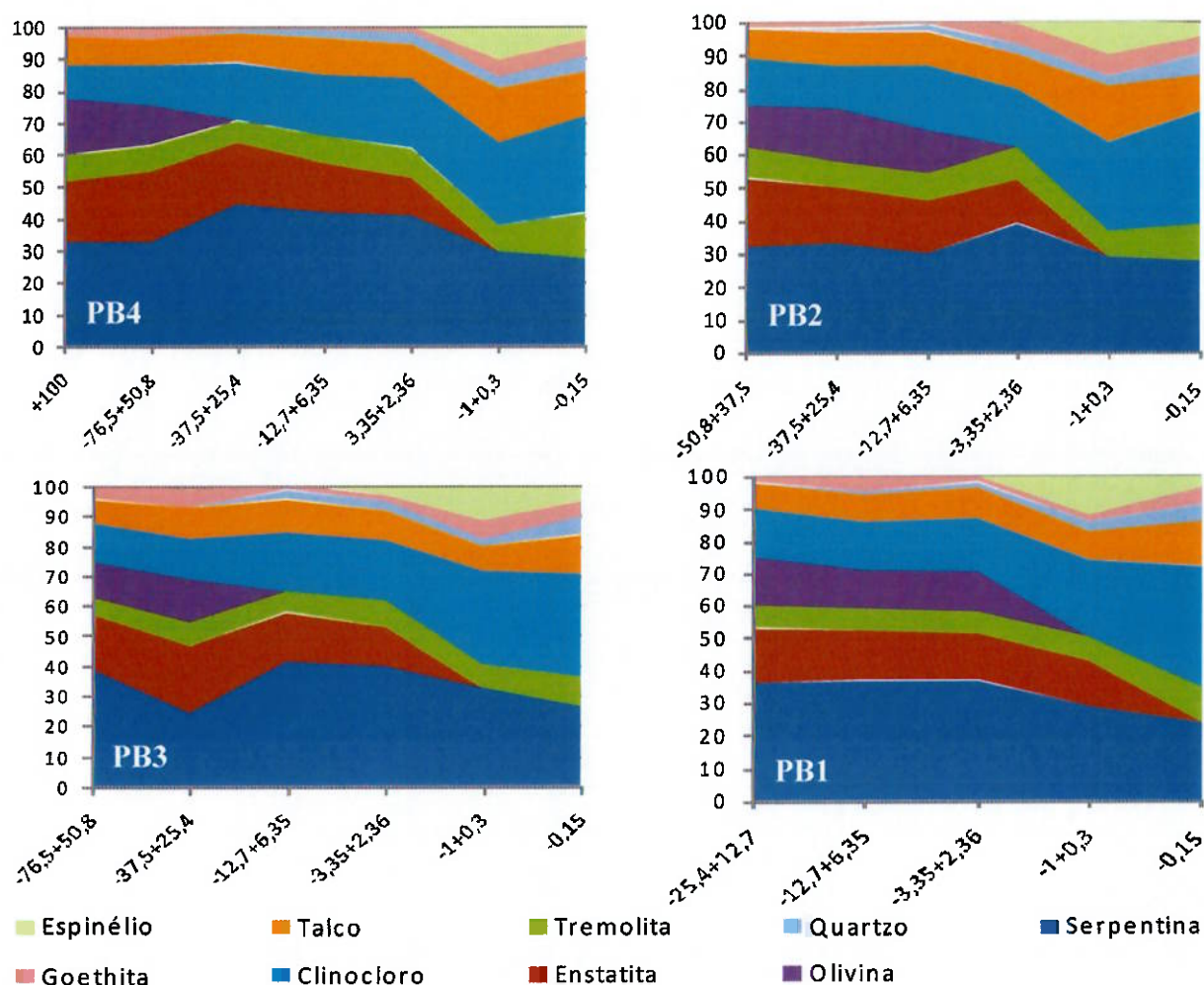
5.5. Análises mineralógicas

A estimativa da composição mineralógica efetuada por difratometria de raios X (método RIR) em frações selecionadas (Apêndice B) é apresentada na Tabela 4 e na Figura 10 para as distintas condições de britagem.

Tabela 4 - Resultados de análises mineralógicas por difração de raios X (% massa)

Fração (mm)	Minerais (%)								
	Serpentina	Enstatita	Tremolita	Olivina	Clinocloro	Talco	Quartzo	Goethita	Espinélio
PB-4									
+100	33	19	8	18	10	9	-	2	-
-76,5+50,8	33	22	8	13	12	8	-	4	-
-37,5+25,4	45	19	7	-	18	9	1	2	-
-12,7+6,35	42	16	8	-	19	11	3	2	-
-3,35+2,36	41	12	9	-	22	10	4	2	-
-1,00+0,30	30	-	8	-	26	17	4	5	10
-0,15	28	-	14	-	30	14	5	5	4
PB-3									
-76,5+50,8	39	18	6	12	13	8	-	5	-
-37,5+25,4	25	22	8	14	14	10	-	6	-
-12,7+6,35	42	16	7	-	20	11	3	2	-
-3,35+2,36	40	13	9	-	20	10	3	2	3
-1,00+0,30	33	-	8	-	31	8	3	6	13
-0,15	27	-	10	-	34	13	6	5	5
PB-2									
-50,8+37,5	32	21	9	13	14	9	-	2	-
-37,5+25,4	33	17	8	16	13	10	1	2	-
-12,7+6,35	30	16	8	13	20	10	2	2	-
-3,35+2,36	39	13	10	-	18	10	3	6	3
-1,00+0,30	29	-	8	-	27	17	3	6	10
-0,15 mm	28	-	11	-	34	11	6	5	4
PB-1									
-25,4+12,7	36	17	7	15	15	8	-	2	-
-12,7+6,35	37	15	7	12	15	8	1	5	-
-3,35+2,36	37	14	7	12	17	9	2	2	-
-1,00+0,30	29	14	7	-	24	9	3	2	12
-0,15 m	24	-	11	-	37	14	5	5	4

Nota: resultados semi-quantitativos determinados a partir de difração de raios X através do método RIR (Reference Intensity Ratio)



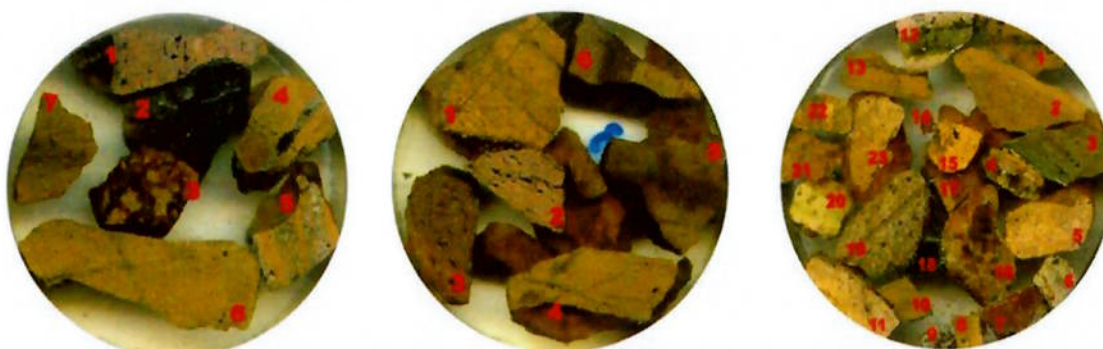
A amostra estudada é constituída basicamente por serpentina, enstatita, clinocloro e talco, sendo que ainda estão presentes em menores quantidades goethita, tremolita, quartzo, olivina, e espinélio (cromita e outros).

Olivina está restrita às frações mais grossas e enstatita às frações grossas a intermediárias; clinocloro (clorita) e talco mostram enriquecimento nas frações mais finas. É de se destacar que abaixo de 1 mm ocorrem maiores proporções de clinocloro e menores quantidades de serpentina.

5.6. Sumário das microanálises químicas por EDS

A avaliação da forma de ocorrência do níquel foi efetuada através de microscópio eletrônica de varredura com microanálises químicas por EDS objetivando avaliar os teores de Ni nas distintas fases presentes, as quais foram discriminadas através de imagens de elétrons retro-espalhados (contraste de número atômico) e feições texturais.

A fotografia 4 ilustra as seções polidas de montagem de grãos relativas às frações PB 4 +100 mm e PB 4 +6,35 mm, onde pode se verificar distintos graus de alteração. Os números assinalados correspondem as partículas analisadas (área); nas frações mais finas as análises de Ni foram efetuadas tanto por área selecionada como pontos. As proporções de óxidos foram normalizadas para 100%. Imagens de elétron retro-espalhados são ilustradas na Fotografia 5



Fotografia 4 - Seções polidas das amostras PB 4 +100 mm e PB 4 +6,35 mm

PB 4" +100 mm	Inalt. 0,07% Ni	Parcial. alt. 0,16% Ni	Alt. 1,03 % Ni
PB 4" +6,35 mm		Parcial. alt. 0,85% Ni	Alt. 2,81% Ni
PB 4" + 0,30	Inalt. 0% Ni	Argila Fe 2,54% Ni Cromita 0% Ni	Argila Fe Mg 2,05% Ni Argila Fe Mg 1,15% Ni

Fotografia 5 - Imagens ao MEV ilustrando as características do material e teores associados de níquel.

A Tabela 5 apresenta o resultado o sumário do resultado das análises químicas por EDS realizadas nos produtos PB 4 +100 mm, PB4 +6,35 mm e PB4 +0,30 mm. Devido ao tamanho das partículas, as fases dos produtos PB 4 +100mm e PB4 +6,35 mm foram classificadas em alterado, inalterado e parcialmente argiloso. Já as fases do produto PB 4 +0,30 mm, devido à sua menor dimensão, foram classificadas mais detalhadamente.

Tabela 5 - Sumário das microanálises químicas por EDS

Fração (mm)	Fase	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	NF
100	inalterado	40,1	1,4	43,7	0,4	0,6	0,2	13,2	0,33	6
	alterado	38,3	1,5	42,9	0,9	0,6	0,2	14,2	1,57	7
6.36	alterado baixo Ni	37,9	1,6	45,3	0,6	0,6	0,2	13,4	0,40	4
	parcial argiloso	33,9	3,0	46,9	2,5	0,7	0,2	11,7	1,12	5
	alterado	35,2	1,7	42,1	0,3	0,7	0,2	17,5	2,34	14
0.30	argila Fe	18,2	3,4	47,7	0,2	0,3	0,5	30,0	2,09	15
	argila Fe-Mg	31,6	1,5	49,2	0,2	0,2	0,5	15,4	2,37	29
	óxidos Fe-Mn	6,4	10,9	13,9	0,2	0,3	17,2	45,0	9,93	3
	sil. mag. alterado	39,8	0,7	45,0	0,2	0,3	0,2	12,9	1,50	15
	sil. mag. inalterado	49,1	0,9	38,2		0,1	0,1	11,9	0,35	4
	pirox./anfib. alterado	43,0	1,2	45,1	0,1	0,3	0,2	9,9	0,45	6
	argila Mg-Al	38,4	18,4	37,3	0,1	1,2	0,1	4,5	0,22	4
	argila Mg	34,4	2,1	53,7	0,4	0,5	0,3	8,8	0,14	11
	calcedônia	0,4		98,6	0,1	0,1	0,1	0,8	0,25	4
	cromita	11,4	26,4	3,1	0,1	31,5	0,4	27,0	0,21	9
	magnetita-hematita	0,7	0,2	0,8	0,1	0,1	0,4	98,0	0,11	3

NF= número de fases analisadas por EDS

As fases equivalentes foram separadas por cor com o objetivo de tornar a comparação entre os diferentes produtos mais clara. Verifica-se que as partículas menos alteradas, que apresentam menores teores de níquel, ocorrem preferencialmente nas frações mais grossas corroborando os resultados de análises químicas e mineralógicas.

6. CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS

Os resultados das análises granulométricas indicaram que a redução do *top size* de britagem não promove enriquecimento substancial do Ni nas frações mais finas, além de acrescer eventuais custos de produção. Por isso, a análise econômica apresentada a seguir considerou a possibilidade de descarte das frações mais grossas (com menores teores de níquel) unicamente do produto da britagem primária (PB-4) (Apêndice C).

Para avaliação da possibilidade de descarte das frações grossas, considerou-se como premissa que os teores de Fe e as relações $\text{SiO}_2\text{:MgO}$ e Ni:Co devem atender às especificações da empresa, conforme explicitado na Tabela 6. As relações $\text{SiO}_2\text{:MgO}$, Ni:Co e os teores de Fe atendem aos requisitos da etapa de pirometalurgia.

Tabela 6 - Especificação de teores de produto para pirometalurgia

Especificação	Fe	$\text{SiO}_2\text{:MgO}$	Ni:Co
Teores de controle (%)	max. 19,0	max. 1,75	30-35 ou maior

Fonte: CODEMIN

A Figura 11 apresenta os teores de Ni, Fe e recuperação em massa dos produtos passíveis de serem obtidos considerando-se unicamente o descarte das frações mais grossas do produto da britagem primária (PB-4).

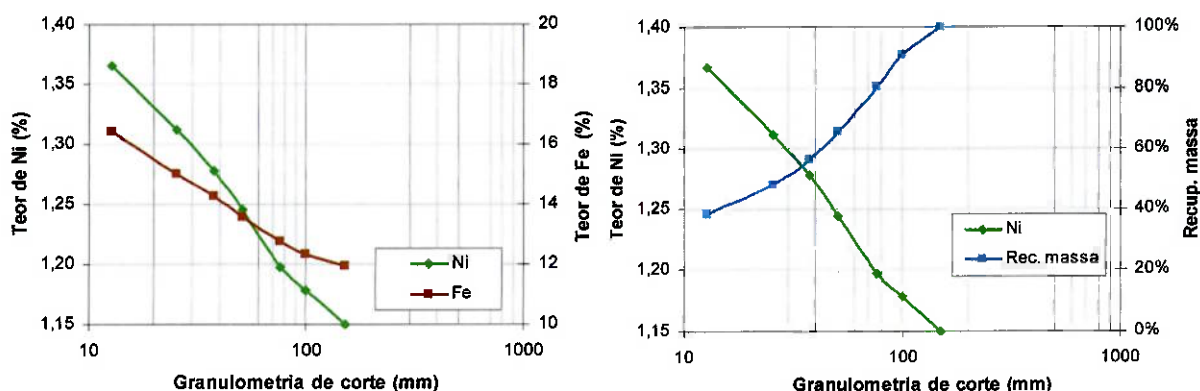


Figura 11 - Teores de Ni, Fe e recuperação em massa para o PB-4 (valores para o passante)

A análise de sensibilidade apresentada a seguir considera informações fornecidas pela CODEMIN, sendo que não foram estimados os custos adicionais de processamento decorrentes de uma etapa de escalpe, bem como consideradas recentes variações nos preços do níquel.

A avaliação da receita adicional foi simulada considerando-se o aumento nos custos de beneficiamento entre US\$ 0,50 e 3,00/por tonelada de minério processado; como critérios suplementares foram adotadas as informações abaixo, também fornecidas pela CODEMIN, ou seja:

- produção: de 528.000 t/ano
- custo de mina: 2,72 US\$/t
- recuperação metalúrgica: 89%
- preço de longo prazo do produto final: 15.432 US\$/t.

Os critérios de cálculo empregados nesta análise foram:

$$\text{Custo produção} = (\text{Alimentação total} - \text{Alimentação final}) \times \text{Custo}_{\text{mina}} + \text{Alimentação total} \times \text{Custo}_{\text{processo}}$$

$$\text{Receita} = \left(\frac{\text{teor}_{\text{upgrade}} - \text{teor}_{\text{médio}}}{100} \right) \times \text{Alimentação}_{\text{final}} \times \text{Recuperação} \times \text{Preço}_{\text{LP}}$$

Onde,

Alimentação final = 528.000 t/ano (Produto para pirometalurgia)

Alimentação total = Alimentação nova para atingir 528.000 t/ano com o corte

Custo mina = Custo de mina

Custo processo = Custo de processo (variável US\$ 0.50 a US\$ 3.00/por tonelada)

Teor upgrade = Teor médio da amostra depois do corte

Teor médio = Teor médio da amostra antes do corte

Recuperação = Recuperação metalúrgica do processo

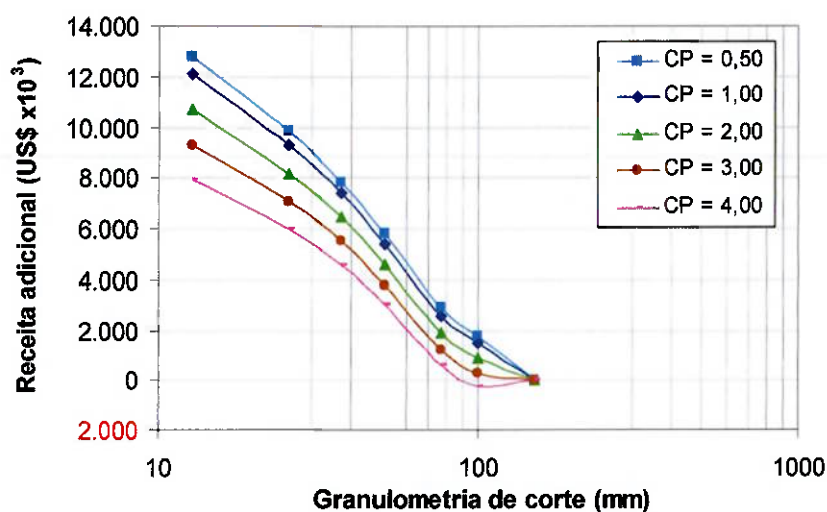
Preço LP = Preço de longo prazo

Pela diferença da receita e do custo foi calculado o lucro ou prejuízo adicional com o corte

Os resultados obtidos na análise de sensibilidade em função dos custos adicionais de processamento (CP) são apresentados na Tabela 7 e Figura 12.

Tabela 7 - Análise de sensibilidade em função dos custos adicionais de processamento

Custo de processamento		US\$ 0,50/t		US\$ 1,00/t		US\$ 2,00/t		US\$ 3,00/t	
Peneiramento (mm)	Receita adic. US\$ x 10 ³	Custo adic. US\$ x 10 ³	Lucro US\$ x 10 ³	Custo adic. US\$ x 10 ³	Lucro US\$ x 10 ³	Custo adic. US\$ x 10 ³	Lucro US\$ x 10 ³	Custo adic. US\$ x 10 ³	Lucro US\$ x 10 ³
Tal Qual	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	2.199	434	1.766	724	1.475	1.305	894	1.886	314
76,5	3.577	682	2.896	1.010	2.567	1.668	1.909	2.326	1.251
50,8	6.965	1.147	5.818	1.548	5.417	2.350	4.615	3.152	3.813
37,5	9.432	1.584	7.849	2.053	7.380	2.990	6.442	3.928	5.504
25,4	11.894	2.087	9.808	2.634	9.261	3.728	8.167	4.822	7.072
12,7	15.808	3.026	12.782	3.719	12.089	5.105	10.703	6.491	9.317



Nota: em vermelho são apresentados os valores negativos.

Figura 12 - Análise de sensibilidade em função dos custos adicionais de processamento (US\$/t)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A amostra estudada é composta essencialmente por SiO₂ (39%), MgO (27%) e Fe (12%); o níquel ocorre em teores da ordem de 1,15% enquanto que o cobalto apresenta teor médio de 0,023%. Os minerais mais abundantes são serpentina, enstatita, clorita (clinocloro) e talco; estão presentes, em menores quantidades goethita, tremolita, quartzo, olivina e espinélios.

O níquel está presente em teores mais elevados nos materiais mais alterados, assim, os materiais mais rochosos e menos alterados, que chegam à usina em uma granulometria maior, devido a sua maior resistência, possuem teores mais baixos de níquel.

Portanto, a cominuição do material em menores *top sizes* de britagem somente promove maiores diluições dos teores de Ni nos eventuais produtos passíveis de serem obtidos, além de acrescer custos de produção.

Uma operação de peneiramento do produto da britagem primária com o descarte da fração retida (grelha com descarte do *oversize*) possibilita um discreto enriquecimento do teor de níquel. De acordo com o estudo ora efetuado as características dos produtos passíveis de serem obtidos são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Características dos produtos passíveis de serem obtidos através de escalpe do produto da britagem primária (valores para a fração passante)

Peneiramento (mm)	% em massa	Teores (%)				Relações		Recuperação de Ni(%)
		Ni	Fe	SiO ₂	MgO	Ni/Co	SiO ₂ /MgO	
Tal qual	100,0	1,15	12,0	38,6	27,1	49,0	1,42	100,0
-100,0	90,9	1,18	12,3	38,2	26,8	48,3	1,43	93,3
-76,5	80,3	1,20	12,8	38,0	26,1	46,9	1,46	83,7
-50,8	65,8	1,24	13,5	37,4	25,3	45,1	1,48	71,3

Com os dados ora obtidos e os parâmetros econômicos fornecidos pela CODEMIN, é apresentado na Tabela 9 o potencial estimado de receita adicional considerando-se distintos cenários de custos adicionais de processamento entre US\$ 0,50 e 4,00/t (estima-se que a ordem de grandeza destes custos deve estar entre US\$ 0,50 e 1,00/t).

Tabela 9 - Receita adicional estimada para diferentes cortes (escalpe) da alimentação da britagem secundária em função de custos de processamento

Peneiramento (mm)	Receita adicional US\$ x 10 ³ em função de custos de processamento			
	US\$ 0,50/t	US\$ 1,00/t	US\$ 2,00/t	US\$ 3,00/t
Tal qual	0	0	0	0
-100 mm	1.766	1.475	894	314
-76,5 mm	2.896	2.567	1.909	1.251
-50,8 mm	5.818	5.417	4.615	3.813

Para todas as condições de corte granulométrico consideradas são atendidas as restrições metalúrgicas. Verifica-se que cortes em granulometrias mais finas apresentam potencial aumento da receita, porém com menores recuperações em massa. Dessa forma, aumenta-se também a quantidade de rejeito e os custos de disposição deste.

Adicionalmente, considerando-se que a britagem promoveu uma diluição dos teores de Ni, recomenda-se que sejam avaliados os teores de Ni e Fe nos matacões (*bolders*) comparativamente à matriz. Assim, recomenda-se que se faça a amostragem da fração retida (*boulders*) na grelha da britagem primária para avaliar os teores desta fração.

Caso esta fração possua efetivamente um menor teor de níquel, poderia evitar, que a cominuição deste material viesse a diluir os teores de Ni, seja através de uma lavra seletiva ou remoção dos *bolders* na etapa de britagem primária, com uma maior relação custo/benefício.

Estas alternativas de remoção de grossos antes ou após a britagem primária devem ser objeto de estudos complementares.

REFERÊNCIAS

BOLDT, J. R. The winning of nickel: its geology, mining, and extractive metallurgy. Princeton, N.J.: Van Nostrand, [c1967]. xiv, 487 p.

CULITY, B. D. Elements of X-ray diffraction. 2.ed. Addison-Wesley Publishing Company, INC., 1978. 555p.

DALVI, A. D.; BACON, W.G.; OSBORNE, R.C. The Past and the Future of Nickel Laterites. Ontario: Inco Limited, 2004.

GOLDSTEIN, J.I., et al - Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis - A Textbook for Biologist, Materials Scientists and Geologists. New York: Plenum Press, 1992

JENKINS, R.; De VRIES, J.L. Practical X-ray Spectrometry. New York: Springer-Verlag, 1975

PETERSEN, I. F.; MINKKINEN, P.; ESBENSEN, K.H. Represenative sampling for reliable data analysis: Theory of Sampling. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 77, p. 261-277. 2005.

RODRIGUES, R.L.; COSTA, M.L.; RODRIGUES, G.C. Os minérios lateríticos e o mercado de níquel. Metalurgia e Materiais, São Paulo, volume 64, n. 593, p. 518 - 522, outubro 2008.

APÊNDICE

A - ANÁLISES GRANULOQUÍMICAS

B - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS X

**C - SIMULAÇÃO DE DESCARTE DAS FRAÇÕES GROSSAS DO PRODUTO
DA BRITAGEM PRIMÁRIA**

Tabela 10 - Análise granulométrica do Produto Britado 3 (PB-3)

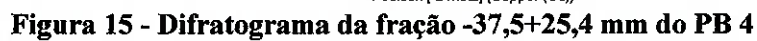
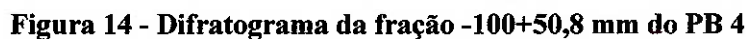
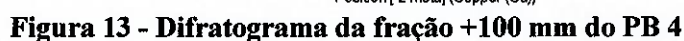
Fração mm	% Massa		Teores (%)										Relações		Distribuição (%)					
	Retida	Acum.	Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	PF	Ni/Co	SiO ₂ /MgO	Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	PF
-76,5+50,8	22,9	22,9	1,06	0,017	9,11	40,4	30,4	0,49	0,93	1,31	0,17	11,3	62,2	1,33	20,7	16,5	17,4	24,2	25,5	23,6
-50,8+37,5	13,4	36,3	1,05	0,016	9,24	39,6	30,8	0,47	1,00	1,53	0,17	11,5	65,6	1,28	12,0	9,1	10,3	13,8	15,1	13,2
-37,5+25,4	11,4	47,7	1,05	0,017	9,37	40,3	30,2	0,68	1,00	1,63	0,17	11,5	61,8	1,33	10,3	8,2	8,9	12,0	12,7	16,3
-25,4+12,7	12,3	60,0	1,07	0,016	9,49	40,2	29,3	0,73	1,07	1,76	0,17	11,6	67,0	1,38	11,3	8,4	9,7	13,0	13,2	18,9
-12,7+6,35	7,0	67,1	1,14	0,016	9,48	40,8	28,5	0,73	1,12	1,82	0,16	12,0	71,2	1,43	6,9	4,8	5,6	7,5	7,4	10,8
-6,35+3,35	4,3	71,3	1,21	0,017	9,74	40,1	28,4	0,52	1,26	1,84	0,17	12,1	71,2	1,41	4,4	3,1	3,4	4,5	4,4	4,6
-3,35+2,36	1,5	72,8	1,21	0,017	9,88	39,4	28,2	0,42	1,53	2,11	0,18	12,7	71,4	1,40	1,6	1,1	1,2	1,5	1,6	1,3
-2,36+1,00	2,7	75,5	1,12	0,022	10,4	38,6	27,4	0,34	2,37	2,80	0,23	11,9	50,9	1,41	2,6	2,5	2,4	2,7	2,7	1,9
-1,00+0,30	3,6	79,1	0,84	0,030	12,5	34,2	25,5	0,19	4,85	4,81	0,34	11,3	28,2	1,34	2,6	4,5	3,7	3,2	3,3	1,4
-0,30+0,15	2,6	81,7	0,87	0,042	14,7	32,8	23,4	0,19	5,26	5,42	0,49	10,3	20,6	1,40	1,9	4,7	3,2	2,2	2,3	1,0
-0,15	18,3	100,0	1,66	0,048	22,4	32,0	17,7	0,18	1,17	2,46	0,50	12,0	34,5	1,82	25,9	37,2	34,2	15,3	11,8	6,9
Total	100,0		1,17	0,024	12,0	38,3	27,3	0,48	1,34	1,99	0,25	11,6	49,6	1,40	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabela 11 - Análise granulométrica do Produto Britado 2 (PB-2)

Fração mm	% Massa		Teores (%)								Relações		Distribuição (%)							
	Retida	Acum.	Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	PF	Ni/Co	SiO ₂ /MgO	Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	PF
-50,8+37,5	20,4	20,4	1,01	0,015	9,02	41,0	30,4	0,62	0,96	1,69	0,17	10,4	67,2	1,35	17,7	12,8	15,3	21,6	22,8	23,6
-37,5+25,4	19,9	40,3	1,03	0,017	9,21	41,0	30,2	0,72	1,02	1,69	0,18	10,5	60,6	1,36	17,6	14,2	15,3	21,1	22,1	26,7
-25,4+12,7	17,1	57,3	1,05	0,016	9,16	40,6	29,9	0,71	1,03	1,59	0,16	11,7	66,3	1,36	15,4	11,4	13,0	18,0	18,8	22,6
-12,7+6,35	7,8	65,1	1,19	0,017	9,48	40,6	29,1	0,66	1,13	1,80	0,17	11,8	69,9	1,39	8,0	5,5	6,1	8,2	8,3	9,6
-6,35+3,35	5,0	70,1	1,20	0,017	9,72	40,1	28,5	0,51	1,22	1,74	0,17	12,5	70,4	1,41	5,1	3,5	4,0	5,2	5,2	4,7
-3,35+2,36	1,6	71,6	1,20	0,019	9,86	39,6	28,5	0,44	1,51	2,08	0,18	12,5	62,9	1,39	1,6	1,2	1,3	1,6	1,6	1,3
-2,36+1,00	2,9	74,5	1,10	0,021	10,3	38,7	27,7	0,36	2,27	2,66	0,22	12,0	52,6	1,40	2,7	2,5	2,4	2,9	2,9	1,9
-1,00+0,30	3,7	78,2	0,87	0,030	12,4	34,5	25,6	0,20	4,66	4,58	0,33	11,2	29,1	1,35	2,8	4,7	3,9	3,3	3,5	1,4
-0,30+0,15	2,9	81,1	0,84	0,043	14,6	33,0	23,4	0,21	5,23	5,42	0,48	10,5	19,5	1,41	2,1	5,2	3,5	2,5	2,5	1,1
-0,15	18,9	100,0	1,66	0,049	22,2	32,0	17,8	0,20	1,26	2,46	0,51	12,3	33,9	1,80	27,1	38,9	35,0	15,7	12,4	7,1
Total -50 x	100,0		1,16	0,024	12,0	38,6	27,2	0,54	1,37	2,08	0,25	11,3	48,66	1,42	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabela 12 - Análise granuloquímica do Produto Britado 1 (PB-1)

Fração mm	% Massa		Teores (%)								Relações		Distribuição (%)							
	Retida	Acum.	Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	CaO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	PF	Ni/Co	SiO ₂ /MgO	Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	PF
-25,4+12,7	42,0	42,0	1,05	0,017	9,47	39,9	30,1	0,67	1,09	1,61	0,17	11,1	62,8	1,33	37,5	28,7	32,5	44,1	46,5	53,9
-12,7+6,35	14,9	56,9	1,08	0,016	9,37	40,6	29,9	0,71	1,07	1,71	0,16	11,3	66,0	1,36	13,7	10,0	11,4	15,9	16,4	20,3
-6,35+3,35	7,7	64,5	1,16	0,016	9,57	40,0	29,1	0,54	1,15	1,71	0,17	12,5	71,7	1,38	7,6	5,1	6,0	8,1	8,2	7,9
-3,35+2,36	3,0	67,5	1,15	0,017	9,77	39,7	29,0	0,50	1,37	1,91	0,17	12,5	69,0	1,37	3,0	2,1	2,4	3,1	3,2	2,9
-2,36+1,00	4,0	71,5	1,11	0,020	10,3	38,6	28,0	0,41	2,18	2,50	0,22	12,3	54,0	1,38	3,8	3,3	3,4	4,0	4,1	3,1
-1,00+0,30	4,4	76,0	0,84	0,027	11,9	35,0	26,5	0,26	4,42	4,39	0,30	11,5	31,1	1,32	3,2	4,9	4,3	4,1	4,3	2,2
-0,30+0,15	3,3	79,3	0,84	0,039	13,8	33,5	24,5	0,22	4,96	5,16	0,44	10,7	21,6	1,37	2,4	5,3	3,7	2,9	3,0	1,4
-0,15	20,7	100,0	1,63	0,048	21,4	32,6	18,6	0,21	1,23	2,39	0,49	12,2	34,1	1,76	28,9	40,6	36,2	17,8	14,2	8,3
Total	100,0		1,17	0,024	12,2	38,0	27,1	0,52	1,45	2,08	0,25	11,5	48,0	1,40	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0



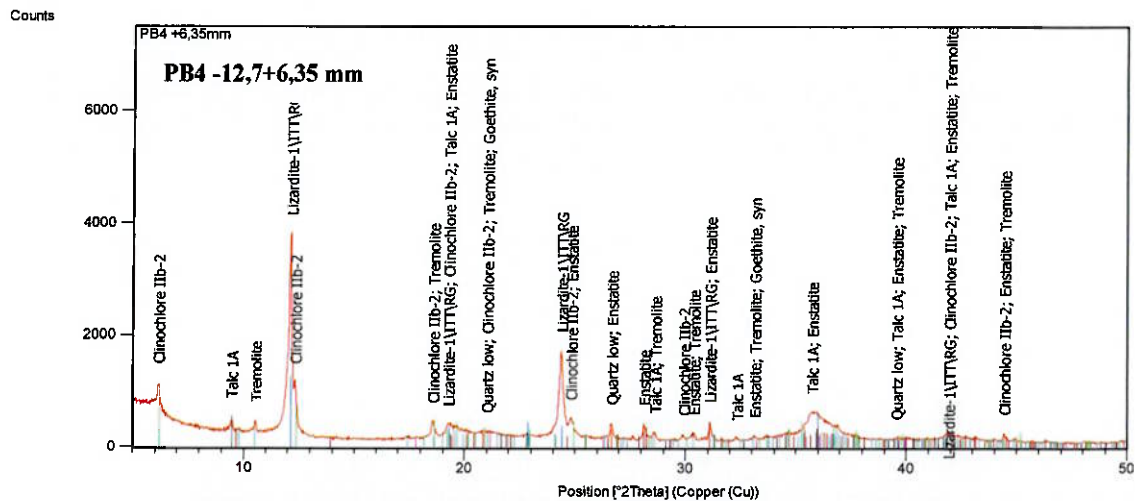


Figura 16 - Difratoograma da fração -12,7+6,35 mm do PB 4

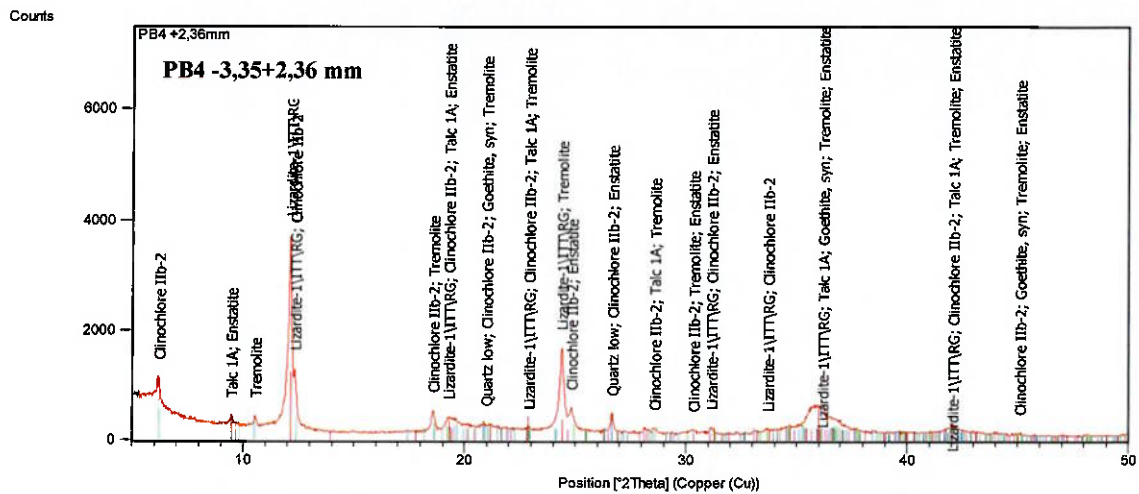


Figura 17 - Difratoograma da fração -3,35+2,36 mm do PB 4

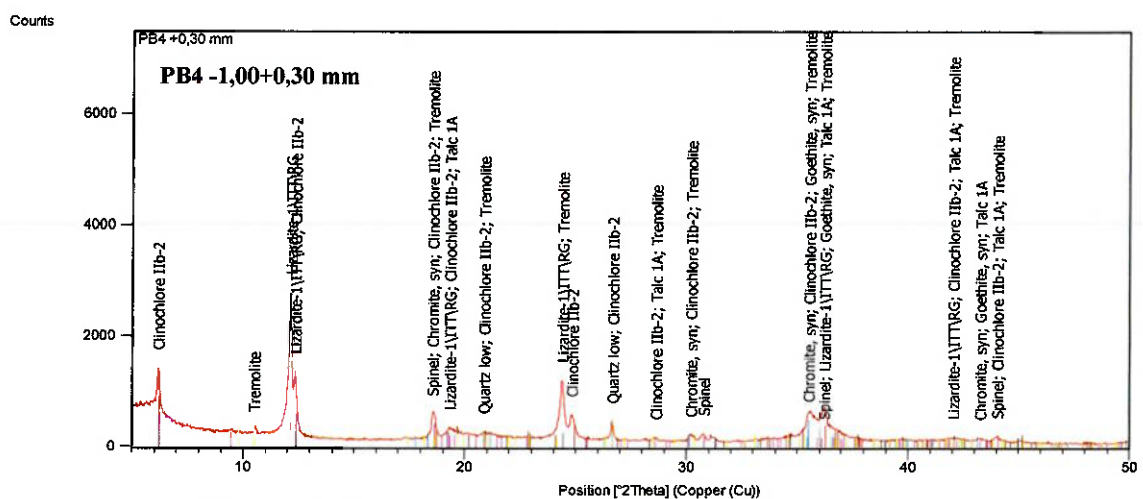


Figura 18 - Difratoograma da fração -1,00+0,30 mm do PB 4

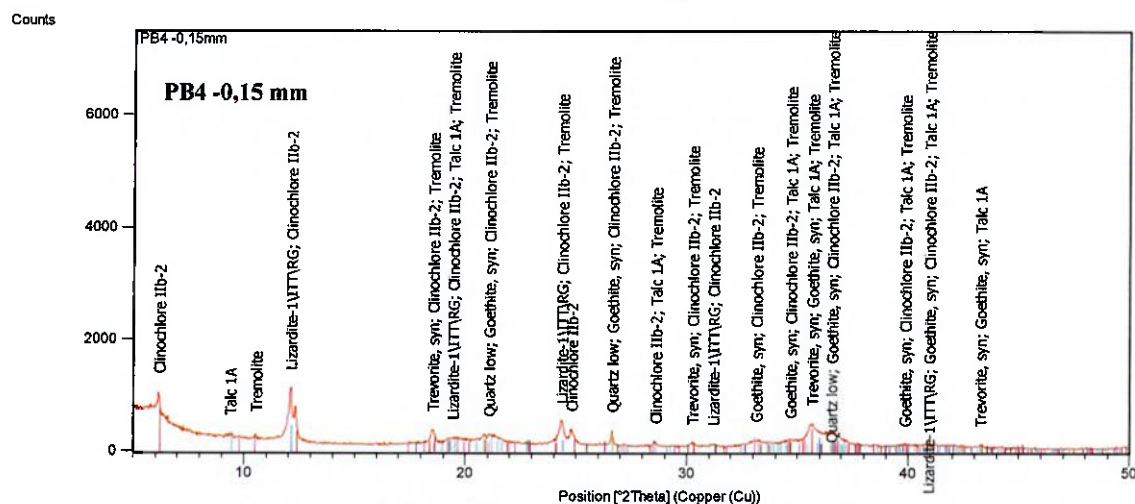


Figura 19 - Difratoograma da fração -0,15 mm do PB 4

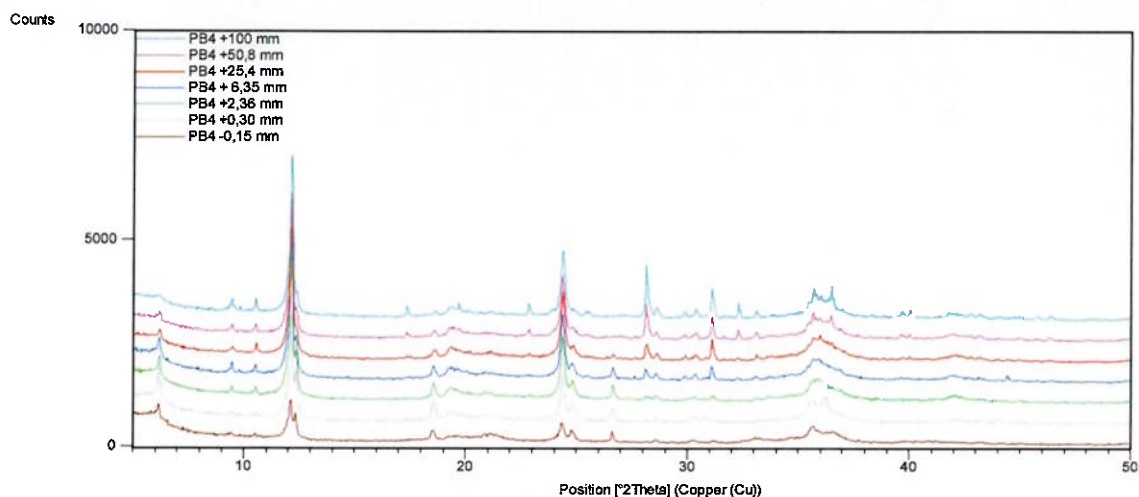
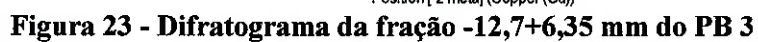
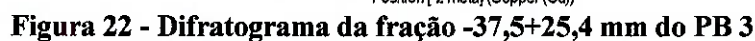
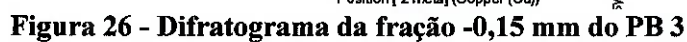
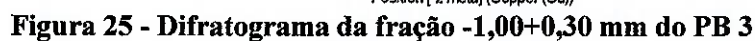
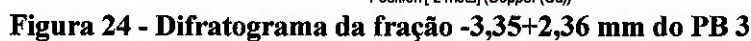


Figura 20 - Comparação dos difratogramas das frações granulométricas do PB 4





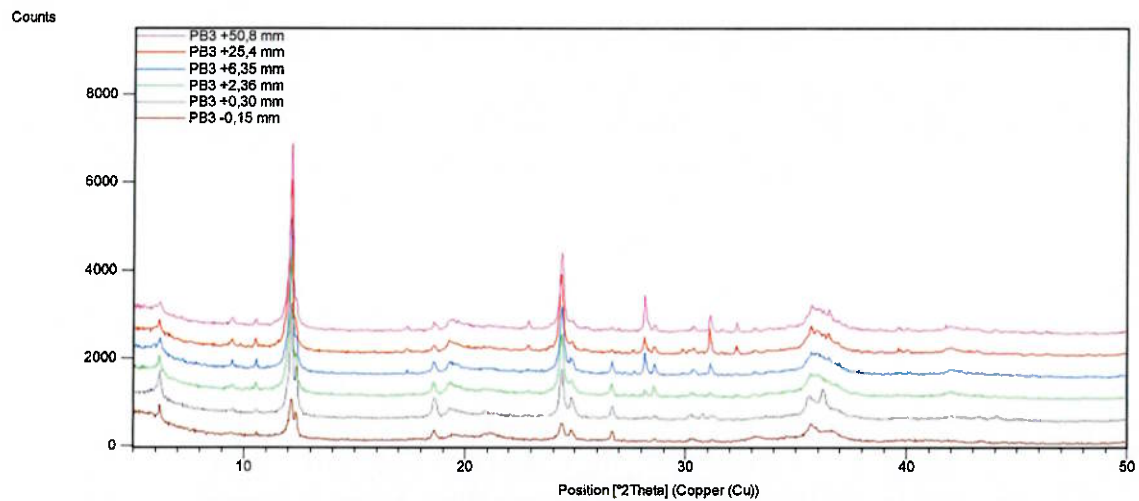
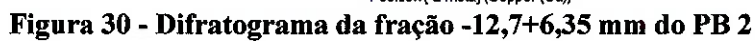
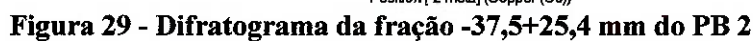
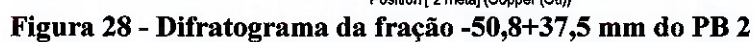
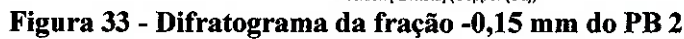
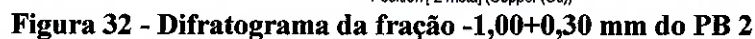
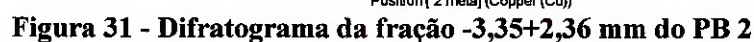


Figura 27 - Comparação dos difratogramas das frações granulométricas do PB 3





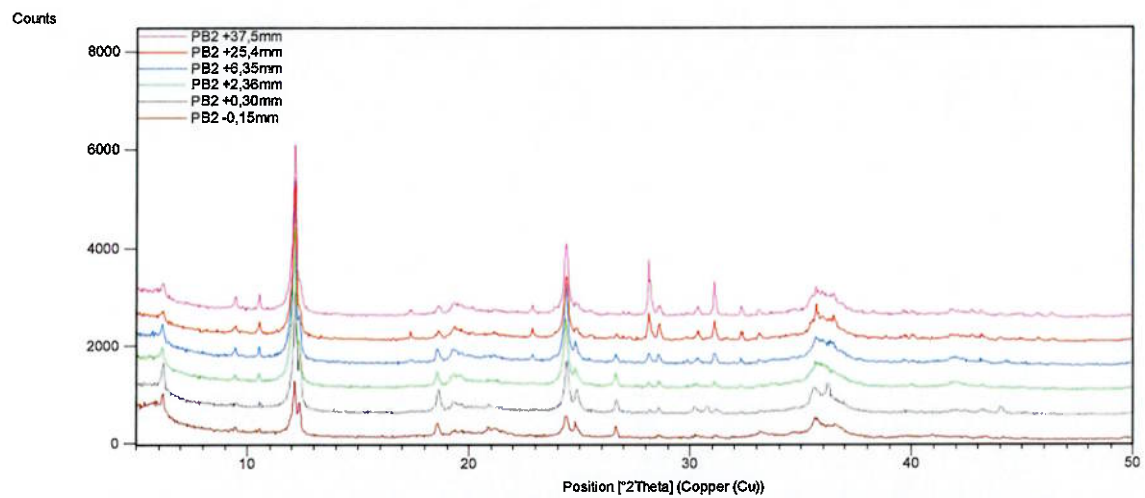
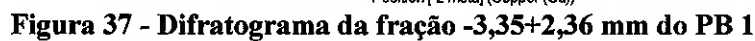
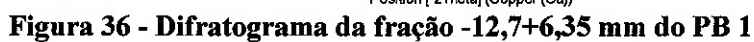
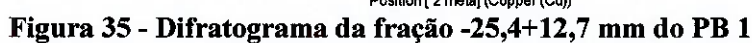


Figura 34 - Comparação dos difratogramas das frações granulométricas do PB 2



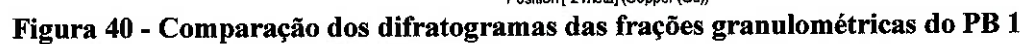
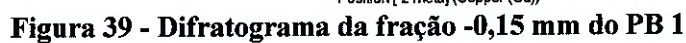
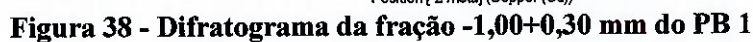


Tabela 13 - Simulação dos teores após o descarte da fração retida, produto PB-4

Corte (mm)	Recuperação em massa (%)	Teores (%)						
		Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	SiO ₂ :MgO	Ni:Co
(+100)	100,0	1,15	0,023	12,0	38,6	27,1	1,42	49,0
100	90,9	1,18	0,024	12,3	38,2	26,8	1,43	48,3
76,5	80,3	1,20	0,026	12,8	38,0	26,1	1,46	46,9
50,8	65,8	1,24	0,028	13,5	37,4	25,3	1,48	45,1
37,5	56,3	1,28	0,029	14,2	36,9	24,5	1,51	43,5
25,4	48,3	1,31	0,031	15,0	36,3	23,6	1,53	41,7
12,7	38,1	1,37	0,035	16,4	35,1	22,3	1,57	38,7
6,35	31,9	1,40	0,039	17,8	34,1	21,3	1,60	35,9
3,35	27,9	1,43	0,042	18,9	33,2	20,3	1,63	33,8
2,36	26,5	1,44	0,044	19,4	32,8	19,9	1,65	33,0
1,00	23,9	1,47	0,046	20,4	32,1	19,1	1,68	32,0
0,30	20,5	1,57	0,048	21,6	31,9	18,1	1,76	32,5
0,15	18,0	1,68	0,049	22,6	31,8	17,4	1,83	34,2