

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

PETTERSON DE AZEVEDO BARBOSA

**Determinação da abrasividade em minérios sulfetados de cobre-
ouro: contribuição para o modelo geometalúrgico do Depósito do
Sossego**

São Paulo

2022

PETTERSON DE AZEVEDO BARBOSA

**Determinação da abrasividade em minérios sulfetados de cobre-
ouro: contribuição para o modelo geometalúrgico do Depósito do
Sossego**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia Mineral

Orientador: Prof. Dr. Maurício Guimarães
Bergerman

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 01 de junho de 2022

Assinatura do autor: Petterson de Azevedo Barbosa

Assinatura do orientador: Maurício G. Bergamini

Catálogo-na-publicação

Barbosa, Petterson de Azevedo
Determinação da abrasividade em minérios sulfetados de cobre-ouro:
contribuição para o modelo geometalúrgico do Depósito do Sossego / P. A.
Barbosa -- versão corr. -- São Paulo, 2022.
182 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1. Engenharia de Minas 2. Tratamento de Minérios 3. Abrasividade
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Minas e de Petróleo II. t.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, dona Alba por me incentivar a evoluir e me tornar uma pessoa cada vez melhor.

Ao meu pai, seu Barbosa por me transmitir força para seguir na caminhada.

À Amanda por todo o seu amor, companheirismo e paciência nos meus momentos de dedicação.

Aos meus anjos, mais do que filhos Enzo e Nicolas por serem minha fonte de inspiração e o que me move para a frente.

À minha irmã Katiuscia por sempre ter uma palavra doce naquela hora turbulenta, além da sua ótima correção do texto.

Ao meu amigo e orientador Maurício por ter topado entrar nessa missão e muito obrigado pelas discussões, correções e principalmente pelo aprendizado dispensado.

Aos geólogos e amigos de longas caminhadas pelo Sossego, Elisabeth e Rogério. Incomensurável a contribuição de vocês neste trabalho. O agradecimento se estende à equipe do CDM pelas análises realizadas.

Ao professor Arthur Pinto Chaves pelas valiosas dicas de correções. Aproveitando e estendendo os agradecimentos à todos os alunos e professores do Grupo de Estudos de tratamento de minério da Engenharia de Minas/EPUSP, também pelas valiosas discussões e contribuições para este trabalho. Ainda um agradecimento especial ao pessoal do laboratório de preparação física do LTM que cuidaram com muito zelo das minhas amostras, especialmente à senhora Dora e ao Gilmar. Ao Erbertt, à senhora Beleza e à senhora Maria Cristina que me deram um suporte muito bom na reta final da entrega do trabalho.

Aos amigos da família Sossego que deixaram marcas no meu coração para sempre, mas que também fizeram esse trabalho junto comigo, dentre eles um obrigado especial a Maria Lucia, que me estendeu a mão quando tudo isso começou e aos meus amigos de Processo e Geologia, que são muitos, então não posso nomeá-los aqui para não cometer injustiças.

Enfim, agradeço à todos que de direta ou indiretamente contribuíram com esse trabalho.

Por fim, agradeço à Deus por me abençoar e me fazer mais forte nos momentos que mais precisei.

RESUMO

BARBOSA, P. A. **Determinação da abrasividade em minérios sulfetados de cobre-ouro: contribuição para o modelo geometalúrgico do Depósito do Sossego.** 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

O contexto geológico deste estudo é estabelecido no depósito do tipo IOCG (óxido de ferro-cobre-ouro) do Sossego, onde alterações hidrotermais em zonas de fraturamento concentraram os metais de interesse e adicionaram novas características aos litotipos graníticos e vulcânicos metamorfizados. A transformação mineral das rochas por fluidos hipersalinos enriquecidos em metais e sílica, por vezes, modificaram algumas propriedades geometalúrgicas, como a abrasividade. Conforme observações feitas na Usina do Sossego, mudanças no perfil da alimentação, com a adição de uma rocha com alto teor de sílica, resultaram em um aumento no consumo de material de desgaste para o entorno de 7%. Este estudo forneceu dados sobre a abrasividade de vários tipos de minério usando o ensaio LCPC e o tradicional ensaio de AI de Bond. Para tanto, 40 amostras foram coletadas em frentes de lavra e pilhas de estoque ao longo do depósito, cobrindo as principais litologias hospedeiras da mineralização de Cu-Au. A validação desse ensaio ocorreu por meio de uma análise de correlação das medidas de abrasividade adquiridas dessas amostras para os dois ensaios citados. Os resultados mostraram forte correlação ($R^2 = 95\%$), validando o uso do LCPC para quantificar a abrasividade na mina do Sossego. Também foi possível classificar as litologias mais abrasivas, estabelecer equações matemáticas que traduzissem a relação entre os valores dos dois ensaios e calcular a abrasividade com base na concentração dos 4 minerais mais comuns do depósito.

Palavras-chave: Abrasividade. Geometalurgia. Óxido de ferro-cobre-ouro. AI de Bond. LCPC.

ABSTRACT

BARBOSA, P. A. **Determination of abrasiveness in copper–gold sulfide ores: a contribution to the geometallurgical model of the Sossego Deposit.** 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Mina e de Petróleo, Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

The geological context of this study is established at the IOCG (iron oxide-copper-gold) of Sossego Deposit, where hydrothermal changes in fracturing zones concentrated the metals and added new characteristics to the granitic and metamorphized volcanic rocks. The mineral transformation on rocks by hypersaline fluids enriched in metals and silica sometimes modified some geometallurgical properties, such as abrasiveness. According to observations made at Sossego Plant, changes in feed profile, with addition of a rock with high silica content, resulted in an increase in wear material consumption around 7%. This study provided data on the wear capacity of various ore types using the abrasiveness test in high hardness rocks developed by LCPC and the traditional Bond AI test. Then, 40 samples were collected at mine face front bench and stockpiles along the deposit, covering the main host lithologies of the Cu-Au mineralization. The validation of this test occurred through a correlation analysis of the abrasiveness measurements acquired from these samples and for these two tests. The results showed a strong correlation ($R^2 = 95\%$), validating the use of LCPC to quantify abrasiveness in the Sossego mine. It was also possible to classify the most abrasive lithologies, establish mathematical equations that translated the relationship between the values of the two methods and calculate the LCPC based on the concentration of the 4 most common minerals in the deposit.

Keywords: Abrasiveness. Geometallurgy. Iron oxide-copper-gold. Bond AI. LCPC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da Usina de Beneficiamento de Cobre-Ouro do Sossego, com destaque para a etapa de cominuição no retângulo em verde.....	14
Figura 2 - Intervalo de troca de revestimento dos dois rebitadores de <i>pebbles</i> ao longo de quatro anos de produção, com detalhe maior para o Ano 2.	15
Figura 3 - Reposição de grelhas do SAG para dois grupos de grelhas ao longo de quatro anos.	16
Figura 4 - Imagens de lupa aumentada em 2x de duas amostras do minério da MVA da descarga do moinho SAG.	17
Figura 5 - Fotomicrografias com aumento de 80x em rocha meta-vulcânica ácida com calcopirita (cpy) disseminada sendo envolvida por quartzo (qtz). Alimentação <i>rougher</i> da flotação. À direita imagem em luz refletida com aumento de 5x. À esquerda luz transmitida polarizada com aumento de 5x.	17
Figura 6 - Mapa geológico do Domínio Carajás e áreas adjacentes, mostrando a localização do Depósito do Sossego dentro do Cinturão Sul do Cobre e os principais depósitos IOCG's (retângulo em azul).	24
Figura 7 - Mapa Geológico do Depósito do Sossego.	27
Figura 8 - Distribuição esquemática das zonas de alteração hidrotermais na Mina Sossego... ..	29
Figura 9 - Tipos e feições das alterações hidrotermais no corpo Pista. (a) silicificação intensa em MVA; (b) calcopirita com alto teor em veio de quartzo; (c) biotita xisto com alto quartzo, além de epidoto e clorita; (d) brecha hidrotermal de calcopirita em MVA; (e) intensa alteração sódica e cloritização associados; (f) biotitização em gabro com calcopirita; (g) gabro preservado com escapolita; (h) talco tremolita xisto com veios de quartzo.	29
Figura 10 - Correlação entre abrasividade por LCPC no eixo “X” e pelo AI em “Y”.....	33
Figura 11 - (a) Mapa de localização 2D para dados históricos do Sossego com 135 amostras nas cavas do Pista, Sequeirinho e Sossego por litologia; (b) visão de perfil, sentido E – W para a direção norte da localização das amostras por ano do plano de lavra.	35
Figura 12 - Box-plot da estatística dos valores de AI com a respectiva quantidade de amostras. As cores são padronizadas por litologias.....	36
Figura 13 - Mapa de localização das quarenta amostras. Pontos em amarelo referentes às amostras coletadas nas cavas e em vermelho para amostras em pilhas de estoque.....	39
Figura 14 - Fluxograma de preparação física das amostras finais para os ensaios de AI e LCPC.	40

Figura 15 - Dispositivo de ensaio de abrasividade de acordo com o padrão francês da Norma P18-579 (2010). 1 – motor, 2 – tubo de funil, 3 – implemento de aço, 4 – container de amostra.	41
Figura 16 - Equipamento para medição do índice de abrasão de Bond.	43
Figura 17 - Reconciliação do QEMSCAN® das 72 amostras medidas.	46
Figura 18 - Resultados de mineralogia para os seis principais grupos minerais amostrados para LCPC e AI.	47
Figura 19 - Resultados estatísticos do novo conjunto de dados de abrasividade com gráficos box-plot por litologia para: (a) AI; (b) LCPC.....	49
Figura 20 – Análise de Principais Componentes dos minerais categorizados por litologia usando o software ioGAS™.	51
Figura 21 - Gráficos de correlação LCPC versus AI para o conjunto total de amostras do depósito do Sossego. Correlações estudadas: (a) linear; b) quadrática.	53
Figura 22 - Gráficos de resíduos de AI versus LCPC com ajuste normal e um histograma simétrico, produzidos no software Minitab®.	55
Figura 23 - Estatística da regressão pelo Minitab® para análise de resíduos no topo à esquerda, a correlação entre valores observados <i>versus</i> calculados de LCPC no topo à direita e o gráfico de linha ajustada para os dados de LCPC na base.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos de casos de <i>Mine-to-Mill</i> entre 1996-2002.	20
Tabela 2 - Estudos de casos de <i>Mine-to-Mill</i> entre 2003-2016.	21
Tabela 3 - Composição mineralógica (%) das amostras de testemunhos de sondagem.	30
Tabela 4 - Quadro resumo dos ensaios usuais de avaliação de abrasividade em rochas.	32
Tabela 5 - Resultados dos ensaios para as amostras duplicadas.	45
Tabela 6 - Lista dos resultados das amostras e sua classificação litológica.	48
Tabela 7 - Resumo estatístico dos resultados dos ensaios para toda a população amostral e por litologia.	50
Tabela 8 - Matriz de correlação produzida no ioGAS™ mostrando a correlação entre os minerais e o LCPC.	52
Tabela 9 - Tabela estatística de saída do software Minitab® com o resumo dos resultados da equação e a análise de resíduos para o modelo preditivo para AI, com base nos valores LCPC.	54
Tabela 10 - Múltipla regressão para os valores preditos do LCPC com base na mineralogia.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI	Índice de abrasividade de Bond
AMIRA	Australian Mineral Industry Research Association
Au	Ouro
AusIMM	Australasian Institute of Mining and Metallurgy
CAI	Índice de abrasividade Cerchar
Cpy	Calcopirita
Cu	Cobre
DWT	Drop Weight Test
Fe	Ferro
Ga	Bilhões de anos
ICP EOS	Análise por Plasma Induzido
IOCG	Depósito de óxidos de ferro, cobre e ouro associados
ITV	Instituto Tecnológico Vale
JKTech	Julius Kruttschnitt Technology
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LTM	Laboratório de Tratamento de Minérios/Poli-USP
MVA	Rocha meta-vulcânica ácida
PLT	Ensaio de carga pontual
PMC	Província Mineral de Carajás
Qtz	Quartzo
ROM	Minério lavrado na Mina
ROP	Minério processado na Usina
RPM	Rotações por minuto
SAG	Semi-autogenous Grinding
SaiMM	Southern African Institute of Mining and Metallurgy
SGS	Société Générale de Surveillance
t_a	Índice de abrasividade do ensaio de tamboramento
TTX	Talco-tremolita-xisto
USP	Universidade de São Paulo
Wi	Índice de trabalho de Bond

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS	14
2.1	JUSTIFICATIVAS	14
2.1.1	Aspectos de Processamento Mineral	14
2.1.2	Aspectos Mineralógicos Impactando a Abrasividade	16
2.2	OBJETIVOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	GEOMETALURGIA	19
3.2	CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA	23
3.2.1	Depósito Mineral do Sossego	23
3.2.1.1	Geologia Local	25
3.2.1.2	Geocronologia	28
3.2.1.3	Hidrotermalização	28
3.3	HISTÓRICO DE ENSAIOS DE ABRASIVIDADE	31
3.4	DADOS HISTÓRICOS	34
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1	SELEÇÃO E COLETA DAS AMOSTRAS	38
4.2	PREPARAÇÃO FÍSICA	39
4.3	ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DE ABRASIVIDADE	41
4.3.1	Método LCPC	41
4.3.2	Método de AI de Bond	42
4.4	CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1	VALIDAÇÃO DE PROCEDIMENTOS	45
5.1.1	QAQC	45
5.1.2	Caracterização Mineralógica	45
5.2	ESTUDO LITOLÓGICO	47
5.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	49
5.4	CORRELAÇÃO MATEMÁTICA	53
6	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	APÊNDICE A – Tabelas dos ensaios de abrasividade AI e LCPC, e britabilidade por LCPC, com a distribuição granulométrica associada.	67
	APÊNDICE B – Quadros resumos das análises mineralógicas pelo QEMSCAN®.	147

1 INTRODUÇÃO

A abrasão é o mecanismo de desgaste mais comum nas operações de mineração e processamento mineral (BOND, 1963; ALBERTIN; SINATORA, 2001; RENDÓN; OLSON, 2009, GIBLETT; SIEDEL, 2011; DRUCKER, 2011, MASSOLA, CHAVES; ALBERTIN, 2016, MORRELL, 2019; SVANBERG *et al.*, 2021). Albertin e Sinatora (2001) apontaram a relação entre a abrasividade dos minerais e o desgaste das superfícies metálicas, suas investigações mostraram que as bolas de ferro fundido de alto cromo sofreram desgaste mais rápido, ao processar quartzo em vez de minério de ferro e rochas fosfáticas. Moradizadeh *et al.* (2016) e Piazzetta *et al.* (2018), também comprovaram que materiais com alto teor de quartzo causaram maior desgaste por abrasão em superfícies metálicas.

A quantificação adequada da abrasividade de diferentes minérios pode ser baseada em ensaios padronizados. Na indústria de mineração, essa quantificação geralmente é feita através do método de ensaio de Bond, a alternativa preferida entre os vários ensaios de abrasão disponíveis (ALBERTIN; SINATORA, 2001; GIBLETT; SIEDEL, 2011; DRUCKER, 2011; MASSOLA; CHAVES; ALBERTIN, 2016; MORRELL, 2019; PERES; MASSOLA; BERGERMAN, 2018). O resultado deste ensaio é o índice de abrasão de Bond (AI), de uso generalizado entre metalurgistas e fornecedores de consumíveis para britadores e moinhos como parâmetro para estimar o desgaste esperado de tais consumíveis (GIBLETT; SIEDEL, 2011; MASSOLA; CHAVES; ALBERTIN, 2016; MORRELL, 2019).

O ensaio de AI de Bond (BOND, 1963) requer 1,6 kg de material com tamanho de partícula variando de 19,05 mm a 12,7 mm (3/4" a 1/2"). Em certos casos, como estudos nos estágios iniciais de um projeto ou campanhas geometalúrgicas, em que apenas fragmentos dos testemunhos de sondagem ou chips de perfuração estão disponíveis, pode ser difícil obter tal quantidade de material dentro desta faixa de tamanho específica. Mesmo no controle de qualidade de minas em operação, tais amostras também são de difícil obtenção, tendo em vista que as amostras de pó de perfuratriz, utilizadas para a realização de análises químicas, normalmente são mais finas que 1/2".

Além do ensaio de abrasividade de Bond, existem diversos métodos para a determinação da abrasividade de minérios, conforme ilustrado por Peres, Massola e Bergerman (2018). Protocolos distintos são usados para os ensaios existentes, embora preservem o mesmo mecanismo de interação rocha-metal.

Notadamente, o ensaio LCPC (ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. P18-579, 1990) destaca-se por usar uma pequena massa de amostra (0,5 kg) e requerer uma granulometria fina dentro de uma faixa mais restrita (entre 6,3 mm e 4,0 mm). Essa amostra é colocada em contato com uma placa de metal relativamente macia que gira em alta rotação de 4.500 rpm (KÄSLING; THURO, 2010). O ensaio de AI submete uma amostra com tamanho de partícula cerca de três vezes maior, por um intervalo granulométrico mais extenso e a uma velocidade de rotação mais baixa (632 rpm) para riscar uma placa mais dura do que o tipo usado no LCPC (BERGSTROM, 1985). Assim, por exemplo, a placa de AI apresenta um desgaste quase nulo no caso de rochas pouco abrasivas, em comparação com o LCPC.

Apesar das fortes correlações entre os resultados de abrasividade medidas por AI e por LCPC já descritas na literatura (METSO, 2008; FREITAS, 2014; PERES; MASSOLA; BERGERMAN, 2018), é necessário confirmar sua equação para diferentes minérios/minas, uma vez que as particularidades dos tipos de rochas e minerais, e até mesmo a diferença entre as placas de aço utilizadas em diferentes laboratórios, podem impactar a correlação.

2 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS

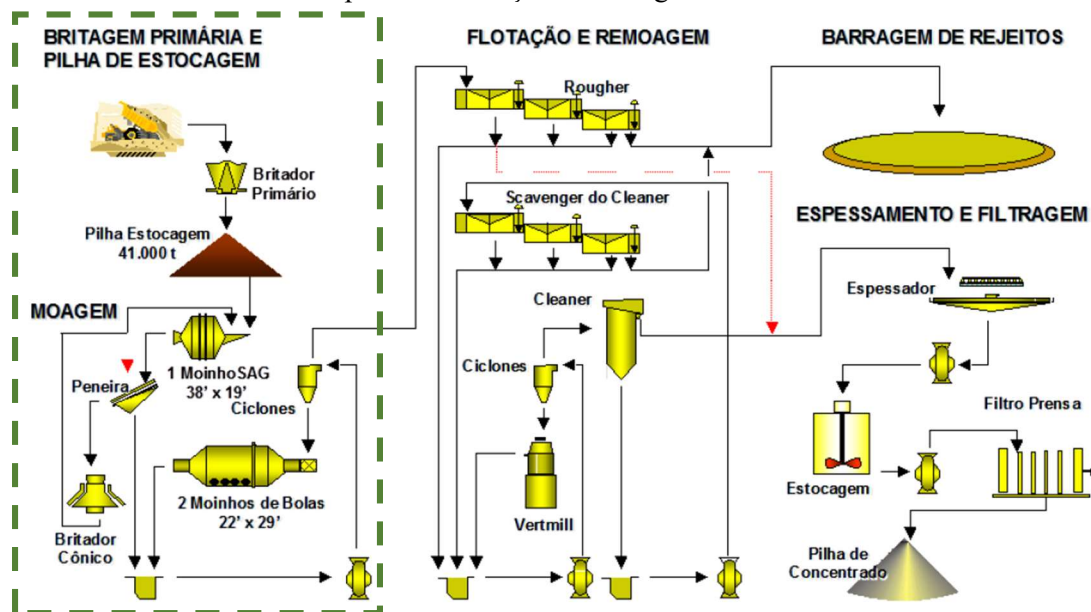
2.1 JUSTIFICATIVAS

Dotado de um depósito geológico de relevante interesse econômico na indústria mineral, dotado de uma heterogeneidade litológica favorável a um extenso estudo do perfil de abrasividade de suas rochas, a Mina do Sossego¹ desenhou-se como o laboratório ideal para o estudo comparativo entre as duas metodologias de medição de abrasividade. As discussões operacionais entre os anos 02 e 04 relatam uma problemática latente relativa ao desgaste por abrasão nos componentes da sua usina de beneficiamento e reforçam a demanda pelo melhor entendimento desta propriedade comum nas rochas e minerais.

2.1.1 Aspectos de Processamento Mineral

Apesar da abrasividade provocar desgastes em todas as etapas do beneficiamento, é na cominuição onde essa propriedade causa mais efeitos danosos. Além da cominuição, o beneficiamento em Sossego, visto no fluxograma da Figura 1, também concentra e desagua o minério de cobre durante sua cadeia de processamento.

Figura 1 - Fluxograma da Usina de Beneficiamento de Cobre-Ouro do Sossego, com destaque para a etapa de cominuição no retângulo em verde.



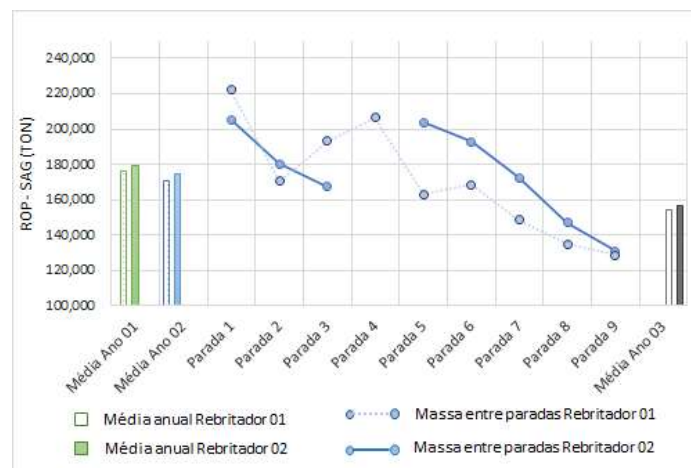
Fonte: Bergerman (2013).

¹ Mina do Sossego refere-se a todas as partes que integram o complexo minerador do Sossego, que compreende seus dois depósitos minerais de Sossego e Sequeirinho, bem como a usina de beneficiamento mineral.

A operação de cominuição na planta desenvolve-se a partir de um britador giratório de dimensões 60" x 86", que recebe o minério vindo da mina com um *top size* de 5,5". Este segue para a alimentação de um moinho SAG de 38" x 19", que opera em circuito fechado com dois rebitadores de *pebbles* do tipo cônico. Um conjunto de hidrociclones recebe o passante das peneiras vibratórias, sendo o *underflow* direcionado para os dois moinhos de bolas de 22"x28" em circuito fechado reverso. Após a sua redução granulométrica, o minério alimenta a flotação a 0,210 mm e com 35% de sólidos pela etapa *rougher*, seguindo para uma remoagem em 2 moinhos vertimill, uma concentração *cleaner* em colunas e uma etapa *scavenger* do *cleaner*. A polpa é desaguada no espessador e, posteriormente, filtrada para produzir o concentrado de cobre à 30% de metal contido (BERGERMAN, 2013).

Dentro deste cenário de heterogeneidade litológica e cominuição do minério, um forte impacto negativo foi observado na Usina do Sossego a partir do 12º até o 14º ano de operação, citados nesse trabalho como entre os anos 2 e 4, dentro da janela de observação aqui utilizada. O emprego da rastreabilidade do minério associou o decréscimo da taxa de processamento da ROP pelo moinho SAG e o desgaste prematuro nos equipamentos de cominuição com o início do processamento do minério contido em uma rocha com um alto conteúdo de sílica. Essas mudanças de alimentação – que inclusive, motivam o desenvolvimento do tema do presente trabalho – resultaram em um aumento no consumo de material de desgaste, como telas e grelhas de moinhos de bolas e do SAG e revestimento de britadores, para o entorno de 7% (FONSECA; SILVA; BARBOSA, 2018), especificamente, entre os anos 2 e 3, conforme demonstrado na Figura 2. Observa-se que no ano 2 ocorre uma queda no tempo de vida dos revestimentos.

Figura 2 - Intervalo de troca de revestimento dos dois rebitadores de *pebbles* ao longo de quatro anos de produção, com detalhe maior para o Ano 2.

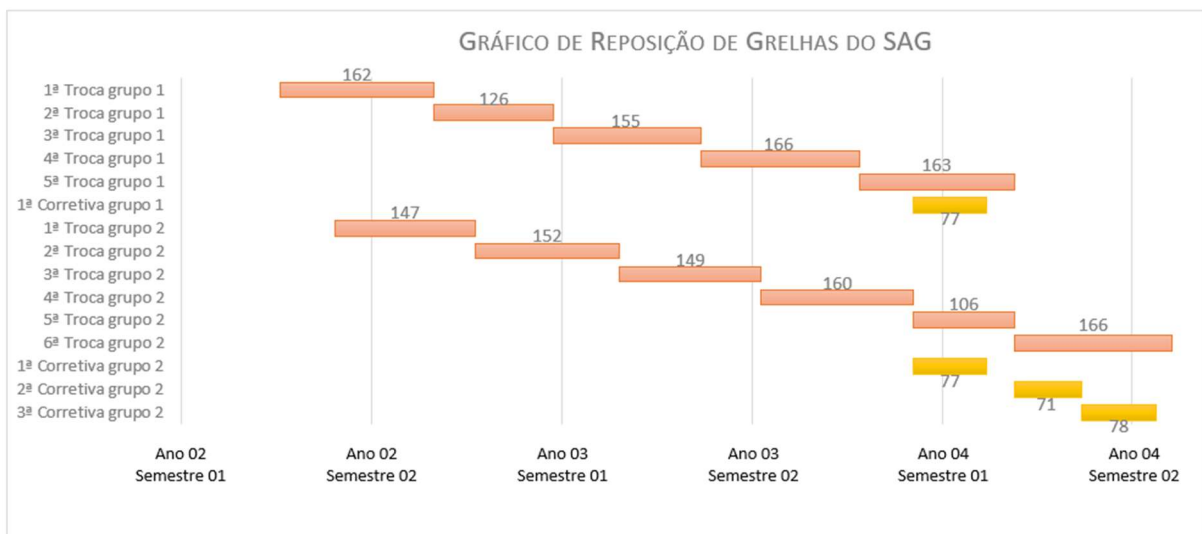


Fonte: Elaborado pelo autor.

Considera-se que a manutenção dos revestimentos dos rebitadores de *pebbles* segue uma rotina de trocas periódicas condicionadas ao seu nível de desgaste, de modo que a Figura 2 retrata os períodos gastos entre essas paradas relativos à massa processada no moinho SAG, visto trabalharem em circuito fechado (FONSECA; SILVA; BARBOSA, 2018).

Ainda é possível compreender os efeitos do minério com maior abrasividade no circuito ao observar a reposição de grelhas do SAG, ilustrada na Figura 3. Nele, dois agrupamentos de barras horizontais revelam a estratégia operacional de trocas das grelhas em duas posições dentro do SAG e em momentos distintos. Para o Grupo “1”, nota-se o decréscimo da ROP entre o Semestre 2, do Ano 02 e o Semestre 01, do Ano 03; já para o Grupo “2”, isso ocorre entre o final do Ano 03 e início do Ano 04. O Ano 03 apresenta menor ROP no seu início e final, que se associa à alta abrasividade do minério silicático. A gestão de componentes do SAG praticados nesta usina pode revelar inúmeros fatores desencadeadores dentro de uma operação, mas os seus períodos críticos associam-se muito bem à mesma condição dos rebitadores para suportar o argumento do desgaste excessivo em um período em comum.

Figura 3 - Reposição de grelhas do SAG para dois grupos de grelhas ao longo de quatro anos.



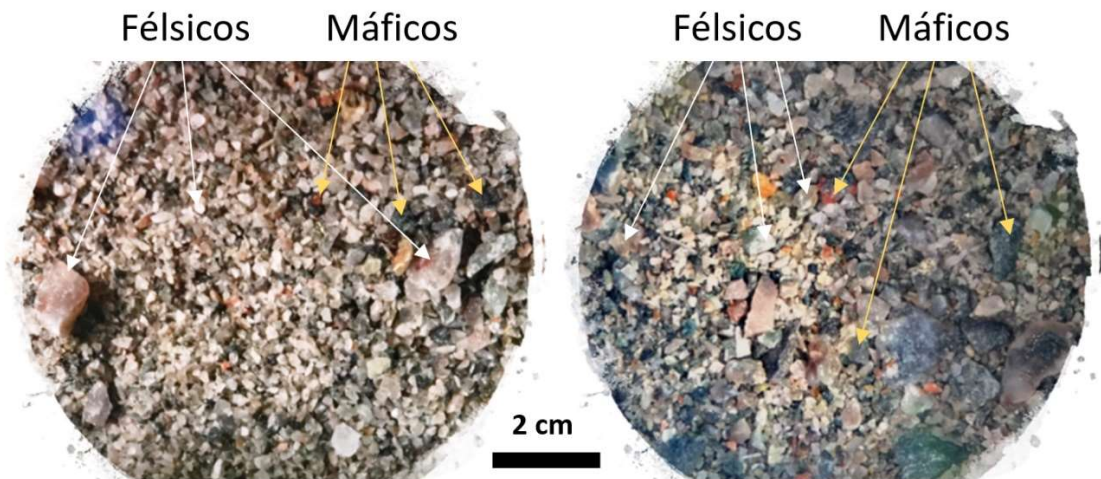
Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.2 Aspectos Mineralógicos Impactando a Abrasividade

Estudos geometalúrgicos iniciais, como os feitos por Fonseca, Silva e Barbosa (2018) já indicam que esse aumento de sílica no circuito está relacionado a uma litologia denominada de metavulcânica ácida (MVA), originalmente composta por mais de 60% de quartzo e feldspatos e que, posteriormente, foi ainda mais enriquecida em uma fase silicática pertencente

ao evento hidrotermal formador da mineralização de Cu-Au do Sossego. Nas duas amostras de MVA coletadas na descarga do moinho SAG, observa-se na Figura 4 o alto conteúdo de minerais de quartzo e feldspato (minerais félsicos), ainda que na fotografia da direita ocorra também partículas relacionadas à biotitas e anfibólios, constituintes das bandas máficas da MVA.

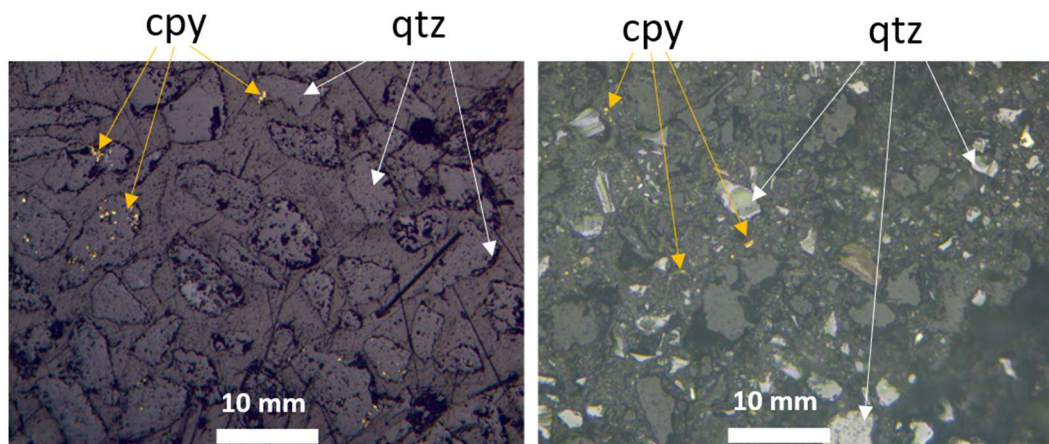
Figura 4 - Imagens de lupa aumentada em 2x de duas amostras do minério da MVA da descarga do moinho SAG.



Fonte: Arquivo pessoal.

Essa fase silicática acabou por provocar alterações nas rochas hospedeiras, por vezes, como na forma de quartzo, envolvendo parcialmente e até totalmente os cristais disseminados de calcopirita, conforme visto nas microfotografias das pastilhas prensadas da polpa do minério da alimentação *rougher* da flotação da Figura 5.

Figura 5 - Fotomicrografias com aumento de 80x em rocha meta-vulcânica ácida com calcopirita (cpy) disseminada sendo envolvida por quartzo (qtz). Alimentação *rougher* da flotação. À direita imagem em luz refletida com aumento de 5x. À esquerda luz transmitida polarizada com aumento de 5x.



Fonte: Arquivo pessoal.

O teor elevado de sílica é uma característica do grupo litológico da MVA (MONTEIRO *et al.*, 2008; BARBOSA, 2016; FONSECA; SILVA; BARBOSA, 2018; BARBOSA; BERGERMAN; FONSECA, 2021) e quase todas as suas ocorrências estão localizadas na cava do Pista, no sentido oeste do corpo do Sequeirinho. Esses aspectos induziram à realização de um novo estudo geometalúrgico para o depósito de Sossego que, enfim, abordasse a abrasividade do seu minério.

2.2 OBJETIVOS

O objetivo central deste trabalho é validar o ensaio LCPC como alternativa ao ensaio tradicional de AI para medição de abrasividade em rochas. São objetivos específicos:

- Definir uma equação de correlação de abrasividade que melhor se aplique para o depósito do Sossego;
- Avaliar a correlação dos resultados do LCPC com base nos teores dos minerais majoritários;
- Determinar a abrasividade para os grupos litológicos estudados no depósito do Sossego em termos de AI e LCPC e;
- Contribuir cientificamente com novos dados validados e acrescidos ao banco de dados nacional e global do LCPC, com minérios sulfetados de alta abrasividade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A indústria da mineração vem passando por uma mudança de cultura em virtude dos novos desafios do setor mineral, como os custos operacionais, menores teores, minérios mais complexos, além de pressões ambientais e sociais. Conforme Baffes, Kabundi e Nagle (2020), os principais *players* da mineração conduzem seus projetos com foco no aumento da eficiência, produtividade e redução de custos de suas operações, de forma a se manterem competitivos ante as demandas mundiais crescentes por bens minerais. Portanto, um dos grandes desafios da mineração é manter o crescimento da produção, sem que os custos aumentem.

A constante busca pela redução dos custos requer otimização dos processos produtivos por meio do uso de ferramentas de gestão e implementação de inovações metodológicas, que incrementem os bancos de dados de um projeto, juntamente com um eficiente gerenciamento do fluxo da informação. Esse fluxo integrado passa então a apoiar o processo de tomada de decisão gerencial e de engenharia nas rotinas de planejamento e operações de mineração (TIDD; BESSANT; PAVITT, 2008).

3.1 GEOMETALURGIA

A indústria mineral, frequentemente, lança mão de abordagens sistêmicas para otimização de seus processos. Para Lishchuk *et al.* (2020), a geometalurgia estabelece a ligação entre a geologia e a cadeia produtiva subsequente, enquanto o *Mine-to-Mill* constrói a conexão entre a mina e o processamento mineral. Em geral, a geometalurgia não costuma relacionar o método de lavra ao processo, enquanto *Mine-to-Mill* tende a restringir suas análises exclusivamente às etapas de cominuição. No entanto, a tendência é vê-los como parte da mesma abordagem.

Adel *et al.* (2006) já detalham o conceito de *Mine-to-Mill* para fins de minimização do consumo energético nas etapas de redução granulométrica com uma abordagem holística. Alguns autores, como Cameron, Drinkwater e Pease (2017), Bye e Newton (2009) e McKee (2013) referenciam a Geometalurgia como um “sistema de gestão” que possibilita conectar as extremidades da cadeia produtiva com foco em maximizar a extração de um bem mineral com um menor custo. Essa conexão é feita estabelecendo relações entre os dados geológicos do

depósito com o requerimento operacional de sua usina de beneficiamento. Tais características devem incluir, além do teor do mineral-minério, o teor dos contaminantes, a tenacidade, a flotabilidade, a abrasividade, entre outros.

Fazendo desta uma disciplina operacional, Cameron, Drinkwater e Pease (2017) descrevem que o conceito *Mine-to-Mill* integra todos os aspectos da geometurgia, com ampla aplicação ao longo dos anos, o que, segundo os mesmos autores, ajudou a promover o real crescimento no desempenho das operações em diversas *commodities* mundo a fora. Entretanto, é importante pontuar que outros termos também são usados para denominar essa metodologia de investigação, tais como: *Mine-to-Plant*, *Mine-to-Port*, *Pit-to-Plant* ou integração Mina-Usina, que normalmente designam a abrangência do estudo dentro da cadeia produtiva.

Nos anos 90, a metodologia do *Mine-to-Mill* foi desenvolvida em resposta à desaceleração dos preços das *commodities* e adotada em diversas operações mineiras ao redor do mundo. Com mais um período de retração dos preços, durante a crise das *commodities* em 2008, a geometurgia voltou à cena com novos aparatos tecnológicos, ganhando um novo fôlego. Alguns exemplos de aplicação desse conceito são apresentados por instituições, como AMIRA, AusIMM e JKTech/Universidade de Queensland, ilustrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Estudos de casos de *Mine-to-Mill* entre 1996-2002.

Mina	Metais Produzidos	País	Incremento de Produção (%)
Highland Valley	Cu	Canadá	10
Alumbreba	Cu Au	Argentina	13
Porgera	Au	Papua Nova Guiné	15
KCG M Fimiston	Au	Austrália	18
Cadia	Au Cu	Austrália	14
Red Dog	Zn	EUA	12
BHP Iron Ore	Fe	Austrália	3 (em granulado)

Fonte: Adaptado de Cameron, Drinkwater e Pease (2017).

Outros projetos também obtiveram êxito mais recentemente na implantação desse tipo de programa e, com isso, ajudaram a contar a história do desenvolvimento da geometurgia também no continente africano e sul-americano, então, apoiados por outras instituições, como SGS e SaiMM, segundo a Tabela 2 (Cameron, Drinkwater e Pease, 2017).

Tabela 2 - Estudos de casos de *Mine-to-Mill* entre 2003-2016.

Mina	Metais Produzidos	País	Incremento de Produção (%)
Batu Hiju	Cu	Indonésia	10-15
Antamina	Cu	Peru	45-60
Los Bronces	Cu	Chile	15-20
Cerro Corona	Au	Peru	15 (rocha dura), 6 (cobertura)
Phu Khan	Au	Laos	8
Ahafo	Au	Gana	8
Morila	Au	Mali	10
Oyo Tolgi	Cu	Mongólia	25
Iduapriem	Au	Gana	21-32

Fonte: Adaptado de Cameron, Drinkwater e Pease (2017).

A evolução do conceito de geometurgia preserva a ideia de interação entre geologia, processamento mineral e o comportamento do minério alimentado em operações mineiras (MCQUISTON; BECHAUD, 1968; VANN *et al.*, 2011). Entretanto, atualmente agrega-se a ele o avanço tecnológico desenvolvido nos últimos anos em mineralogia automatizada, processamento de dados, ensaios de cominuição e simulação de circuitos (SCHOUWSTRA *et al.*, 2013; LISHCHUK *et al.*, 2015). Giblett e Seidel (2011), a título exemplificativo, usaram o índice de abrasão de Bond para atualizar a equação inicialmente proposta por Bond ($0,0817(AI)^{0,498}$) que pudesse prever a taxa de desgaste dos corpos moedores nos moinhos de bolas.

Estudos geometúrgicos estão sendo amplamente utilizados para ajudar as operações a melhorar seus lucros, como: Dominy *et al.* (2018), que disserta acerca dos benefícios ao abraçar uma abordagem geometúrgica; Mwangi, Rosenkranz e Lamberg (2018), que estudam a validação de ensaios de moagem e suas relações com os trabalhos de Bond; Díaz *et al.* (2018), que observam que a composição mineralógica pode alterar a taxa de desgaste na moagem; e Bhuiyan, Esmaili e Ordóñez-Calderón (2019), que discorrem acerca do estabelecimento de relações entre BWI e variáveis geomecânicas, geofísicas e geoquímicas.

No Brasil, há um crescimento do interesse sobre o assunto geometurgia, como se detecta em diversos estudos já publicados e com as técnicas dessa disciplina aplicadas a favor do tratamento de minérios. Dentre outros autores, cita-se o trabalho de Gomes, Tomi e Assis (2016), uma abordagem *Mine-to-Mill* para incremento de produção; Contessotto (2016), que investiga a classificação de domínios de Níquel; Costa *et al.* (2016), que aborda a caracterização tecnológica do Ouro; Piazzetta (2018), que foca no estabelecimento de intervalos de CAI

(índice de abrasividade pelo ensaio Cerchar) de acordo com o tipo de rocha; e Fontana (2019), que analisa os domínios geo-mineralógicos para Zinco.

Nos dias atuais, a Vale vem aplicando geometurgia para projetos de cobre em operação no Brasil, como ocorre na Mina do Salobo, cujo foco está em aumento da recuperação metalúrgica do cobre (TORRES; FONSECA, 2016; FONSECA; OLEGÁRIO; BERGERMAN, 2017; FONSECA *et al.*, 2017). Na Mina do Sossego, desde seu início de produção, ainda poucos estudos abordam o tema geometurgia em detalhe, largamente dando ênfase apenas aos aspectos da cominuição do minério e seu impacto na vazão de alimentação de minério no moinho SAG (DELBONI JUNIOR², 2004; MORAIS; GRIPP, 2004; BERGERMAN *et al.* 2008; BERGERMAN; DELBONI JUNIOR; NANKRAN, 2009; BERGERMAN, 2013; BERGERMAN *et al.*, 2014a; 2014b). Ainda assim, destaca-se que no contexto dessas minas de cobre a abrasividade não foi estudada dentro do tema geometurgia ou ainda muito pouco aprofundada.

Como meio de organização de um estudo geometúrgico, Lund e Lamberg³ (2014) *apud* Lishchuk *et al.* (2015), recomendam que as técnicas de caracterização de minério devam gerar dados representativos, relevantes e replicáveis numa rotina de processamento mineral e, para isso, elencam oito etapas, aqui, brevemente resumidas, para o desenvolvimento de um programa geometúrgico:

- a) contextualização e investigação geológica;
- b) programa de amostragem geometúrgica;
- c) ensaios laboratoriais;
- d) definição de domínios geometúrgicos;
- e) modelagem geometúrgica;
- f) modelo de blocos;
- g) simulação em operação; e
- h) calibração.

² DELBONI JUNIOR, H. Diagnóstico de desempenho da usina de moagem do Sossego. HDA Serviços Ltda. 2004. [Relatório Técnico].

³ LAMBERG, P.; LUND, C. Taking liberation information into a gometallurgical model-case study Malmberget, Northern Sweden. 12 Process Mineralogy. 2012.

Destes, os três primeiros itens estão plenamente desenvolvidos neste trabalho. Entretanto, o autor considera que o presente estudo já tenha iniciado as etapas de definição de domínios, com o agrupamento estatístico das litologias e a etapa de modelagem com a definição do modelo matemático tanto para a correlação, quanto para a previsão do valor de abrasividade de LCPC pela composição mineralógica das rochas. Desta forma, estes itens e seus conceitos serão abordados no Capítulo IV. Assim, o subcapítulo abaixo discorrerá acerca das implicações geológicas e do entendimento das relações entre as litologias e seus minerais, que serão alvos da atual campanha de amostragem geometalúrgica.

3.2 CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA

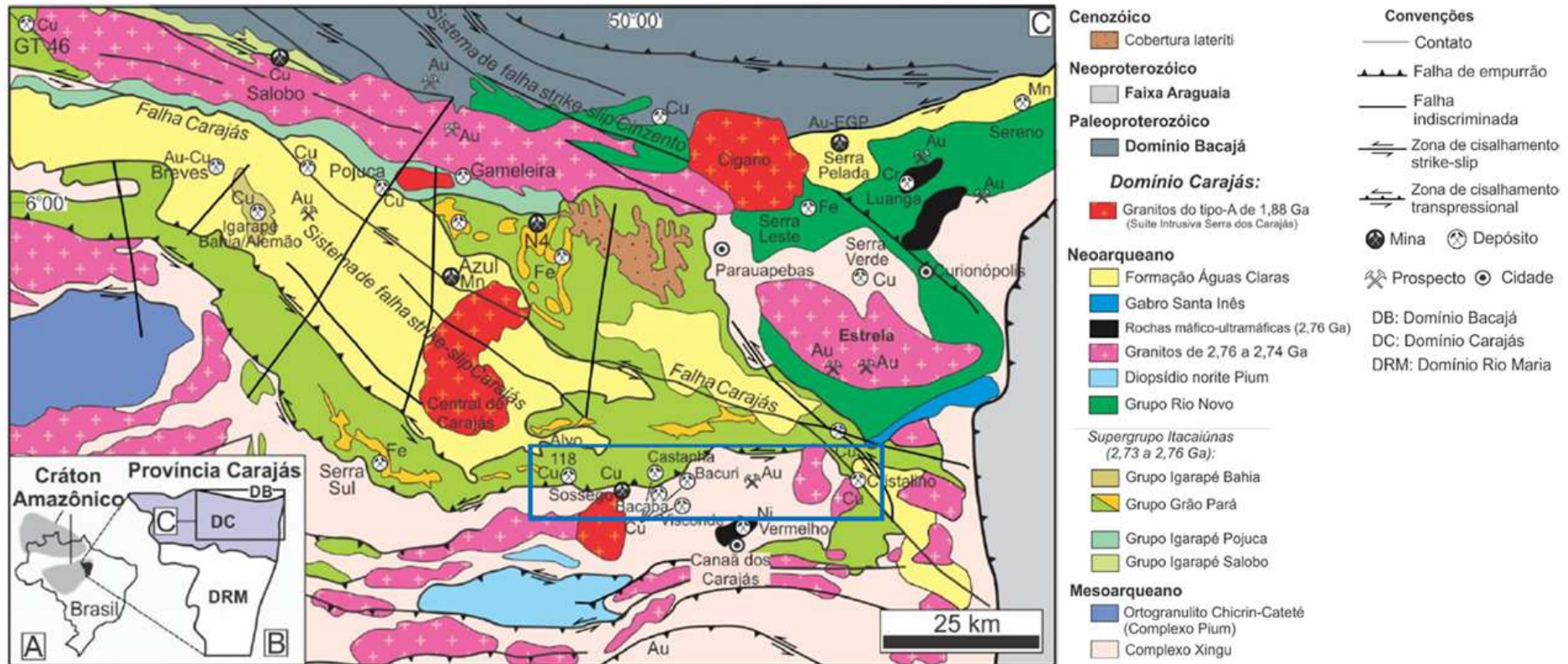
A presente investigação foi ambientada na Mina de Cobre-Ouro do Sossego, cujas características litológicas e mineralógicas do seu minério atendem aos critérios de alta compactidade e dureza elevada. Em Sossego a preocupação com uma alta diversidade dos tipos litológicos que compõem o perfil de alimentação da sua usina de beneficiamento é latente e permeia os planos de lavra e de manutenção. Tal problemática que, em parte, relaciona-se com as características desses litotipos, será contextualizada a seguir.

3.2.1 Depósito Mineral do Sossego

O depósito do Sossego⁴, estudo de caso em questão, faz parte de uma região mineira com inúmeros depósitos polimetálicos de escala mundial, denominada de Província Mineral de Carajás (PMC). Vasquez *et al.* (2008) subdividem essa região, a norte e a sul, por uma descontinuidade de escala regional e direção aproximada E-W, em Domínio Carajás e Domínio Rio Maria respectivamente, como mostra o mapa geológico da Figura 6.

⁴ Depósito do Sossego refere-se apenas ao domínio geológico do ambiente citado. Engloba as rochas que fazem parte da reserva mineral da Mina do Sossego, contendo dois corpos geológicos principais: Sossego e Sequeirinho, sendo o Pista a região em lavra no extremo Oeste desse último.

Figura 6 - Mapa geológico do Domínio Carajás e áreas adjacentes, mostrando a localização do Depósito do Sossego dentro do Cinturão Sul do Cobre e os principais depósitos IOCG's (retângulo em azul).



Fonte: Vasquez *et al.* (2008).

3.2.1.1 Geologia Local

O Domínio Carajás, no qual o Sossego está inserido, é constituído por gnaisses tonalíticos a trondhjemíticos, migmatitos e anfibolitos do Complexo Xingu. Para Carvalho (2009), conforme Figura 7, as rochas do embasamento são geralmente granitóides heterogêneos de composições diversas, variando de granodioritos, dioritos e gabros com texturas porfíricas, típico do corpo do Sequeirinho, a granofíricas e injeções de composição pegmatítica. No corpo do Sossego, essa diferença textural nos granitóides acaba por diferenciar os seus dois litotipos constituintes em granito e granófiro. É nesse contexto que são coletadas amostras desses granitóides.

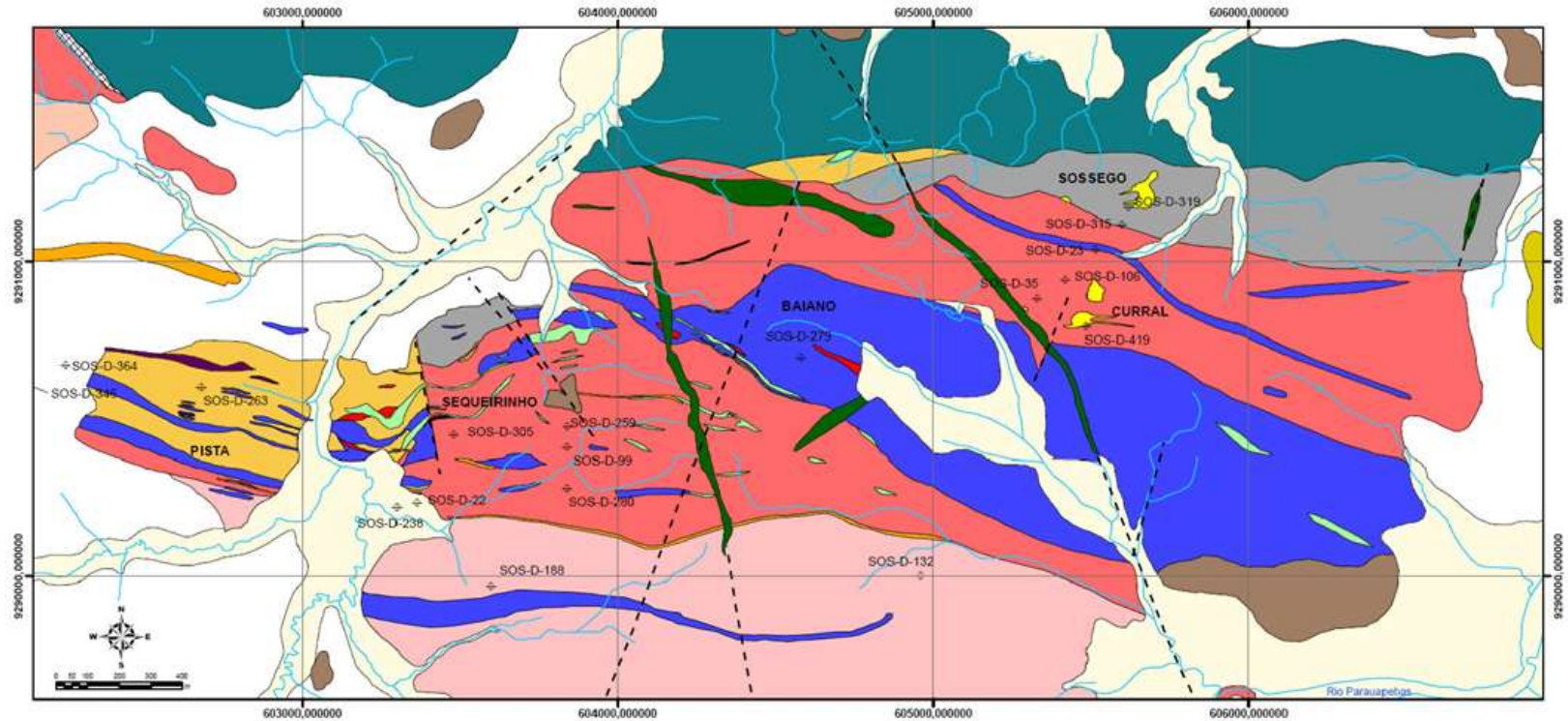
Sobrepondo discordantemente a este pacote de rochas do embasamento estão as rochas das sequências metavulcano-sedimentares do Supergrupo Itacaiúnas (MACHADO *et. al.*, 1991). Uma zona de cisalhamento marca esse contato e restringe ao longo de si a ocorrência da mineralização de Cu-Au. A base do Supergrupo Itacaiúnas, no contexto do Sossego, é constituída pelo Grupo Grão Pará /Formação Parauapebas (DOCEGEO, 1988), que são rochas vulcânicas a meta-vulcânicas de caráter bimodal, como metabasaltos e metariolitos que estão aqui classificados e amostrados como metavulcânicas ácidas. Essas rochas metavulcânicas ácidas a básicas e básicas-intermediárias cisalhadas ocorrem especialmente no *footwall* da mineralização do Sequeirinho e na sua extremidade oeste, onde aflora a rocha metavulcânica ácida. Ainda no *footwall* do minério, ocorrem biotita-xistos e talco-xistos, amostrados neste trabalho, que se propagam na porção sul, tanto do corpo do Sequeirinho e, mais raro, no Sossego (CARVALHO, 2009).

Ao longo da zona de cisalhamento do Sequeirinho, de direção N60°E, ocorre a brechação caracterizada pela matriz calcopirítica com granulação fina e clastos subarredondados, que denotam condições de alta temperatura e pressão cisalhante a que as rochas do Sequeirinho foram submetidas. Em seu entorno, as rochas estão transformadas pelo evento hidrotermal em brechas hidrotermais, actinolititos, magnetititos e silexitos, dando uma forma anastomosada para a mineralização deste corpo – estas três primeiras litologias sendo alvos da amostragem atual.

Cortando essas litologias, ocorrem diques de rochas intrusivas básicas e ácidas mais jovens e, portanto, sem hospedar a mineralização de Cu-Au. Esse último grupo de rochas é representado por dacitos a basaltos. Já as rochas ácidas são os dioritos e diabásios. No corpo do

Sossego, na extremidade Leste do depósito, ocorre uma zona de *stockwork* radial e caótica com veios de minério pujante no entorno de uma brecha de clastos decimétricos e sub-angulosos, indicando maior pressão de fluidos (CARVALHO, 2009).

Figura 7 - Mapa Geológico do Depósito do Sossego.



LEGENDA

- | | | |
|--|-------------------------------------|---|
| metavulcânica fêlsica cisalhada e alterada | brecha hidrotermal Sossego/Curral | aluviões |
| metavulcânica máfica a intermediária (metabasaltos e metandesitos alterados) | brecha hidrotermal Sequeirinho | solo-elúvio-colúvio |
| metaultramáficas (clorita-tremolita-talco xistos) | magnetítico | crosta iaterítica |
| sericita xisto | actinolítico (actinolita-magnetita) | paleo-aluvião (cascalheiras antigas) |
| Complexo Xingu (gnaisses, migmatitos e granitóides foliados com injeções pegmatíticas) | gabro / diorito alterados | zona silicificada / veios de quartzo |
| granito granofírico alterado | granito e granodiorito alterados | intrusiva máfica (diqe diorito/diabásio não deformado/alterado) |
| | granito granofírico alterado | intrusiva ácida (dacito/riolito fracamente deformado/alterado) |

Fonte: Carvalho (2009).

3.2.1.2 Geocronologia

O depósito do Sossego situa-se, portanto, ao longo de uma faixa de deformação correspondente ao contato do Supergrupo Itacaiúnas com as unidades mesoarqueanas do embasamento. Para Moreto *et al.* (2015), localmente, as rochas hospedeiras do depósito do Sossego possuem idades que variam do Meosoarqueano (3,0 Ga, granito do Sequeirinho; 2,97 Ga, metavulcânica félsica ácida do Pista) ao Neoarqueano (2,74 Ga, granito granofírico e gabronorito do Sossego).

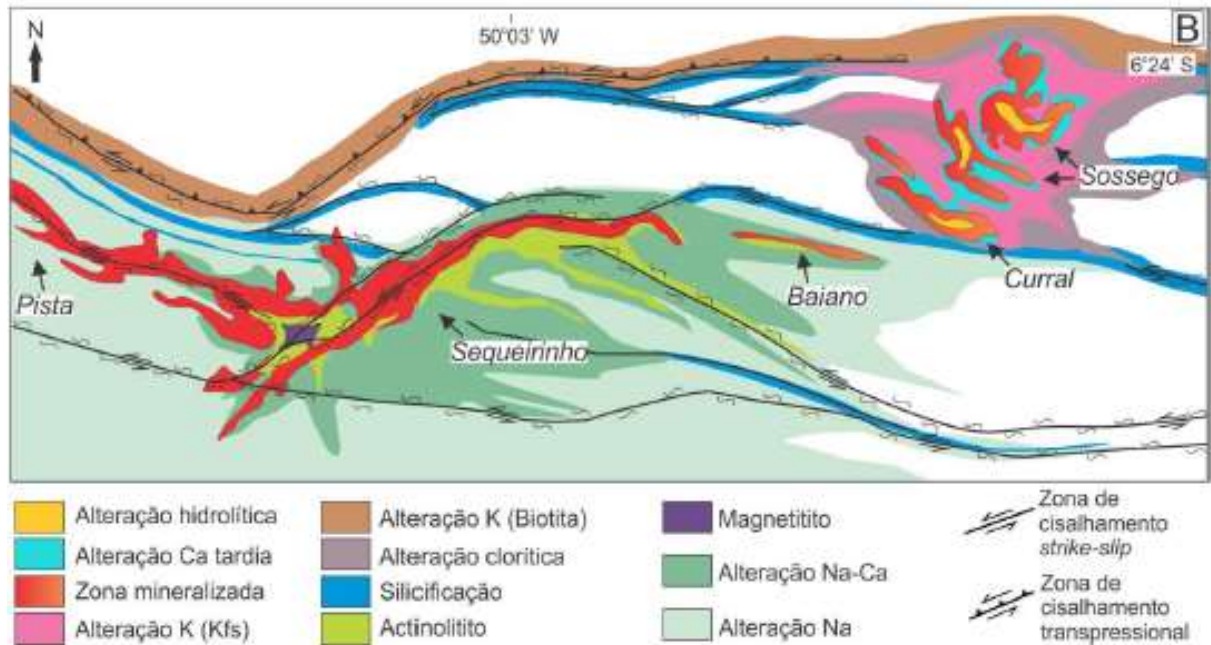
Ainda de acordo com Moreto *et al.* (2015) os corpos de minério Sequeirinho e Sossego não são cogenéticos, tendo o primeiro sido formado durante o intervalo 2,71-2,68 Ga, enquanto o Sossego, durante o Paleoproterozóico (1,90-1,88 Ga), após exumação progressiva dos sistemas arqueanos. A lixiviação e a remobilização dos metais e de outros elementos a partir dos granitos Neoarqueanos para os corpos Paleoproterozóicos seriam motivadas por sucessivos eventos hidrotermais.

3.2.1.3 Hidrotermalização

O Sossego é um depósito hidrotermal, interpretado como análogo aos depósitos com a associação típica entre Óxidos de Ferro, Cobre e Ouro (IOCG – Iron Oxide, Copper and Gold deposits), sendo o primeiro a ser identificado e classificado dentro da PMC. De acordo com Monteiro *et al.* (2008) o zoneamento hidrotermal é distinto entre Sossego e Sequeirinho (incluindo o Pista), indo muito além apenas do momento evolutivo de cada corpo, como comentado no tópico anterior.

O perfil hidrotermal do Sequeirinho compreende uma alteração sódica regional, que grada em direção ao centro, ou seja, no sentido da sua zona de cisalhamento para uma alteração sódica-cálcica, seguido de uma cálcica-férrica e sulfetização no núcleo. Em Sossego, as alterações sódica e cálcica intermediária são menos frequentes, e da borda ao núcleo varia de alteração clorítica a potássica, bem característica deste corpo. Já a sulfetização está associada a uma alteração hidrolítica, bem como a uma calcificação tardia. A representação esquemática do hidrotermalismo resultante foi elaborada por Monteiro *et al.* (2008), conforme a Figura 8.

Figura 8 - Distribuição esquemática das zonas de alteração hidrotermais na Mina Sossego.



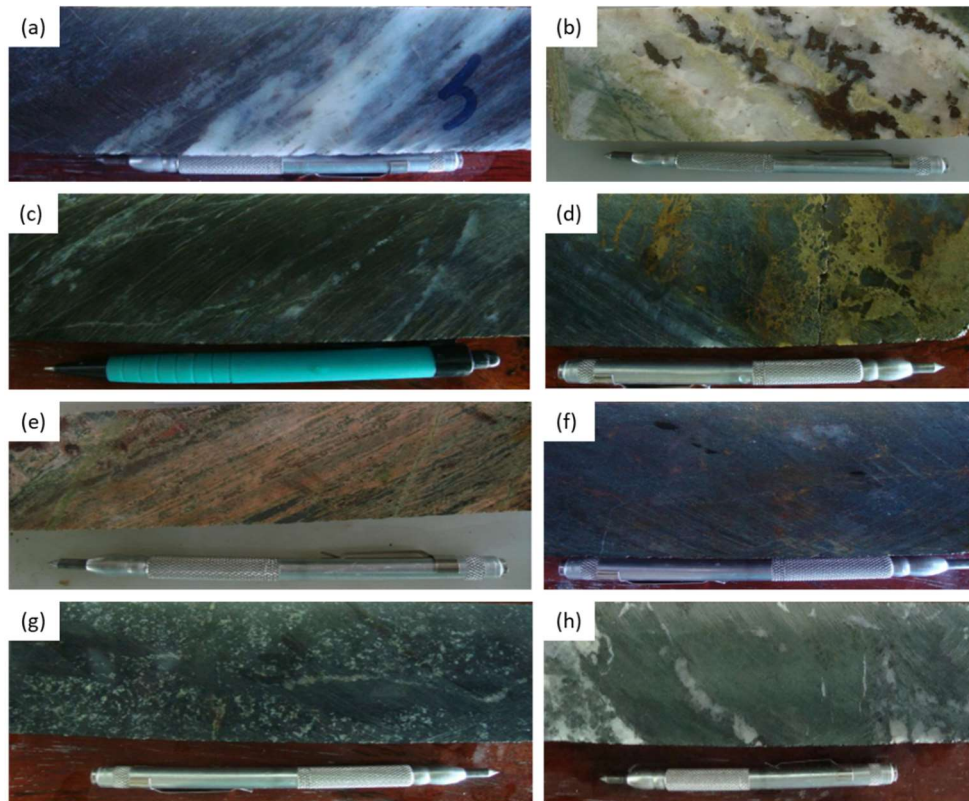
Fonte: Monteiro *et al.* (2008).

A silicificação é descrita por Monteiro *et al.* (2008), como restrita à grandes discontinuidades estruturais; no entanto, isso se deve à amostragem pouco representativa do trecho do Pista. Em campo, essa silicificação se apresenta bastante pervasiva e envolvendo boa parte dos cristais de calcopirita.

Carvalho (2009, p. 47) afirma que “a silicificação é um evento importante no setor Pista, ao qual se associa à parte da calcopirita e tem início com venulações/injeções de sílica incolor a branca leitosa (quartzo, calcedônia, sílex) concordantes ou não com a foliação milonítica”. É possível observar esse contraste mineralógico em testemunhos de sondagem, exemplificados na Figura 9. A substituição por sílica isola núcleos de metavulcânica albitizada (\pm escapolita) ou biotitizada, criando um aspecto fragmentado, e pode se tornar difundida, substituindo integralmente a metavulcânica félsica em intervalos decimétricos (Carvalho, 2009).

Figura 9 - Tipos e feições das alterações hidrotermais no corpo Pista. (a) silicificação intensa em MVA; (b) calcopirita com alto teor em veio de quartzo; (c) biotita xisto com alto quartzo, além de epidoto e clorita; (d) brecha hidrotermal de calcopirita em MVA; (e) intensa alteração sódica e

cloritização associados; (f) biotitização em gabro com calcopirita; (g) gabro preservado com escapolita; (h) talco tremolita xisto com veios de quartzo.



Fonte: Carvalho (2009).

Na Mina do Sossego, a composição modal média das amostras de testemunhos de sondagem evidencia a relevância dos silicatos, com quartzo e feldspato, em relação aos outros minerais. Na Tabela 3, os dados da cava Pista estão incorporados nos dados do Sequeirinho, não havendo sua distinção na tabela abaixo.

Tabela 3 - Composição mineralógica (%) das amostras de testemunhos de sondagem.

Minerais	Sequeirinho*	Sossego*
Quartzo	23	26
Feldspato	24	27
Clorita	2	14
Biotita	5	10
Magnetita	8	9
Calcopirita	2	3
Bornita	<1	<1
Calcocita	<1	<1
Hematita	1	1
Anfibólio	24	2
Carbonatos	<1	6
Epidoto	10	2

(*) Resultado em % de massa. Fonte: VALE⁵ (2001).

⁵ VALE. Relatório de Viabilidade do Projeto Sossego. 2001. 451 p. [Relatório Técnico].

No contexto de rochas multi-minerálicas, a abrasividade é dada pelo mineral constituinte mais abrasivo, visto ser uma propriedade ou variável não-aditiva. Portanto, a abrasividade, além de ser função das propriedades estruturais, texturais e físico-mecânicas das rochas (MÜNCH, 2017), é especialmente relacionada com a sua composição mineralógica, em particular, pela ocorrência de minerais com ligações químicas fortes, a exemplo dos minerais silicáticos tipo quartzo e feldspatos como ocorrem em rochas típicas do Sossego.

3.3 HISTÓRICO DE ENSAIOS DE ABRASIVIDADE

O desgaste por abrasão que os minerais e rochas produzem num circuito de cominuição é sempre um desafio operacional e sua investigação se inicia com a escolha do ensaio mais apropriado. Atualmente, são diversos os métodos disponíveis para essa quantificação, porém, aqui, sua escolha esbarrou em uma série de restrições, quer seja pela não aplicabilidade de todos os ensaios disponíveis em rochas com alto grau de compactação ou pelo rígido requerimento da amostra, visto que, eventualmente, faz-se necessário produzir um corpo de prova de testemunhos.

Na Tabela 4 estão sumarizados diversos métodos clássicos de medição do índice de abrasividade, dentre eles, os ensaios para determinação do índice de abrasão de Bond (AI) e a abrasividade por LCPC. Os ensaios pelo método Cerchar (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D7625-10, 2010), cuja correlação linear com o LCPC já foi comprovada, por exemplo, no trabalho de Fowell e Abu Bakar (2007), especialmente para rochas ígneas e metamórficas, ainda requer a preparação de um corpo de prova.

Os demais ensaios como os métodos desenvolvidos pelo NTNU (NILSEN *et al.*, 2006), o Los Angeles (ABNT NBR 51, 2001), Miller (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G75, 2007) e Gouging (GOLOVANEVSKIY; BEARMAN, 2008) ou são específicos para solo ou rocha branda, ou possuem uma quantidade maior de massa, ou ainda, possuem equipamentos com operação mais complexa, portanto, longe da praticidade operacional desejada neste trabalho.

Tabela 4 - Quadro resumo dos ensaios usuais de avaliação de abrasividade em rochas.

Método	Granulometria	Massa requerida	Material desgastado	Tempo de ensaio	Índice gerado	Origem do Ensaio
AI de Bond	$\frac{3}{4}$ " - $\frac{1}{2}$ " (19,05 mm – 12,7 mm)	4 alíquotas de 400 g	Placa de aço SAE4340 de dureza Rockwell C 51 HRC	4 vezes de 15 min	AI <i>Abrasion Index</i>	Fred C. Bond (1961)
LCPC	6,3 mm - 4 mm	500 g	Placa de aço C1015 de dureza Rockwell C 60-75 HRC	5 min	LAC LCPC <i>Abrasivity Coefficient</i>	<i>Association Française De Normalisation</i> P18-579 (1990)
Cerchar Test	Amostra de rocha	Corpo de prova em forma de disco ou irregular	Ponta metálica de dureza Rockwell 54-56 HRC	-	CAI <i>Cerchar Abrasivity Coefficient</i>	<i>American Society for Testing and Materials</i> . ASTM D7625-10 (2010)
NTNU's abrasion tests	< 1 mm	400 g	Carbeto de tungstênio	5 min / 1 min	Índice AV/AVS	Departamento de Geologia do NTH (Instituto Norueguês de Tecnologia) - década de 1960
Los Angeles	Diversas	5000 g ou 10000 g	Esferas de aço ou ferro fundido	500 ou 1000 rotações a 30-33 rpm	Índice de Abrasão Los Angeles	ABNT NBR 51 (2001)
Gougging Test	Amostra de rocha	Corpo de prova de 100 x 30 x 11 mm	Ponteira cilíndrica de dureza Rockwell 40/42 HRC.	-	Gi <i>Gougging Abrasion Index</i>	Golovanevskiy e Bearman (2008)
Método Miller	Amostra em pasta	-	Liga Ferro-27% Cromo	6 horas (medições a cada 2 horas)	Número de Miller (NM) / Número SAR	Norma ASTM G75 (2007)

Fonte: Adaptado de Peres (2017).

O ensaio AI foi escolhido como ensaio base para o estudo de correlação deste trabalho, por ser o mais difundido no setor mineral e com vasta aplicação nas operações mineiras (BERGSTROM, 1985), especialmente na Europa. Apesar de muito usado no setor mineral, o AI requer uma massa inicial da amostra já preparada de 1,6 kg, com material entre $\frac{3}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ ", o que limita a aplicação operacional em certos casos, como na mina do Sossego, cuja curva

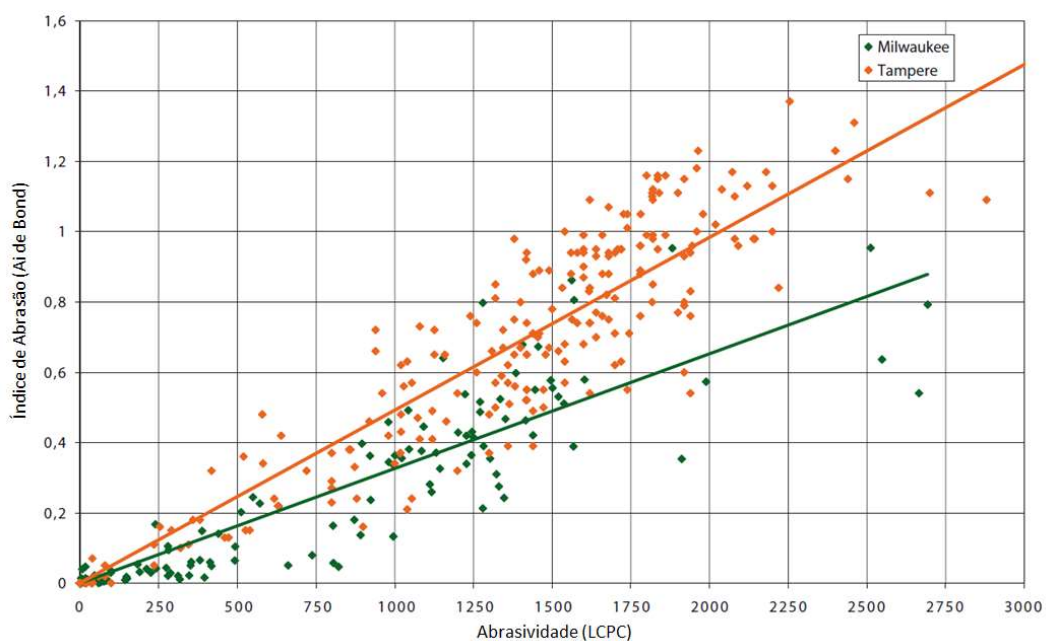
granulométrica média em amostras de mina – do tipo pó de perfuratriz para desmonte – requer aproximadamente 200 kg de amostra inicial.

Em testemunhos de sondagem, empregados para fins de análises químicas e não aqueles específicos para ensaios geometalúrgicos, a restrição de amostras ainda persiste, pois geralmente apenas $\frac{1}{4}$ da amostra está disponível para coleta. Mesmo nos furos de sonda para fins geometalúrgicos, a demanda para diferentes ensaios (moabilidade, flotação etc.) é grande, de forma que estes normalmente já foram exaustivamente amostrados, restando apenas amostras frescas oriundas da própria mina, quando da sua exploração.

O ensaio do LCPC, desenvolvido pelo *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* da França, foi escolhido para ser validado neste estudo por se tratar de uma alternativa prática e rápida de ensaio físico de bancada para medida de abrasividade frente ao AI, além de já possuir correlações com outros minérios mundo afora, apesar da carência de minérios brasileiros em seu banco de dados.

Como já descrito no texto acima, estudos de correlações entre esses ensaios estão disponíveis. Por exemplo, a METSO (2008), em seu *Handbook*, propôs uma correlação com base no banco de dados dos centros de pesquisas de Milwaukee e Tampere, cuja relação proposta entre os dois ensaios resultou na fórmula $LCPC = 2000 \times AI$. O gráfico da Figura 10 ilustra as duas nuvens de pontos para os dois laboratórios com correlações diferentes.

Figura 10 - Correlação entre abrasividade por LCPC no eixo “X” e pelo AI em “Y”.



Fonte: Traduzido de METSO (2008).

Os trabalhos voltados para estudo da correlação entre AI e LCPC em minérios brasileiros ainda são muito escassos. Dentre os poucos exemplos na bibliografia brasileira, Peres, Massola e Bergerman (2018) estabeleceram essa correlação para o produto da pré-concentração de minério sulfetado e definiu sua equação da reta para o $LCPC = (0,0005 \times AI - 0,0404)$ com 86% de correlação.

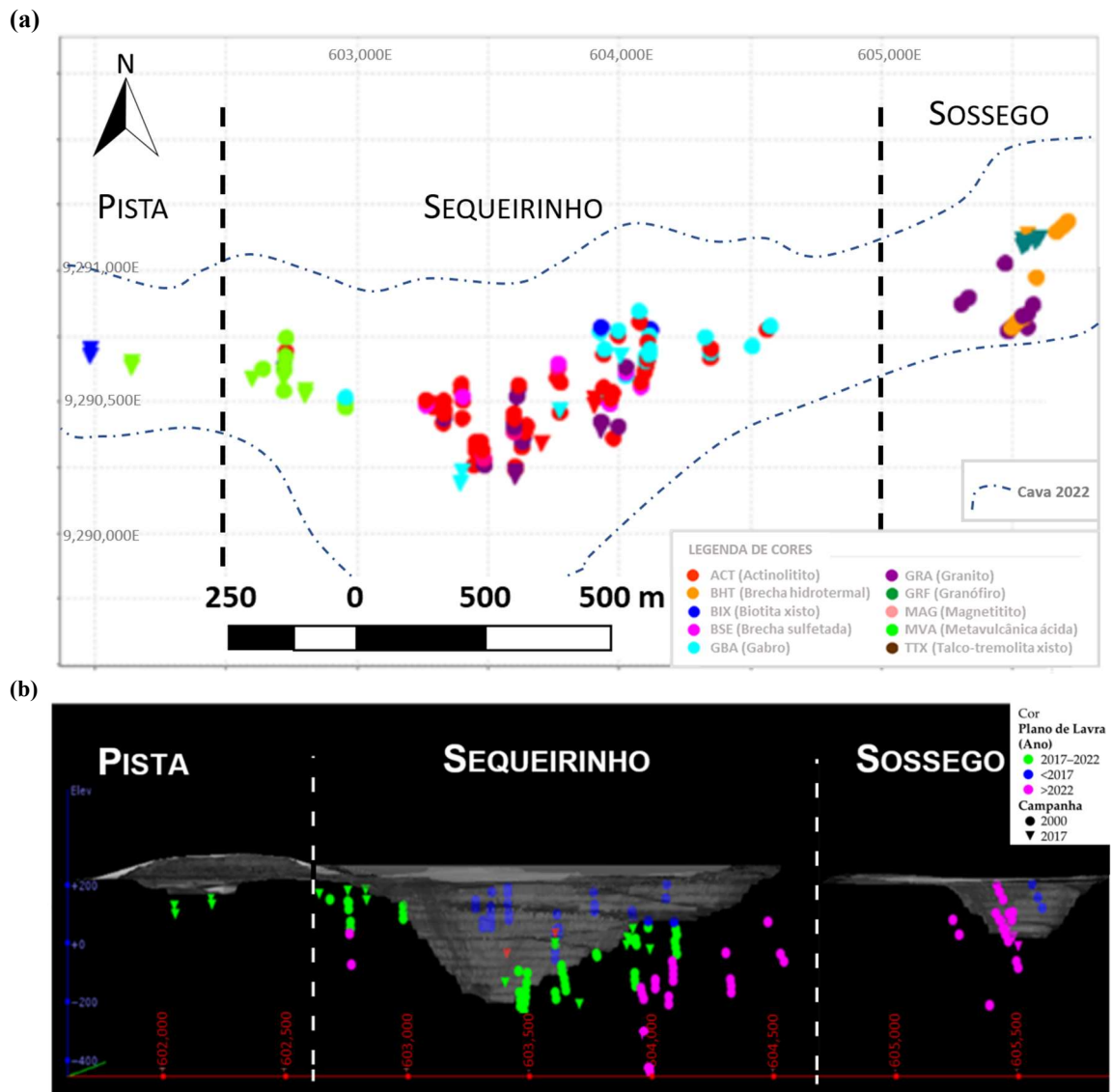
3.4 DADOS HISTÓRICOS

Para a mina de Sossego, foram realizados diversos estudos de cunho metalúrgico para início de sua operação em 2004 (VALE⁶, 2001), principalmente para suportar os estudos de pré-viabilidade e viabilidade do projeto na definição da rota de processo adequada. A partir desses trabalhos, somados às avaliações recentes (FONSECA; SILVA; BARBOSA, 2018; BARBOSA; BERGERMAN; FONSECA, 2021; BARBOSA et al., 2021), foi possível consolidar um banco de dados geometalúrgico, totalizando 135 amostras obtidas a partir de furos de sondagem exploratórias nas campanhas de 2000 e 2017, com amostras submetidas a ensaios de bancada para caracterização tecnológica dos minérios típicos.

A Figura 11 ilustra a localização do total das amostras das referidas campanhas geometalúrgicas, distinguidas por litologia e pelo ano de lavra planejado no perímetro das três cavas a céu aberto – Sossego, Sequeirinho e Pista. O objeto em cinza na imagem “b”, é a referência topográfica em dezembro de 2017. Os símbolos de círculo e triângulo nas posições das amostras representam as duas campanhas antigas realizadas em 2000 e 2017, respectivamente.

⁶ VALE. Relatório de Viabilidade do Projeto Sossego. 2001. 451 p. [Relatório Técnico].

Figura 11 - (a) Mapa de localização 2D para dados históricos do Sossego com 135 amostras nas cavas do Pista, Sequeirinho e Sossego por litologia; (b) visão de perfil, sentido E – W para a direção norte da localização das amostras por ano do plano de lavra.

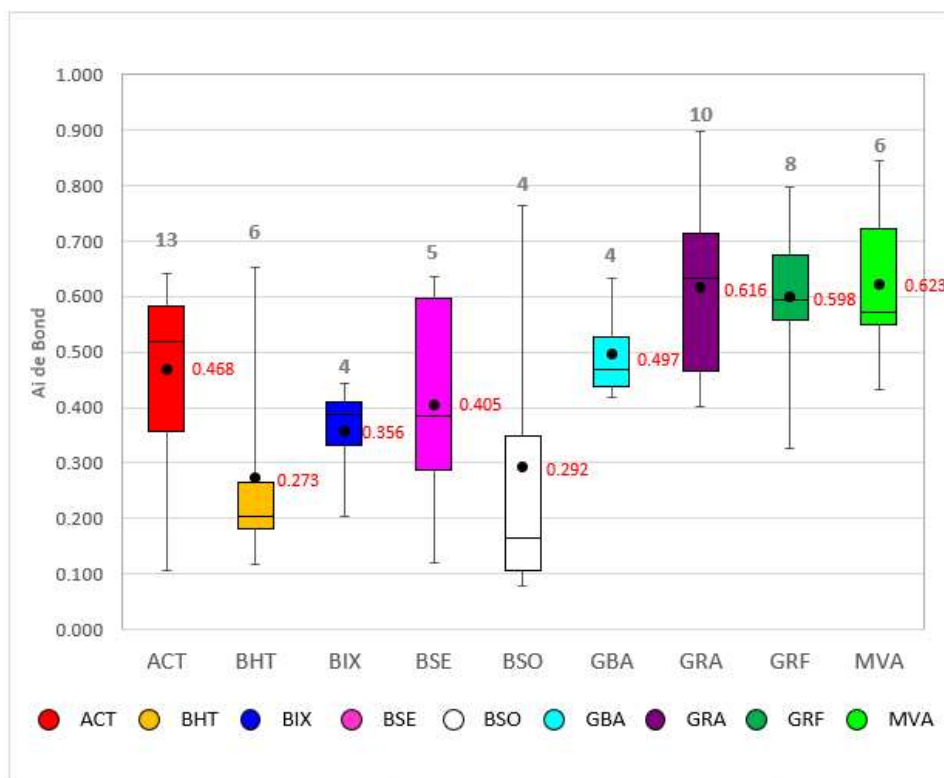


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os referidos estudos geometalúrgicos anteriores no Sossego, resumidos primeiramente por Fonseca, Silva e Barbosa (2018), incluem a descrição qualitativa e quantitativa dos minerais, ensaios de quebra (DWT), ensaio de carga pontual (PLT), índice de tamboramento (ta), SATMAGAN® (susceptibilidade magnética), índice de trabalho de Bond (Wi) e índice de abrasão de Bond (AI). Os códigos das litologias foram utilizados com base nos procedimentos da Mina do Sossego: ACT (actinolítico), BHT (brecha hidrotermal), BIX (biotita xisto), BSE (brecha do Sequeirinho), BSO (brecha do Sossego), GBA (gabro), GRA (granito), GRF (granito granofírico), MAG (magnetítico), MVA (metavulcânica ácida) e TTX (talco-tremolita xisto).

Do total de 135 amostras de campanhas antigas, apenas 60 foram testadas para AI e foram encontradas grandes faixas de valores de abrasividade, como mostra a Figura 12. Para os dados históricos, os grupos de litologia MAG e TTX não foram testados pelo AI e as amostras de brecha foram distinguidas em minério sulfetado de cobre-ouro do corpo de Sossego (BSO), do Sequeirinho (BSE) e brecha hidrotermal sem minério (BHT). O baixo número de amostras associadas às grandes faixas de valores de abrasividade tornou oportuna a investigação dessa propriedade com novas amostras e métodos, para formular novos entendimentos.

Figura 12 - Box-plot da estatística dos valores de AI com a respectiva quantidade de amostras. As cores são padronizadas por litologias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora a litologia MVA tenha a maior média de abrasividade, algumas outras litologias também apresentam médias elevadas, porém não esperadas, como os tipos graníticos (GRA e GRF) e brechados (BSE e BHT). Assim como os valores altos, os grandes intervalos observados em quase todos os grupos litológicos são insatisfatórios, pois denotam altas variâncias associadas ao baixo número de amostras.

Nenhum estudo comparativo que incluísse os dados históricos, aqui apresentados, foi realizado por opção do autor, dadas as diferenças no tipo de amostra utilizada e as incertezas

sobre os procedimentos de classificação litológica, manuseio e preparação das amostras aplicadas para os ensaios de AI nessas antigas campanhas geometalúrgicas. Portanto, os dados históricos serviram apenas como pano de fundo, que ajudaram a evidenciar a problemática discutida.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os procedimentos e metodologias utilizados para a seleção, coleta e preparação das amostras utilizadas no presente estudo de correlação, além dos métodos empregados na medição da abrasividade pelos dois ensaios escolhidos. Uma validação da classificação litológica por meio de análises químicas e mineralógicas também foi objeto de estudo e estará delineada no final desse capítulo.

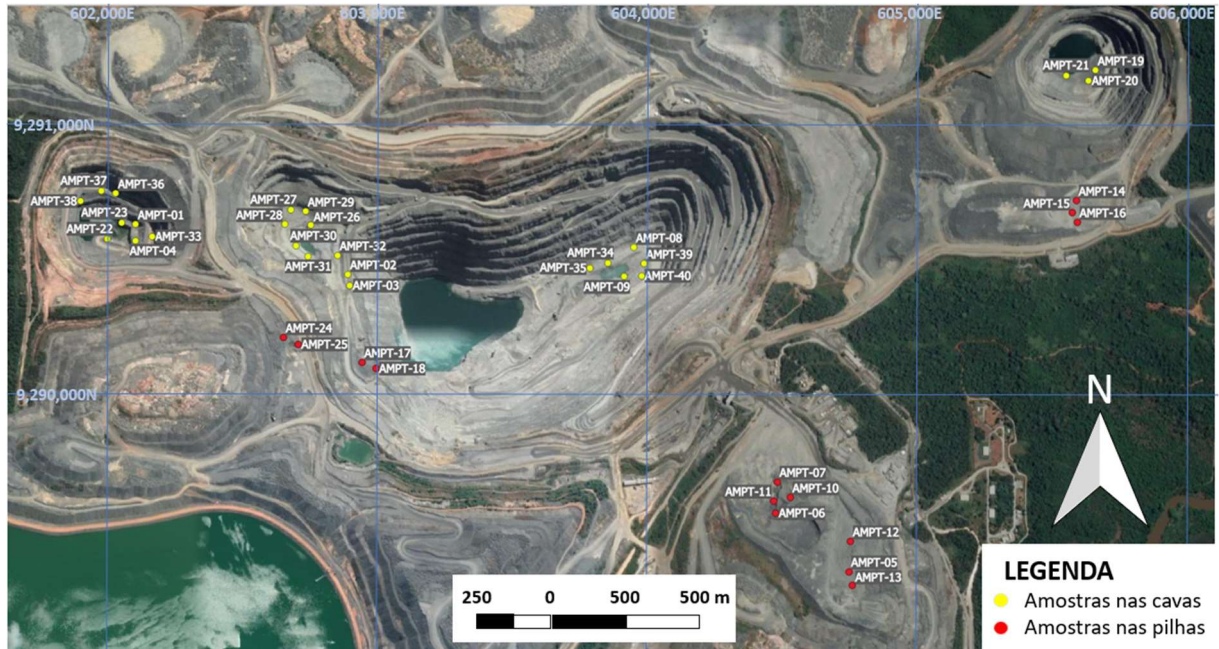
4.1 SELEÇÃO E COLETA DAS AMOSTRAS

O planejamento da campanha amostral foi elaborado para abranger as principais litologias de ocorrência na Mina do Sossego e para satisfazer os requerimentos de massa e de granulometria dos dois ensaios. Para tanto, a dissertação em apreço avaliou amostras de partículas de rocha estritamente coletadas em frentes de lavra no interior das cavas e em pilhas de estocagem de minério.

A avaliação geológica expedita em campo identificou os locais de exposição homogênea das principais litologias portadoras da mineralização de cobre e ouro do depósito do Sossego. A coleta em si considerou uma amostragem do tipo aleatória simples com intervalo granulométrico aproximado entre 1” e 3”, e coleta individual manual das partículas, garantindo, assim, a precisão no agrupamento litológico homogêneo desejado para as amostras. Um QAQC foi implementado em 10% das amostras, obtendo uma duplicata após o quarteamento da amostra preparada após a britagem.

De acordo com o planejamento da atual campanha amostral, quarenta amostras foram coletadas e nomeadas com as iniciais AMPT, seguidas de uma numeração sequencial. Assim, oito principais litologias foram amostradas em afloramentos desmontados dentro das cavas (frentes de lavra) e são representadas no mapa por pontos de cor amarela, enquanto outro grupo de amostras coletadas em pilhas temporárias de minério estão em pontos vermelhos, de acordo com a Figura 13.

Figura 13 - Mapa de localização das quarenta amostras. Pontos em amarelo referentes às amostras coletadas nas cavas e em vermelho para amostras em pilhas de estoque.



Fonte: Mina de Cobre do Sossego⁷ (2021).

As litologias foram codificadas seguindo os mesmos procedimentos mencionados na Seção 3.4: ACT, BIX, BSE, GRA, GRF, MAG, MVA e TTX. A litologia MVA foi preferencialmente amostrada com base nas informações preliminares da planta de processamento sobre sua alta abrasividade e representatividade na partição de alimentação da planta. Todavia, a campanha compôs apenas duas amostras para o ACT e o TTX, pois sua ocorrência foi limitada no momento da coleta. A litologia BHT, assim codificada nos dados históricos, aqui foi incorporada à nova nomenclatura BSE por esta ocorrer com a mesma textura e assembleia mineral.

4.2 PREPARAÇÃO FÍSICA

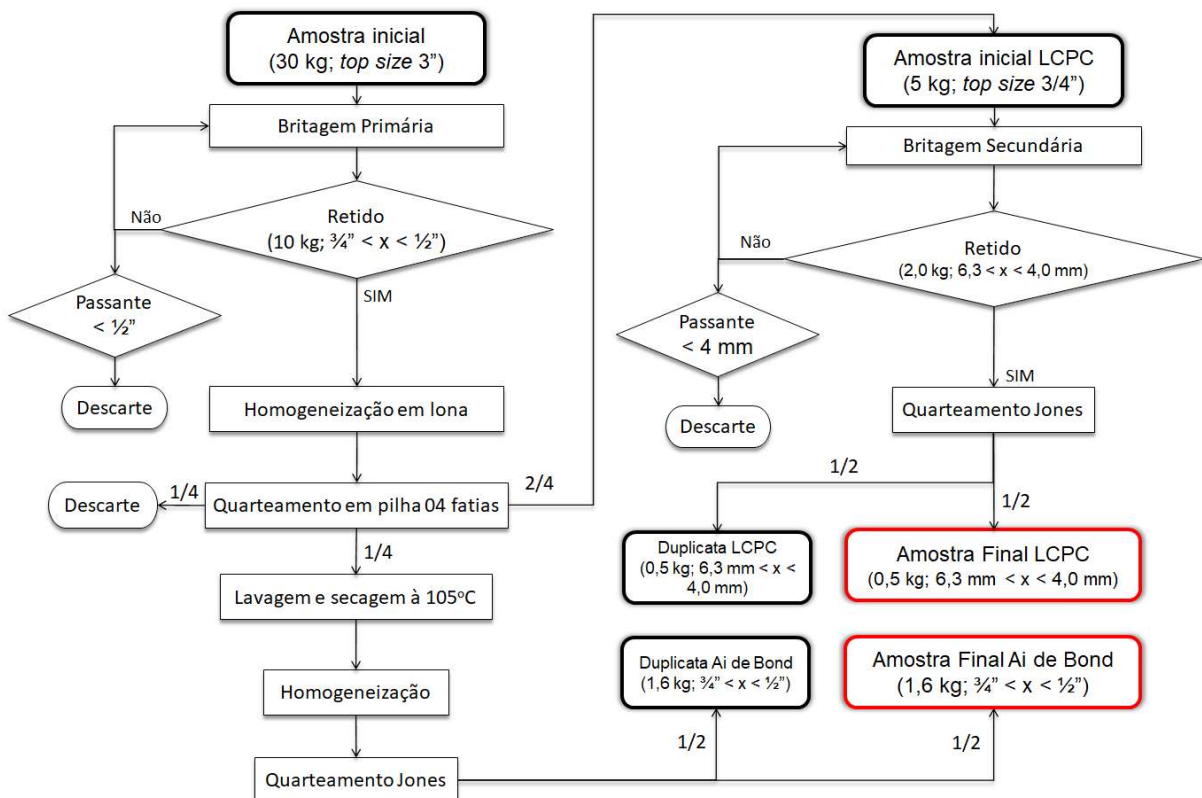
Após a coleta e identificação em campo, cerca de 30 kg de cada amostra à 3” foram levados ao laboratório de preparação física para a etapa de britagem (britador de mandíbulas) de forma estagiada, até se obter 100% passante em 3/4”. O produto da britagem para o ensaio

⁷ MINA DE COBRE DO SOSSEGO. Sossego: Vale, 2021. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/mina+do+sossego/>. Acesso em: 07 ago. 2021.

de AI é o retido entre as peneiras de $\frac{3}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ ", com uma massa esperada em torno de 10 kg, que varia a depender da tenacidade da rocha processada. Seguem-se as etapas de homogeneização em lona e quarteamento em fatias em pilha alongada. Uma das alíquotas (25% da amostra), é retirada para a continuação da preparação. A conformação final da amostra se dá com a lavagem, secagem a 105°C , homogeneização e quarteamento tipo Jones para gerar exatos 1,6 kg de amostra final.

A amostra para o ensaio LCPC é originada dos outros 50% remanescentes do quarteamento implementado na etapa anterior e deverá conter em torno de 5,0 kg de amostra, embora a massa final requerida agora seja menor (0,5 kg), portanto, projetando uma redução mássica de 10 vezes. Então, para essa nova redução granulométrica, uma britagem secundária mais fechada é usada, até que se obtenha 100% de material abaixo de 6,3 mm. O retido entre as peneiras de 6,3 mm e 4,0 mm é o produto adequado para o ensaio LCPC. As amostras duplicadas para QAQC são retiradas nos dois fluxos do quarteamento. Abaixo, na Figura 14, segue o fluxograma da amostra para a produção das alíquotas resultantes para os ensaios de AI e do LCPC.

Figura 14 - Fluxograma de preparação física das amostras finais para os ensaios de AI e LCPC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

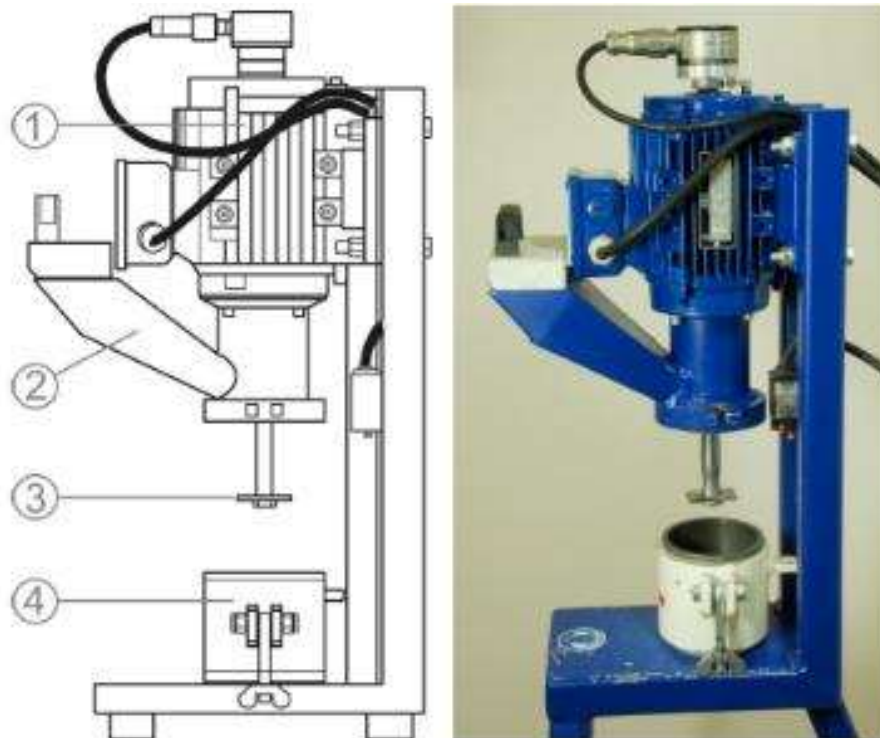
4.3 ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DE ABRASIVIDADE

Estarão descritos a seguir os equipamentos, materiais e métodos dos ensaios pelo LCPC e de AI escolhidos para o estudo de correlação.

4.3.1 Método LCPC

O dispositivo para ensaio de abrasividade LCPC, visto na Figura 15, é descrito na norma francesa (*ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION P18-579, 1990*) e desenvolvido pelo *Laboratoire Central de Ponts e Chaussées (LCPC)*, na França, para ensaio em rocha e agregados (KÄSLING; THURO, 2010). O "abrasímetro" é construído a partir de um motor de 750 W, que gira um eixo com uma placa metálica retangular feita de aço padrão (C1015), com dureza Rockwell HRB 60-75, que roda em um recipiente cilíndrico com a amostra granulada entre 6,3 mm e 4,0 mm.

Figura 15 - Dispositivo de ensaio de abrasividade de acordo com o padrão francês da Norma P18-579 (2010). 1 – motor, 2 – tubo de funil, 3 – implemento de aço, 4 – container de amostra.



Fonte: Käsling; Thuro (2010).

O ensaio mede a perda de massa de uma placa metálica com 50 x 25 x 5 mm de tamanho, que gira por 5 min a 4500 rpm em contato com 500 g de material na faixa de tamanho especificado acima. A balança utilizada possui precisão de 4 casas decimais. A abrasividade por LCPC é determinada de acordo com a equação (1):

$$\text{LCPC} = 1000 \times 1000 (M_{ip} - M_{fp})/M, \quad (1)$$

Onde:

- M_{ip} = massa de placa antes do ensaio LCPC;
- M_{fp} = massa de placa após o ensaio LCPC; e
- M = massa da amostra ($500 \pm 0,2$ g)

Além do valor de abrasividade, o ensaio LCPC também produz o valor de britabilidade, assim como estabelece a *Association Française De Normalisation* P18-579 (1990), que, embora não tenha sido objeto de análise nesse trabalho, os seus valores estão nos laudos do LCPC conforme Apêndice B.

4.3.2 Método de AI de Bond

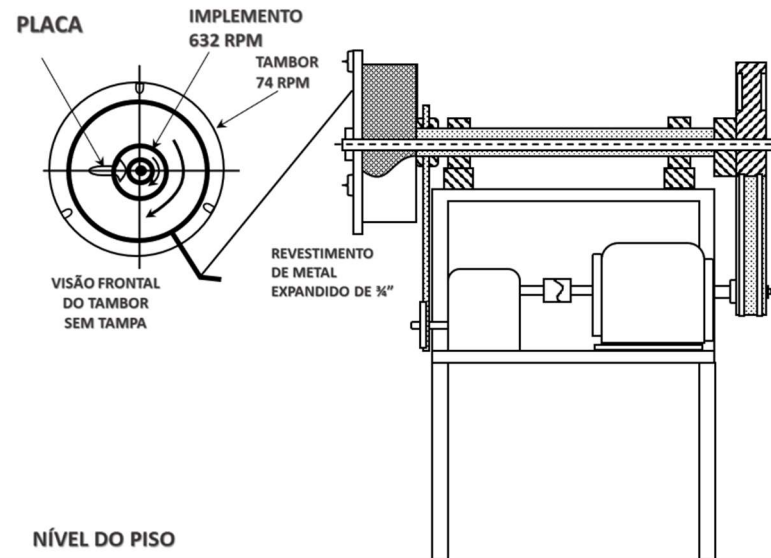
O ensaio de AI de Bond permite avaliar o comportamento de abrasividade do minério. Consiste em medir a capacidade que o minério possui de remover metal da superfície de uma palheta metálica de aço padronizada, refletindo em índices de consumo de revestimentos de moinhos e de britadores, além de desgastes em tubulações (BOND, 1963).

O equipamento padrão para o ensaio de AI, descrito por Bergstrom (1985) e visto na Figura 16, consiste em um tambor com uma tampa lateral removível, para inserção e remoção da placa a ser desgastada e da carga sólida. Sua superfície interna contém ainda ressaltos positivos que induzem a projeção e o choque da carga. O tambor para colocação da amostra se conecta a um rotor através de um eixo transversal e tem seu giro promovido por um motor elétrico encaixado em sua base.

A metodologia desse ensaio consiste em processar separadamente quatro amostras de 400 g do retido entre as peneiras de $\frac{3}{4}$ " e $\frac{1}{2}$ " durante 15 minutos cada. O ensaio em si utiliza-se de uma placa metálica plana de dimensões 3"x1"x0,25" de aço cromo-níquel-molibdênio

HRB~95 endurecida a 500 Brinell que é inserida por 1” em um rotor de 4,5” de diâmetro, o qual gira em um eixo horizontal a 632 rpm. O tambor, por sua vez, gira a 70 rpm, ou 90% da velocidade crítica, na mesma direção da placa, que é desgastada por uma hora e, depois pesada. A perda de peso da placa em miligramas é o índice de abrasão de Bond do material. A balança utilizada possui precisão de 4 casas decimais.

Figura 16 - Equipamento para medição do índice de abrasão de Bond.



Fonte: Bond (1963).

A abrasividade do material é calculada de acordo com a equação (2).

$$AI = M_i - M_f, \quad (2)$$

Onde:

- AI = Índice de abrasão de Bond;
- M_i = massa inicial da placa de aço;
- M_f = massa final da placa de aço (1600 g).

A dureza de todas as placas metálicas foi medida usando um testador de dureza *Rockwell* (fabricante WILSON 54) no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – para garantir que sua dureza cumprisse os requisitos aplicáveis. Tal medida indicou que as placas do ensaio do LCPC tinham uma dureza média de 65 HRB, portanto, dentro da faixa definida pelo padrão francês (ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION P18-579, 1990). O resultado de dureza para as placas utilizadas no ensaio de Bond foi de 525 HB,

dentro do aceitável para a dureza média de 500 HB e especificada por Bond (1963). As placas utilizadas foram do mesmo lote e fabricante em todos os ensaios, visando evitar que possíveis variações de fabricação afetassem os resultados.

Para confirmar a semelhança entre as amostras ensaiadas nos equipamentos do LCPC e AI, a massa resultante dos dois ensaios foi enviada para análise mineralógica que será abordada no tópico a seguir. Os laudos dos ensaios do AI estão demonstrados no Apêndice A.

4.4 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

Para a caracterização mineralógica, seções polidas foram produzidas seguindo um método próprio de incorporação de epóxi frio sob centrifugação (KWITKO-RIBEIRO, 2012). A preparação com proporção de amostra para epóxi de 1:2 (volume) foi centrifugada, desmoldada, cortada no eixo vertical e, novamente, envasada em molde redondo de 30 mm para garantir a representatividade de uma única superfície em termos de morfologia, tamanho, densidade e composição das partículas.

A mineralogia modal foi gerada pelo sistema QEMSCAN® - Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electron Microscopy - (modelo FEI Quanta 650W, fabricado pela FEI, Brisbane, Austrália) de mineralogia automatizada composto por um MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura), FEI Quanta 650 SEM acoplado com dois detectores Bruker XFlash 6|30 EDS. Todas as medições foram produzidas no modo *Field Imager*, sobre 25kV de aceleração de feixe e 10nA da amostra atual, utilizando 15 x 15 µm de espaçamento de pixels e 1500 contagens de raios-X por pixel. Uma média de 2 milhões de pixels por amostra foi gerada, dos quais 30% foram identificados como fases minerais.

A química dos elementos principais foi determinada pela absorção infravermelha e condutividade térmica com combustão direta (S) e plasma indutivamente acoplado (ICP-OES; fabricado pela Agilent, modelo 5110, Victoria, Austrália), com solubilização em água régia (Cu), solubilização em HNO₃+HF (K e Na) e calcinação a 600°C com fusão em Na₂CO₃/Na₂B₄O₇ (Ca, Fe e Si).

A identificação das fases minerais e a quantificação química dos elementos foi realizada no laboratório de Mineralogia do Centro de Desenvolvimento Mineral/VALE.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados compreendem uma validação inicial e determinante que visou garantir, em primeiro lugar, a reprodutibilidade dos ensaios e, após, a semelhança entre os pares das quarenta amostras testadas. O estudo estatístico definiu a composição litológica das amostras e representa matematicamente a propriedade de abrasividade.

5.1 VALIDAÇÃO DE PROCEDIMENTOS

5.1.1 QAQC

Foi implementada uma campanha de controle de qualidade com o desempenho de cinco amostras duplicadas para avaliar a reprodutibilidade dos ensaios de AI e LCPC. Apenas a amostra AMPT-30 apresentou desvio superior a 15%; no entanto, isso não foi significativo devido aos seus baixos valores em torno de zero. Conforme visto na Tabela 5, todas as amostras estão dentro da faixa esperada, abaixo de 10% e, portanto, aceitáveis.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios para as amostras duplicadas.

Amostra	Tipo de ensaio	No Amostras	Média	Erro relativo
AMPT-11	AI	3	0,490	8,16%
	LCPC	3	1192	2,35%
AMPT-18	AI	2	0,245	6,12%
	LCPC	2	830	1,75%
AMPT-21	AI	2	0,225	2,22%
	LCPC	2	863	5,91%
AMPT-23	AI	2	0,700	0,00%
	LCPC	2	1441	0,94%
AMPT-30	AI	2	0,015	33,33%
	LCPC	2	111	10,41%

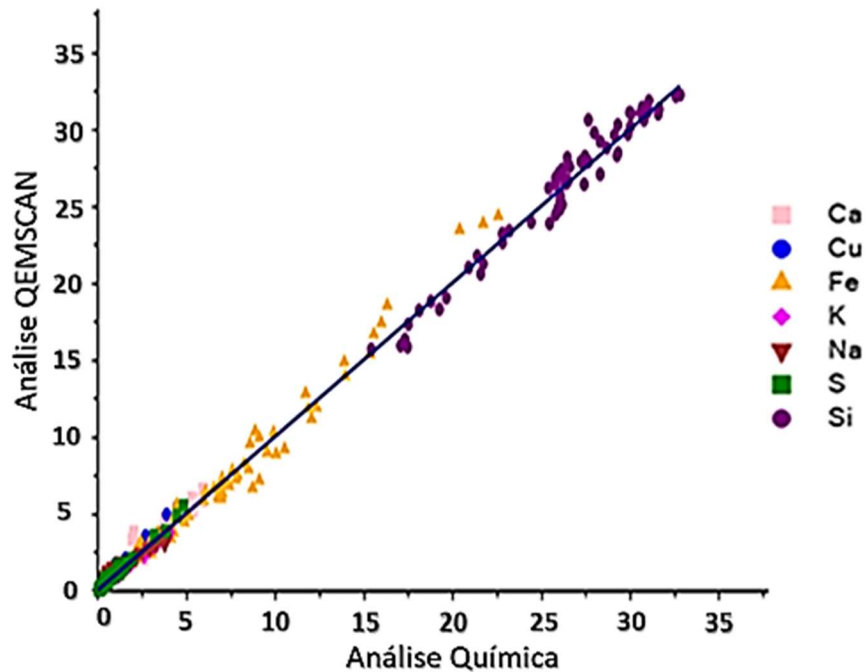
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.2 Caracterização Mineralógica

A classificação litológica expedita preliminar foi confirmada com uma avaliação mineralógica detalhada. A reconciliação das análises permite comparar os dados químicos calculados pelo QEMSCAN®, obtidos a partir da química mineral, com dados químicos

medidos externamente e utilizados para validação da mineralogia. Os dados são plotados entre si no gráfico para comparação visual e identificação de medidas potencialmente anômalas. Uma leve dispersão da regressão, tendo como base a linha de tendência 1:1 em azul no gráfico da Figura 17, é esperada e é devida a flutuações na química mineral, decorrente de variações nas proporções mineralógicas.

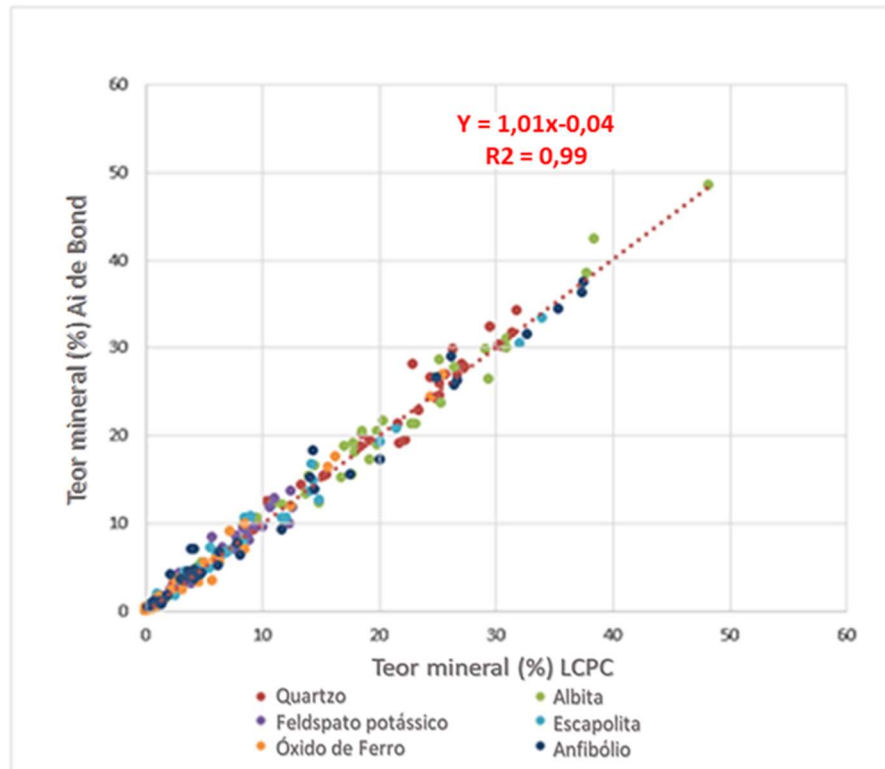
Figura 17 - Reconciliação do QEMSCAN® das 72 amostras medidas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A pequena dispersão da nuvem e a inclinação da linha de tendência da Figura 18, utilizando os valores LCPC e AI, reforçaram a eficácia da metodologia de preparação das amostras utilizando apenas os seis principais tipos minerais. As referidas análises satisfizeram o requisito primário de similaridade entre os pares ensaiados e permitiram confirmar as classificações litológicas.

Figura 18 - Resultados de mineralogia para os seis principais grupos minerais amostrados para LCPC e AI.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Apêndice B, os gráficos para cada par de amostras resumem as análises mineralógicas do QEMSCAN® utilizados para a classificação litológica, tais como: barras horizontais e de dispersão do percentual mineral, além de imagens mineralógicas de falsa cor com a assembleia mineralógica considerada. As quatro primeiras amostras não fizeram parte desta análise mineralógica, sendo mantida a classificação mineralógica de campo.

5.2 ESTUDO LITOLÓGICO

O banco de dados da Tabela 6 inclui as 40 (quarenta) novas amostras, cada uma com sua litologia codificada, distinguida por seus dois valores de abrasividade (valores medidos não normalizados) adquiridos nestes ensaios. Os resultados mostram uma grande variação da abrasividade, compatível com a dureza esperada para as litologias analisadas, enquanto, para AI, as faixas de valor vão de 0,006 até 0,770 e de quase 0 até 1490 para LCPC.

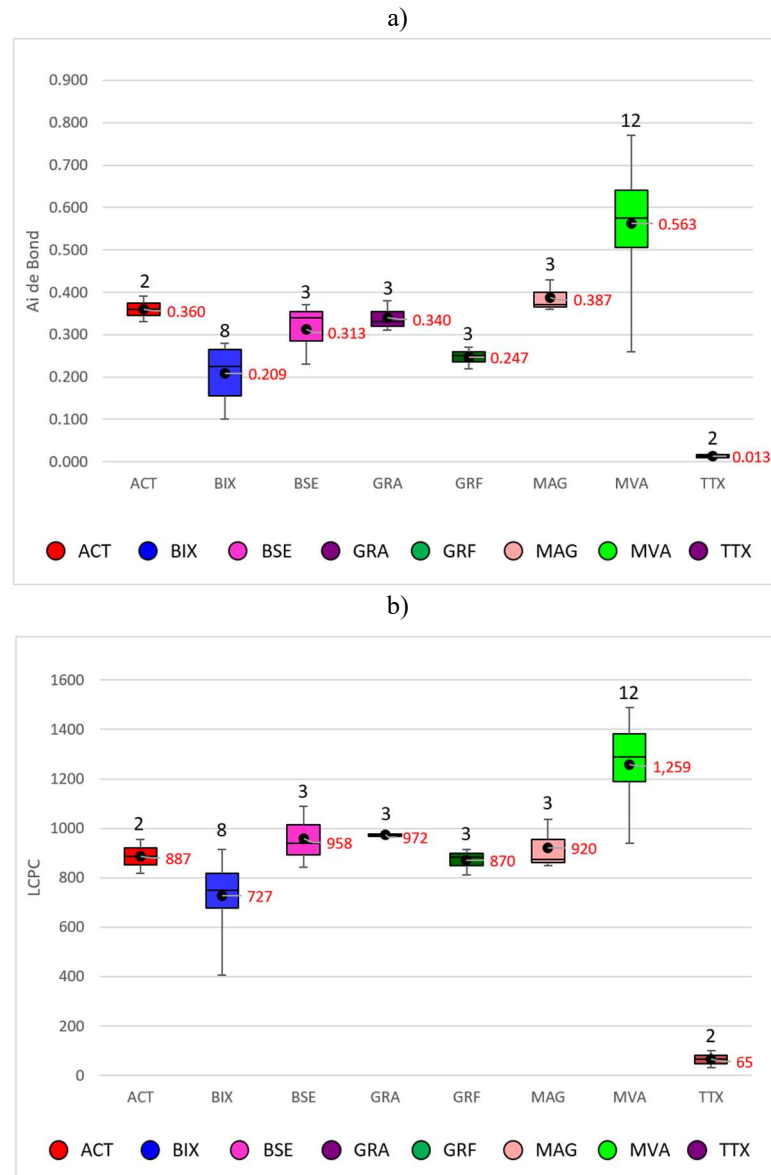
Tabela 6 - Lista dos resultados das amostras e sua classificação litológica.

Amostra	Litologia	AI	LCPC	Amostra	Litologia	AI	LCPC
AMPT-01	MVA	0,674	1394	AMPT-21	GRF	0,220	914
AMPT-02	MVA	0,532	1278	AMPT-22	MVA	0,770	1490
AMPT-03	MVA	0,545	1269	AMPT-23	MVA	0,700	1427
AMPT-04	MVA	0,520	1304	AMPT-24	BIX	0,260	768
AMPT-05	MVA	0,260	939	AMPT-25	MVA	0,510	1203
AMPT-06	MVA	0,510	1143	AMPT-26	MVA	0,570	1287
AMPT-07	ACT	0,390	956	AMPT-27	BIX	0,280	849
AMPT-08	ACT	0,330	817	AMPT-28	MVA	0,580	1289
AMPT-09	BSE	0,340	941	AMPT-29	MAG	0,370	850
AMPT-10	MVA	0,420	1035	AMPT-30	TTX	0,020	99
AMPT-11	MVA	0,490	1222	AMPT-31	TTX	0,006	31
AMPT-12	BIX	0,210	731	AMPT-32	MVA	0,720	1379
AMPT-13	BSE	0,370	1089	AMPT-33	MVA	0,620	1395
AMPT-14	GRA	0,310	981	AMPT-34	BIX	0,280	808
AMPT-15	GRA	0,330	966	AMPT-35	BIX	0,160	656
AMPT-16	GRA	0,380	970	AMPT-36	BIX	0,100	405
AMPT-17	MVA	0,600	1303	AMPT-37	BIX	0,140	685
AMPT-18	BSE	0,230	844	AMPT-38	MAG	0,360	874
AMPT-19	GRF	0,250	813	AMPT-39	MAG	0,430	1037
AMPT-20	GRF	0,270	884	AMPT-40	BIX	0,240	914

Fonte: elaborado pelo autor.

Uma visualização de todo o conjunto de dados, é apresentada no box-plot da Figura 19 abaixo, baseado na variável litologia. A maioria das litologias não possui caudas extensas e os *outliers* mais discrepantes estão na litologia MVA, o que é explicado por sua heterogeneidade e assembleia mineral. As camadas formadoras do MVA, com bandas félsicas de quartzo e feldspato dominantes, em contraste com bandas máficas compostas principalmente de anfibólio/actinolita, biotita e escapolita, puderam representar esta variabilidade.

Figura 19 - Resultados estatísticos do novo conjunto de dados de abrasividade com gráficos box-plot por litologia para: (a) AI; (b) LCPC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O resumo estatístico por litologia é demonstrado na Tabela 7. A litologia TTX (alto talco) apresentou os menores valores para AI (média e mediana de 0,013) e LCPC (média e mediana de 65) e os maiores valores foram obtidos para a litologia MVA (média e mediana de AI em torno de 0,570 e LCPC por volta de 1288).

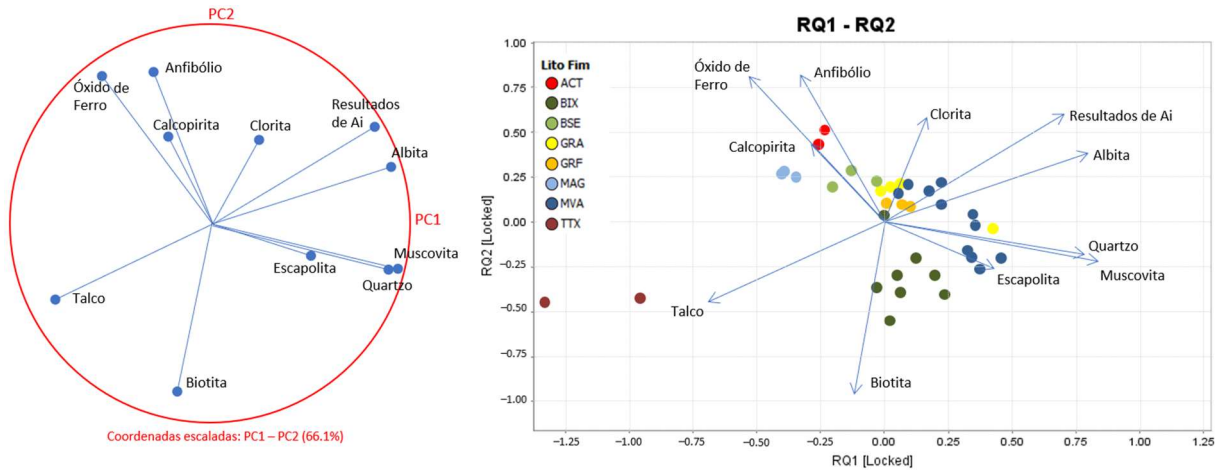
Tabela 7 - Resumo estatístico dos resultados dos ensaios para toda a população amostral e por litologia.

Estatística	AI	LCPC	Estatística	AI	LCPC	Estatística	AI	LCPC
Global	40	40	BSE Cont Núm	3	3	MAG Cont Núm	3	3
Mínimo	0,006	31	BSE Mínimo	0,230	844	MAG Mínimo	0,360	850
Máximo	0,770	1490	BSE Máximo	0,370	1089	MAG Máximo	0,430	1037
Média	0,382	981	BSE Média	0,313	958	MAG Média	0,387	920
Mediana	0,365	961	BSE Mediana	0,340	941	MAG Mediana	0,370	874
Desvio Padrão	0,189	327	BSE Desv Pad	0,074	123	MAG Desv Pad	0,038	102
Coefficiente var	49,52	33,30	BSE Coef var	23,52	12,88	MAG Coef var	9,79	11,06
ACT Cont Núm	2	2	GRA Cont Núm	4	4	MVA Cont Núm	15	2
ACT Mínimo	0,330	817	GRA Mínimo	0,310	966	MVA Mínimo	0,260	939
ACT Máximo	0,390	956	GRA Máximo	0,420	1035	MVA Máximo	0,770	1490
ACT Média	0,360	887	GRA Média	0,360	988	MVA Média	0,573	1288
ACT Mediana	0,360	887	GRA Mediana	0,355	976	MVA Mediana	0,570	1289
ACT Desv Pad	0,042	98	GRA Desv Pad	0,050	32	MVA Desv Pad	0,122	133
ACT Coef var	11,78	11,09	GRA Coef var	13,80	3,24	MVA Coef var	21,25	10,30
BIX Cont Núm	8	8	GRF Cont Núm	3	3	TTX Cont Núm	2	2
BIX Mínimo	0,100	405	GRF Mínimo	0,220	813	TTX Mínimo	0,006	31
BIX Máximo	0,280	914	GRF Máximo	0,270	914	TTX Máximo	0,020	99
BIX Média	0,209	727	GRF Média	0,247	870	TTX Média	0,013	65
BIX Mediana	0,225	750	GRF Mediana	0,250	884	TTX Mediana	0,013	65
BIX Desv Pad	0,068	155	GRF Desv Pad	0,025	52	TTX Desv Pad	0,010	48
BIX Coef var	32,74	21,35	GRF Coef var	10,20	5,96	TTX Coef var	76,15	73,97

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma análise de principais componentes, conforme visto na Figura 20, foi realizada para avaliar o comportamento mineralógico e abrasivo por LCPC, no qual, além do quartzo, outros minerais apresentaram forte correlação com a abrasividade, como albita, biotita, talco e escapolita.

Figura 20 – Análise de Principais Componentes dos minerais categorizados por litologia usando o software ioGAS™.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 8 mostra uma matriz de correlação entre os 12 minerais analisados e os valores de LCPC, no qual a maior correlação foi observada no valor de 0,73 para albita, seguida de escapolita, muscovita e quartzo. Ainda confirma a baixa correlação com o talco mineral.

Tabela 8 - Matriz de correlação produzida no ioGAS™ mostrando a correlação entre os minerais e o LCPC.

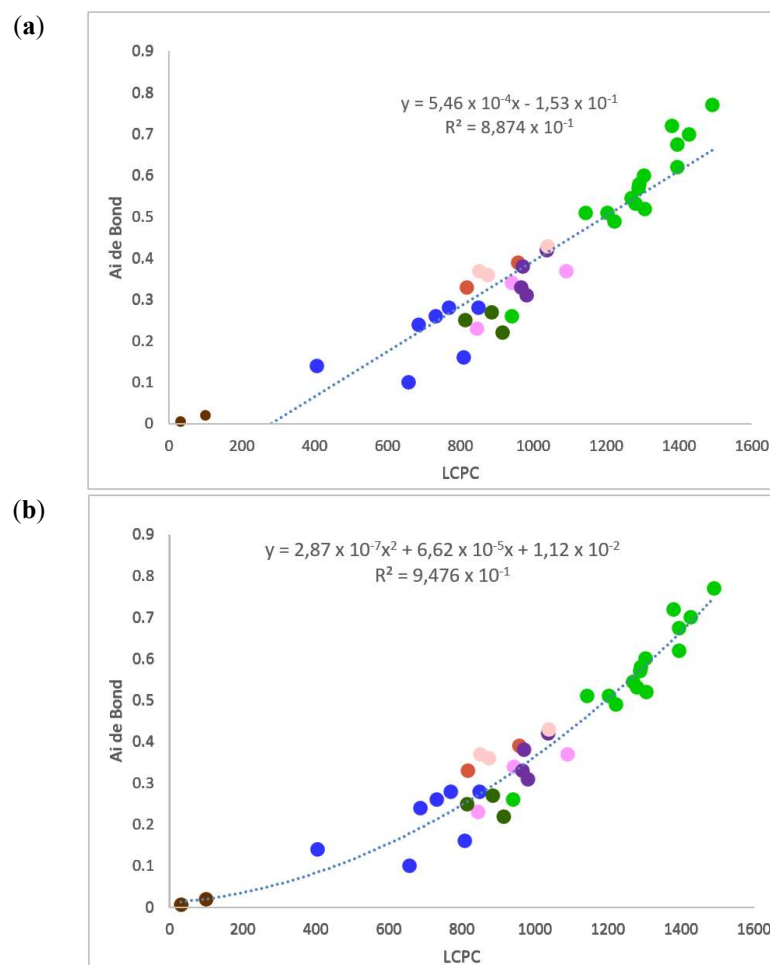
Correlação	LCPC	Quartzo	Albita	K-feldspato	Muscovita	Escapolita	Biotita	Clorita	Talco	Anfibólio	Óxidos de Fe	Apatita	Carbonato
LCPC	1	0,37	0,73	0,29	0,38	0,52	-0,64	0,033	-0,68	0,033	-0,087	-0,071	0,074
Quartzo	0,37	1	0,35	0,58	0,6	0,12	0,08	0,39	-0,42	-0,75	-0,61	-0,55	0,43
Albita	0,73	0,35	1	0,33	0,43	0,1	-0,45	0,1	-0,42	-0,22	-0,38	-0,24	0,037
K-feldspato	0,29	0,58	0,33	1	0,42	-0,2	-0,3	0,58	-0,37	-0,35	-0,33	-0,062	0,53
Muscovita	0,38	0,6	0,43	0,42	1	0,44	0,17	-0,16	-0,36	-0,54	-0,62	-0,45	-0,14
Escapolita	0,52	0,12	0,1	-0,2	0,44	1	-0,12	-0,57	-0,21	-0,064	-0,049	-0,19	-0,37
Biotita	-0,64	0,08	-0,45	-0,3	0,17	-0,12	1	-0,29	0,24	-0,35	-0,35	-0,31	-0,24
Clorita	0,033	0,39	0,1	0,58	-0,16	-0,57	-0,29	1	-0,24	-0,14	-0,14	0,13	0,7
Talco	-0,68	-0,42	-0,42	-0,37	-0,36	-0,21	0,24	-0,24	1	-0,17	0,046	-0,16	-0,14
Anfibólio	0,033	-0,75	-0,22	-0,35	-0,54	-0,064	-0,35	-0,14	-0,17	1	0,73	0,68	-0,21
Óxidos de Fe	-0,087	-0,61	-0,38	-0,33	-0,62	-0,049	-0,35	-0,14	0,046	0,73	1	0,48	-0,12
Apatita	-0,071	-0,55	-0,24	-0,062	-0,45	-0,19	-0,31	0,13	-0,16	0,68	0,48	1	-0,083
Carbonato	0,074	0,43	0,037	0,53	-0,14	-0,37	-0,24	0,7	-0,14	-0,21	-0,12	-0,083	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 CORRELAÇÃO MATEMÁTICA

A relação entre AI e LCPC pôde ser estudada em diagramas de dispersão, que são normalmente usados para demonstrar esse tipo de correlação. Na Figura 21 os dois gráficos representam diferentes tendências de correlações e os pontos são coloridos de acordo com suas litologias. Os dados estão mais próximos de uma equação polinomial quadrática do que de uma tendência linear, aumentando o coeficiente de determinação (R^2) de 88,74% para 94,76%.

Figura 21 - Gráficos de correlação LCPC versus AI para o conjunto total de amostras do depósito do Sossego. Correlações estudadas: (a) linear; b) quadrática.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 9 apresenta o resumo dos resultados estatísticos, incluindo a análise de variância para a regressão e para o modelo preditivo do AI, com base nos valores LCPC. Apresenta, portanto, uma variância constante para resíduos e o valor zero, validando a equação.

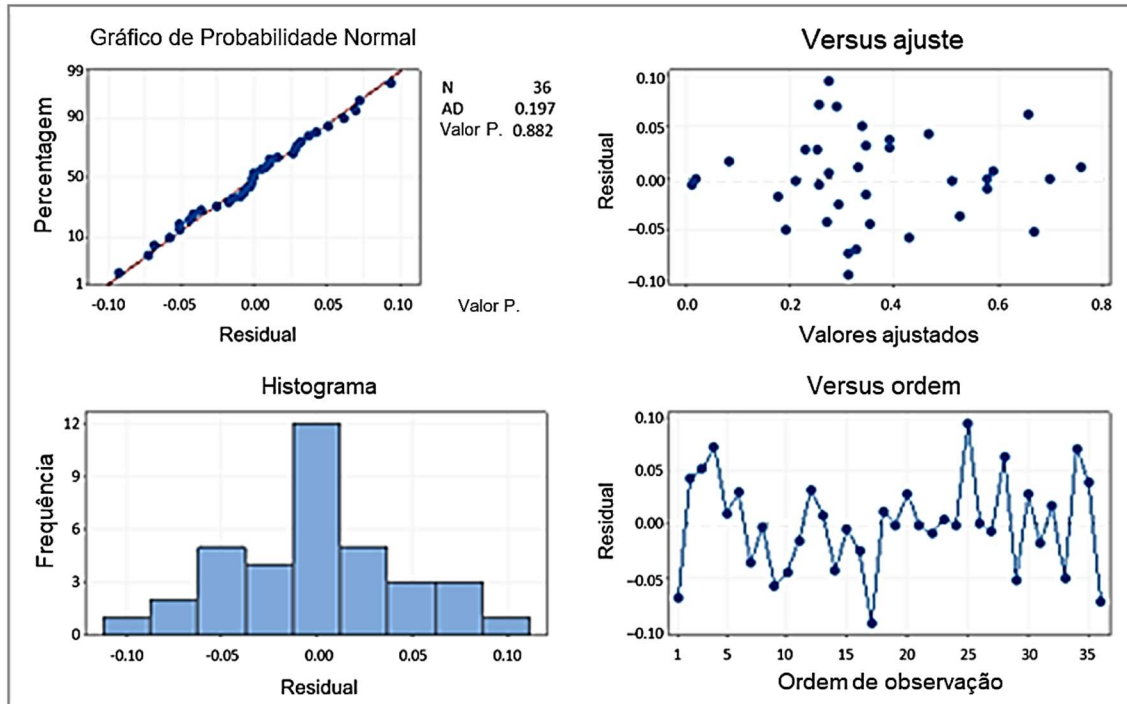
Tabela 9 - Tabela estatística de saída do software Minitab® com o resumo dos resultados da equação e a análise de resíduos para o modelo preditivo para AI, com base nos valores LCPC.

Sumário do Modelo			Análise da Variância						Análise da Variância				
S	R ²	R ² (ajus)	Fonte	DF	SS	MS	f-Valor	p-Valor	Fonte	DF	SS	f-Valor	p-Valor
0,0449929	94,57%	94,24%	Regressão	4	1,16399	0,581995	287,50	0,000	Linear	1	1,07937	242,36	0,000
-	-	-	Erro	33	0,06680	0,002024	-	-	Quadrática	1	0,08462	41,80	0,000
-	-	-	Total	35	1,23080	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma análise de resíduos foi realizada para comprovar a correlação quadrática, observando uma distribuição normal e um histograma simétrico, conforme Figura 22.

Figura 22 - Gráficos de resíduos de AI versus LCPC com ajuste normal e um histograma simétrico, produzidos no software Minitab®.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com as validações para essa base de dados, ambos os ensaios (AI e LCPC) representam o mesmo fenômeno de desgaste por abrasão, com alto índice de correlação (acima de 94,57%).

Portanto, a previsão de AI para um determinado valor de LCPC para o depósito de cobre-ouro do Sossego pode ser descrita pela seguinte equação (3):

$$Y = 2,97 \times 10^{-7}x^2 + 5,89 \times 10^{-5}x + 1,08 \times 10^{-2}; R^2 = 0,95; \quad (3)$$

Onde:

- Y = valor do AI;
- x = valor do LCPC.

Foi feita uma análise adicional de regressão para prever o valor do LCPC a partir do conteúdo mineralógico, estabelecendo sua correlação direta. Os minerais mais significativos

(quartzo, biotita, albita e clorita) foram transformados em logaritmo dada suas relações com o LCPC, como mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Múltipla regressão para os valores preditos do LCPC com base na mineralogia.

Coeficientes						Sumário do Modelo			
Time	Coef	Coef SE	t-Valor	p-Valor	VIF	S	R ²	R ² (ajus)	R ² (prev)
Constante	980	124	7,91	0,000		113,511	89,11%	87,71%	85,48%
log biotita	-446,1	643	-6,94	0,000	2,25				
log albita	286	107	2,67	0,012	4,55				
log clorita	-426,7	76,7	-5,56	0,000	1,29				
log quartzo	332,6	84,8	3,92	0,000	4,19				
Análise de Variância									
Fonte	DF	SS Ajust	MS Ajust	f-Valor	p-Valor				
Regressão	4	3269216	817304	63,43	0,000				
log biotita	1	620292	620292	48,14	0,000				
log albita	1	92080	92080	7,15	0,012				
log clorita	1	398893	398893	30,96	0,000				
log quartzo	1	198048	198048	15,37	0,000				
Erro	31	399428	12885						
Total	35	3668643							

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma equação (4) de múltipla regressão foi obtida para essa estimativa considerando essa relação entre os valores obtidos no ensaio LCPC e a concentração desses 4 minerais principais.

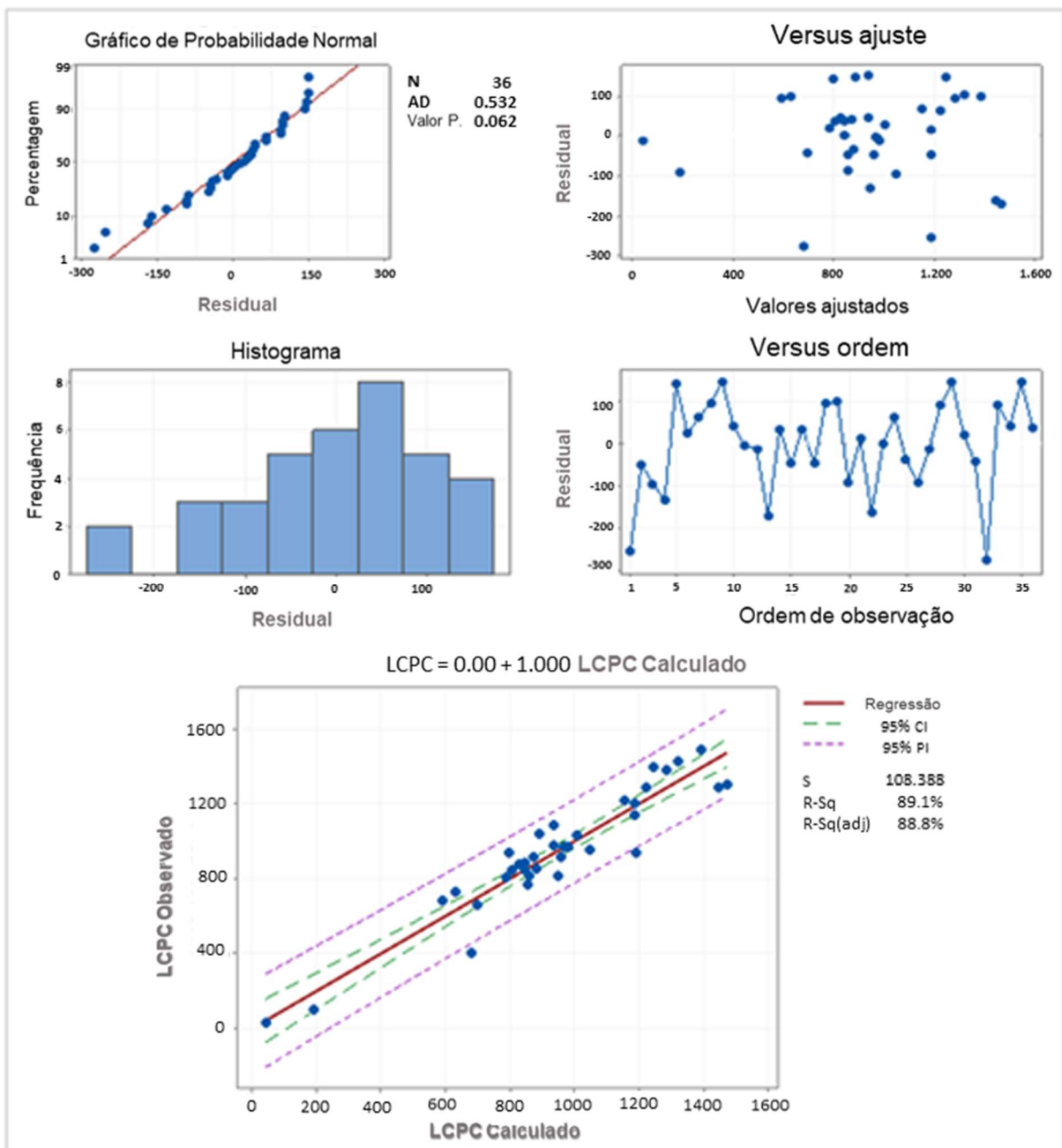
$$\text{LCPC} = 980 - 446 \log.\text{biotita} + 286 \log.\text{albita} - 427 \log.\text{clorita} + 333 \log.\text{quartzo}, \quad (4)$$

Onde:

- biotita= teor do mineral biotita;
- albita= teor do mineral albita;
- clorita= teor do mineral clorita;
- quartzo= teor do mineral quartzo.

O coeficiente de determinação ajustado foi de 87,71% e a análise de resíduos revelou distribuição normal, histograma simétrico, com o p -valor muito baixo e variância constante para os resíduos na Figura 23, tornando a equação (4) válida.

Figura 23 - Estatística da regressão pelo Minitab® para análise de resíduos no topo à esquerda, a correlação entre valores observados *versus* calculados de LCPC no topo à direita e o gráfico de linha ajustada para os dados de LCPC na base.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao longo do trabalho, as observações sobre as variações entre os ensaios apontaram para a não linearidade para tais aspectos: suporte amostral distinto (massa e intervalo granulométrico); diferentes protocolos (velocidade de rotação e tempo de residência); mecanismo diferente da trajetória da partícula dentro do respectivo tambor; e diferença na dureza entre as placas metálicas padrão dos dois ensaios.

6 CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios para o depósito do Sossego mostram que a abrasividade varia significativamente dependendo da litologia, sendo o MVA a litologia com maior abrasividade. Essas informações permitirão que a equipe de operação e processo da usina de Sossego adote medidas preventivas para minimizar o impacto do processamento dessa rocha altamente abrasiva.

A validação da metodologia utilizada para análise mineralógica confirmou a semelhança das amostras utilizadas nos ensaios de AI e LCPC. O QAQC mostrou que ambos têm um baixo desvio, inferior a 10%, e o LCPC tem um desvio ainda menor do que o AI. Por fim, o presente estudo demonstrou a alta correlação entre AI e LCPC para o depósito de Sossego, validando assim seu uso para estudos geometalúrgicos voltados para a abrasividade em um contexto geológico semelhante. Essa mesma metodologia de correlação pode ao menos ser experimentada para outros depósitos minerais semelhantes, permitindo, conseqüentemente, o uso generalizado para estudos geometalúrgicos.

Tais resultados validam o uso do LCPC para estudos geometalúrgicos da mina de Sossego e constituem uma oportunidade para novas pesquisas, bem como aplicações voltadas para a evolução do entendimento do LCPC e sua correlação com o AI para diferentes minérios, apesar da disponibilidade da indústria de outros ensaios destinados a medir a abrasividade nas rochas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEL, G.; SMITH, B.; KOJOVIC, T.; THORNTON, D.; RICHARDSON, J. M. Application of mine to mill optimization to the aggregate industry. Paper 06-056, Report No 4. **SME Annual Meeting**, MAR 26-29. St Louis, MO. 94 p. 2006.
- ALBERTIN, E.; SINATORA, A. Effect of carbide fraction and matrix microstructure on the wear of cast iron balls tested in a laboratory ball mill. **Wear**, v. 250, p. 492-501, 2001.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D7625-10**: Standard test method for laboratory determination abrasiveness of rock using the CERCHAR method. West Conshohocken, 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G75**: Standard test method for determination of slurry abrasivity (Miller Number) and slurry abrasion response of materials (SAR Number). West Conshohocken, PA, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 51**. Agregado graúdo - Ensaio de abrasão “Los Angeles”. 2001.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **P 18-579**: Granulats - Essai d’abrasivité et de broyabilité. Paris, 1990. 8 p.
- BAFFES, J.; KABUNDI, A. N.; NAGLE, P. S. O. The Role of Income and Substitution in Commodity Demand. **World Bank Policy Research Working**. 2020. (Policy Research Working Paper, n. 9122).
- BARBOSA, P. A. Práticas operacionais utilizadas na Mina de Sossego visando compreender o desempenho do minério na sua redução granulométrica. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. Santa Luzia, MG, 2016. Santa Luzia, VALE, 2016. p. 40. [Relatório Técnico].
- BARBOSA, P. A.; BERGERMAN, M. G.; FONSECA, E. da. Evaluation of the LCPC test for geometallurgical applications: Sossego Mine case study. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 30th, Cape Town., 2020. **Proceedings**. Cape Town: The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2021. p. 141-149.

- BARBOSA, P. A.; BERGERMAN, M. G.; FONSECA, E.; KWITKO–RIBEIRO, R. Determination of Abrasiveness in Copper–Gold Sulfide Ores: A Contribution to the Geometallurgical Model of the Sossego Deposit. **Minerals**, v. 11, n. 12, 2021. Article 1427.
- BERGERMAN, M. G. **Dimensionamento e Simulação de Moinhos Verticais**. 282 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- BERGERMAN, M. G.; DELBONI JUNIOR, H.; NANHRAN, M. Optimization of the Sossego SAG mill grinding circuit. **REM**, v. 62. p. 93-97, 2009.
- BERGERMAN, M. G.; MACHADO, L. C. R.; MIRANDA, A.; FONSECA, R.; DELBONI JUNIOR.; H. Moagem fina de minério de cobre de alta eficiência energética. **HOLOS**, v. 3, p. 150-157, 2014.
- BERGERMAN, M. G.; MORAIS, J.; CASTRO, A.; ROSA, M. A. N.; DELBONI JUNIOR.; H. Variability studies for the Sossego 41 ktpd grinding circuit. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 24th, Beijing, 2008. **Proceedings**. Beijing: Science Press. 2008. v.1, p. 407-416.
- BERGERMAN, M. G.; NETO, D.; TOMASELLI, B. Y.; MACIEL, B. F.; DEL ROVERI, C.; NAVARRO, F. C. Redução do consumo de energia de circuitos de moagem com a utilização de pré-concentração de minerais sulfetados. **HOLOS**, v. 3, p. 176-183, 2014.
- BERGSTROM, B. H. Abrasiveness. In: SME: Mineral Processing Handbook. New York: SME, 1985. Cap. 30, p. 68-70.
- BHUIYAN, M.; ESMAIELI, K.; ORDÓÑEZ–CALDERÓN, J.C. Application of data analytics techniques to establish geometallurgical relationships to bond work index at the Paracutu Mine, Minas Gerais, Brazil. **Minerals**, v. 9, 2019. Article. 302
- BOND, F. C. Metal wear in crushing and grinding. **Chemical Engineering Progress**, v. 60, n. 2, p. 90. 1963.
- BYE, A.; NEWTON, M. Integrated geometallurgy case studies – from core to cash flow. **AMIRA - Technical Report**. v. 843, n. 1. p. 1-18, 2009.
- CAMERON, P.; DRINKWATER, D.; PEASE, J. The ABC of Mine to Mill and metal price cycles. **AusIMM Bulletin**, v. 15, n. 1, p. 1-15, 2017.

CARVALHO, E. R. **Caracterização geológica e gênese das mineralizações de óxido de Fe–Cu–Au e metais associados na Província Mineral de Carajás: estudo de caso do depósito de Sossego**. 141 p. Tese (Doutorado em Geociências) – UNICAMP, Campinas, 2009.

CONTESSOTTO, R. **Classificação de domínios mineralógicos e caracterização de minérios de níquel da mina de Santa Rita - BA, em apoio à geometalurgia**. 213 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

COSTA, F. R.; ULIANA, D.; NERY, G. P.; ULSEN, C.; KAHN, H. Análise de imagem automatizada no estudo da acessibilidade de grãos de ouro. **HOLOS**, v. 7, p.12-18, 2015.

DÍAZ, E.; VOISIN, L.; KRACHT, W.; MONTENEGRO, V. Using advanced mineral characterization techniques to estimate grinding media consumption at laboratory scale. **Minerals Engineering**, v. 121, p. 180-188, 2018.

DOCEGEO. Província Mineral dos Carajás. Litoestratigrafia e principais depósitos minerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. Anais. Belém: CVRD/SBG, 1988. 165 p.

DOMINY, S. C.; O'CONNOR, L.; PARBHAKAR–FOX, A.; GLASS, H. J.; PUREVGEREL, S. Geometallurgy - A route to more resilient mine operations. **Minerals**. v. 8, 2018. Article 560.

DRUCKER, P. Validity of the LCPC abrasivity coefficient through the example of a recent Danube gravel. **Geomechanics and Tunnelling**. v. 4, n. 6. p.681-691. 2011.

FONSECA, E.; SILVA, W.; BARBOSA, P. A. Throughput modeling for copper sulfide deposit, Pará, Brazil. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONFERENCE, 14th.; INTERNATIONAL SEMINAR ON GEOMETALLURGY, 5th., 2018, Santiago, Chile. Santiago: GECAMIN, 2018. 22 p.

FONSECA, R. A.; OLEGÁRIO JR., F. C.; BERGERMAN, M. G. Evaluation of the rougher feed and concentrate size distributions from the Salobo sulphide copper ore processing plant. **HOLOS**, v. 6, p. 85-91. 2017.

FONSECA, R. A.; OLEGÁRIO JR., F. C.; LINO, H.; BERGERMAN, M. G. Avaliação de diferentes circuitos de bombeamento para dosagem de reagentes em circuitos de flotação.

HOLOS, v. 6, p. 92-99. 2017.

FONTANA, F. F.; MONTEIRO, L. V. S.; NETO, B. B.; NETO, J. C. F.; BECHIR, J. L. C. Linking geological and mineralogical characteristics to metallurgical recoveries: a case study from the Vazante nonsulfide Zn deposit, Central Brazil. Conference: **SEG 2019 Santiago, South America Metallogeny: Sierra to Craton, Chile**. Santiago: SEG, 2019. 153 p.

FOWELL, R. J.; ABU BAKAR, M. Z. A review of the Cerchar and LCPC rock abrasivity measurement methods. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 11th., 2007. **Second half century for rock mechanics**. Lisbon: ISRM, 2007. p. 155-160.

FREITAS, L. S. **Avaliação de Minérios Itabiritos Compactos e Semi-Compactos em um Circuito de Britagem da Samarco Mineração S/A**. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

GIBLETT, A.; SEIDEL, J. Measuring, predicting and managing grinding media wear. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL AUTOGENOUS AND SEMI-AUTOGENOUS GRINDING TECHNOLOGY 2011. **Mining and mineral process engineering**. Vancouver: University of British Columbia, 2011. Paper no. 34.

GOLOVANEVSKIY, V. A.; BEARMAN, R. A. Gouging abrasion test for rock abrasiveness testing. **International Journal of Mineral Processing**, v. 85, n. 4, p. 111–120, 2008.

GOMES, R. B.; TOMI, G. de; ASSI, P. S. Mine/Mill production planning based on a geometallurgical model. **REM**, v. 69, n. 2, p. 213-218, 2016.

KÄSLING, H.; THURO, K. Determining rock abrasivity in the laboratory. **Eurock Abrasivity**, p. 1-4. 2010.

KWITKO-RIBEIRO, R. New sample preparation developments to minimize mineral segregation in process mineralogy. In: INTERNATIONAL CONGRESS FOR APPLIED MINERALOGY, 10th., 2011. **ICAM**. Berlin/Heidelberg: Springer, 2012. p. 411-417.

LISHCHUK, V.; KOCH, P-H.; GHORBANI, Y.; BUTCHER, A. R. Towards integrated geometallurgical approach: Critical review of current practices and future trends, **Minerals Engineering**, v. 145, 2020. Article 106072.

LISHCHUK, V.; KOCH, P-H.; LUND, C. LAMBERG, P. The geometallurgical framework. Malmberget and Mikheevskoye case studies. **Mining Science**, v. 22, p. 57-66, 2015.

LUND, C.; LAMBERG, P. Geometallurgy – A tool for better resource efficiency. **European Geologist**, v. 37, p. 38-43, 2014.

MACHADO, N. Z.; LINDENMAYER, Z.; KROGHA, T. E.; LINDENMAYER, D. U-Pb Geochronology of Archean Magmatism and Basement Reactivation in the Carajas Area, Amazon Shield, Brazil. **Precambrian Research**, v. 49, n. 3-4, p. 329-354, 1991.

MASSOLA, C. P.; CHAVES, A. P.; ALBERTIN, E. A discussion on the measurement of grinding media wear. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 5, n. 3, p.282-288, 2016.

McKEE, D. J. **Understanding mine to mill**. St Lucia, Qld: Cooperative Research Centre for Optimizing Resource Extraction, 2013.

MCQUISTON, F. W.; BECHAUD, L. J. Metallurgical sampling and testing. In: PFLEIDER, E. P. (ed.). **Surface mining**. New York: The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 1968. p. 103-121.

METSO. **Crushing and screening handbook**. 3rd ed. Finland, 2008.

MONTEIRO, L. V. S.; XAVIER, R. P.; HITZMAN, M. W.; JULIANI, C.; SOUZA FILHO, C. R. Mineral chemistry of ore and hydrothermal alteration at the Sossego iron oxide-copper-gold deposit, Carajás Mineral Province, Brazil. **Ore Geology Reviews**, v. 34, n. 3, p. 317-336, 2008.

MORADIZADEH, M.; CHESHOMI, A.; GHAFOORI, M.; TARIGHAZALI, S. Correlation of equivalent quartz content, slake durability index and Is50 with Cerchar abrasiveness index of different types of rock. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Science**, v. 86, p. 1591-1596, 2016.

MORAIS, J.; GRIPP, M. F. A. Fundamentos para simulação dos desmontes de rocha por explosivo. **REM**, v. 57, n. 4, p. 241-248, 2004.

MORETO, C. P. N.; MONTEIRO, L. V. S.; XAVIER, R. P.; CREASER, R. A.; DUFRANE, A. S.; TASSINARI, C. C. G.; SATO, K.; KEMP, A. I. S.; AMARAL, W. S. Eventos Neoarqueanos e Paleoproterozóicos de Óxido de Ferro-Cobre-Ouro no Depósito do Sossego, Província de Carajás, Brasil: Evidências Geocronológicas de Re-Os e U-Pb. **Geologia Econômica**, v.110, n. 3, p. 809-835, 2015.

MORRELL, S. Testing and calculations for comminution machines. In: **SME—Mineral Processing and Extractive Metallurgy Handbook**; Society for Mining, Metallurgy and Exploration Press: Englewood, CO, USA. 2019. p 529-565.

MÜNCH, D. **Análise dos mecanismos de desgaste abrasivo em rochas com alto teor de quartzo**. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MWANGA, A.; ROSENKRANZ, J.; LAMBERG, P. Development and experimental validation of the Geometallurgical Comminution Test (GCT). **Minerals Engineering**, v. 108, p. 109-114, 2017.

NILSEN, B.; DAHL, F.; HOLZHÄUSER, J.; RALEIGH, P. Abrasivity testing for rock and soils. **Tunnels and Tunnelling International**, v. 38(4), p. 47-49. 2006.

PERES, L. M. **Avaliação da abrasividade de minérios a partir do ensaio LCPC como alternativa ao método de Bond**. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso em (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PERES, L. M.; MASSOLA, C. P.; BERGERMAN, M. G. Abrasiveness evaluation of pre-concentration of copper sulfide ore products through LCPC test. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v.15, n 2, p. 91-95. 2018.

PIAZZETTA, G. R.; LAGOEIRO, L. E.; FIGUEIRA, I. F. R.; RABELO, M. A. G.; PINTAUDE, G. Identification of abrasion regimes based on mechanisms of wear on the steel stylus used in the Cerchar abrasiveness test. **Wear**, v. 410, p. 181-189. 2018.

RENDÓN, J.; OLSSON, M. Abrasive wear resistance of some commercial abrasion resistant steels evaluated by laboratory test methods. **Wear**, v. 267, p. 2055–2061. 2009.

SCHOUWSTRA, R.; DE VAUX, D.; MUZONDO, T.; PRINS, C. A **Geometallurgical approach at Anglo American Platinum's Mogalakwena operation**. Brisbane: AusIMM - The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2013. p. 85-92.

SVANBERG, A.; LARSSON, S.; MÄKI, R.; JONSÉN, P. Minerals full-scale simulation and validation of wear for a mining rope shovel bucket. **Minerals**, v.11, 2021. Article 623.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Gestão da inovação**. Porto Alegre: Bookman, 2008.


TORRES, A.; FONSECA, E. da. Geometalurgia aplicada a depósito de cobre sulfetado: o exemplo de Salobo, Pará. In: **SIMEXMIN**, 7., Ouro Preto, 16-18 maio. 2016. p. 44-45.

VANN, J.; JACKSON, J.; COWARD, S.; DUNHAM, S. The geomet curve - a model for implementation of geometallurgy. In: **AusIMM International Geometallurgy**, 1st, Brisbane, 2011. Brisbane: AusIMM, 2011. p. 35-43.


VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T.; SILVA, C. M. G.; KLEIN, E. L. Compartimentação tectônica. In: VASQUEZ, M. L. ; ROSA-COSTA, L. T. (org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Pará**. Belém: Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, 2008. (SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará: 1:1.000.000).

APÊNDICE A – Tabelas dos ensaios de abrasividade AI e LCPC, e britabilidade por LCPC, com a distribuição granulométrica associada.

- Dados de AI amostra por amostra:



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

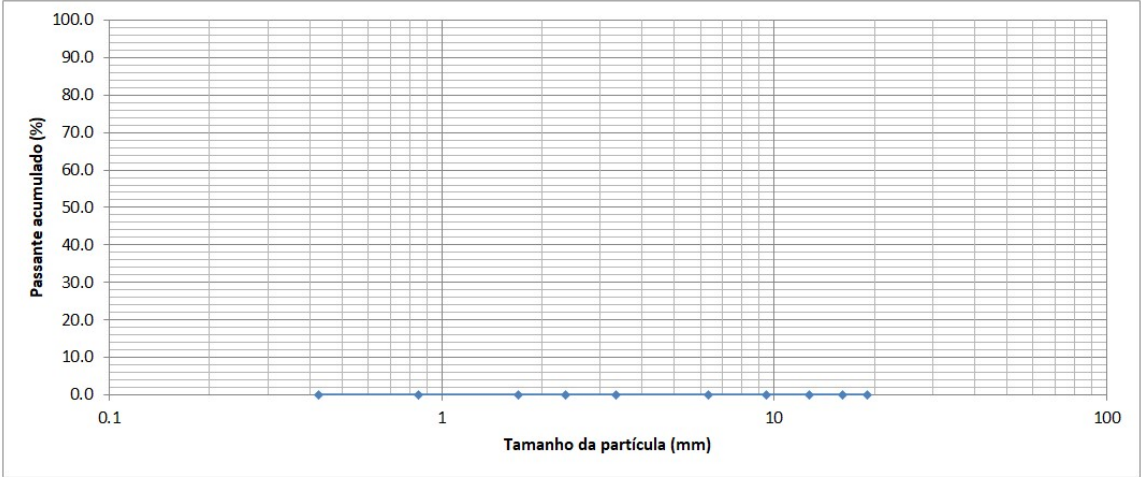


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-01
Peso inicial (g):	95.2760
Peso final (g):	94.6020
AI:	0.674
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5/8"	16		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1/2"	12.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
3/8"	9.5		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1/4"	6.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6	3.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8	2.36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12	1.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20	0.85		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40	0.425		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total		0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!



*Amostra sem a curva granulométrica do produto, por ser uma amostra pioneira.



**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

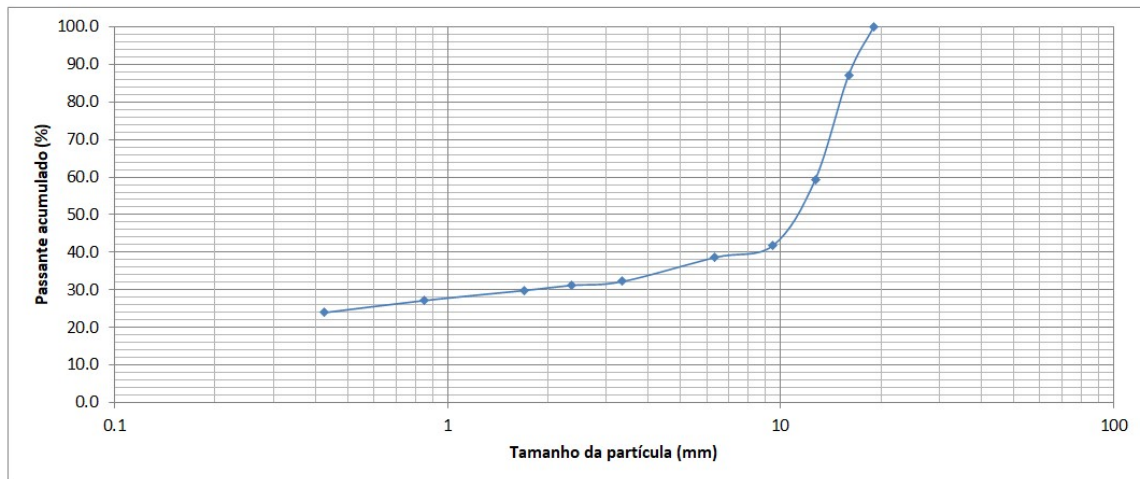


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa/Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 15/05/2018
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-02
Peso inicial (g):	95.9746
Peso final (g):	95.4426
AI:	0.53
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0.0	100.0	0.0
5/8"	16	202.33	12.8	87.2	12.8
1/2"	12.7	440.77	27.9	59.3	40.7
3/8"	9.5	275.8	17.4	41.9	58.1
1/4"	6.35	51.07	3.2	38.7	61.3
6	3.35	101.31	6.4	32.2	67.8
8	2.36	16.28	1.0	31.2	68.8
12	1.7	21.36	1.4	29.9	70.1
20	0.85	42.59	2.7	27.2	72.8
40	0.425	51.25	3.2	23.9	76.1
Total		378.36	23.9	0.0	100.0
		1581.12	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

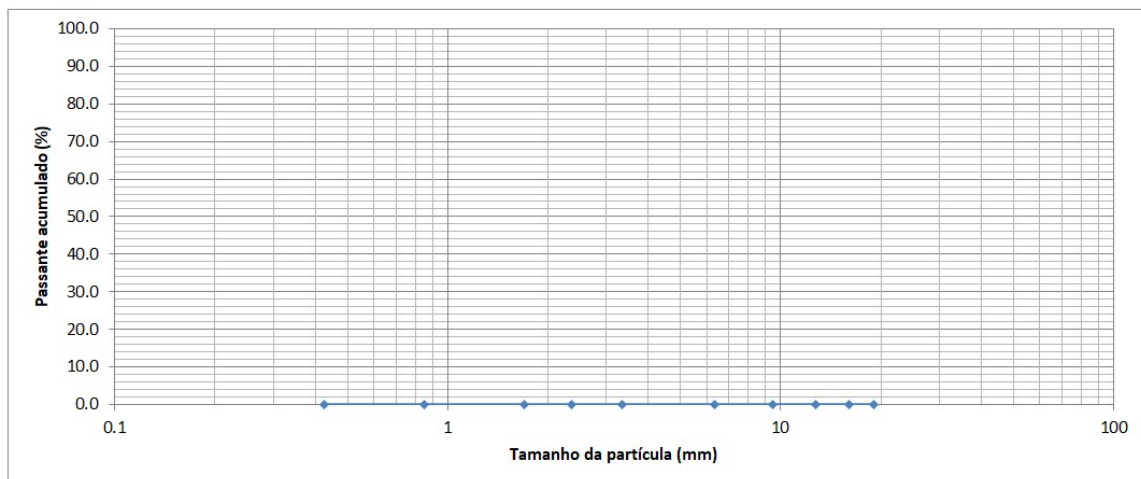


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-03
Peso inicial (g):	95.4010
Peso final (g):	94.8560
AI:	0.545
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5/8"	16		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1/2"	12.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
3/8"	9.5		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1/4"	6.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6	3.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8	2.36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12	1.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20	0.85		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40	0.425		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total		0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!



*Amostra sem a curva granulométrica do produto, por ser uma amostra pioneira.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

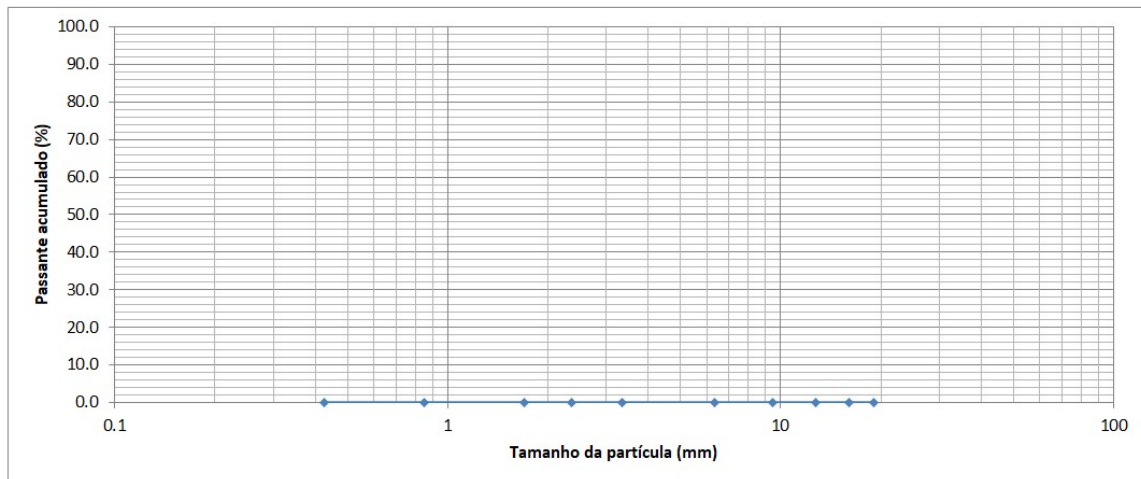


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-04
Peso inicial (g):	95.2960
Peso final (g):	94.7760
AI:	0.52
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5/8"	16		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1/2"	12.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
3/8"	9.5		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1/4"	6.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6	3.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8	2.36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12	1.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20	0.85		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40	0.425		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total		0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!



*Amostra sem a curva granulométrica do produto, por ser uma amostra pioneira.



**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

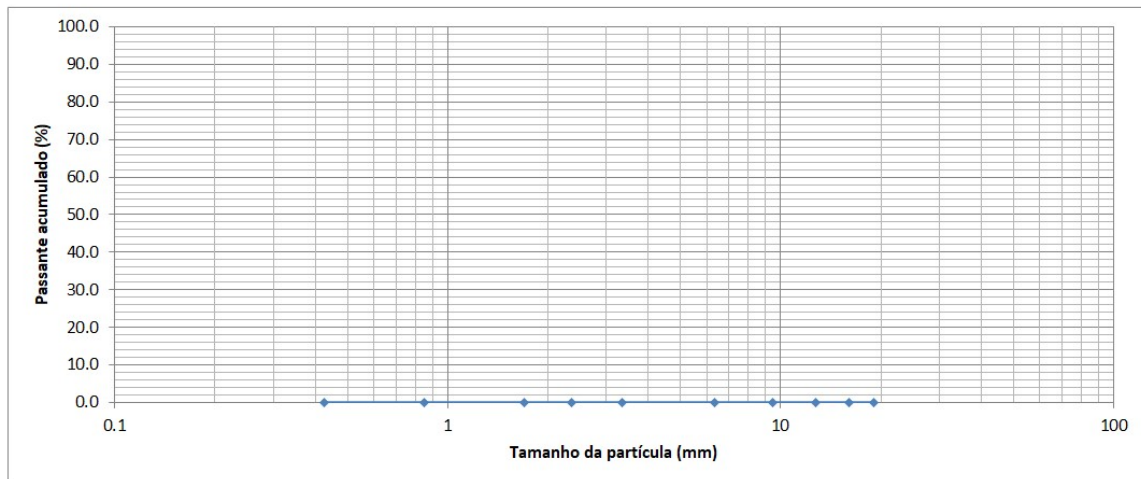


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Mauricio Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-05 (BRITADO 02)
Peso inicial (g):	95.0067
Peso final (g):	94.7467
AI:	0.26
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5/8"	16		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1/2"	12.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
3/8"	9.5		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1/4"	6.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6	3.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8	2.36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12	1.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20	0.85		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40	0.425		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total		0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!



*Amostra sem a curva granulométrica do produto, por ser uma amostra pioneira.



**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

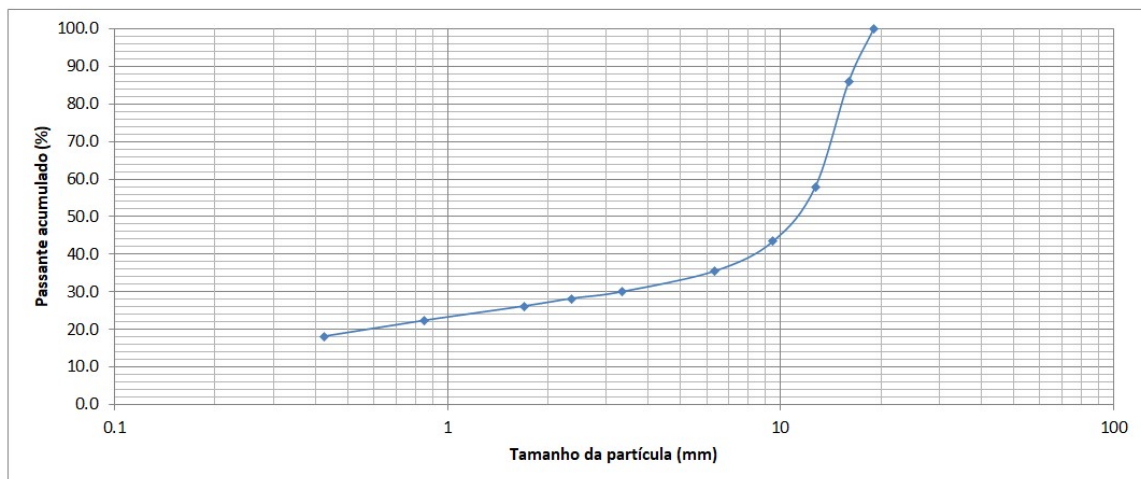


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-06 (AMPT-15 Pilha B3)
Peso inicial (g):	95.5610
Peso final (g):	95.3641
AI:	0.20
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19	0	0.0	100.0	0.0
5/8"	16	225.8	14.1	85.9	14.1
1/2"	12.7	450.1	28.1	57.9	42.1
3/8"	9.5	231.1	14.4	43.4	56.6
1/4"	6.35	127	7.9	35.5	64.5
6	3.35	88.2	5.5	30.0	70.0
8	2.36	29.3	1.8	28.2	71.8
12	1.7	32.3	2.0	26.2	73.8
20	0.85	61.8	3.9	22.3	77.7
40	0.425	68.1	4.2	18.1	81.9
Total		289.9	18.1	0.0	100.0
		1603.6	100.0		





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

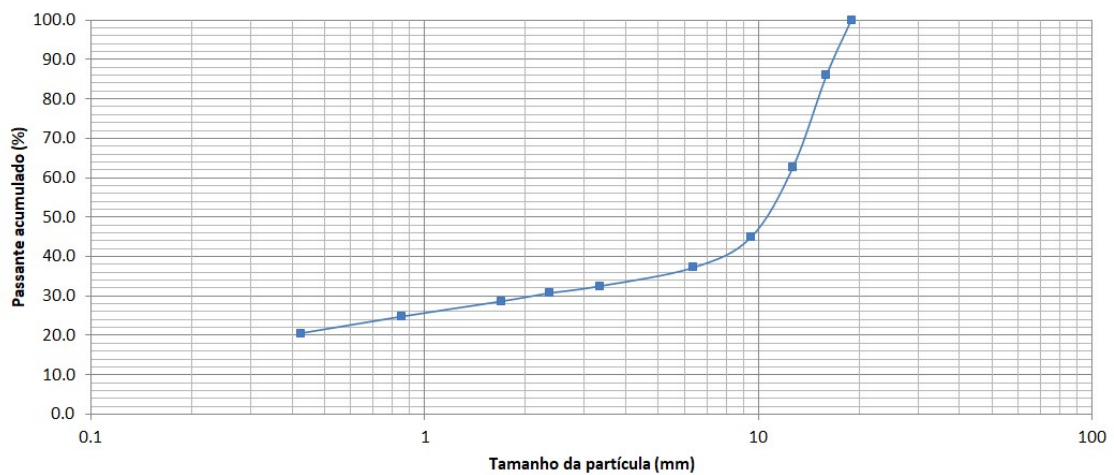


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-07 (AMPT 16 - FASE 6.3)
Peso inicial (g):	96.2009
Peso final (g):	95.8109
AI:	0.39
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	221.4	14.0	86.0	14.0
1/2"	12.7	367.4	23.3	62.7	37.3
3/8"	9.5	281.5	17.8	44.9	55.1
1/4"	6.35	121.7	7.7	37.2	62.8
6	3.35	73.4	4.7	32.5	67.5
8	2.36	28.5	1.8	30.7	69.3
12	1.7	32.1	2.0	28.7	71.3
20	0.85	61.4	3.9	24.8	75.2
40	0.425	66.8	4.2	20.5	79.5
Total	-0.425	324.2	20.5	0.0	100.0





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

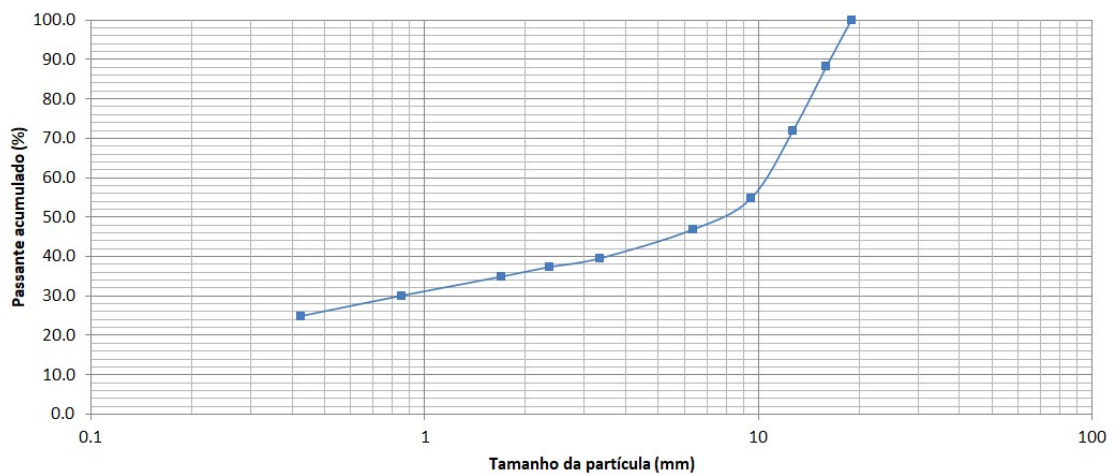


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-08 (AMPT 16 - FASE 6.1)
Peso inicial (g):	96.0873
Peso final (g):	95.7573
AI:	0.33
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	184.4	11.8	88.2	11.8
1/2"	12.7	255.1	16.3	71.9	28.1
3/8"	9.5	269.4	17.2	54.7	45.3
1/4"	6.35	123.9	7.9	46.7	53.3
6	3.35	113.6	7.3	39.5	60.5
8	2.36	34.9	2.2	37.3	62.7
12	1.7	37.9	2.4	34.8	65.2
20	0.85	76.4	4.9	29.9	70.1
40	0.425	80.6	5.2	24.8	75.2
	-0.425	387.7	24.8	0.0	100.0
Total		1563.9	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

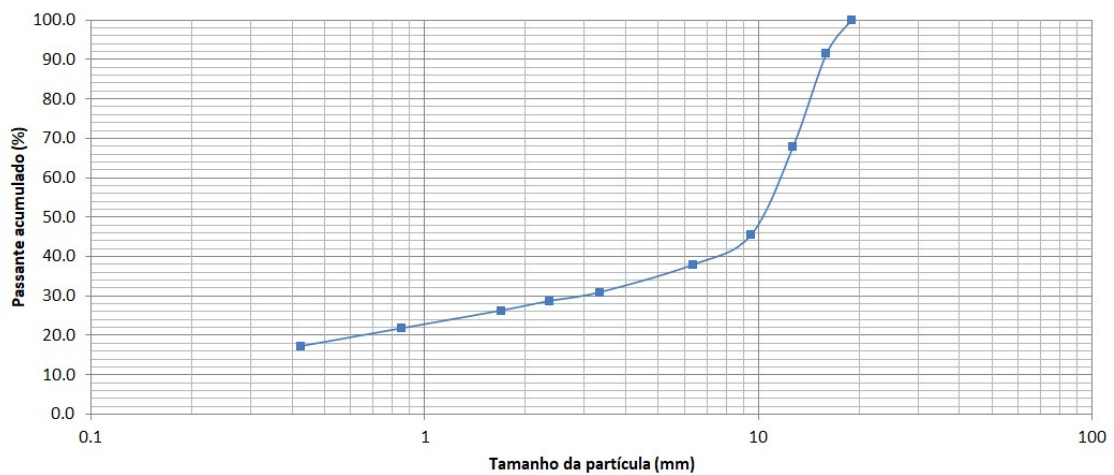


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-09 (AMPT 16 - FASE 6.2)
Peso inicial (g):	96.0320
Peso final (g):	95.7573
AI:	0.27
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	135.4	8.6	91.4	8.6
1/2"	12.7	371.8	23.6	67.8	32.2
3/8"	9.5	352.6	22.4	45.4	54.6
1/4"	6.35	119.2	7.6	37.8	62.2
6	3.35	109.2	6.9	30.9	69.1
8	2.36	35.2	2.2	28.6	71.4
12	1.7	37.8	2.4	26.2	73.8
20	0.85	71.8	4.6	21.7	78.3
40	0.425	71.4	4.5	17.1	82.9
Total	-0.425	269.9	17.1	0.0	100.0





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

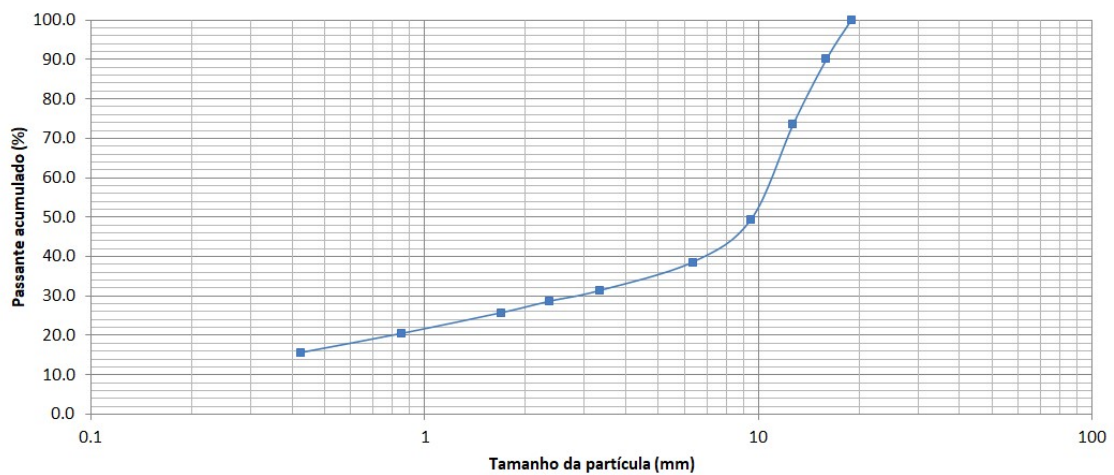


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Mauricio Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-10 (PILHA B-1)
Peso inicial (g):	96.0235
Peso final (g):	95.5987
AI:	0.42
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	157.6	10.0	90.0	10.0
1/2"	12.7	263.3	16.6	73.4	26.6
3/8"	9.5	381.2	24.1	49.3	50.7
1/4"	6.35	170.8	10.8	38.5	61.5
6	3.35	113.9	7.2	31.3	68.7
8	2.36	43.7	2.8	28.5	71.5
12	1.7	45.3	2.9	25.7	74.3
20	0.85	83.9	5.3	20.4	79.6
40	0.425	77	4.9	15.5	84.5
Total	-0.425	245.4	15.5	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

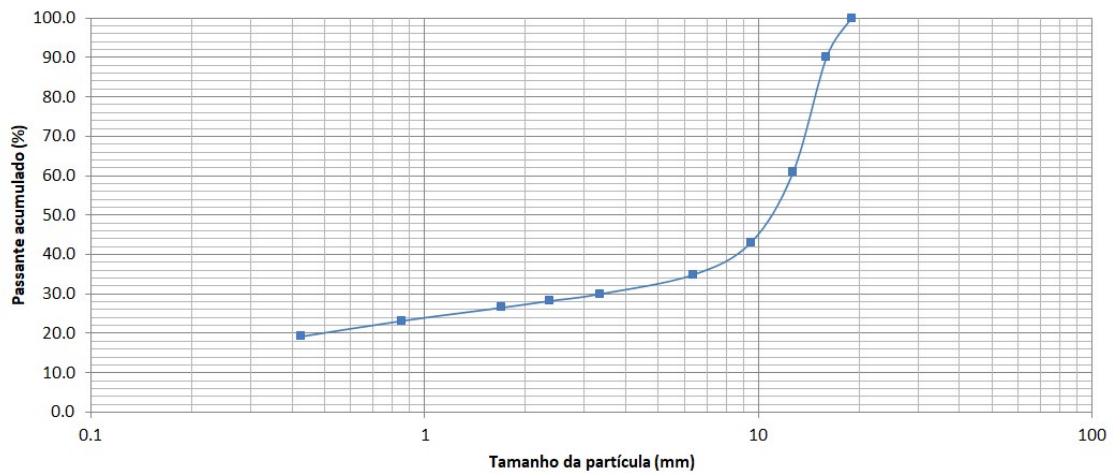


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-11 (PILHA B-2)
Peso inicial (g):	96.0781
Peso final (g):	95.5881
AI:	0.49
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	159.9	10.0	90.0	10.0
1/2"	12.7	465.1	29.1	60.9	39.1
3/8"	9.5	283.6	17.8	43.1	56.9
1/4"	6.35	131.6	8.2	34.9	65.1
6	3.35	77.3	4.8	30.0	70.0
8	2.36	28.4	1.8	28.2	71.8
12	1.7	26.5	1.7	26.6	73.4
20	0.85	54.1	3.4	23.2	76.8
40	0.425	63.1	4.0	19.2	80.8
	-0.425	307.2	19.2	0.0	100.0
Total		1596.8	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

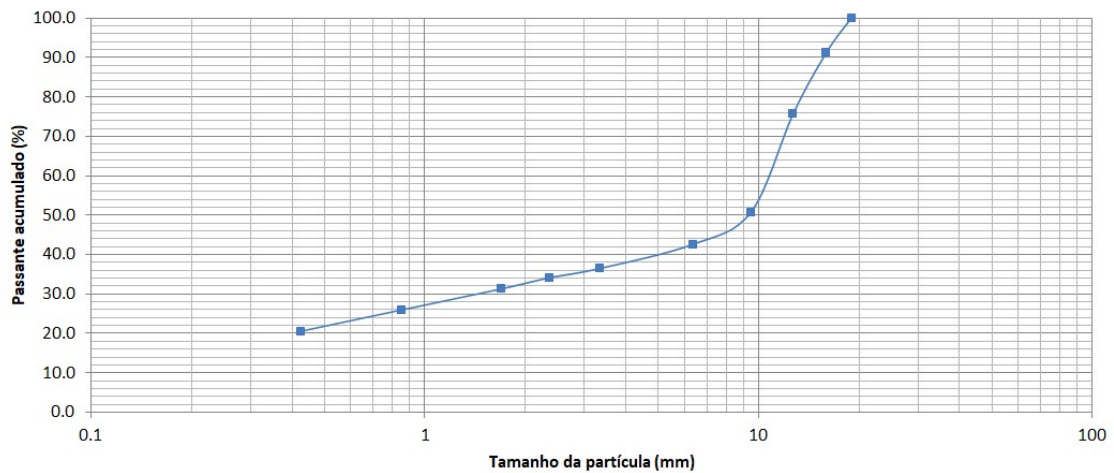


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-12 (Pilha SAT 4.2)
Peso inicial (g):	96.1122
Peso final (g):	95.9022
AI:	0.21
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	139.2	8.7	91.3	8.7
1/2"	12.7	249.5	15.6	75.6	24.4
3/8"	9.5	397.2	24.9	50.7	49.3
1/4"	6.35	130.7	8.2	42.5	57.5
6	3.35	97.1	6.1	36.5	63.5
8	2.36	38	2.4	34.1	65.9
12	1.7	44.3	2.8	31.3	68.7
20	0.85	85.9	5.4	25.9	74.1
40	0.425	86.1	5.4	20.5	79.5
	-0.425	327.4	20.5	0.0	100.0
Total		1595.4	100.0		





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

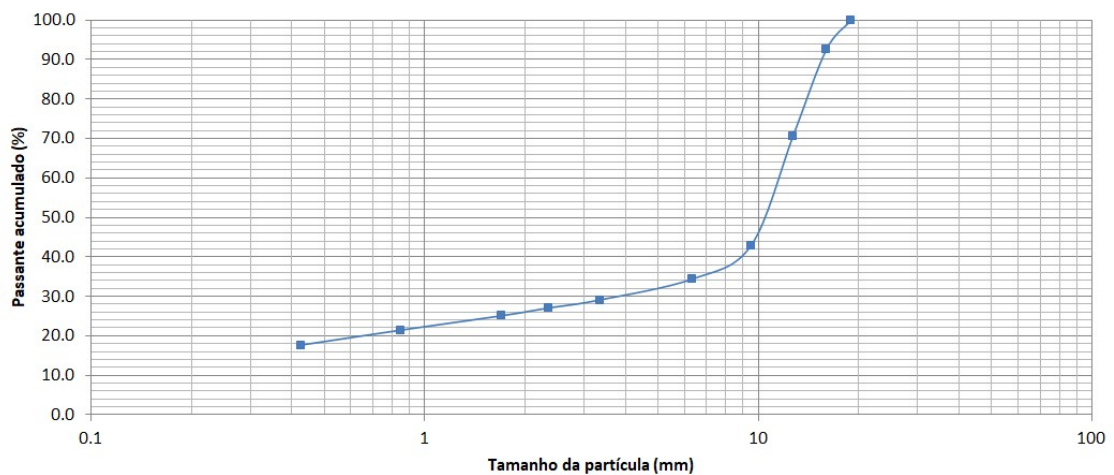


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Mauricio Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-13 (PILHA SAT 4-3)
Peso inicial (g):	95.2245
Peso final (g):	94.8500
AI:	0.37
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	117.2	7.4	92.6	7.4
1/2"	12.7	347.8	22.0	70.6	29.4
3/8"	9.5	438.5	27.8	42.8	57.2
1/4"	6.35	133.5	8.4	34.4	65.6
6	3.35	84.1	5.3	29.0	71.0
8	2.36	31.8	2.0	27.0	73.0
12	1.7	31.3	2.0	25.1	74.9
20	0.85	57.4	3.6	21.4	78.6
40	0.425	60.3	3.8	17.6	82.4
Total		278.1	17.6	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

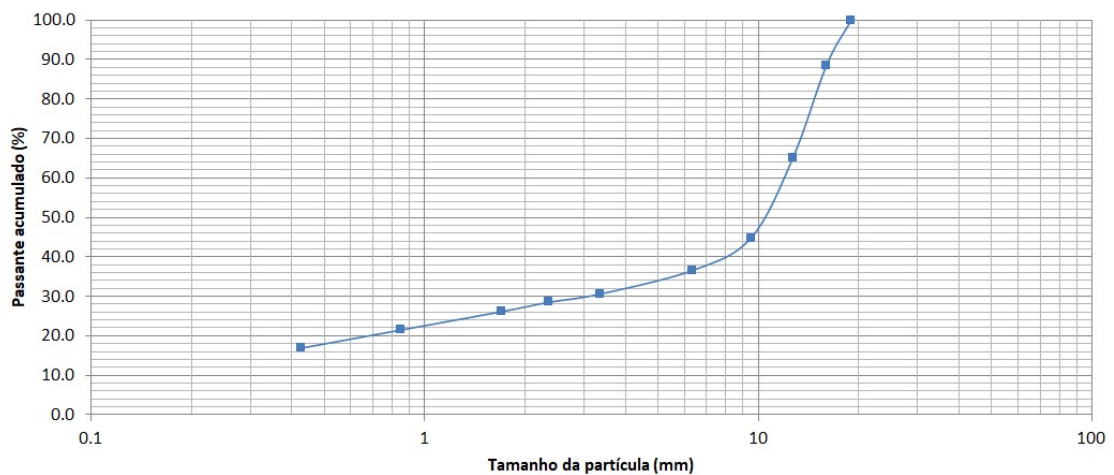


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-14 (PILHA SAT6-1)
Peso inicial (g):	95.3701
Peso final (g):	95.0560
AI:	0.31
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	182.5	11.4	88.6	11.4
1/2"	12.7	373	23.4	65.2	34.8
3/8"	9.5	324.5	20.3	44.8	55.2
1/4"	6.35	130.4	8.2	36.7	63.3
6	3.35	95.8	6.0	30.7	69.3
8	2.36	32.9	2.1	28.6	71.4
12	1.7	38	2.4	26.2	73.8
20	0.85	73.9	4.6	21.6	78.4
40	0.425	74	4.6	16.9	83.1
Total	-0.425	270.1	16.9	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

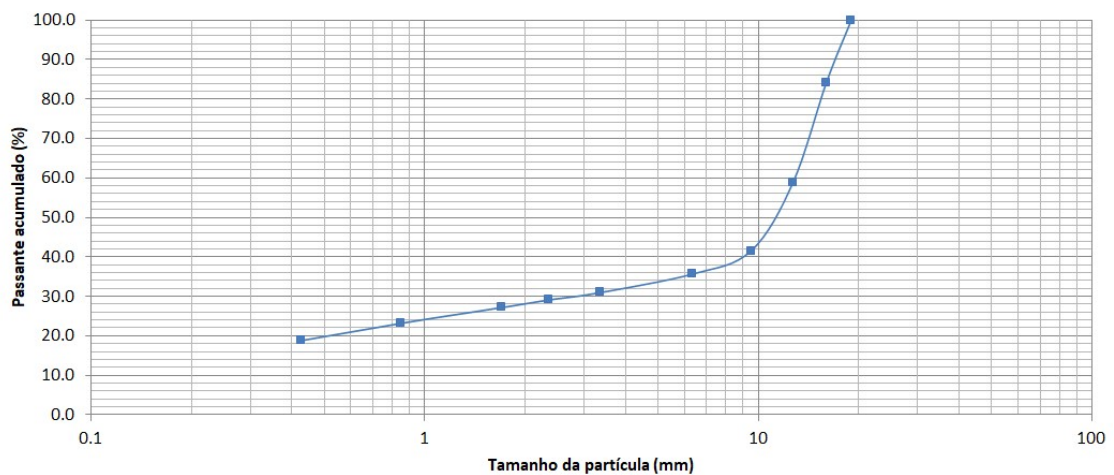


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-15 (PILHA SAT6-2)
Peso inicial (g):	95.0778
Peso final (g):	94.7523
AI:	0.33
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	249.7	15.7	84.3	15.7
1/2"	12.7	402.5	25.4	58.9	41.1
3/8"	9.5	275	17.3	41.6	58.4
1/4"	6.35	92.5	5.8	35.7	64.3
6	3.35	74.8	4.7	31.0	69.0
8	2.36	29.1	1.8	29.2	70.8
12	1.7	30.7	1.9	27.2	72.8
20	0.85	63.3	4.0	23.3	76.7
40	0.425	70.1	4.4	18.8	81.2
	-0.425	298.9	18.8	0.0	100.0
Total		1586.6	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

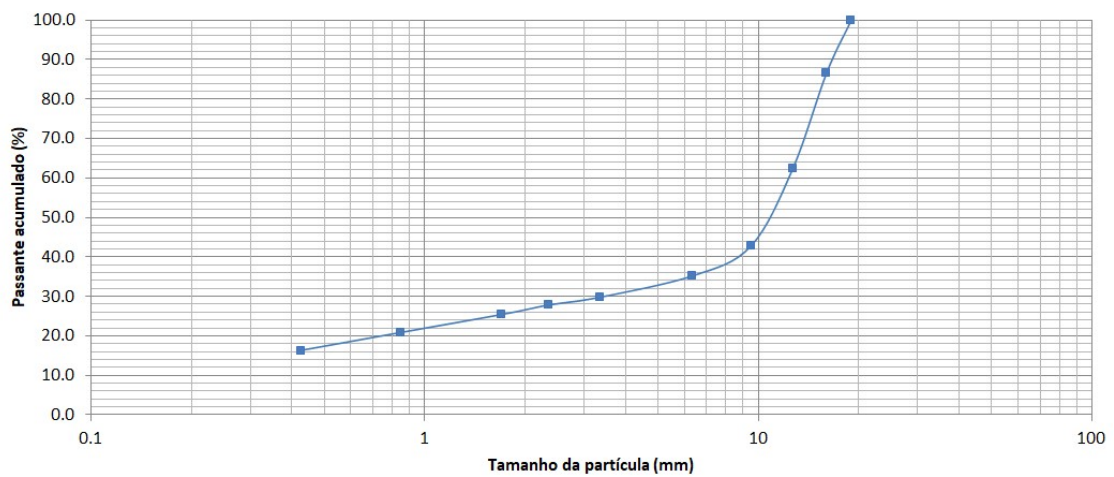


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-16 (PILHA SAT6-3)
Peso inicial (g):	95.4402
Peso final (g):	95.0637
AI:	0.38
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	213.1	13.5	86.5	13.5
1/2"	12.7	380.5	24.0	62.5	37.5
3/8"	9.5	312.7	19.8	42.7	57.3
1/4"	6.35	119.7	7.6	35.2	64.8
6	3.35	85.7	5.4	29.7	70.3
8	2.36	31	2.0	27.8	72.2
12	1.7	38.3	2.4	25.4	74.6
20	0.85	71.8	4.5	20.8	79.2
40	0.425	72.4	4.6	16.2	83.8
	-0.425	257.1	16.2	0.0	100.0
Total		1582.3	100.0		





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

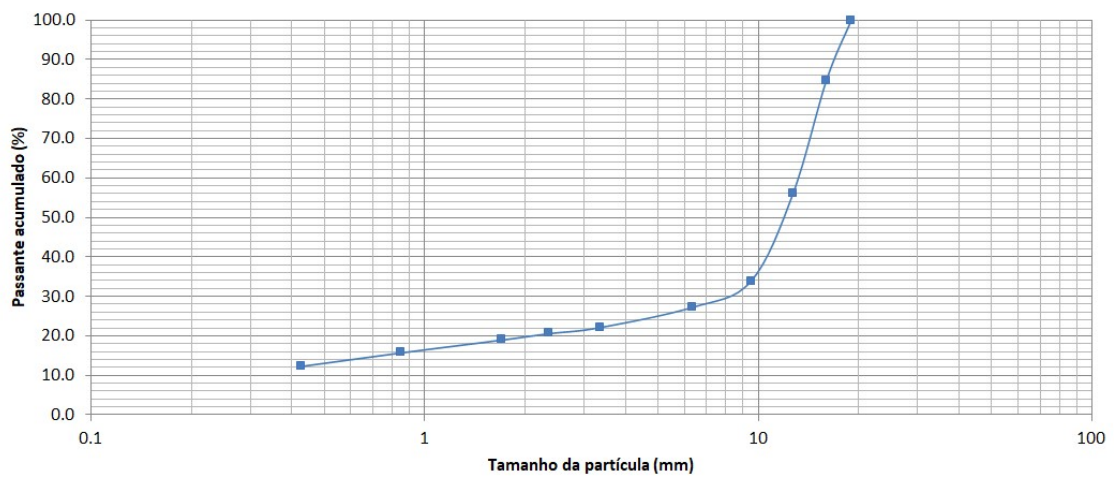


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-17 (PILHA SAT8-1)
Peso inicial (g):	95.9044
Peso final (g):	95.3055
AI:	0.60
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	242.3	15.2	84.8	15.2
1/2"	12.7	457.2	28.7	56.1	43.9
3/8"	9.5	353.8	22.2	33.9	66.1
1/4"	6.35	104.8	6.6	27.3	72.7
6	3.35	82	5.1	22.2	77.8
8	2.36	24.2	1.5	20.7	79.3
12	1.7	26.1	1.6	19.0	81.0
20	0.85	51.4	3.2	15.8	84.2
40	0.425	55.1	3.5	12.3	87.7
	-0.425	196.7	12.3	0.0	100.0
Total		1593.6	100.0		





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

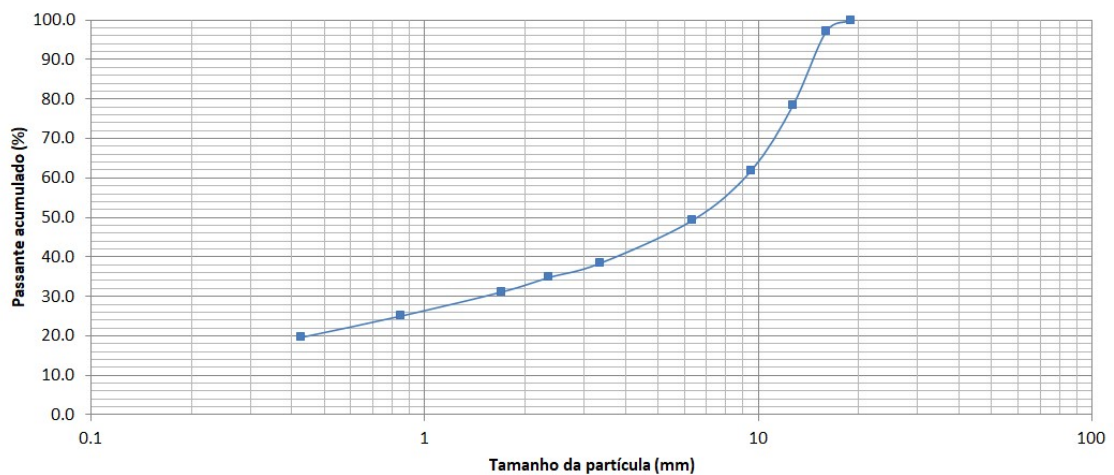


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-18 (PILHA SAT8-2)
Peso inicial (g):	96.0219
Peso final (g):	95.7872
AI:	0.23
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	42.6	2.7	97.3	2.7
1/2"	12.7	296.8	18.8	78.5	21.5
3/8"	9.5	263.9	16.7	61.8	38.2
1/4"	6.35	197.1	12.5	49.3	50.7
6	3.35	172.4	10.9	38.4	61.6
8	2.36	56.7	3.6	34.8	65.2
12	1.7	58.1	3.7	31.1	68.9
20	0.85	96	6.1	25.0	75.0
40	0.425	86.4	5.5	19.6	80.4
	-0.425	309.1	19.6	0.0	100.0
Total		1579.1	100.0		





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

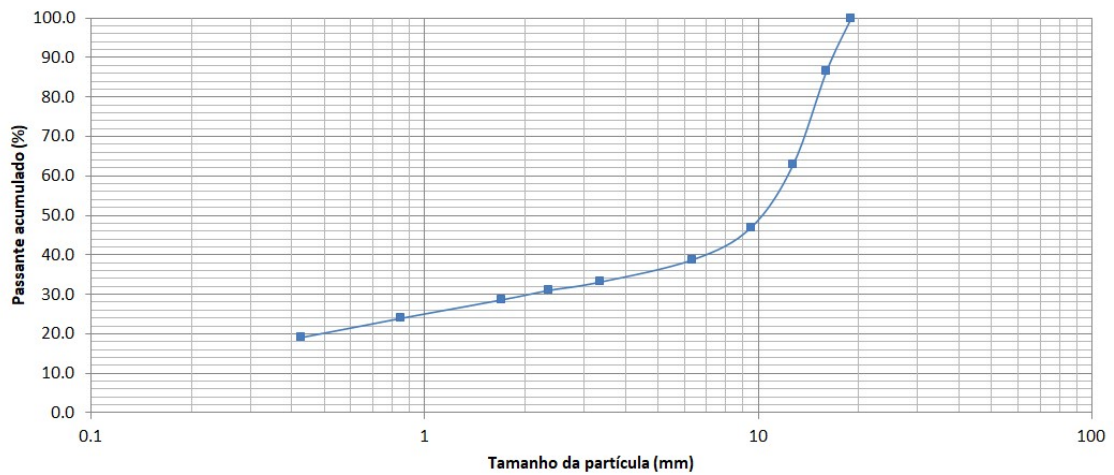


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-19 (SOS FASE 3-1)
Peso inicial (g):	95.5278
Peso final (g):	95.2778
AI:	0.25
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	215	13.5	86.5	13.5
1/2"	12.7	376	23.7	62.8	37.2
3/8"	9.5	251.8	15.8	47.0	53.0
1/4"	6.35	129.1	8.1	38.9	61.1
6	3.35	89.9	5.7	33.2	66.8
8	2.36	33.1	2.1	31.1	68.9
12	1.7	38.2	2.4	28.7	71.3
20	0.85	74.1	4.7	24.0	76.0
40	0.425	77.8	4.9	19.2	80.8
Total	-0.425	304.4	19.2	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

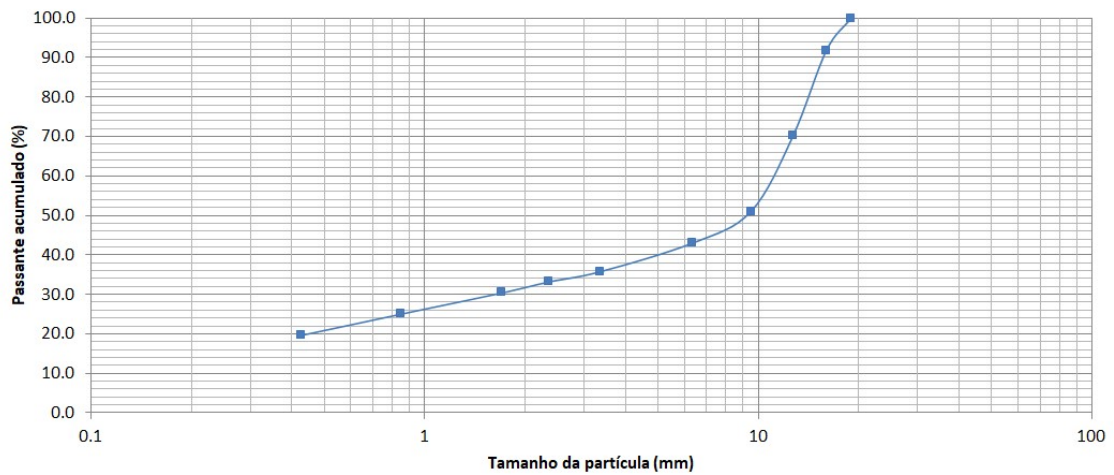


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-20 (SOS FASE 3-2)
Peso inicial (g):	95.3487
Peso final (g):	95.0737
AI:	0.27
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	130	8.1	91.9	8.1
1/2"	12.7	346.5	21.7	70.2	29.8
3/8"	9.5	305.7	19.1	51.1	48.9
1/4"	6.35	127.5	8.0	43.1	56.9
6	3.35	116.1	7.3	35.8	64.2
8	2.36	40.8	2.6	33.3	66.7
12	1.7	45	2.8	30.4	69.6
20	0.85	85.5	5.4	25.1	74.9
40	0.425	86.6	5.4	19.7	80.3
	-0.425	314.4	19.7	0.0	100.0
Total		1598.1	100.0		





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

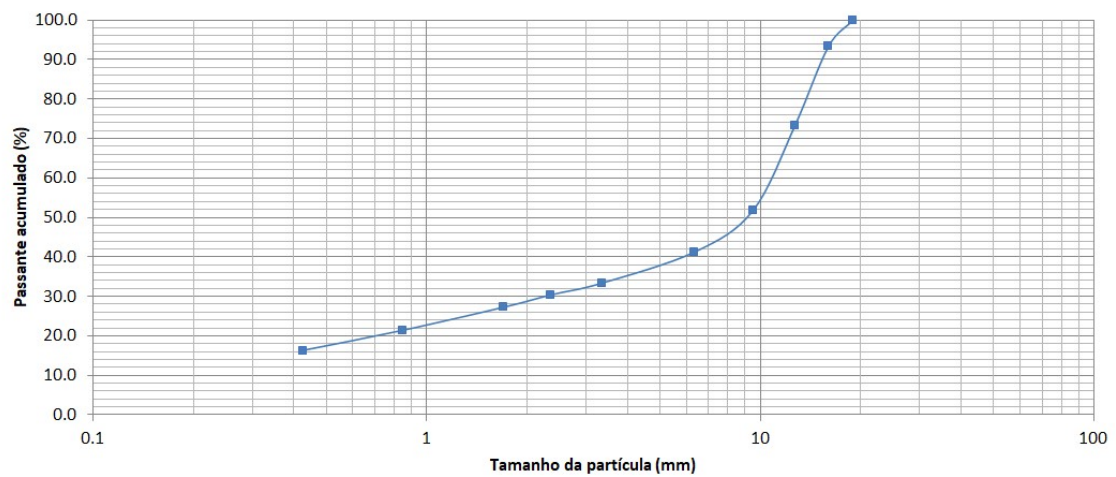


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-21 (SOS FASE 3-3)
Peso inicial (g):	95.5610
Peso final (g):	95.3410
AI:	0.22
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	106.7	6.7	93.3	6.7
1/2"	12.7	318.9	20.0	73.3	26.7
3/8"	9.5	344.3	21.6	51.7	48.3
1/4"	6.35	167.1	10.5	41.2	58.8
6	3.35	125.7	7.9	33.3	66.7
8	2.36	47.3	3.0	30.3	69.7
12	1.7	49.9	3.1	27.2	72.8
20	0.85	92.8	5.8	21.4	78.6
40	0.425	82	5.1	16.2	83.8
Total	-0.425	258.1	16.2	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

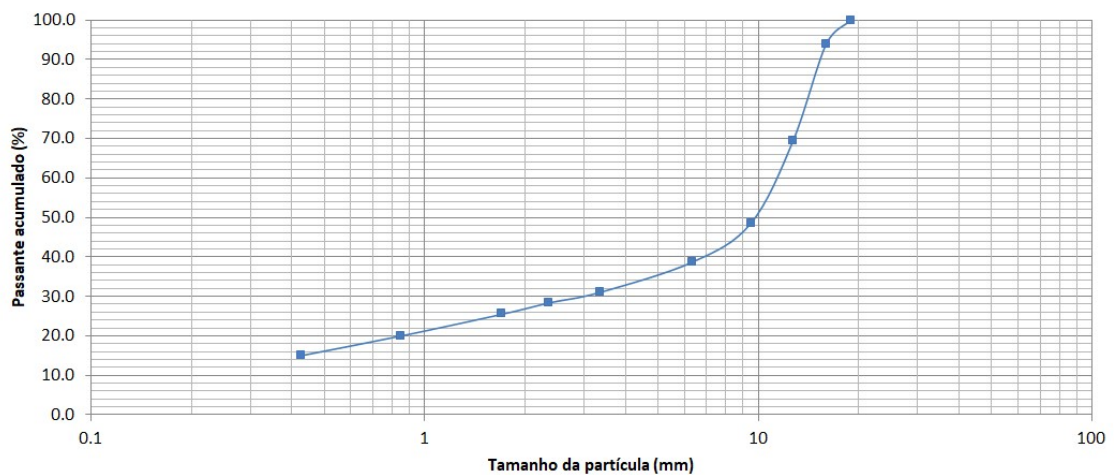


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-22 (AMPT 43/44)
Peso inicial (g):	95.5610
Peso final (g):	94.7910
AI:	0.77
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	95.5	5.9	94.1	5.9
1/2"	12.7	396.2	24.6	69.4	30.6
3/8"	9.5	335	20.8	48.6	51.4
1/4"	6.35	157.9	9.8	38.8	61.2
6	3.35	123.4	7.7	31.1	68.9
8	2.36	42.8	2.7	28.4	71.6
12	1.7	46.5	2.9	25.6	74.4
20	0.85	87.7	5.5	20.1	79.9
40	0.425	80.9	5.0	15.1	84.9
Total	-0.425	242.3	15.1	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

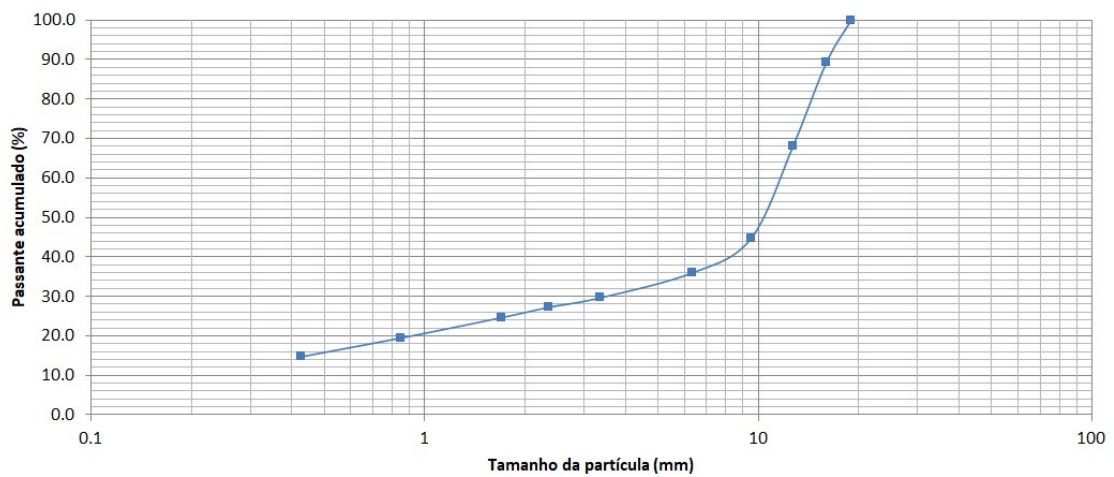


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-23 (AMPT 45/46)
Peso inicial (g):	96.1970
Peso final (g):	95.4970
AI:	0.70
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	172.6	10.7	89.3	10.7
1/2"	12.7	340.9	21.2	68.0	32.0
3/8"	9.5	376	23.4	44.6	55.4
1/4"	6.35	139.1	8.7	36.0	64.0
6	3.35	102	6.3	29.6	70.4
8	2.36	37.9	2.4	27.3	72.7
12	1.7	42.2	2.6	24.6	75.4
20	0.85	83	5.2	19.5	80.5
40	0.425	76.7	4.8	14.7	85.3
Total	-0.425	236.3	14.7	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

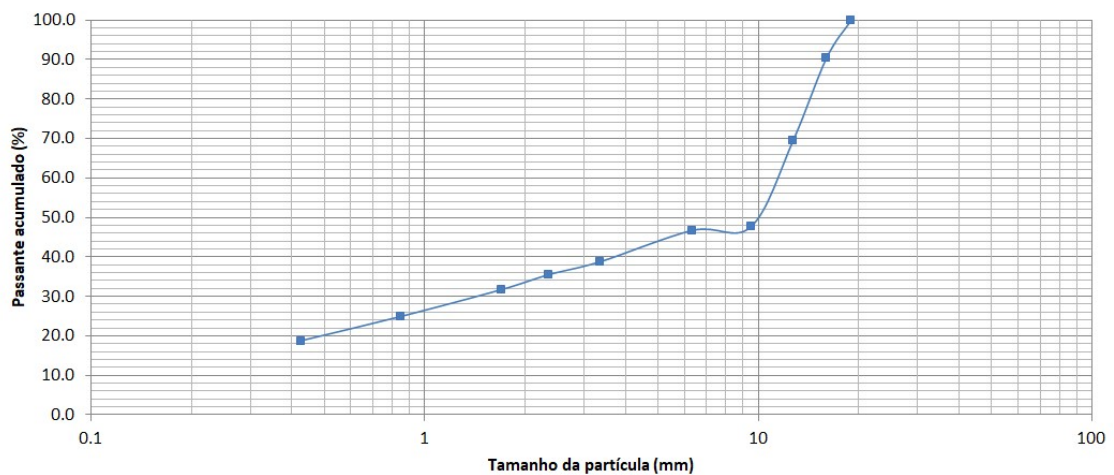


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-24 (AMPT 47/48)
Peso inicial (g):	96.2230
Peso final (g):	95.9630
AI:	0.26
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	140.8	9.7	90.3	9.7
1/2"	12.7	305	20.9	69.4	30.6
3/8"	9.5	317.3	21.8	47.6	52.4
1/4"	6.35	13	0.9	46.7	53.3
6	3.35	116.2	8.0	38.8	61.2
8	2.36	46.9	3.2	35.5	64.5
12	1.7	55.4	3.8	31.7	68.3
20	0.85	99.1	6.8	24.9	75.1
40	0.425	90.2	6.2	18.7	81.3
	-0.425	273.1	18.7	0.0	100.0
Total		1457	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

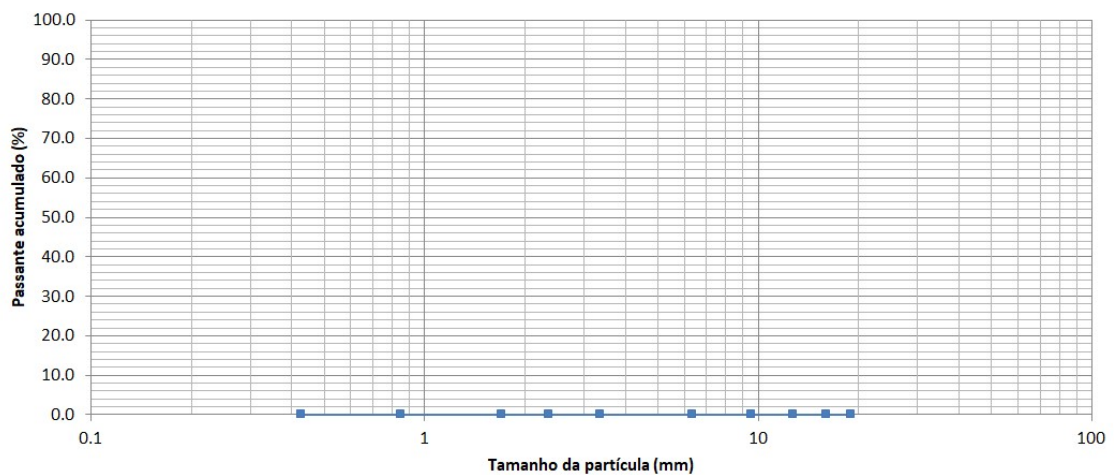


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-25 (AMPT 49/50)
Peso inicial (g):	95.7350
Peso final (g):	95.2250
AI:	0.51
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5/8"	16		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1/2"	12.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
3/8"	9.5		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
1/4"	6.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6	3.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8	2.36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12	1.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20	0.85		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40	0.425		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	-0.425		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total		0	#DIV/0!		



*Amostra sem a curva granulométrica do produto.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

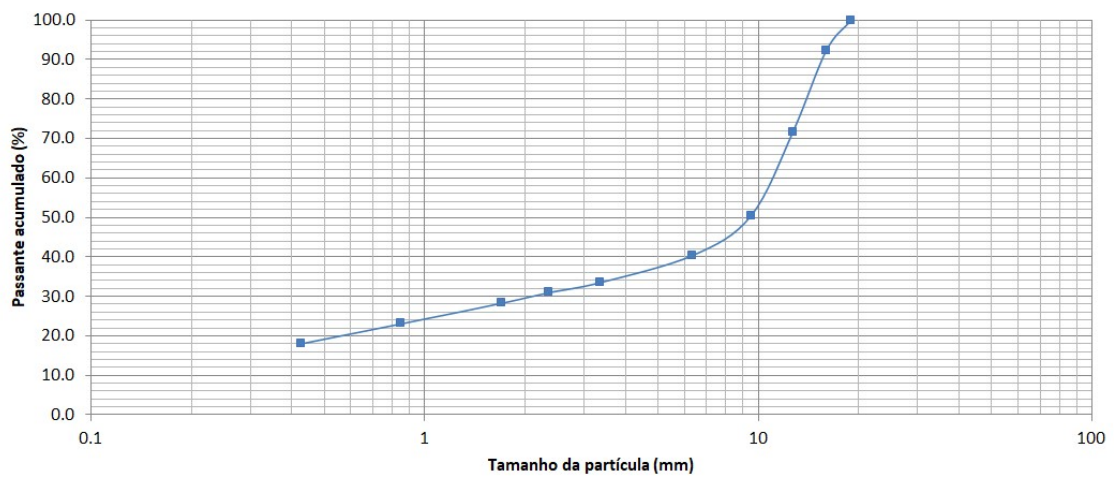


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-26 (AMPT 51/52)
Peso inicial (g):	95.9240
Peso final (g):	95.3540
AI:	0.57
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	122.8	7.6	92.4	7.6
1/2"	12.7	332.8	20.6	71.8	28.2
3/8"	9.5	343.9	21.3	50.4	49.6
1/4"	6.35	161.1	10.0	40.5	59.5
6	3.35	111.1	6.9	33.6	66.4
8	2.36	40.8	2.5	31.0	69.0
12	1.7	43.3	2.7	28.4	71.6
20	0.85	84.1	5.2	23.1	76.9
40	0.425	82.1	5.1	18.1	81.9
	-0.425	291.2	18.1	0.0	100.0
Total		1613.2	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

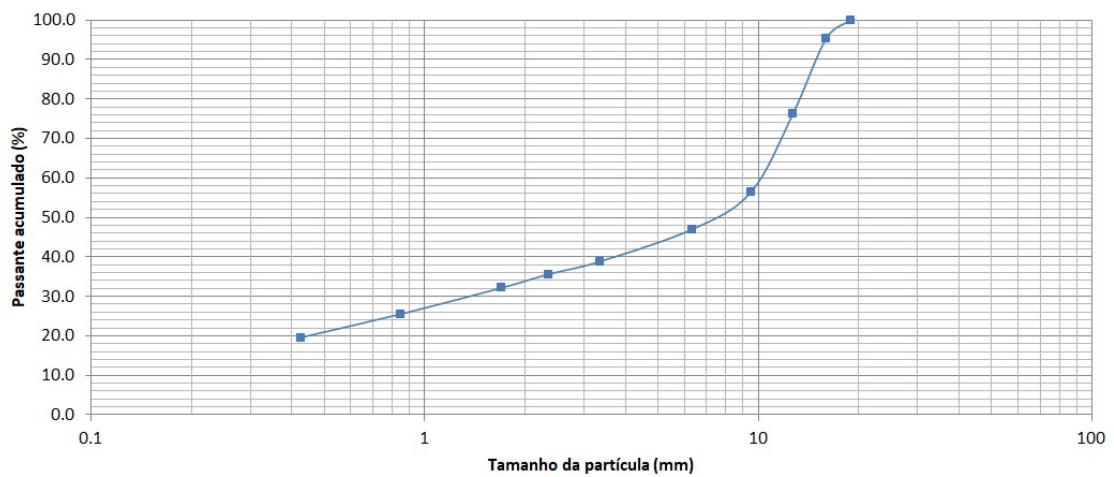


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-27 (AMPT 53/54)
Peso inicial (g):	95.9830
Peso final (g):	95.3540
AI:	0.63
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	73	4.6	95.4	4.6
1/2"	12.7	304.5	19.1	76.3	23.7
3/8"	9.5	316.5	19.9	56.4	43.6
1/4"	6.35	149.1	9.4	47.0	53.0
6	3.35	130.4	8.2	38.8	61.2
8	2.36	50.8	3.2	35.6	64.4
12	1.7	55.5	3.5	32.1	67.9
20	0.85	105	6.6	25.5	74.5
40	0.425	95.4	6.0	19.5	80.5
	-0.425	310.2	19.5	0.0	100.0
Total		1590.4	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

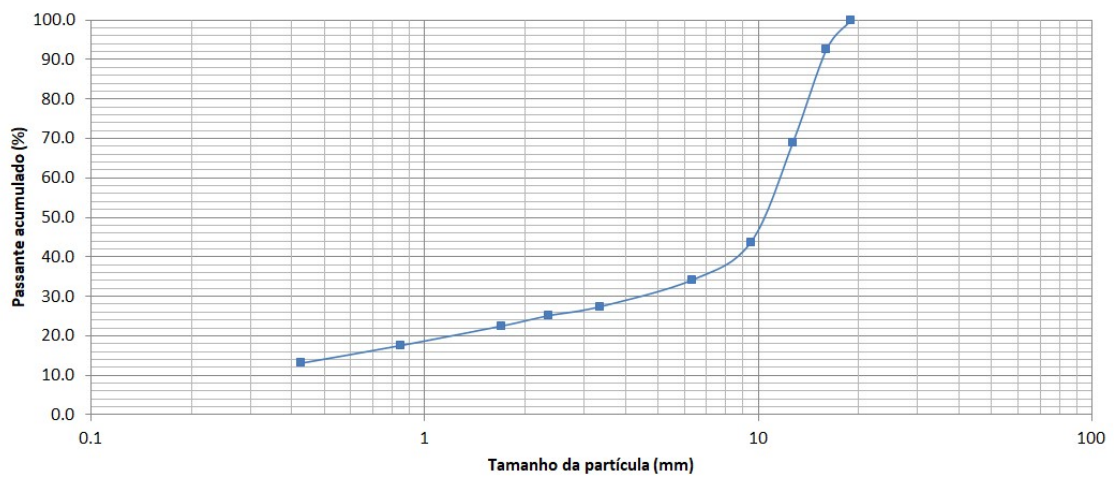


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-28 (AMPT 55/56)
Peso inicial (g):	95.7150
Peso final (g):	95.1350
AI:	0.58
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	120.3	7.5	92.5	7.5
1/2"	12.7	377.2	23.5	69.0	31.0
3/8"	9.5	406.9	25.3	43.7	56.3
1/4"	6.35	153.2	9.5	34.2	65.8
6	3.35	109.6	6.8	27.4	72.6
8	2.36	35.9	2.2	25.2	74.8
12	1.7	42.7	2.7	22.5	77.5
20	0.85	79.2	4.9	17.6	82.4
40	0.425	72.7	4.5	13.0	87.0
	-0.425	209.7	13.0	0.0	100.0
Total		1607.4	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

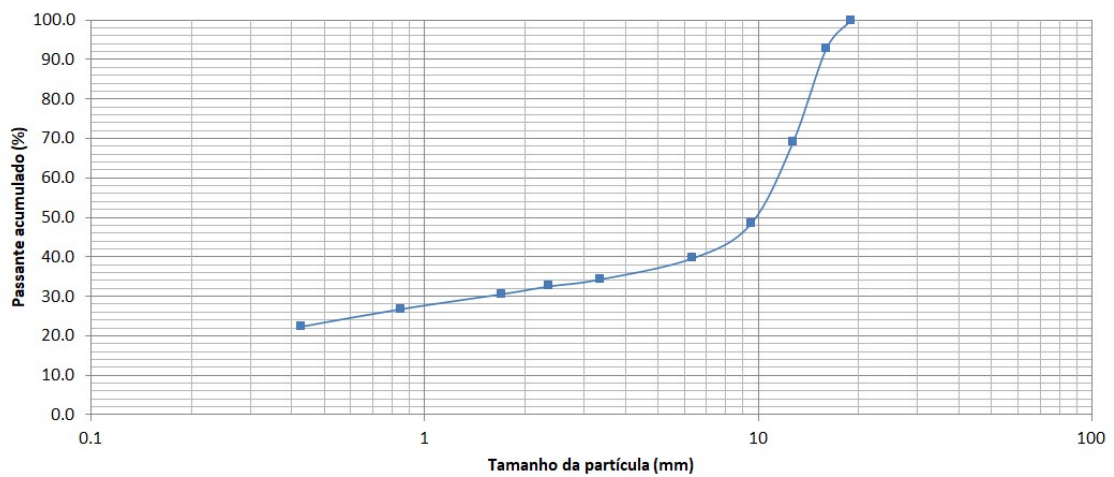


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-29 (AMPT 57/58)
Peso inicial (g):	95.8990
Peso final (g):	95.5290
AI:	0.37
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	114	7.2	92.8	7.2
1/2"	12.7	375.7	23.7	69.1	30.9
3/8"	9.5	326.8	20.6	48.4	51.6
1/4"	6.35	138	8.7	39.7	60.3
6	3.35	84.8	5.4	34.4	65.6
8	2.36	27.3	1.7	32.6	67.4
12	1.7	31.2	2.0	30.7	69.3
20	0.85	59.5	3.8	26.9	73.1
40	0.425	71.1	4.5	22.4	77.6
	-0.425	354.7	22.4	0.0	100.0
Total		1583.1	100.0		





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

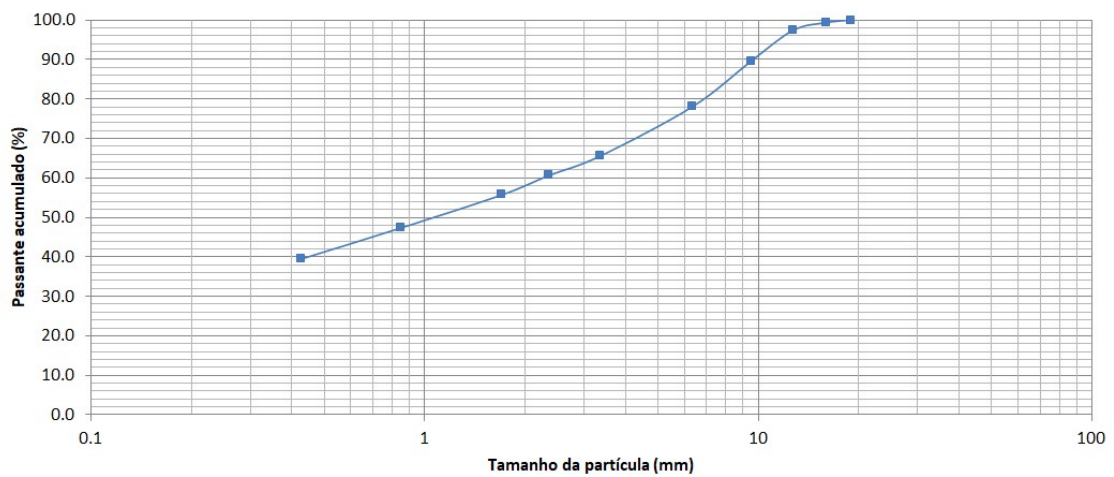


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-30 (AMPT 59/60)
Peso inicial (g):	96.0040
Peso final (g):	95.9840
AI:	0.02
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	10.6	0.7	99.3	0.7
1/2"	12.7	31.7	2.0	97.4	2.6
3/8"	9.5	125.7	7.8	89.6	10.4
1/4"	6.35	184.6	11.5	78.1	21.9
6	3.35	201.9	12.5	65.6	34.4
8	2.36	78.2	4.9	60.7	39.3
12	1.7	79.5	4.9	55.8	44.2
20	0.85	134.1	8.3	47.4	52.6
40	0.425	127.5	7.9	39.5	60.5
	-0.425	636	39.5	0.0	100.0
Total		1609.8	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

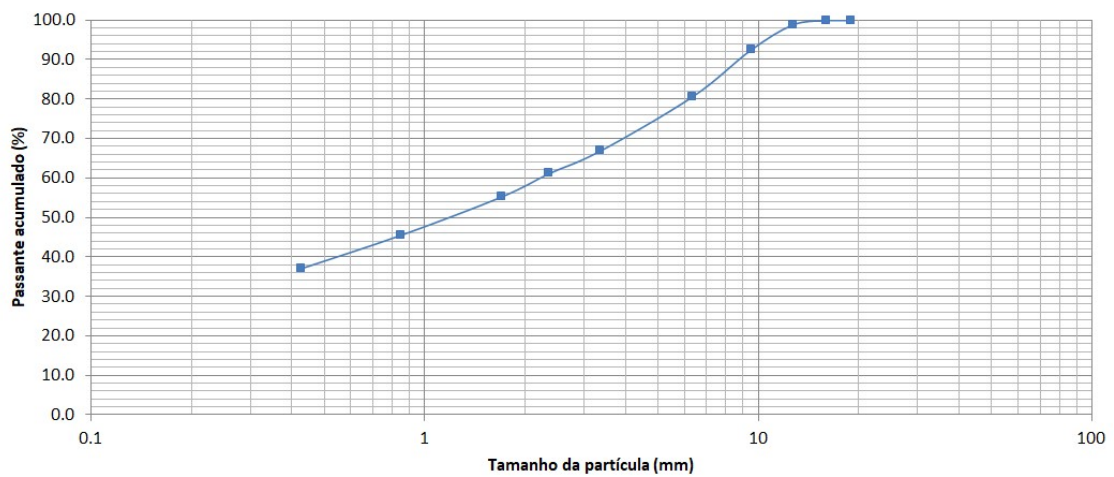


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-31 (AMPT 61/62)
Peso inicial (g):	96.1180
Peso final (g):	96.1120
AI:	0.01
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16		0.0	100.0	0.0
1/2"	12.7	17.3	1.1	98.9	1.1
3/8"	9.5	102.3	6.4	92.5	7.5
1/4"	6.35	189.2	11.8	80.7	19.3
6	3.35	220.6	13.8	66.9	33.1
8	2.36	90.8	5.7	61.2	38.8
12	1.7	94.4	5.9	55.3	44.7
20	0.85	155.3	9.7	45.6	54.4
40	0.425	136.3	8.5	37.1	62.9
	-0.425	592.8	37.1	0.0	100.0
Total		1599	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

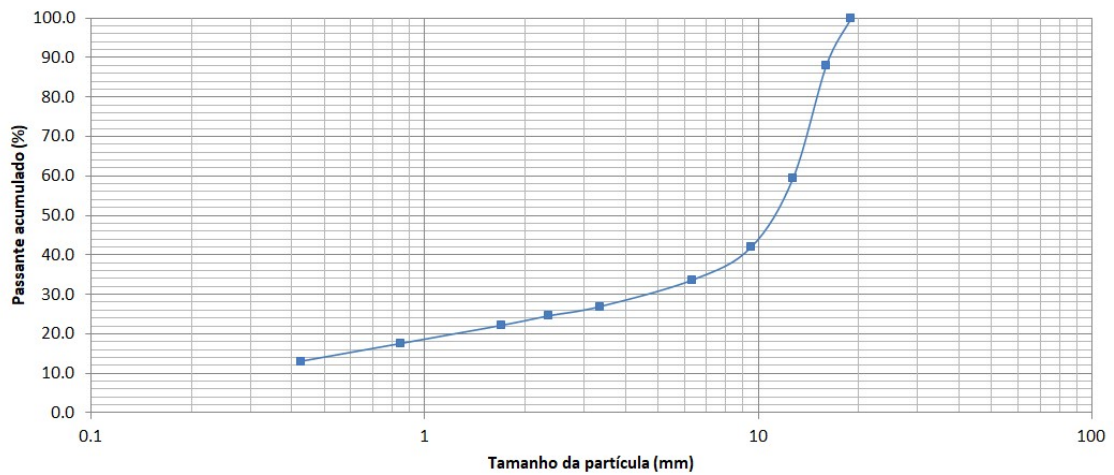


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-32 (AMPT 63/64)
Peso inicial (g):	96.0400
Peso final (g):	95.3200
AI:	0.72
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	192.8	11.9	88.1	11.9
1/2"	12.7	463.3	28.7	59.4	40.6
3/8"	9.5	283	17.5	41.9	58.1
1/4"	6.35	132.7	8.2	33.6	66.4
6	3.35	109.3	6.8	26.9	73.1
8	2.36	37.6	2.3	24.6	75.4
12	1.7	39	2.4	22.1	77.9
20	0.85	74.1	4.6	17.6	82.4
40	0.425	73.4	4.5	13.0	87.0
	-0.425	210.1	13.0	0.0	100.0
Total		1615.3	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

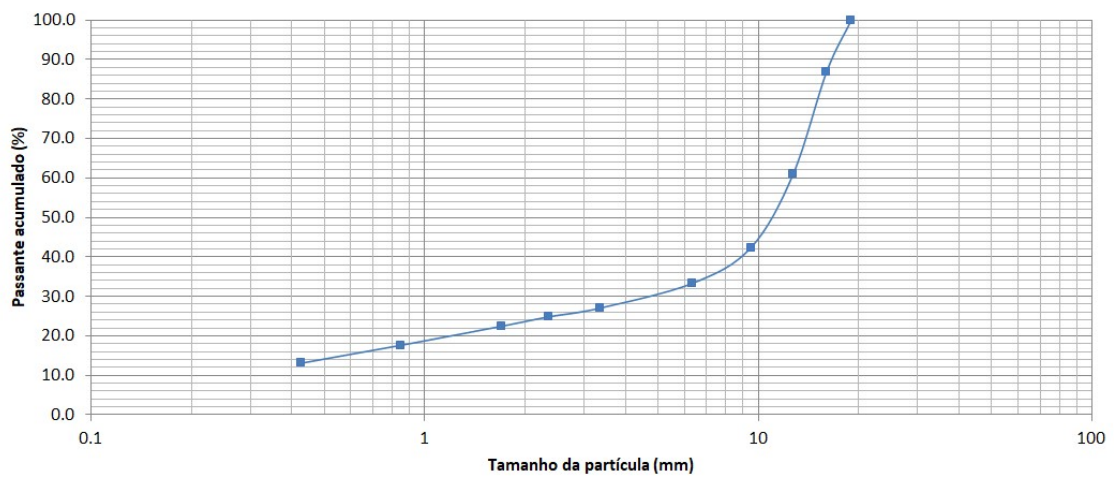


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-33 (AMPT 65/66)
Peso inicial (g):	96.2710
Peso final (g):	95.6510
AI:	0.62
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	211.3	13.2	86.8	13.2
1/2"	12.7	414.8	25.9	60.9	39.1
3/8"	9.5	296.9	18.5	42.4	57.6
1/4"	6.35	144.2	9.0	33.4	66.6
6	3.35	101	6.3	27.1	72.9
8	2.36	35.1	2.2	24.9	75.1
12	1.7	38.3	2.4	22.5	77.5
20	0.85	77.2	4.8	17.7	82.3
40	0.425	73.3	4.6	13.1	86.9
	-0.425	209.5	13.1	0.0	100.0
Total		1601.6	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

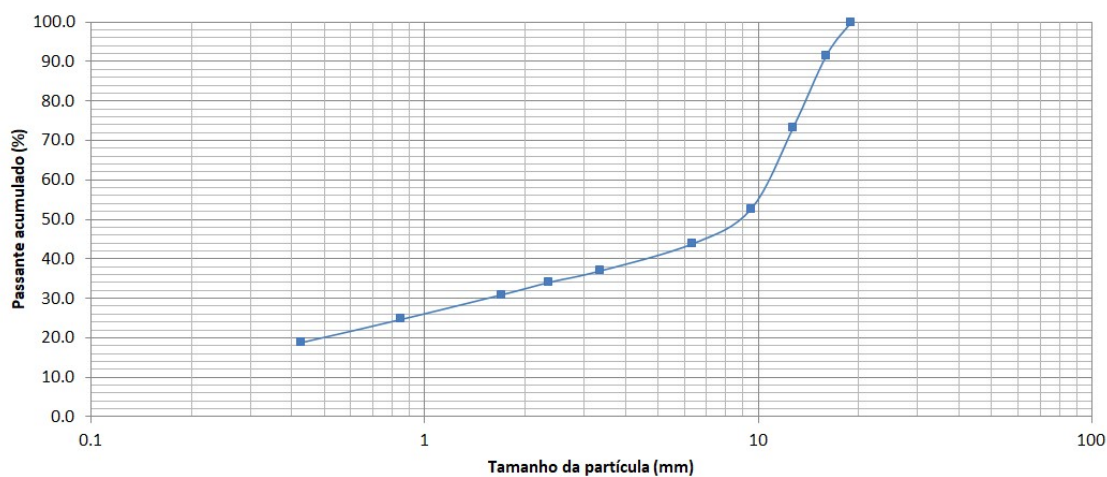


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-34 (AMPT 67/68)
Peso inicial (g):	96.1220
Peso final (g):	95.8420
AI:	0.28
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	135.6	8.4	91.6	8.4
1/2"	12.7	295	18.4	73.2	26.8
3/8"	9.5	329.7	20.5	52.6	47.4
1/4"	6.35	140.5	8.8	43.9	56.1
6	3.35	110.6	6.9	37.0	63.0
8	2.36	46.1	2.9	34.1	65.9
12	1.7	50.5	3.1	31.0	69.0
20	0.85	100	6.2	24.7	75.3
40	0.425	94.8	5.9	18.8	81.2
	-0.425	302.1	18.8	0.0	100.0
Total		1604.9	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

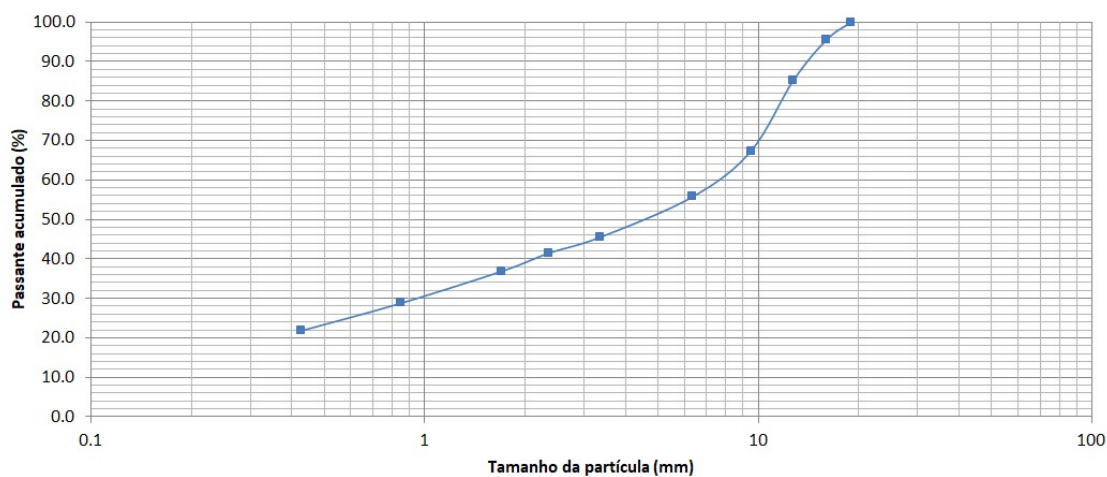


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-35 (AMPT 69/70)
Peso inicial (g):	96.1280
Peso final (g):	95.9680
AI:	0.16
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	72.7	4.5	95.5	4.5
1/2"	12.7	167.3	10.4	85.1	14.9
3/8"	9.5	285.9	17.8	67.3	32.7
1/4"	6.35	186.2	11.6	55.8	44.2
6	3.35	164.9	10.2	45.5	54.5
8	2.36	63.8	4.0	41.6	58.4
12	1.7	74.4	4.6	37.0	63.0
20	0.85	129.7	8.1	28.9	71.1
40	0.425	113.3	7.0	21.9	78.1
	-0.425	352.2	21.9	0.0	100.0
Total		1610.4	100.0		





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

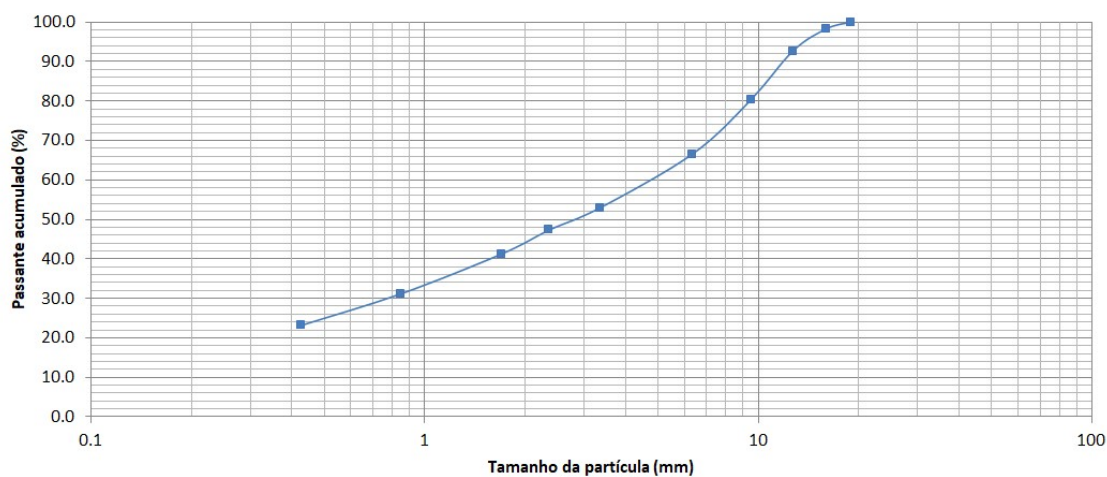


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-36 (AMPT 71/72)
Peso inicial (g):	95.9870
Peso final (g):	95.8870
AI:	0.10
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	27.6	1.7	98.3	1.7
1/2"	12.7	90	5.6	92.7	7.3
3/8"	9.5	198.9	12.4	80.3	19.7
1/4"	6.35	220.8	13.7	66.6	33.4
6	3.35	219.6	13.7	52.9	47.1
8	2.36	90.3	5.6	47.3	52.7
12	1.7	97.3	6.0	41.3	58.7
20	0.85	162	10.1	31.2	68.8
40	0.425	129.8	8.1	23.1	76.9
Total	-0.425	372.3	23.1	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

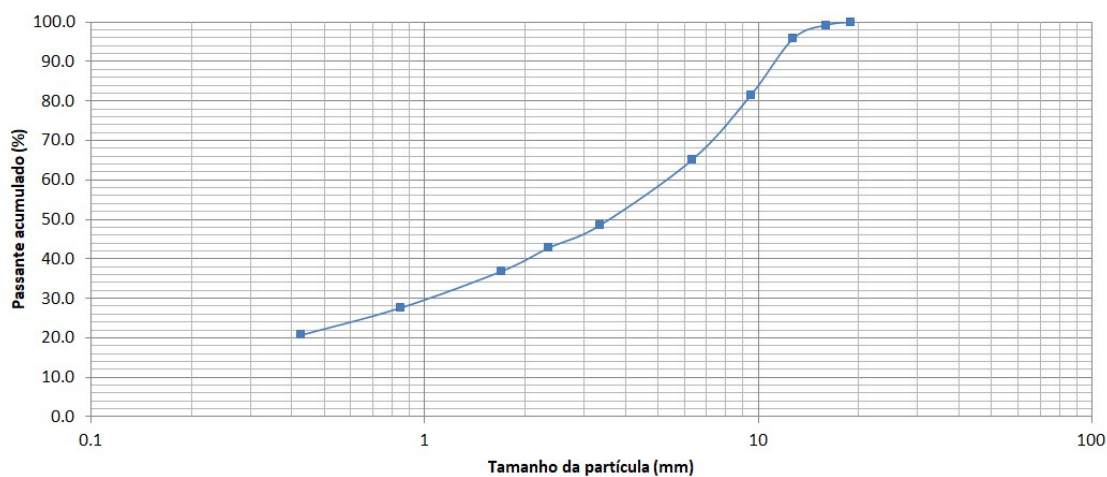


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-37 (AMPT 73/74)
Peso inicial (g):	95.6800
Peso final (g):	95.5400
AI:	0.14
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	12.4	0.8	99.2	0.8
1/2"	12.7	55.3	3.5	95.8	4.2
3/8"	9.5	228.5	14.3	81.5	18.5
1/4"	6.35	260.4	16.3	65.2	34.8
6	3.35	267.1	16.7	48.5	51.5
8	2.36	90.8	5.7	42.8	57.2
12	1.7	95.2	6.0	36.9	63.1
20	0.85	147.8	9.2	27.6	72.4
40	0.425	111.6	7.0	20.7	79.3
Total	-0.425	330.5	20.7	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

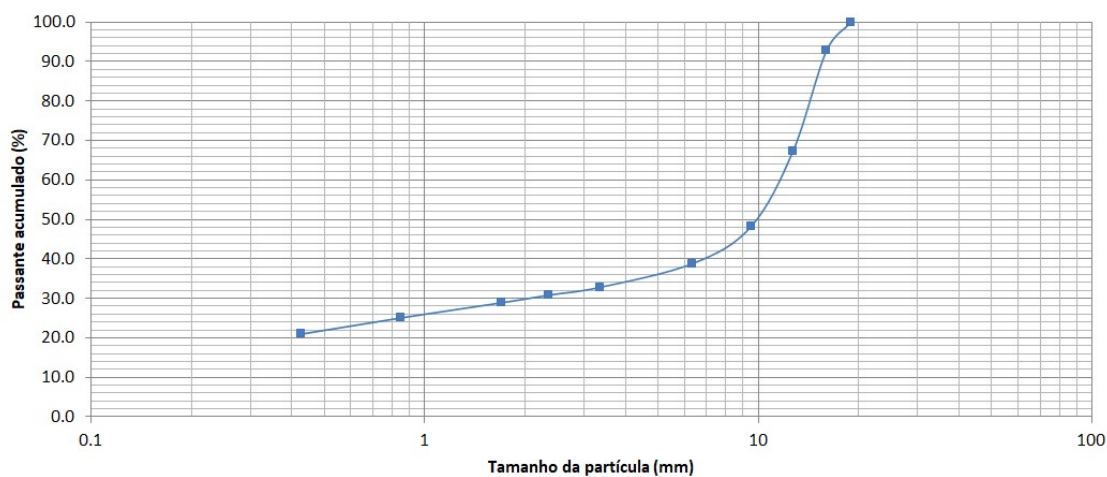


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-38 (AMPT 75/76)
Peso inicial (g):	95.8160
Peso final (g):	95.4560
AI:	0.36
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	115.8	7.3	92.7	7.3
1/2"	12.7	406.4	25.5	67.3	32.7
3/8"	9.5	305.7	19.1	48.1	51.9
1/4"	6.35	148.9	9.3	38.8	61.2
6	3.35	96	6.0	32.8	67.2
8	2.36	31.3	2.0	30.9	69.1
12	1.7	31.1	1.9	28.9	71.1
20	0.85	61.3	3.8	25.1	74.9
40	0.425	65.9	4.1	20.9	79.1
	-0.425	334.3	20.9	0.0	100.0
Total		1596.7	100.0		





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

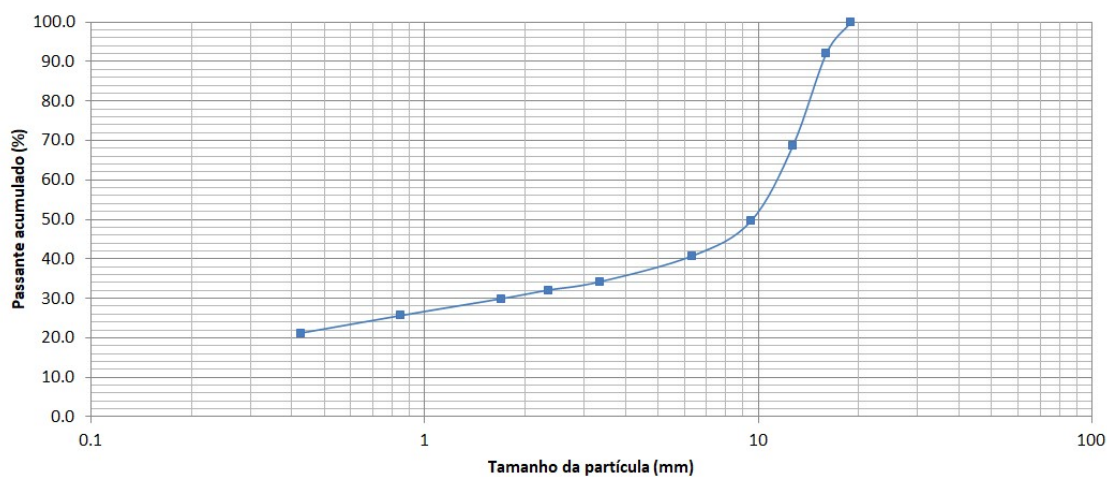


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-39 (AMPT 77/78)
Peso inicial (g):	95.8870
Peso final (g):	95.4560
AI:	0.43
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	126.7	7.9	92.1	7.9
1/2"	12.7	373.4	23.4	68.7	31.3
3/8"	9.5	306.4	19.2	49.5	50.5
1/4"	6.35	140.5	8.8	40.7	59.3
6	3.35	105	6.6	34.1	65.9
8	2.36	33.4	2.1	32.0	68.0
12	1.7	35.1	2.2	29.8	70.2
20	0.85	68.2	4.3	25.6	74.4
40	0.425	71.5	4.5	21.1	78.9
Total	-0.425	336.8	21.1	0.0	100.0





**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

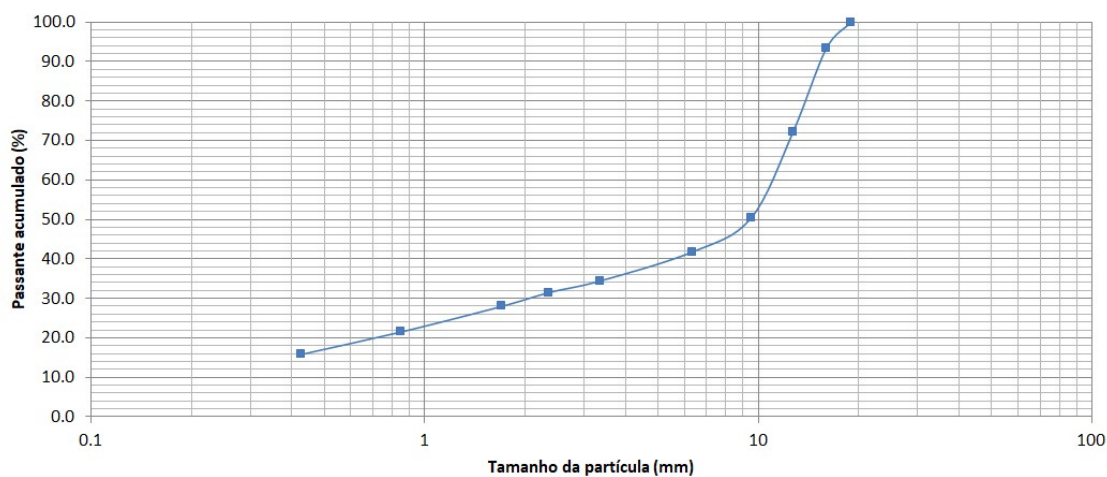


Ensaio para determinação do Índice de Abrasão de Bond

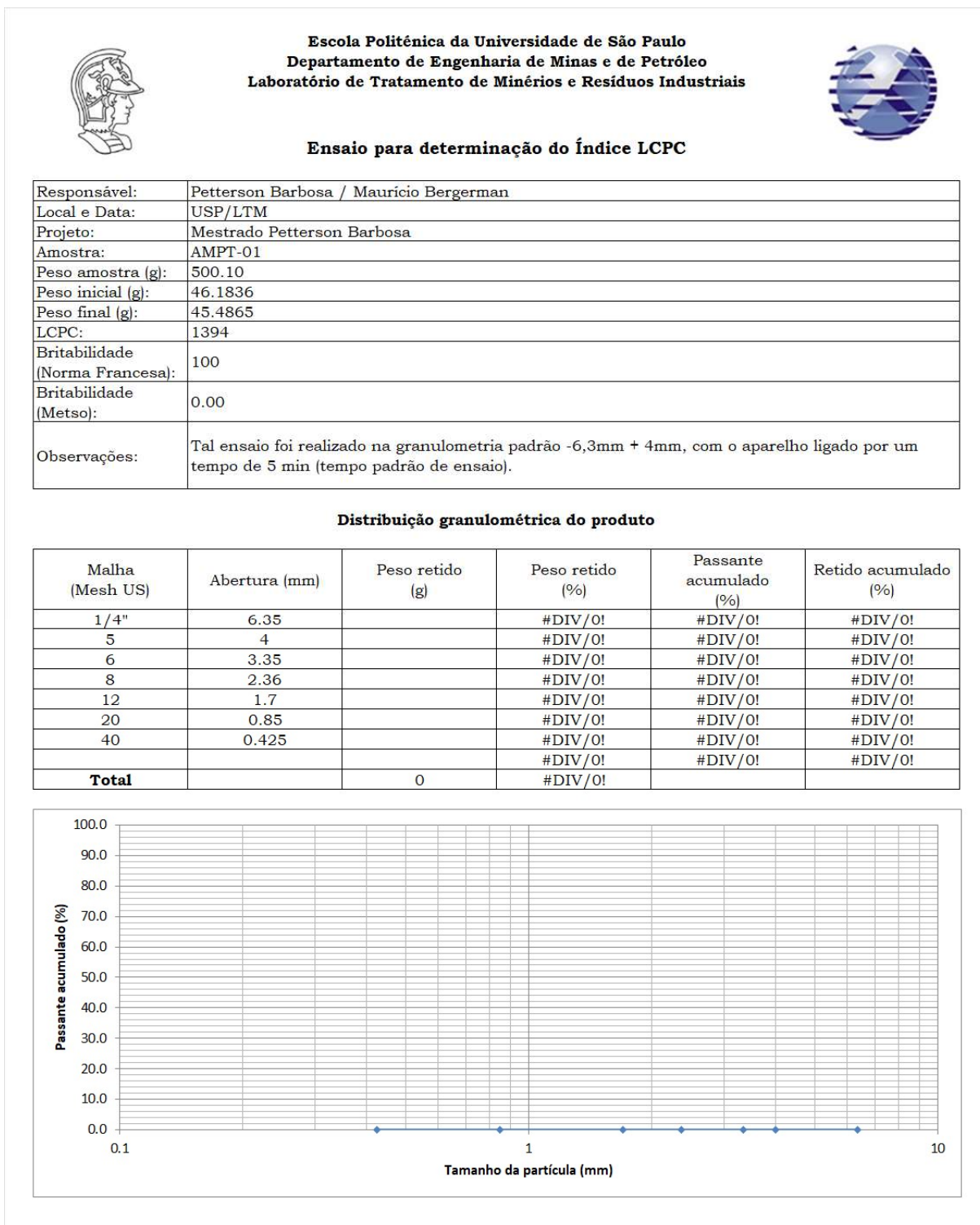
Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/PMI/LTM - Julho de 2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-40 (NONE)
Peso inicial (g):	95.6920
Peso final (g):	95.4560
AI:	0.24
Observações:	

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Tyler)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
3/4"	19		0.0	100.0	0.0
5/8"	16	105.7	6.6	93.4	6.6
1/2"	12.7	340.2	21.3	72.1	27.9
3/8"	9.5	349.3	21.8	50.3	49.7
1/4"	6.35	136.3	8.5	41.8	58.2
6	3.35	118	7.4	34.4	65.6
8	2.36	46.7	2.9	31.5	68.5
12	1.7	56.3	3.5	28.0	72.0
20	0.85	103.3	6.5	21.6	78.4
40	0.425	91.8	5.7	15.8	84.2
Total	-0.425	253.2	15.8	0.0	100.0



- Dados de LCPC amostra por amostra:



*Amostra sem a curva granulométrica do produto, por ser uma amostra pioneira.



**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais**

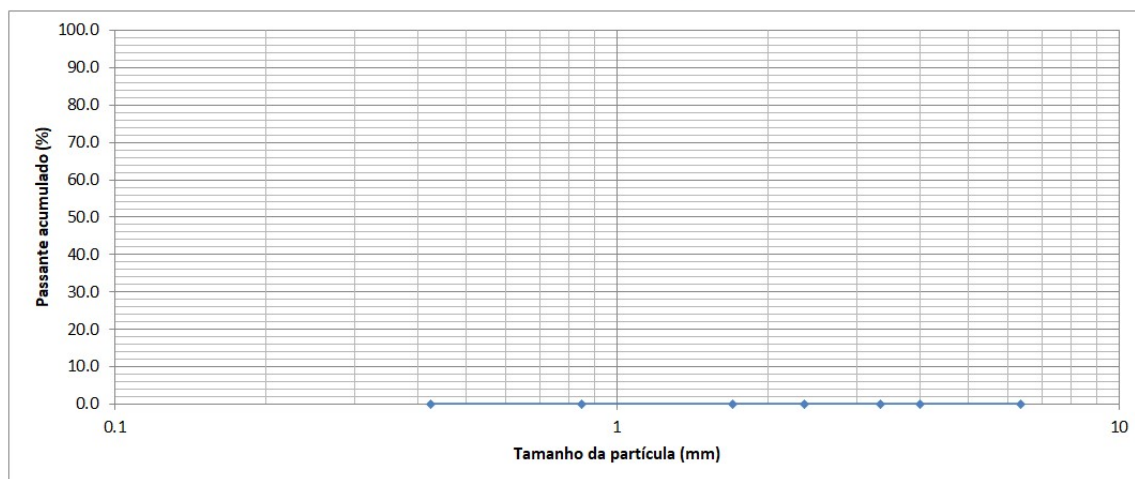


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 04/06/2018
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-02
Peso amostra (g):	500.02
Peso inicial (g):	46.2640
Peso final (g):	45.6250
LCPC:	1278
Britabilidade (Norma Francesa):	100
Britabilidade (Metso):	0.00
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5	4		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6	3.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8	2.36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12	1.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20	0.85		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40	0.425		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total		0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!



*Amostra sem a curva granulométrica do produto, por ser uma amostra pioneira.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

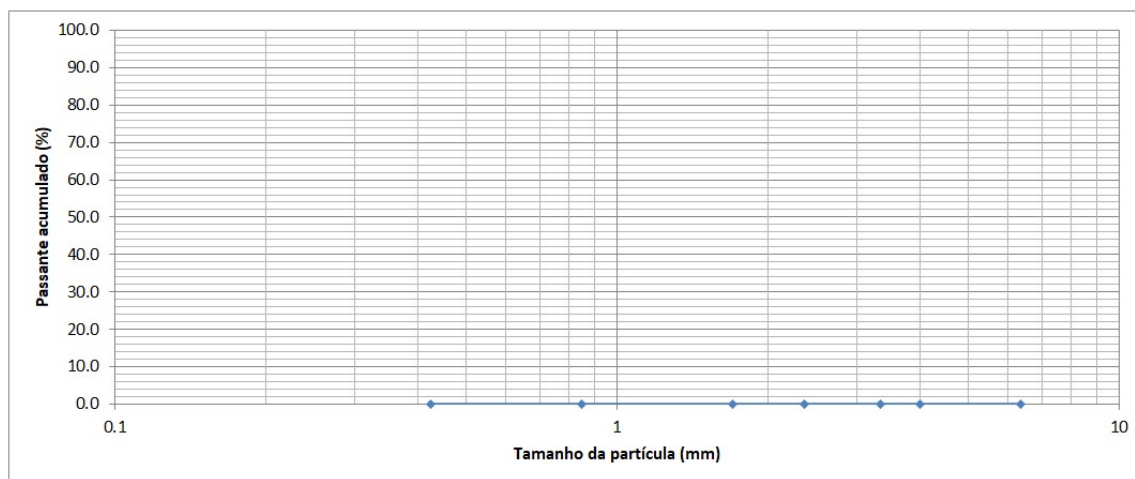


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-03
Peso amostra (g):	500.30
Peso inicial (g):	46.4620
Peso final (g):	45.8270
LCPC:	1269
Britabilidade (Norma Francesa):	100
Britabilidade (Metso):	0.00
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5	4		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6	3.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8	2.36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12	1.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20	0.85		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40	0.425		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total		0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!



*Amostra sem a curva granulométrica do produto, por ser uma amostra pioneira.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

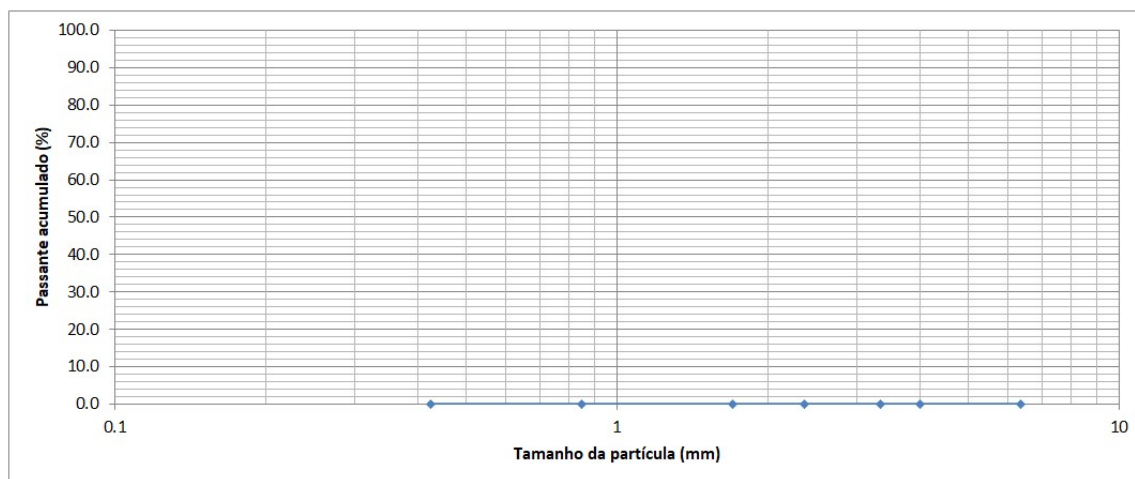


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 09/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-04
Peso amostra (g):	503.83
Peso inicial (g):	46.4168
Peso final (g):	45.7597
LCPC:	1304
Britabilidade (Norma Francesa):	100
Britabilidade (Metso):	0.00
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5	4		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6	3.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8	2.36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12	1.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20	0.85		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40	0.425		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total		0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!



*Amostra sem a curva granulométrica do produto, por ser uma amostra pioneira.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

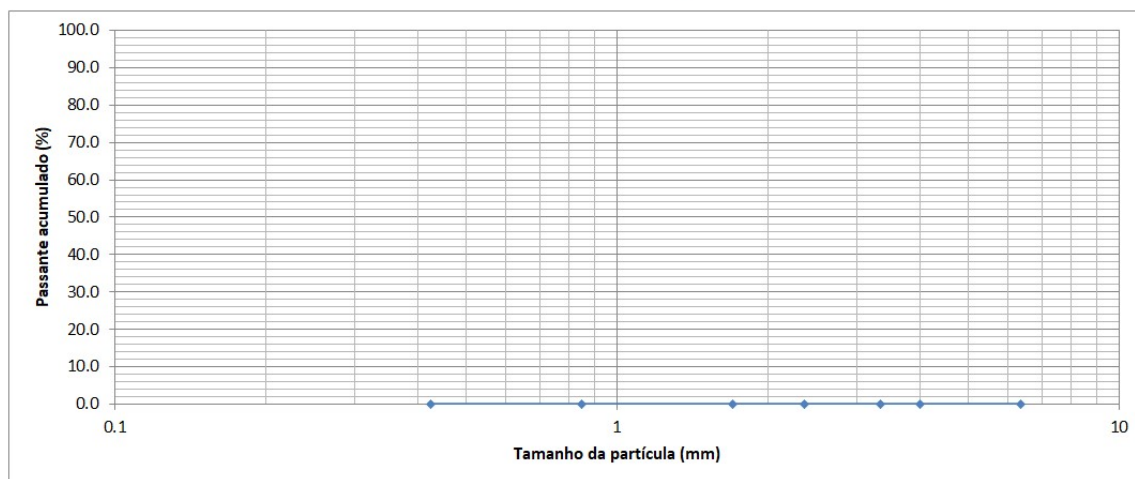


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Mauricio Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 09/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-05 (BRITADO 02)
Peso amostra (g):	504.00
Peso inicial (g):	46.0027
Peso final (g):	45.5292
LCPC:	939
Britabilidade (Norma Francesa):	100
Britabilidade (Metso):	0.00
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5	4		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6	3.35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8	2.36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12	1.7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20	0.85		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40	0.425		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Total		0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!



*Amostra sem a curva granulométrica do produto, por ser uma amostra pioneira.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

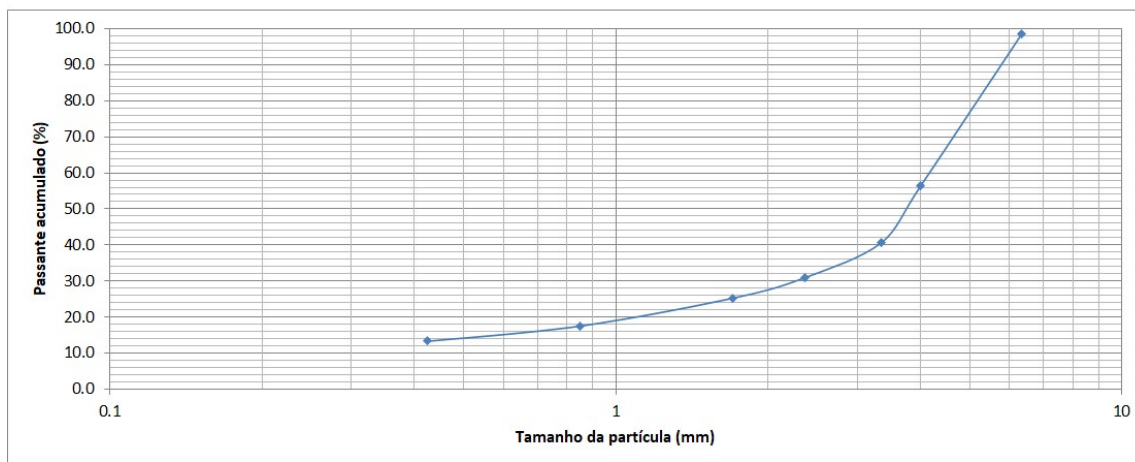


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Mauricio Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 09/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-06 (AMPT-15 Pilha B3)
Peso amostra (g):	506.90
Peso inicial (g):	46.3752
Peso final (g):	45.7958
LCPC:	1143
Britabilidade (Norma Francesa):	75
Britabilidade (Metso):	0.25
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	7.1	1.4	98.6	1.4
5	4	212	42.3	56.3	43.7
6	3.35	78.5	15.7	40.6	59.4
8	2.36	48.9	9.8	30.9	69.1
12	1.7	28.4	5.7	25.2	74.8
20	0.85	38.7	7.7	17.5	82.5
40	0.425	21.1	4.2	13.3	86.7
		66.7	13.3	0.0	100.0
Total		501.4	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

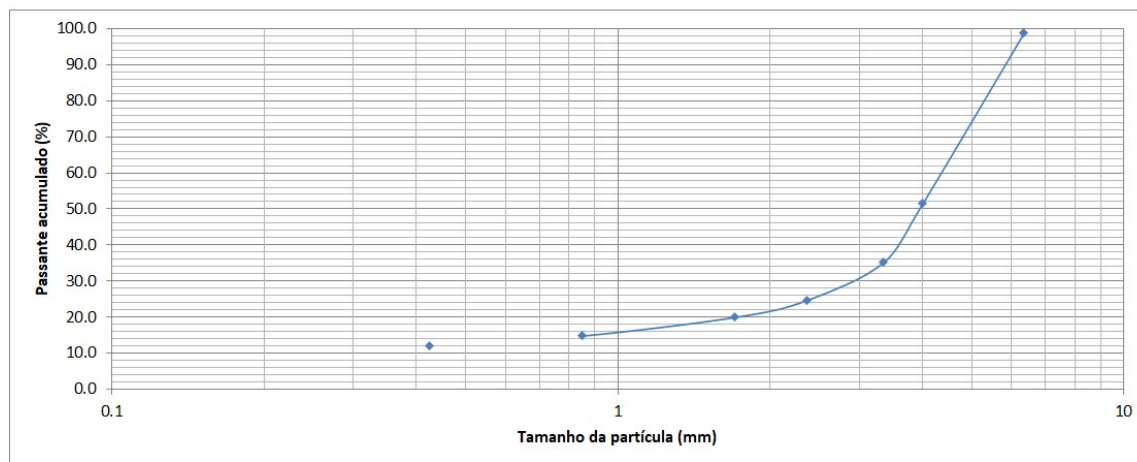


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Mauricio Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 09/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-07 (AMPT 16 - FASE 6.3)
Peso amostra (g):	499.50
Peso inicial (g):	46.5237
Peso final (g):	46.0462
LCPC:	956
Britabilidade (Norma Francesa):	80
Britabilidade (Metso):	0.20
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	6	1.2	98.8	1.2
5	4	236.5	47.3	51.5	48.5
6	3.35	81.2	16.3	35.2	64.8
8	2.36	52.5	10.5	24.7	75.3
12	1.7	23.4	4.7	20.0	80.0
20	0.85	25.8	5.2	14.8	85.2
40	0.425	14.8	3.0	11.9	88.1
Total	-0.425	59.3	11.9	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

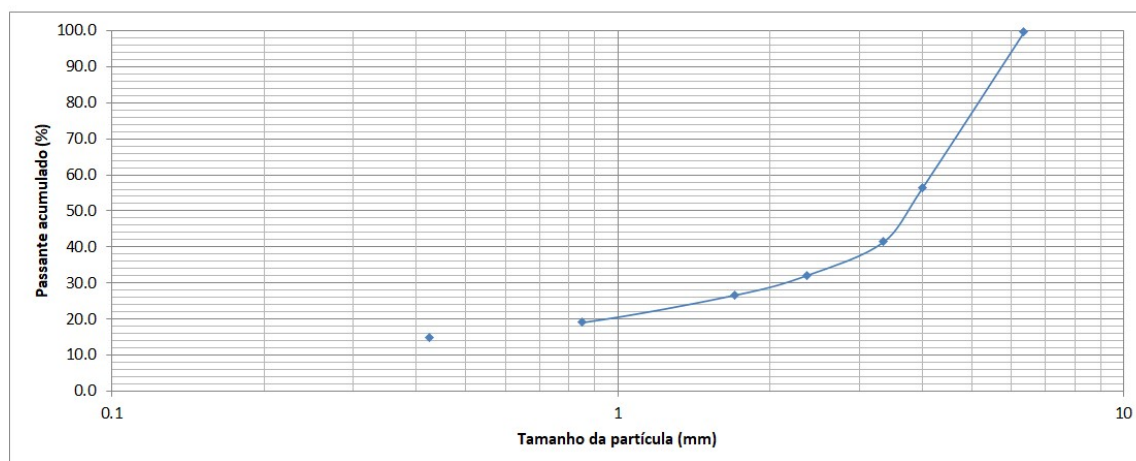


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Mauricio Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 09/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-08 (AMPT 16 - FASE 6.1)
Peso amostra (g):	499.50
Peso inicial (g):	46.1700
Peso final (g):	45.7619
LCPC:	817
Britabilidade (Norma Francesa):	73
Britabilidade (Metso):	0.27
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	1.7	0.3	99.7	0.3
5	4	215.6	43.2	56.5	43.5
6	3.35	75.1	15.0	41.5	58.5
8	2.36	46.6	9.3	32.1	67.9
12	1.7	27.3	5.5	26.7	73.3
20	0.85	37.8	7.6	19.1	80.9
40	0.425	20.4	4.1	15.0	85.0
Total	-0.425	75	15.0	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

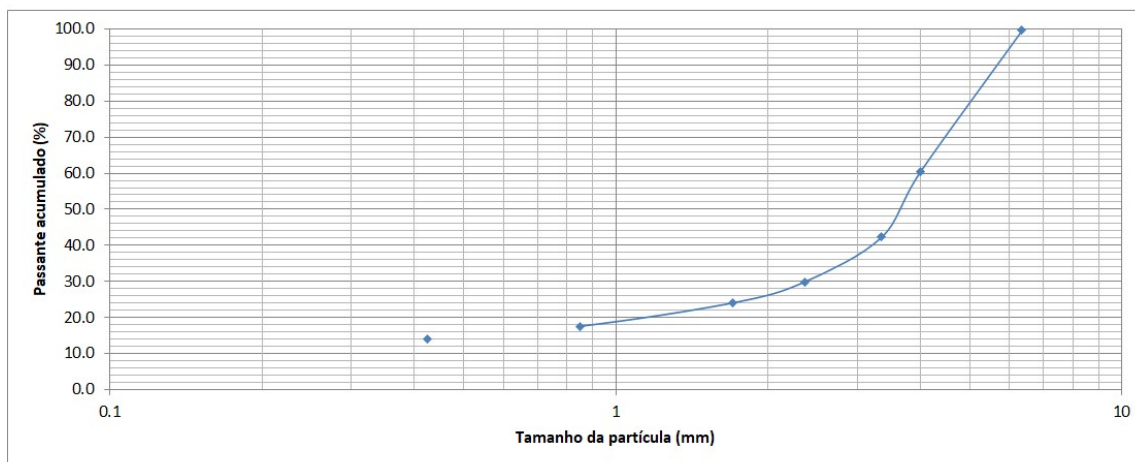


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Mauricio Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 09/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-09 (AMPT 16 - FASE 6.2)
Peso amostra (g):	499.10
Peso inicial (g):	45.9110
Peso final (g):	45.4413
LCPC:	941
Britabilidade (Norma Francesa):	76
Britabilidade (Metso):	0.24
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	1.8	0.4	99.6	0.4
5	4	195.5	39.2	60.5	39.5
6	3.35	90.9	18.2	42.3	57.7
8	2.36	61.9	12.4	29.9	70.1
12	1.7	29.2	5.9	24.0	76.0
20	0.85	32.3	6.5	17.5	82.5
40	0.425	17.5	3.5	14.0	86.0
Total	-0.425	70	14.0	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

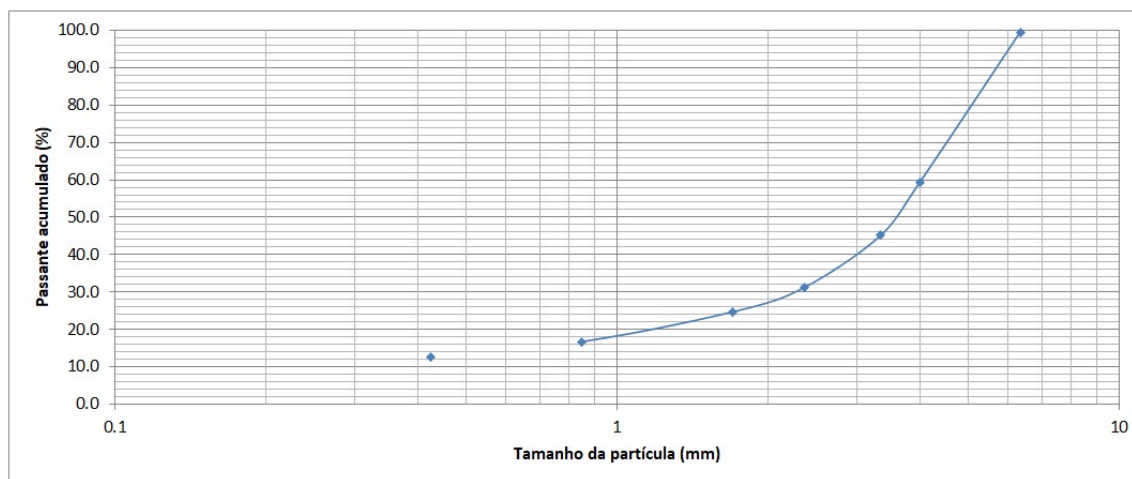


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 09/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-10 (PILHA B-1)
Peso amostra (g):	502.25
Peso inicial (g):	46.3256
Peso final (g):	45.8060
LCPC:	1035
Britabilidade (Norma Francesa):	76
Britabilidade (Metso):	0.24
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	2.8	0.6	99.4	0.6
5	4	200.8	40.2	59.2	40.8
6	3.35	70.2	14.1	45.1	54.9
8	2.36	69.6	14.0	31.2	68.8
12	1.7	32.6	6.5	24.6	75.4
20	0.85	39.9	8.0	16.6	83.4
40	0.425	20.1	4.0	12.6	87.4
	-0.425	62.9	12.6	0.0	100.0
Total		498.9	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

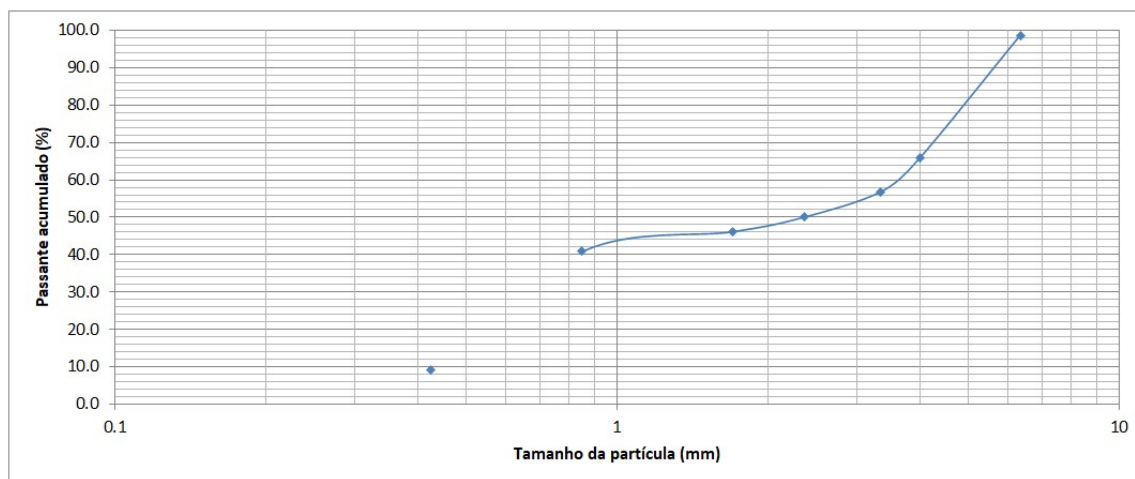


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 09/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-11 (PILHA B-2)
Peso amostra (g):	499.20
Peso inicial (g):	46.3256
Peso final (g):	45.7156
LCPC:	1222
Britabilidade (Norma Francesa):	35
Britabilidade (Metso):	0.65
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	9.7	1.4	98.6	1.4
5	4	229.2	32.8	65.8	34.2
6	3.35	62.7	9.0	56.9	43.1
8	2.36	47.2	6.8	50.1	49.9
12	1.7	27.3	3.9	46.2	53.8
20	0.85	37.2	5.3	40.9	59.1
40	0.425	221	31.6	9.3	90.7
	-0.425	64.9	9.3	0.0	100.0
Total		699.2	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

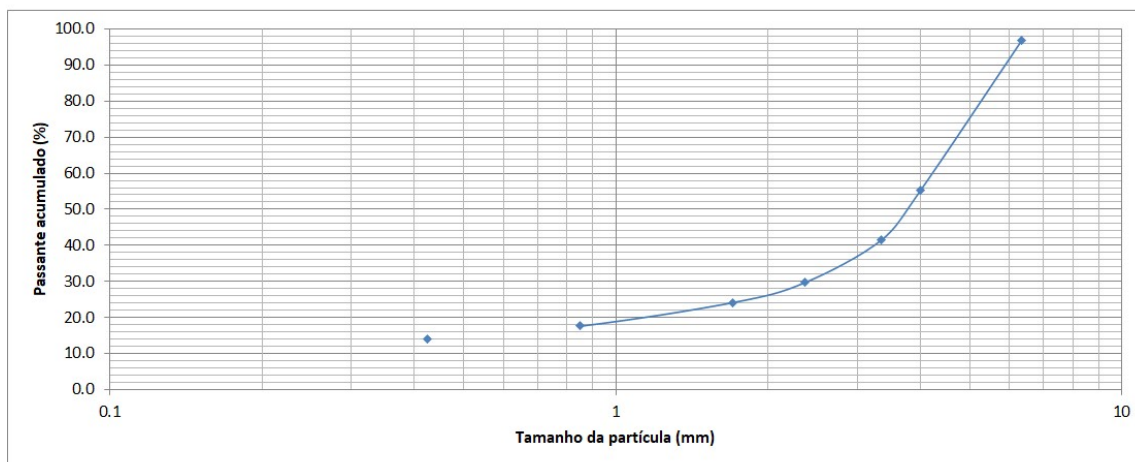


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Mauricio Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 09/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-12 (Pilha SAT 4.2)
Peso amostra (g):	498.60
Peso inicial (g):	45.7040
Peso final (g):	45.3395
LCPC:	731
Britabilidade (Norma Francesa):	76
Britabilidade (Metso):	0.24
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	15.3	3.1	96.9	3.1
5	4	207.5	41.6	55.3	44.7
6	3.35	68.6	13.8	41.6	58.4
8	2.36	59.1	11.9	29.7	70.3
12	1.7	27.6	5.5	24.2	75.8
20	0.85	32.5	6.5	17.6	82.4
40	0.425	18.1	3.6	14.0	86.0
Total	-0.425	69.9	14.0	0.0	100.0





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

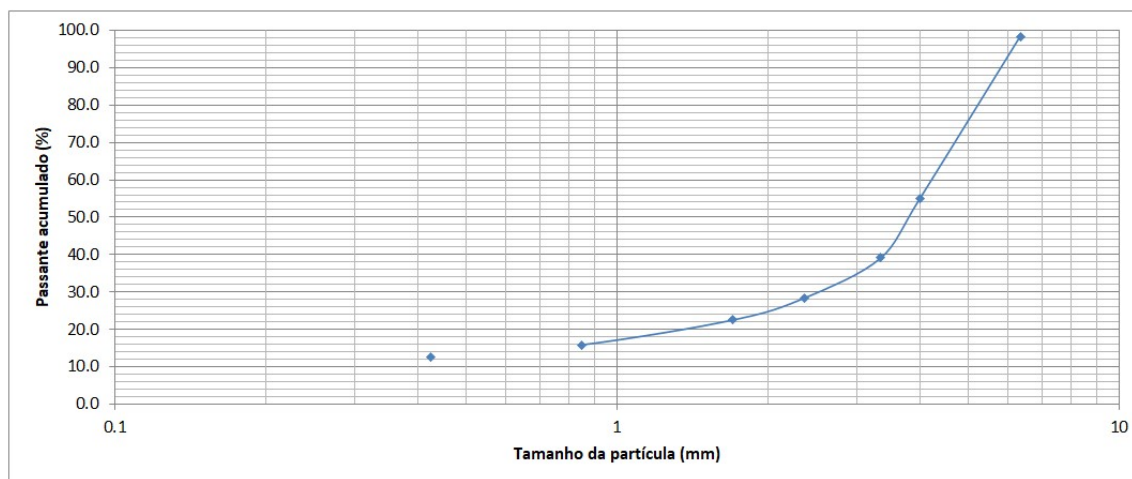


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Mauricio Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 09/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-13 (PILHA SAT 4-3)
Peso amostra (g):	502.84
Peso inicial (g):	46.8726
Peso final (g):	46.3252
LCPC:	1089
Britabilidade (Norma Francesa):	78
Britabilidade (Metso):	0.22
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	8	1.6	98.4	1.6
5	4	215.5	43.5	54.9	45.1
6	3.35	78.1	15.8	39.1	60.9
8	2.36	53.1	10.7	28.4	71.6
12	1.7	29.2	5.9	22.5	77.5
20	0.85	33	6.7	15.8	84.2
40	0.425	16.5	3.3	12.5	87.5
	-0.425	61.9	12.5	0.0	100.0
Total		495.3	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

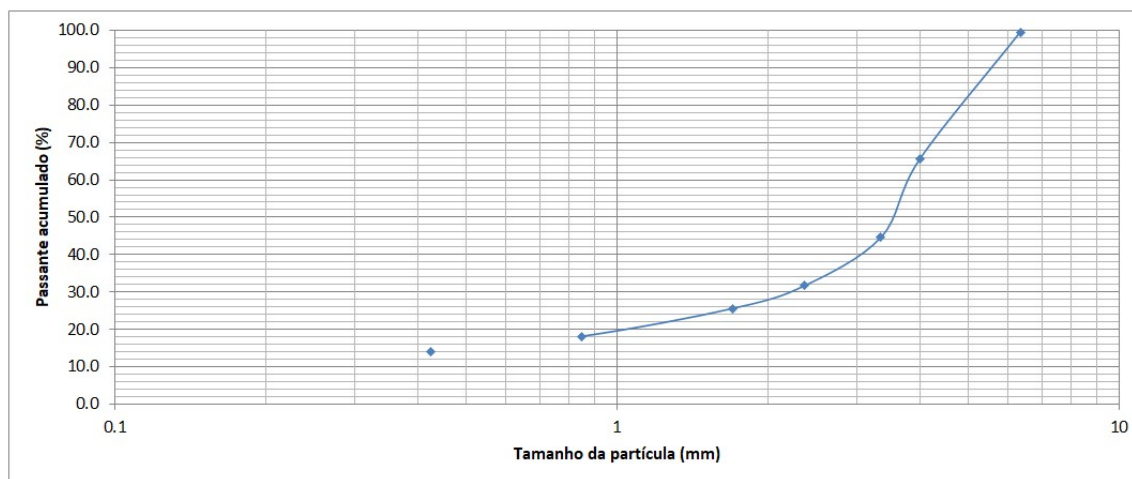


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 05/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-14 (PILHA SAT6-1)
Peso amostra (g):	505.97
Peso inicial (g):	45.7187
Peso final (g):	45.2222
LCPC:	981
Britabilidade (Norma Francesa):	75
Britabilidade (Metso):	0.25
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	2.5	0.5	99.5	0.5
5	4	171.4	34.0	65.5	34.5
6	3.35	105	20.8	44.6	55.4
8	2.36	65.1	12.9	31.7	68.3
12	1.7	30.6	6.1	25.6	74.4
20	0.85	37.6	7.5	18.1	81.9
40	0.425	21.3	4.2	13.9	86.1
	-0.425	70.1	13.9	0.0	100.0
Total		503.6	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

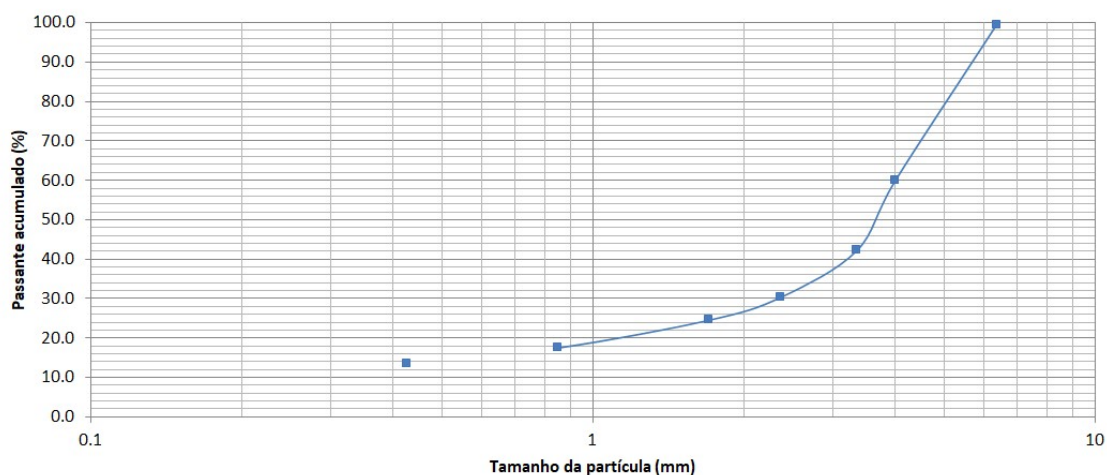


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 05/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-15 (PILHA SAT6-2)
Peso amostra (g):	500.00
Peso inicial (g):	46.5772
Peso final (g):	46.0940
LCPC:	966
Britabilidade (Norma Francesa):	75
Britabilidade (Metso):	0.25
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	3.1	0.6	99.4	0.6
5	4	196.6	39.3	60.1	39.9
6	3.35	89.3	17.8	42.3	57.7
8	2.36	59.5	11.9	30.4	69.6
12	1.7	28.9	5.8	24.6	75.4
20	0.85	35.3	7.1	17.5	82.5
40	0.425	19.8	4.0	13.6	86.4
	-0.425	68	13.6	0.0	100.0
Total		500.5	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

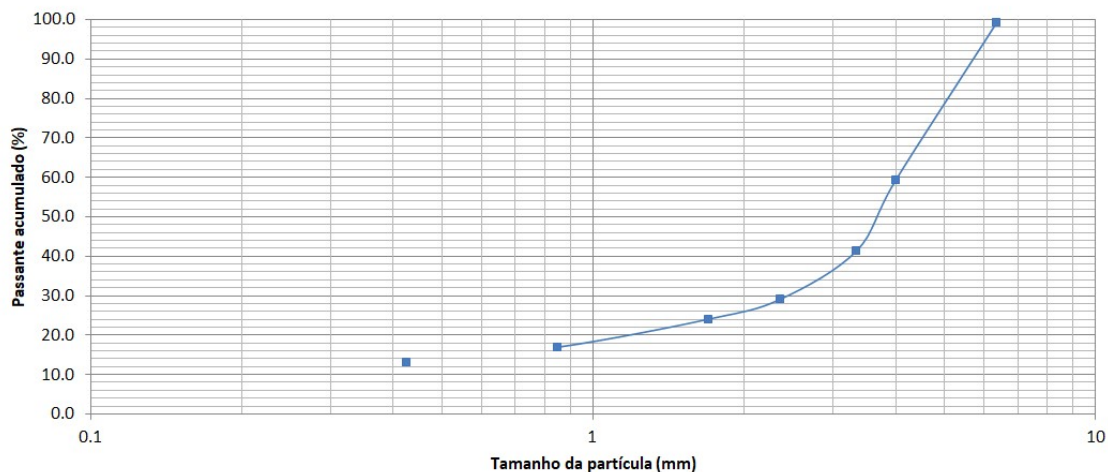


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 05/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-16 (PILHA SAT6-3)
Peso amostra (g):	500.00
Peso inicial (g):	45.7040
Peso final (g):	45.2188
LCPC:	970
Britabilidade (Norma Francesa):	76
Britabilidade (Metso):	0.24
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	4.6	0.9	99.1	0.9
5	4	202.2	39.9	59.2	40.8
6	3.35	90.4	17.8	41.4	58.6
8	2.36	62.6	12.3	29.1	70.9
12	1.7	25.7	5.1	24.0	76.0
20	0.85	36.2	7.1	16.9	83.1
40	0.425	19.3	3.8	13.1	86.9
	-0.425	66.3	13.1	0.0	100.0
Total		507.3	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

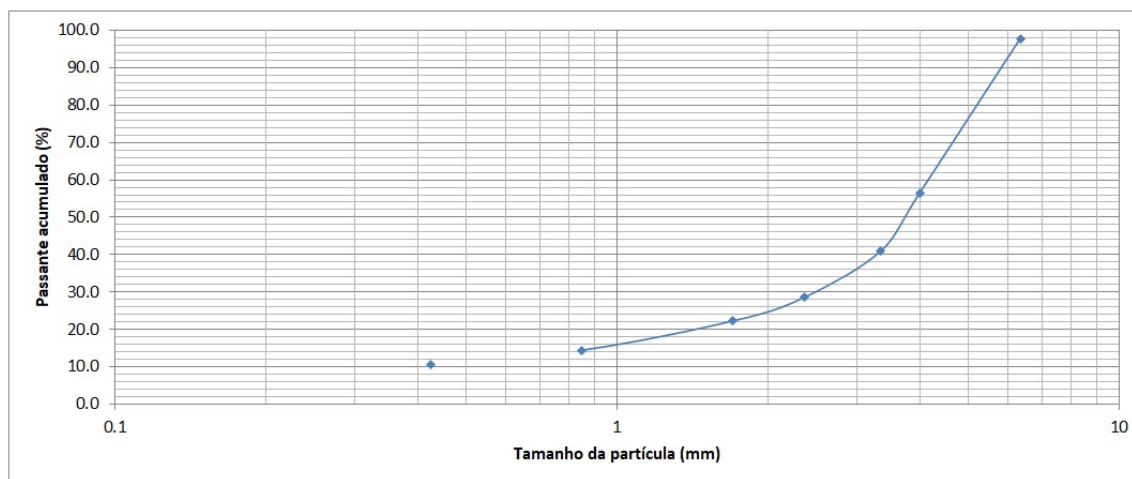


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 05/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-17 (PILHA SAT8-1)
Peso amostra (g):	504.88
Peso inicial (g):	46.4874
Peso final (g):	45.8294
LCPC:	1303
Britabilidade (Norma Francesa):	78
Britabilidade (Metso):	0.22
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	11.5	2.3	97.7	2.3
5	4	207.9	41.3	56.4	43.6
6	3.35	77.8	15.5	41.0	59.0
8	2.36	62.3	12.4	28.6	71.4
12	1.7	31.9	6.3	22.2	77.8
20	0.85	39.4	7.8	14.4	85.6
40	0.425	18.7	3.7	10.7	89.3
	-0.425	53.9	10.7	0.0	100.0
Total		503.4	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

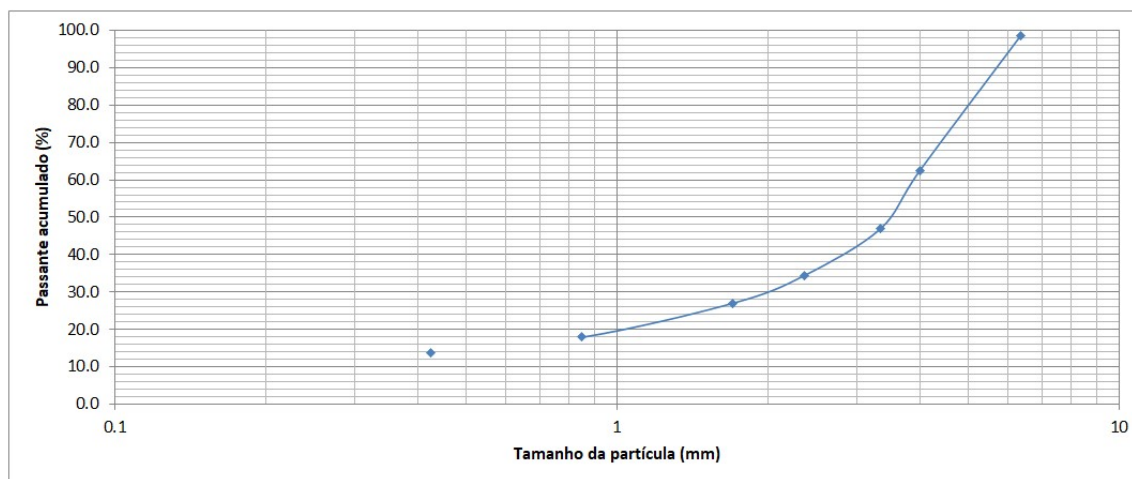


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 05/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-18 (PILHA SAT8-2)
Peso amostra (g):	505.15
Peso inicial (g):	46.5873
Peso final (g):	46.1610
LCPC:	844
Britabilidade (Norma Francesa):	73
Britabilidade (Metso):	0.27
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	7.7	1.5	98.5	1.5
5	4	180.8	36.0	62.4	37.6
6	3.35	77.2	15.4	47.1	52.9
8	2.36	63.2	12.6	34.5	65.5
12	1.7	37.3	7.4	27.0	73.0
20	0.85	45.9	9.1	17.9	82.1
40	0.425	20.6	4.1	13.8	86.2
	-0.425	69.2	13.8	0.0	100.0
Total		501.9	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

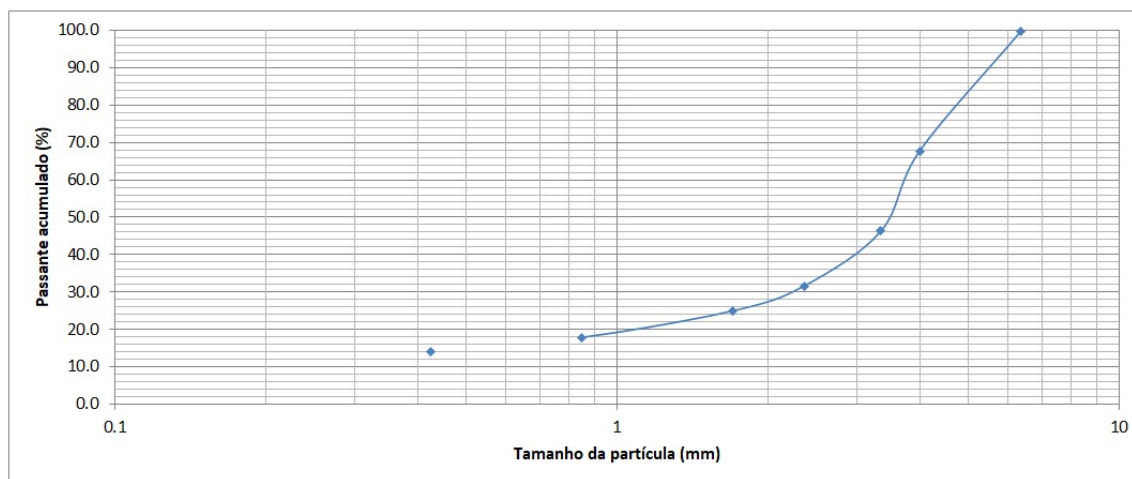


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 05/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-19 (SOS FASE 3-1)
Peso amostra (g):	506.33
Peso inicial (g):	46.0369
Peso final (g):	45.6252
LCPC:	813
Britabilidade (Norma Francesa):	75
Britabilidade (Metso):	0.25
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	2	0.4	99.6	0.4
5	4	160.9	31.9	67.7	32.3
6	3.35	108.2	21.4	46.3	53.7
8	2.36	73.8	14.6	31.6	68.4
12	1.7	33.9	6.7	24.9	75.1
20	0.85	36	7.1	17.8	82.2
40	0.425	18.7	3.7	14.1	85.9
	-0.425	71	14.1	0.0	100.0
Total		504.5	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

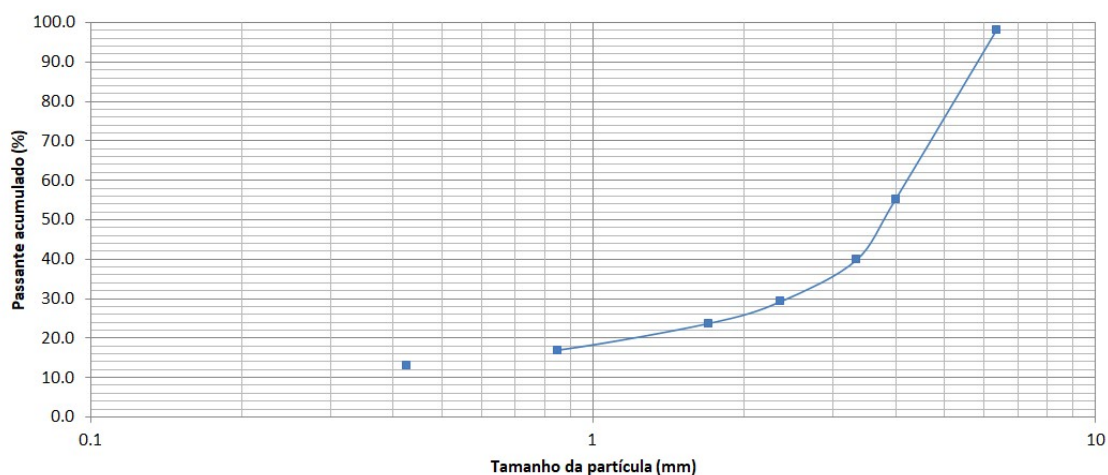


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM - 05/04/2019
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-20 (SOS FASE 3-2)
Peso amostra (g):	500.00
Peso inicial (g):	46.1370
Peso final (g):	45.6948
LCPC:	884
Britabilidade (Norma Francesa):	76
Britabilidade (Metso):	0.24
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	10.1	2.0	98.0	2.0
5	4	214.9	42.8	55.2	44.8
6	3.35	77	15.3	39.9	60.1
8	2.36	53.5	10.7	29.2	70.8
12	1.7	27.8	5.5	23.7	76.3
20	0.85	34.1	6.8	16.9	83.1
40	0.425	18.9	3.8	13.1	86.9
	-0.425	65.8	13.1	0.0	100.0
Total		502.1	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

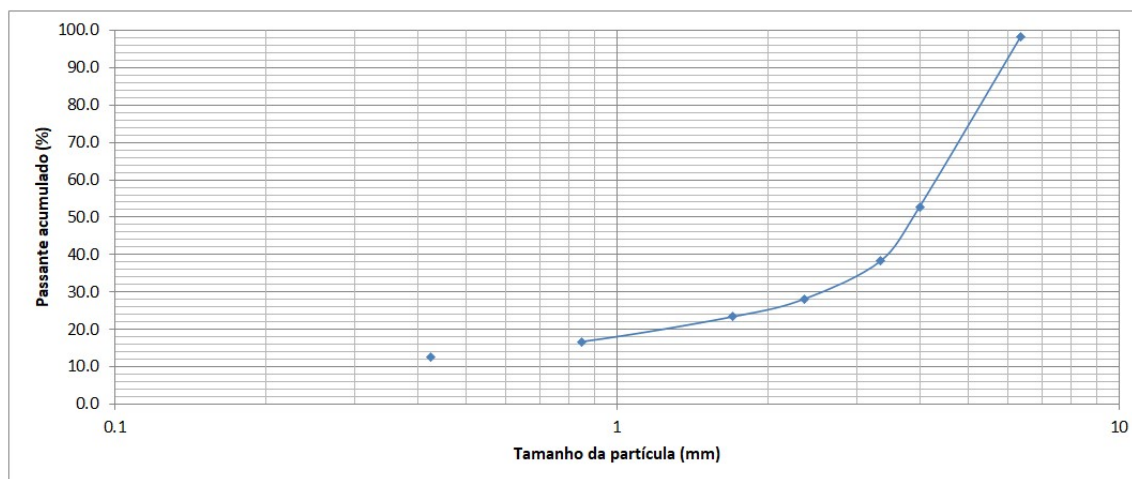


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-21 (SOS FASE 3-3)
Peso amostra (g):	500.00
Peso inicial (g):	46.9549
Peso final (g):	46.4979
LCPC:	914
Britabilidade (Norma Francesa):	77
Britabilidade (Metso):	0.23
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	9	1.8	98.2	1.8
5	4	226.9	45.4	52.8	47.2
6	3.35	72.4	14.5	38.3	61.7
8	2.36	51	10.2	28.1	71.9
12	1.7	23.9	4.8	23.4	76.6
20	0.85	33.5	6.7	16.7	83.3
40	0.425	19.7	3.9	12.7	87.3
	-0.425	63.6	12.7	0.0	100.0
Total		500.00	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

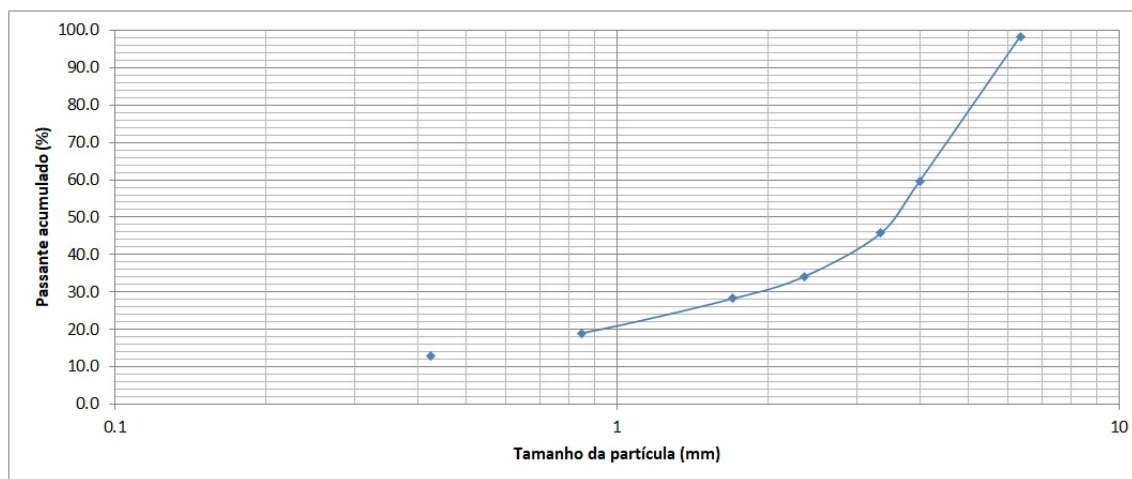


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-22 (AMPT 43/44)
Peso amostra (g):	495.90
Peso inicial (g):	45.9887
Peso final (g):	45.2437
LCPC:	1502
Britabilidade (Norma Francesa):	72
Britabilidade (Metso):	0.28
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	8.1	1.6	98.4	1.6
5	4	192	38.7	59.6	40.4
6	3.35	69.1	13.9	45.7	54.3
8	2.36	57.4	11.6	34.1	65.9
12	1.7	29.4	5.9	28.2	71.8
20	0.85	45.8	9.2	19.0	81.0
40	0.425	30.6	6.2	12.8	87.2
	-0.425	63.5	12.8	0.0	100.0
Total		495.90	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

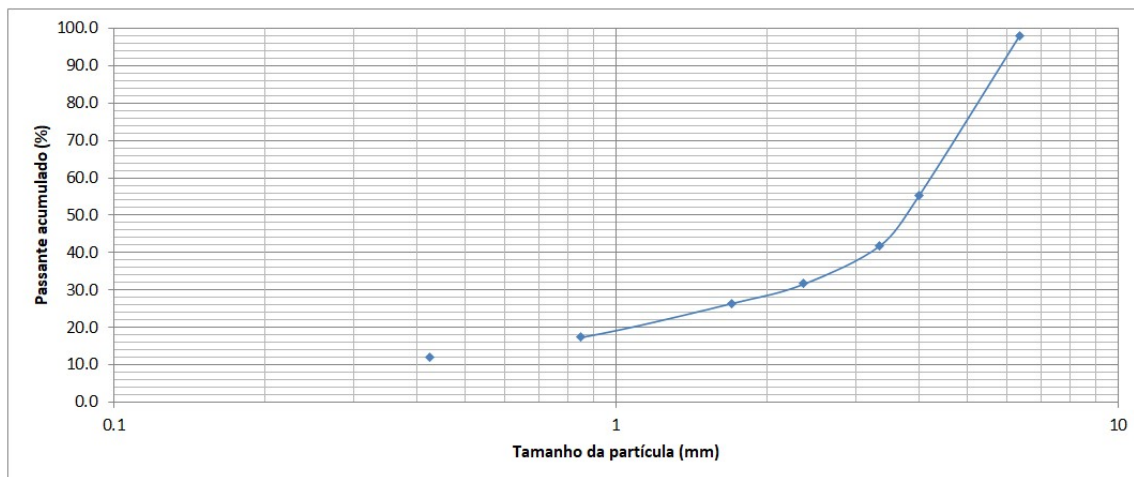


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-23 (AMPT 45/46)
Peso amostra (g):	497.00
Peso inicial (g):	45.7452
Peso final (g):	45.0360
LCPC:	1427
Britabilidade (Norma Francesa):	74
Britabilidade (Metso):	0.26
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	10.1	2.0	98.0	2.0
5	4	212.8	42.8	55.2	44.8
6	3.35	65.8	13.2	41.9	58.1
8	2.36	51	10.3	31.6	68.4
12	1.7	25.7	5.2	26.5	73.5
20	0.85	45.1	9.1	17.4	82.6
40	0.425	26.4	5.3	12.1	87.9
	-0.425	60.1	12.1	0.0	100.0
Total		497.00	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

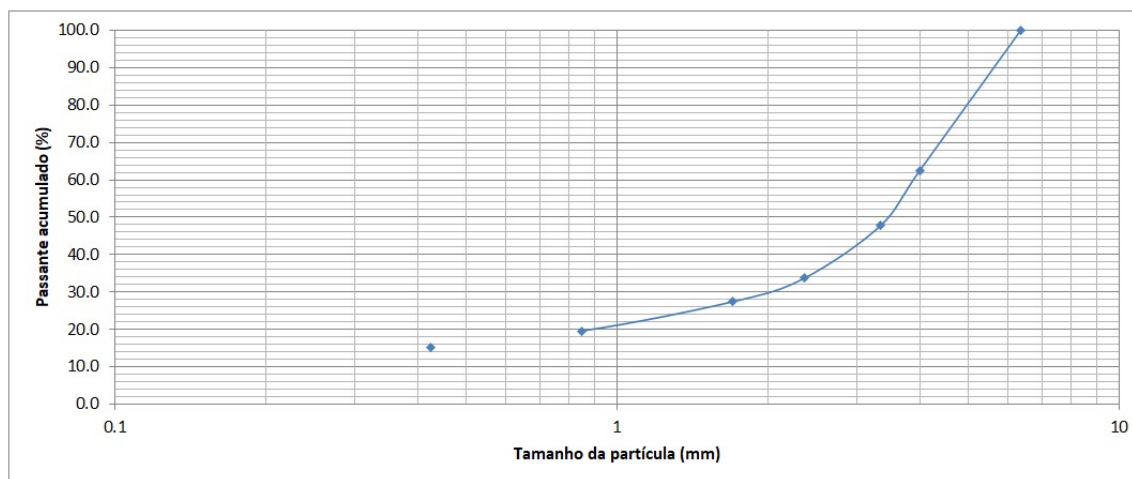


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-24 (AMPT 47/48)
Peso amostra (g):	495.90
Peso inicial (g):	45.6001
Peso final (g):	45.2192
LCPC:	768
Britabilidade (Norma Francesa):	73
Britabilidade (Metso):	0.27
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35		0.0	100.0	0.0
5	4	186.1	37.5	62.5	37.5
6	3.35	72.5	14.6	47.9	52.1
8	2.36	70.2	14.2	33.7	66.3
12	1.7	31.4	6.3	27.4	72.6
20	0.85	39	7.9	19.5	80.5
40	0.425	21.1	4.3	15.2	84.8
	-0.425	75.6	15.2	0.0	100.0
Total		495.90	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

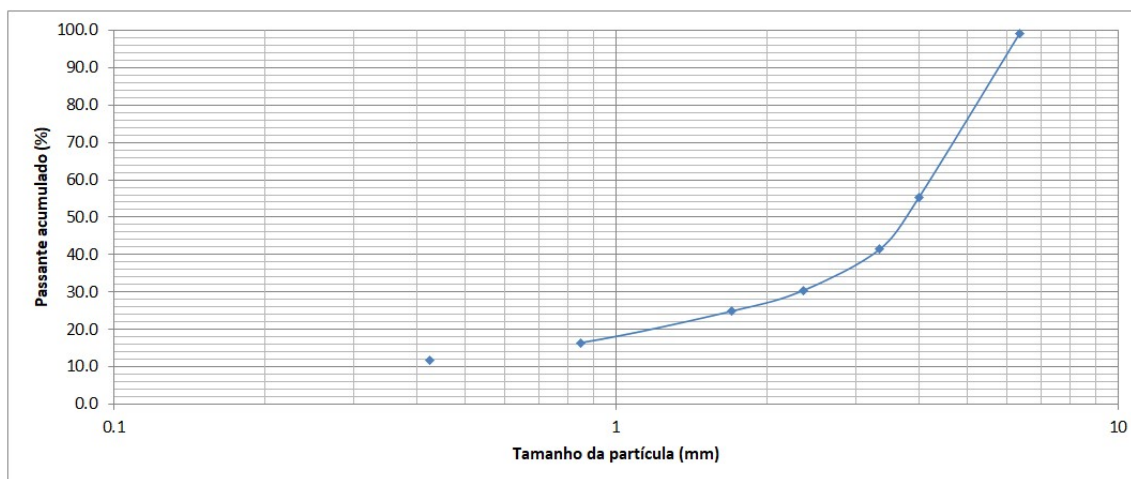


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-25 (AMPT 49/50)
Peso amostra (g):	496.00
Peso inicial (g):	45.7299
Peso final (g):	45.1332
LCPC:	1203
Britabilidade (Norma Francesa):	75
Britabilidade (Metso):	0.25
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	4.6	0.9	99.1	0.9
5	4	217.6	43.9	55.2	44.8
6	3.35	68.1	13.7	41.5	58.5
8	2.36	54.7	11.0	30.4	69.6
12	1.7	27.6	5.6	24.9	75.1
20	0.85	42	8.5	16.4	83.6
40	0.425	23.2	4.7	11.7	88.3
	-0.425	58.2	11.7	0.0	100.0
Total		496.00	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

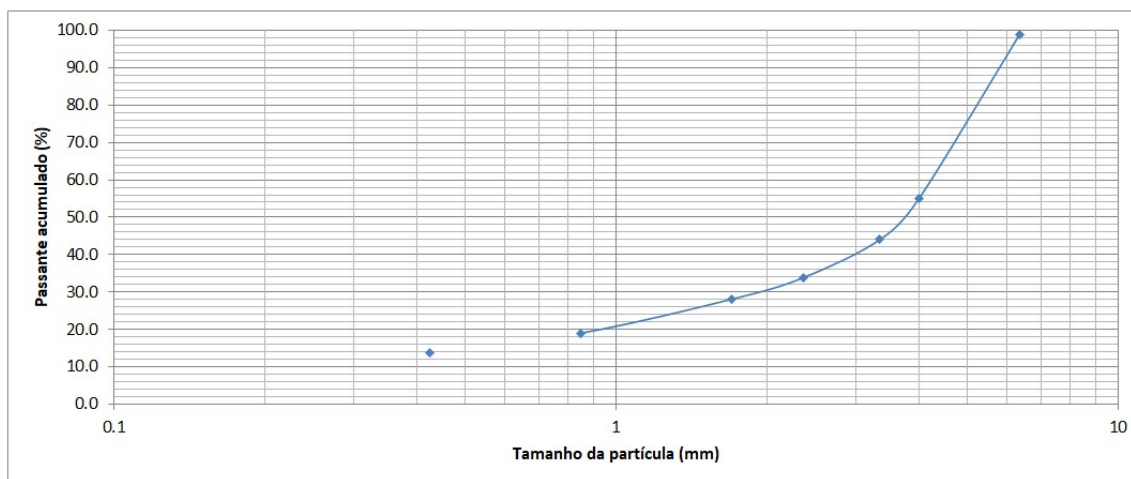


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-26 (AMPT 51/52)
Peso amostra (g):	494.70
Peso inicial (g):	45.4087
Peso final (g):	44.7720
LCPC:	1287
Britabilidade (Norma Francesa):	72
Britabilidade (Metso):	0.28
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	5.9	1.2	98.8	1.2
5	4	217.2	43.9	54.9	45.1
6	3.35	53.8	10.9	44.0	56.0
8	2.36	50.1	10.1	33.9	66.1
12	1.7	28.6	5.8	28.1	71.9
20	0.85	45	9.1	19.0	81.0
40	0.425	26.1	5.3	13.7	86.3
	-0.425	68	13.7	0.0	100.0
Total		494.70	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

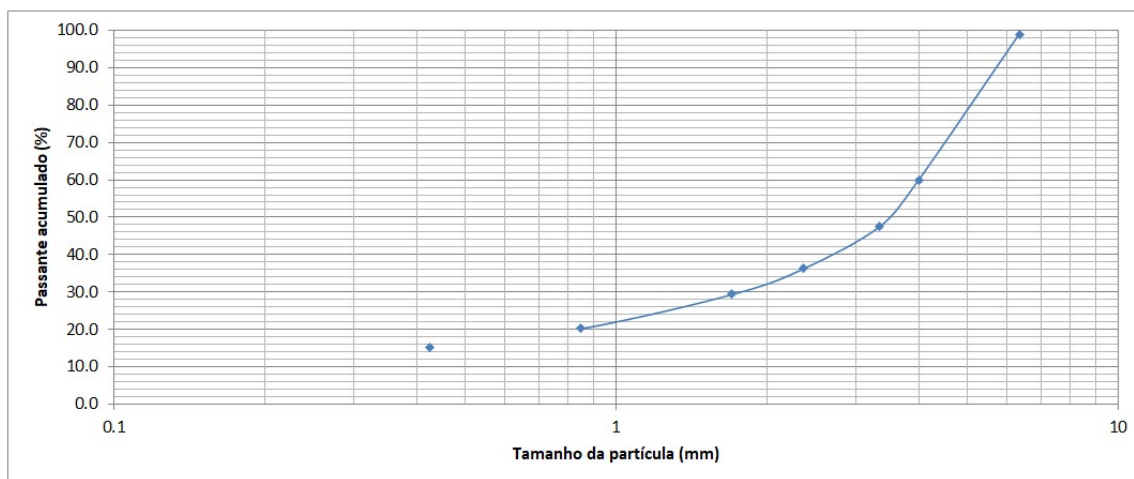


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-27 (AMPT 53/54)
Peso amostra (g):	495.20
Peso inicial (g):	45.9357
Peso final (g):	45.5153
LCPC:	849
Britabilidade (Norma Francesa):	71
Britabilidade (Metso):	0.29
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	5	1.0	99.0	1.0
5	4	193	39.0	60.0	40.0
6	3.35	61.5	12.4	47.6	52.4
8	2.36	56.1	11.3	36.3	63.7
12	1.7	34.1	6.9	29.4	70.6
20	0.85	45.3	9.1	20.2	79.8
40	0.425	24.5	4.9	15.3	84.7
	-0.425	75.7	15.3	0.0	100.0
Total		495.20	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

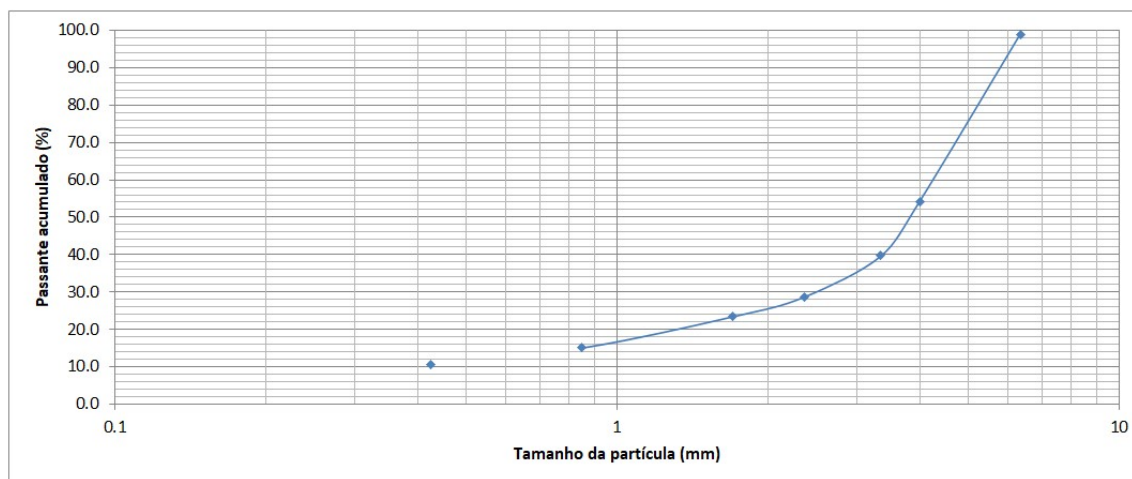


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-28 (AMPT 55/56)
Peso amostra (g):	495.20
Peso inicial (g):	46.5700
Peso final (g):	45.9317
LCPC:	1289
Britabilidade (Norma Francesa):	77
Britabilidade (Metso):	0.23
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	5.1	1.0	99.0	1.0
5	4	221.3	44.7	54.3	45.7
6	3.35	72.3	14.6	39.7	60.3
8	2.36	54.1	10.9	28.8	71.2
12	1.7	26.2	5.3	23.5	76.5
20	0.85	41.4	8.4	15.1	84.9
40	0.425	22.3	4.5	10.6	89.4
	-0.425	52.5	10.6	0.0	100.0
Total		495.20	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

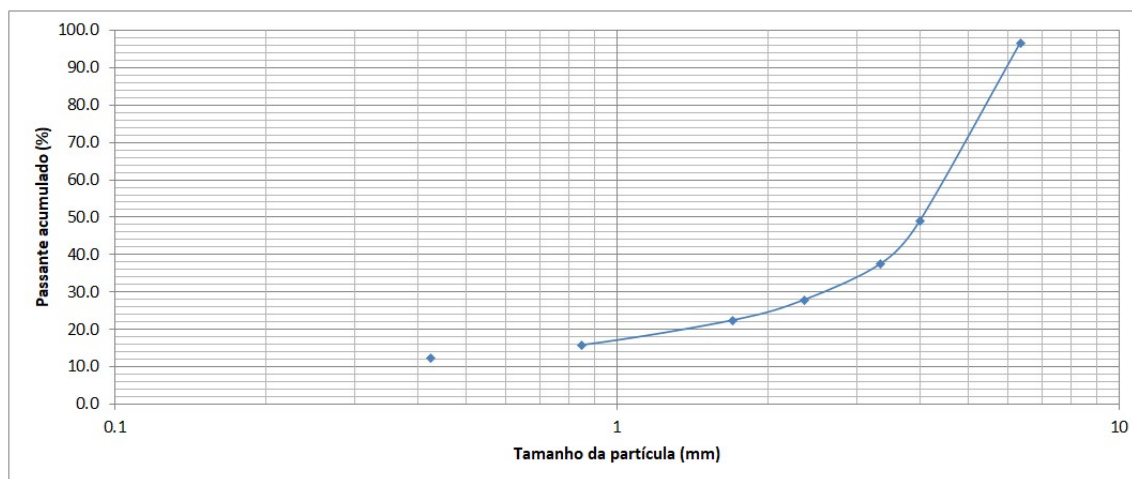


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-29 (AMPT 57/58)
Peso amostra (g):	497.70
Peso inicial (g):	46.0970
Peso final (g):	45.6740
LCPC:	850
Britabilidade (Norma Francesa):	78
Britabilidade (Metso):	0.22
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	17	3.4	96.6	3.4
5	4	237.4	47.7	48.9	51.1
6	3.35	56.4	11.3	37.6	62.4
8	2.36	48.1	9.7	27.9	72.1
12	1.7	27.3	5.5	22.4	77.6
20	0.85	33.1	6.7	15.8	84.2
40	0.425	17.2	3.5	12.3	87.7
	-0.425	61.2	12.3	0.0	100.0
Total		497.70	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

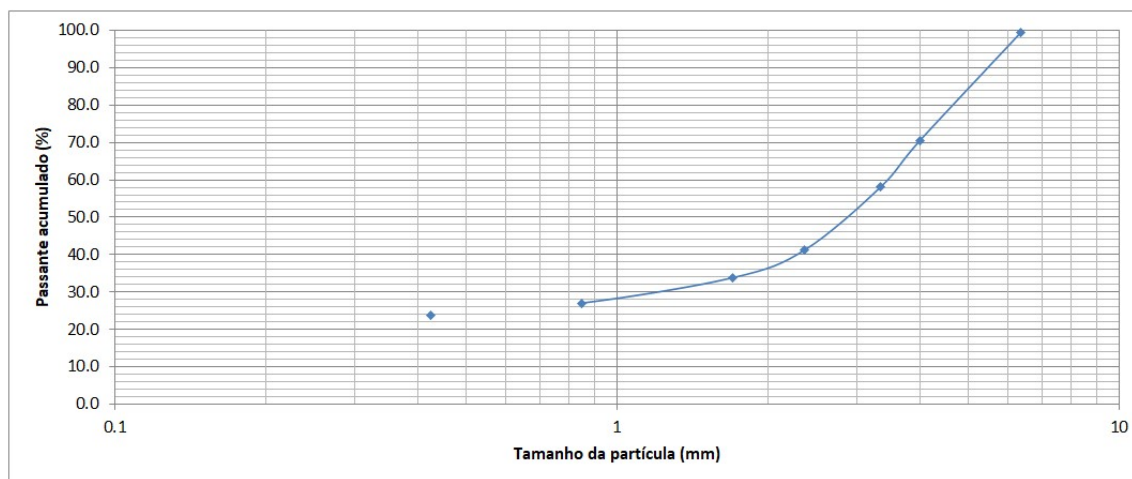


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-30 (AMPT 59/60)
Peso amostra (g):	497.90
Peso inicial (g):	45.4860
Peso final (g):	45.4367
LCPC:	99
Britabilidade (Norma Francesa):	66
Britabilidade (Metso):	0.34
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	2.9	0.6	99.4	0.6
5	4	143.9	28.9	70.5	29.5
6	3.35	61.2	12.3	58.2	41.8
8	2.36	84.5	17.0	41.3	58.7
12	1.7	36.9	7.4	33.8	66.2
20	0.85	34	6.8	27.0	73.0
40	0.425	16.5	3.3	23.7	76.3
	-0.425	118	23.7	0.0	100.0
Total		497.90	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

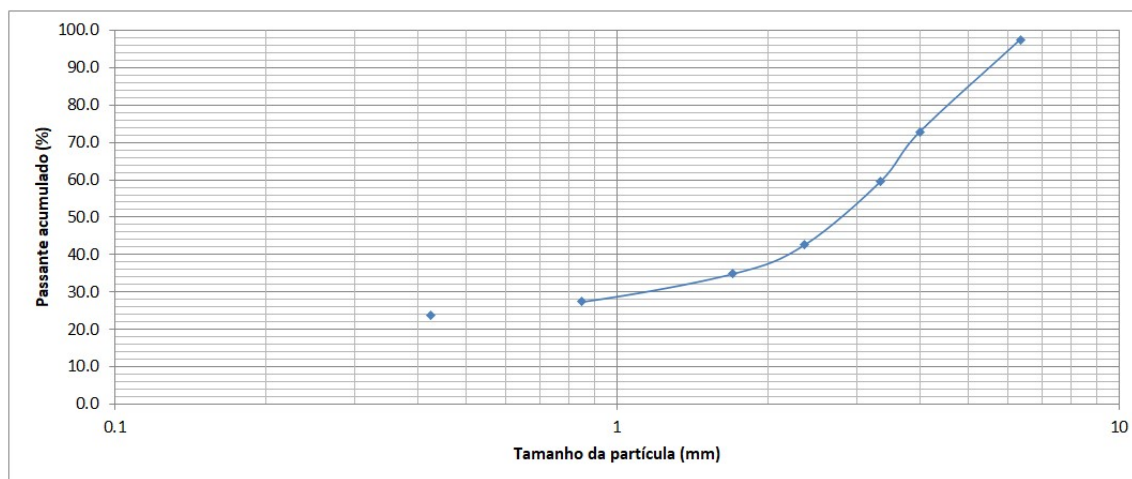


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-31 (AMPT 61/62)
Peso amostra (g):	498.70
Peso inicial (g):	45.7760
Peso final (g):	45.7605
LCPC:	31
Britabilidade (Norma Francesa):	65
Britabilidade (Metso):	0.35
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	12.7	2.5	97.5	2.5
5	4	123	24.7	72.8	27.2
6	3.35	65.3	13.1	59.7	40.3
8	2.36	85	17.0	42.7	57.3
12	1.7	38.6	7.7	34.9	65.1
20	0.85	37.4	7.5	27.4	72.6
40	0.425	18	3.6	23.8	76.2
	-0.425	118.7	23.8	0.0	100.0
Total		498.70	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

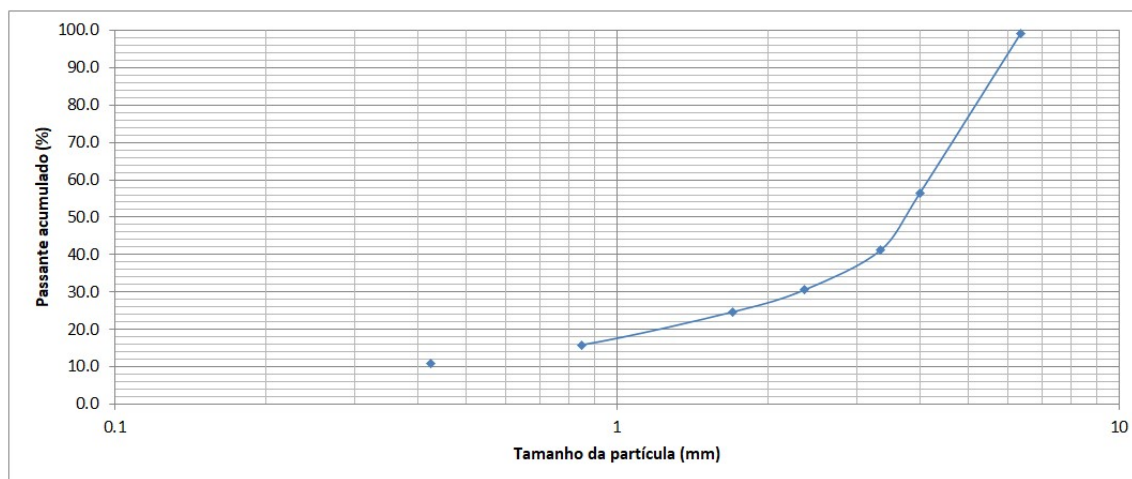


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-32 (AMPT 63/64)
Peso amostra (g):	499.40
Peso inicial (g):	45.9803
Peso final (g):	45.2916
LCPC:	1379
Britabilidade (Norma Francesa):	75
Britabilidade (Metso):	0.25
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	4.6	0.9	99.1	0.9
5	4	213.4	42.7	56.3	43.7
6	3.35	75.7	15.2	41.2	58.8
8	2.36	53.3	10.7	30.5	69.5
12	1.7	29.5	5.9	24.6	75.4
20	0.85	44.3	8.9	15.7	84.3
40	0.425	24.7	4.9	10.8	89.2
	-0.425	53.9	10.8	0.0	100.0
Total		499.40	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

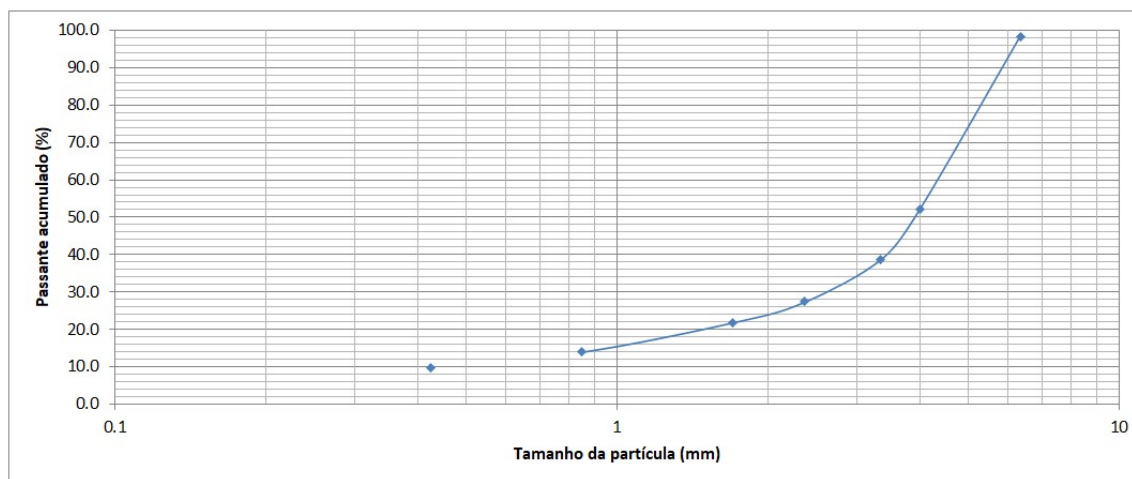


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-33 (AMPT 65/66)
Peso amostra (g):	500.10
Peso inicial (g):	45.3890
Peso final (g):	44.6914
LCPC:	1395
Britabilidade (Norma Francesa):	78
Britabilidade (Metso):	0.22
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	8.3	1.7	98.3	1.7
5	4	231.4	46.3	52.1	47.9
6	3.35	66.9	13.4	38.7	61.3
8	2.36	56.7	11.3	27.4	72.6
12	1.7	27.5	5.5	21.9	78.1
20	0.85	39.3	7.9	14.0	86.0
40	0.425	21.1	4.2	9.8	90.2
	-0.425	48.9	9.8	0.0	100.0
Total		500.10	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

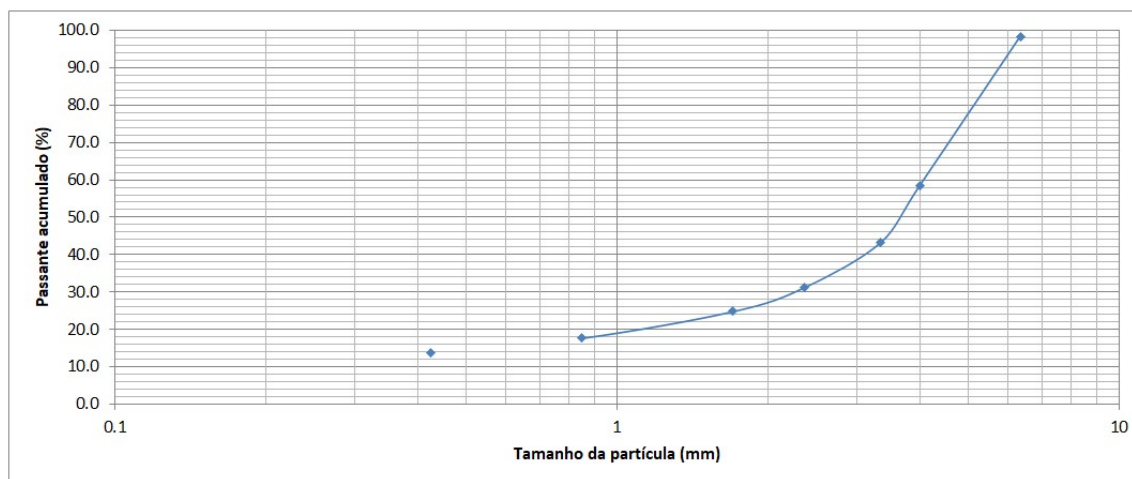


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-34 (AMPT 67/68)
Peso amostra (g):	498.40
Peso inicial (g):	46.2640
Peso final (g):	45.8613
LCPC:	808
Britabilidade (Norma Francesa):	75
Britabilidade (Metso):	0.25
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	8.4	1.7	98.3	1.7
5	4	198.6	39.8	58.5	41.5
6	3.35	75.5	15.1	43.3	56.7
8	2.36	60.1	12.1	31.3	68.7
12	1.7	32	6.4	24.8	75.2
20	0.85	35.6	7.1	17.7	82.3
40	0.425	19.3	3.9	13.8	86.2
	-0.425	68.9	13.8	0.0	100.0
Total		498.40	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

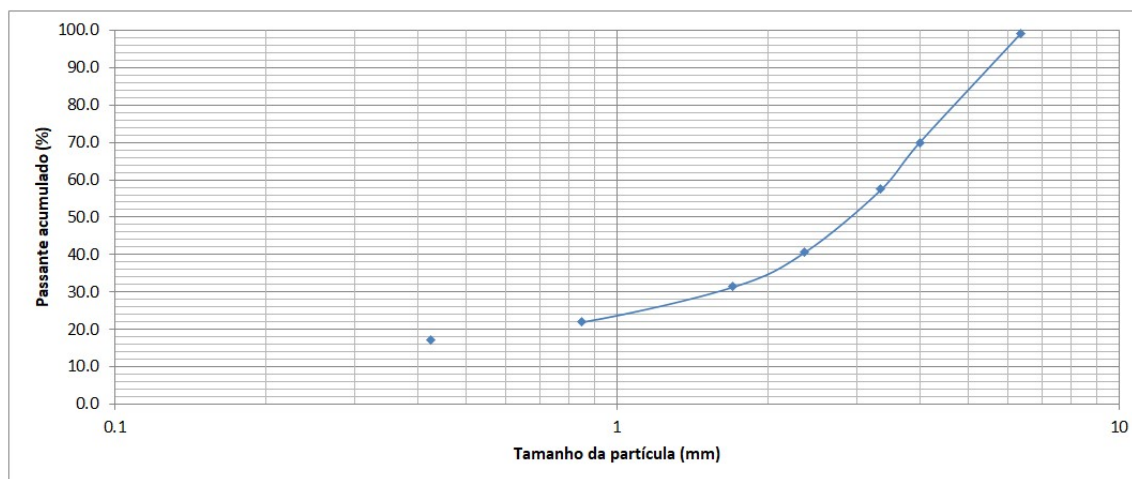


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-35 (AMPT 69/70)
Peso amostra (g):	498.80
Peso inicial (g):	45.8931
Peso final (g):	45.5659
LCPC:	656
Britabilidade (Norma Francesa):	69
Britabilidade (Metso):	0.31
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	4.6	0.9	99.1	0.9
5	4	144.8	29.0	70.0	30.0
6	3.35	62.8	12.6	57.5	42.5
8	2.36	83.7	16.8	40.7	59.3
12	1.7	46.1	9.2	31.4	68.6
20	0.85	46.9	9.4	22.0	78.0
40	0.425	23.7	4.8	17.3	82.7
	-0.425	86.2	17.3	0.0	100.0
Total		498.80	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

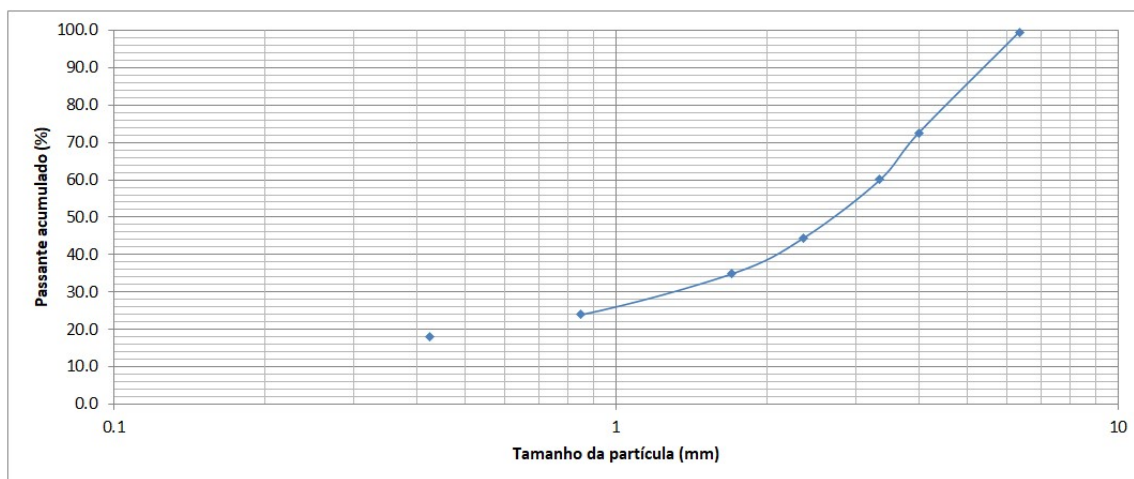


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-36 (AMPT 71/72)
Peso amostra (g):	499.50
Peso inicial (g):	45.2730
Peso final (g):	45.0707
LCPC:	405
Britabilidade (Norma Francesa):	65
Britabilidade (Metso):	0.35
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	2.4	0.5	99.5	0.5
5	4	134.8	27.0	72.5	27.5
6	3.35	62.5	12.5	60.0	40.0
8	2.36	77.6	15.5	44.5	55.5
12	1.7	47.7	9.5	34.9	65.1
20	0.85	54.8	11.0	24.0	76.0
40	0.425	29.3	5.9	18.1	81.9
	-0.425	90.4	18.1	0.0	100.0
Total		499.50	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

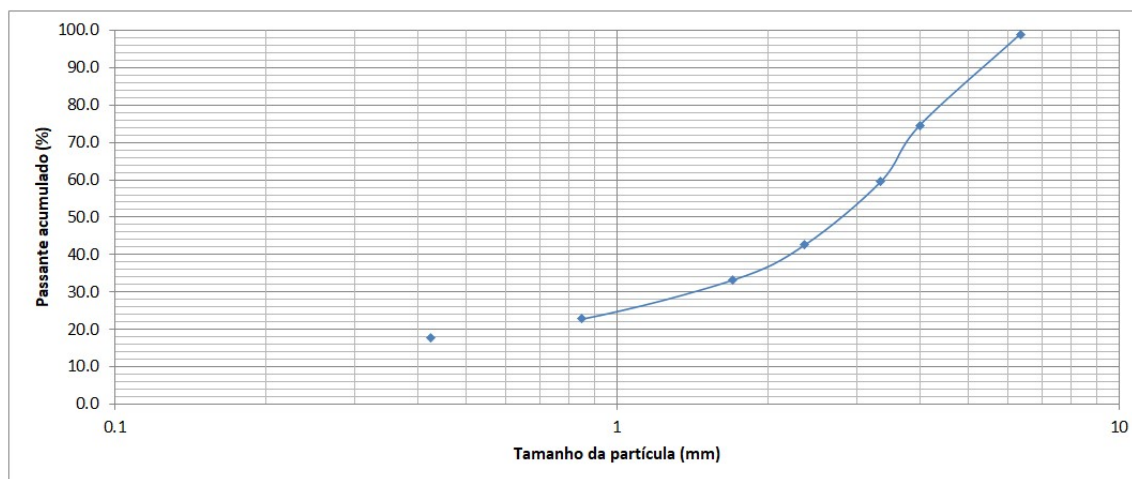


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-37 (AMPT 73/74)
Peso amostra (g):	498.50
Peso inicial (g):	45.4540
Peso final (g):	45.1125
LCPC:	685
Britabilidade (Norma Francesa):	67
Britabilidade (Metso):	0.33
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	5	1.0	99.0	1.0
5	4	121.8	24.4	74.6	25.4
6	3.35	74.5	14.9	59.6	40.4
8	2.36	84.8	17.0	42.6	57.4
12	1.7	46.6	9.3	33.3	66.7
20	0.85	52.2	10.5	22.8	77.2
40	0.425	25.5	5.1	17.7	82.3
	-0.425	88.1	17.7	0.0	100.0
Total		498.50	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

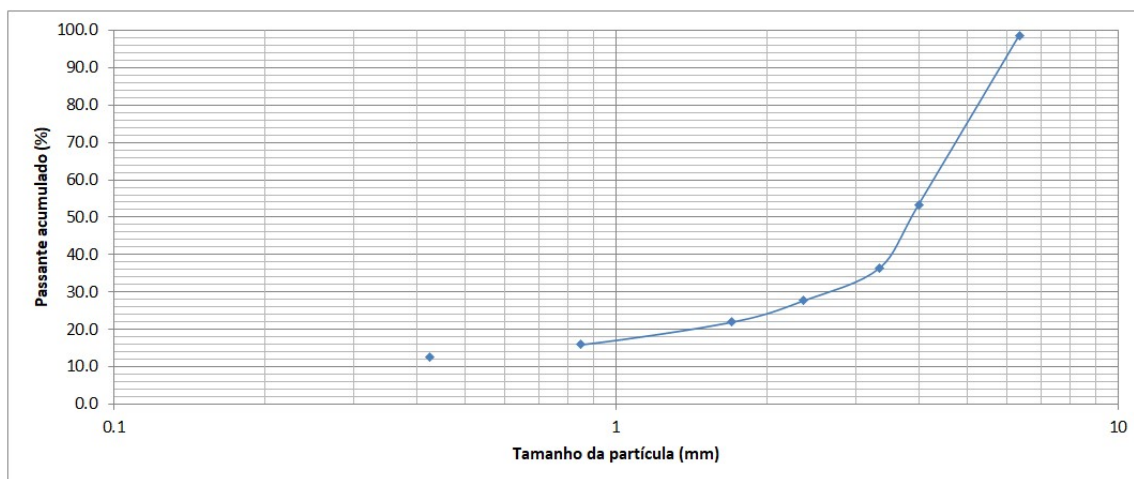


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-38 (AMPT 75/76)
Peso amostra (g):	499.10
Peso inicial (g):	45.3870
Peso final (g):	44.9508
LCPC:	874
Britabilidade (Norma Francesa):	78
Britabilidade (Metso):	0.22
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	7	1.4	98.6	1.4
5	4	225.6	45.2	53.4	46.6
6	3.35	84.5	16.9	36.5	63.5
8	2.36	43.9	8.8	27.7	72.3
12	1.7	28.6	5.7	21.9	78.1
20	0.85	30.2	6.1	15.9	84.1
40	0.425	17.2	3.4	12.4	87.6
	-0.425	62.1	12.4	0.0	100.0
Total		499.10	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

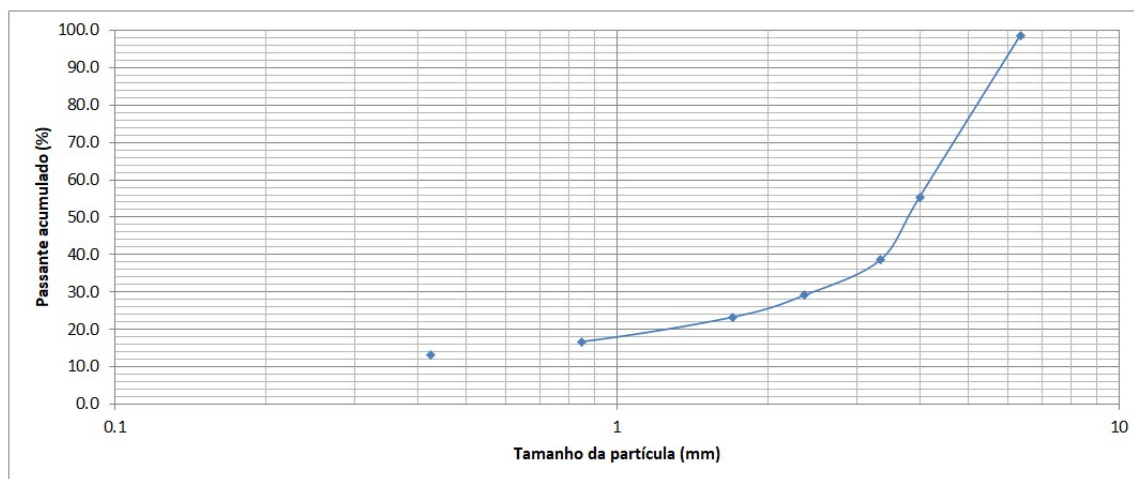


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-39 (AMPT 77/78)
Peso amostra (g):	496.50
Peso inicial (g):	45.7840
Peso final (g):	45.2691
LCPC:	1037
Britabilidade (Norma Francesa):	77
Britabilidade (Metso):	0.23
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	6.4	1.3	98.7	1.3
5	4	214.9	43.3	55.4	44.6
6	3.35	83.4	16.8	38.6	61.4
8	2.36	47.4	9.5	29.1	70.9
12	1.7	29.1	5.9	23.2	76.8
20	0.85	32.7	6.6	16.6	83.4
40	0.425	17.4	3.5	13.1	86.9
	-0.425	65.2	13.1	0.0	100.0
Total		496.50	100.0		





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais

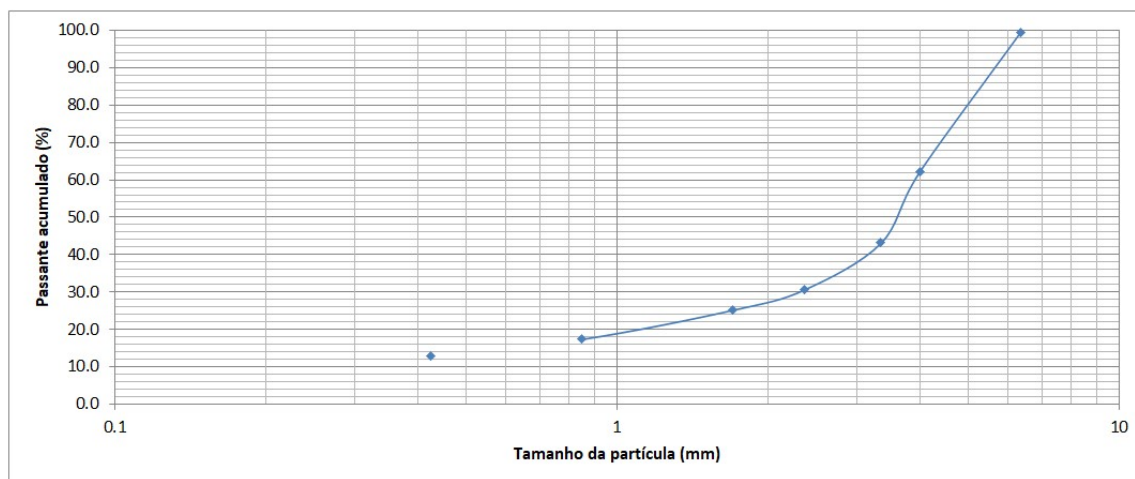


Ensaio para determinação do Índice LCPC

Responsável:	Petterson Barbosa / Maurício Bergerman
Local e Data:	USP/LTM
Projeto:	Mestrado Petterson Barbosa
Amostra:	AMPT-40 (NONE)
Peso amostra (g):	499.40
Peso inicial (g):	46.0040
Peso final (g):	45.5475
LCPC:	914
Britabilidade (Norma Francesa):	75
Britabilidade (Metso):	0.25
Observações:	Tal ensaio foi realizado na granulometria padrão -6,3mm + 4mm, com o aparelho ligado por um tempo de 5 min (tempo padrão de ensaio).

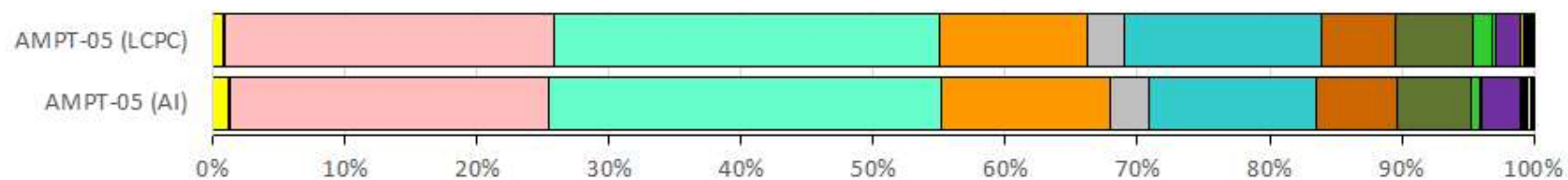
Distribuição granulométrica do produto

Malha (Mesh US)	Abertura (mm)	Peso retido (g)	Peso retido (%)	Passante acumulado (%)	Retido acumulado (%)
1/4"	6.35	3.4	0.7	99.3	0.7
5	4	186	37.2	62.1	37.9
6	3.35	94.7	19.0	43.1	56.9
8	2.36	62.1	12.4	30.7	69.3
12	1.7	27.3	5.5	25.2	74.8
20	0.85	38.9	7.8	17.4	82.6
40	0.425	22.6	4.5	12.9	87.1
	-0.425	64.4	12.9	0.0	100.0
Total		499.40	100.0		



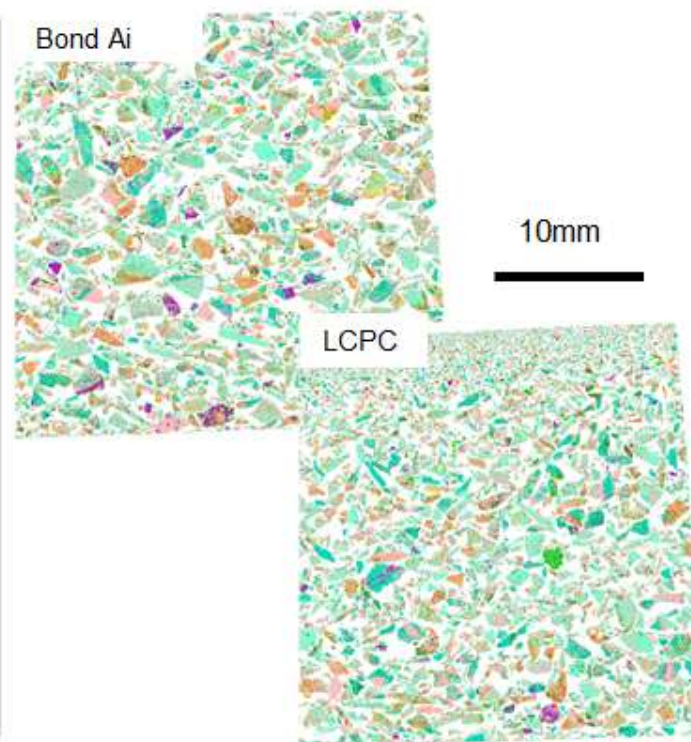
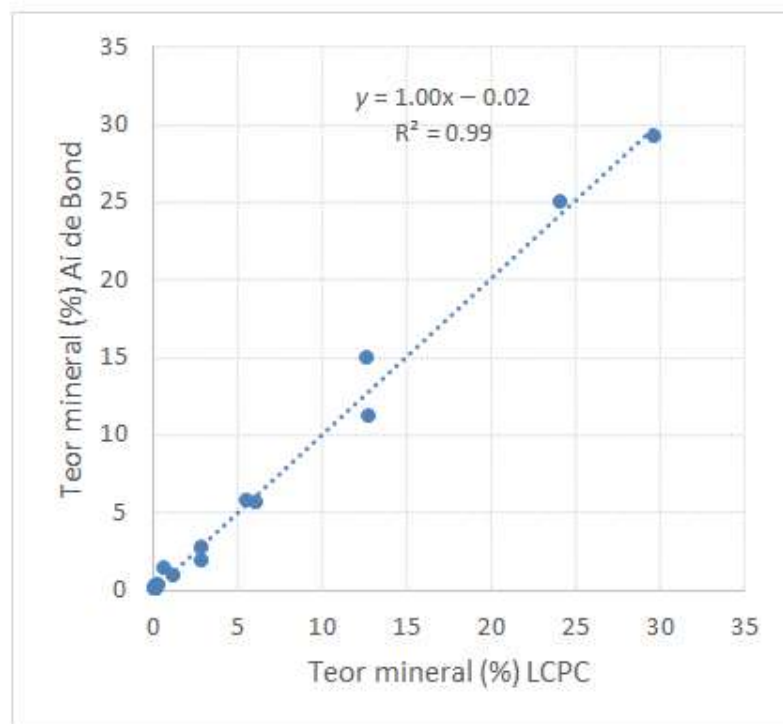
APÊNDICE B – Quadros resumos das análises mineralógicas pelo QEMSCAN®.

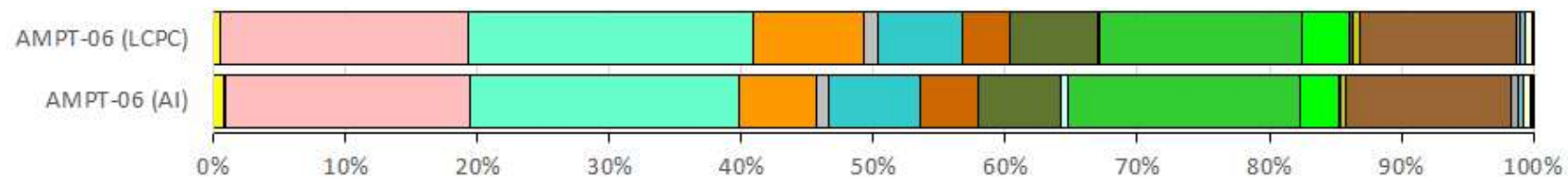
- Amostra por amostra a partir da AMPT-05:



Minerais

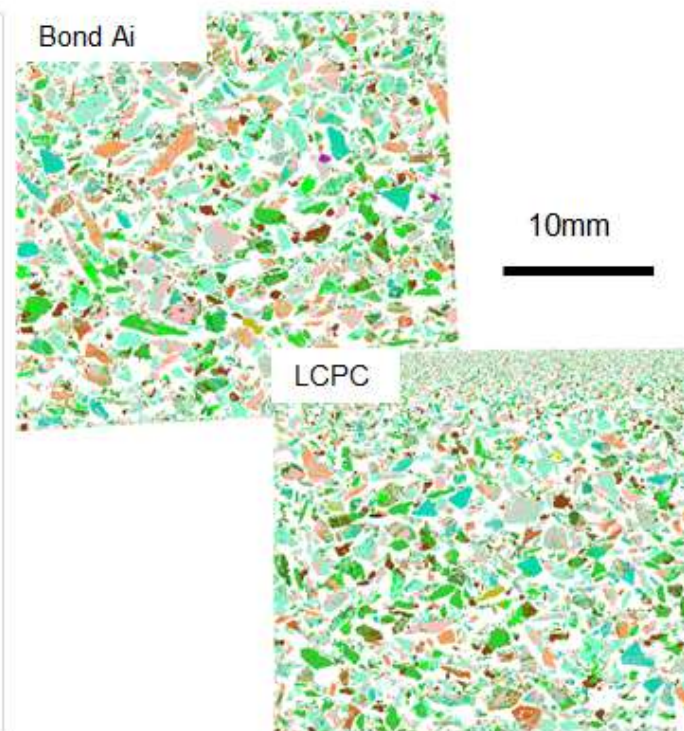
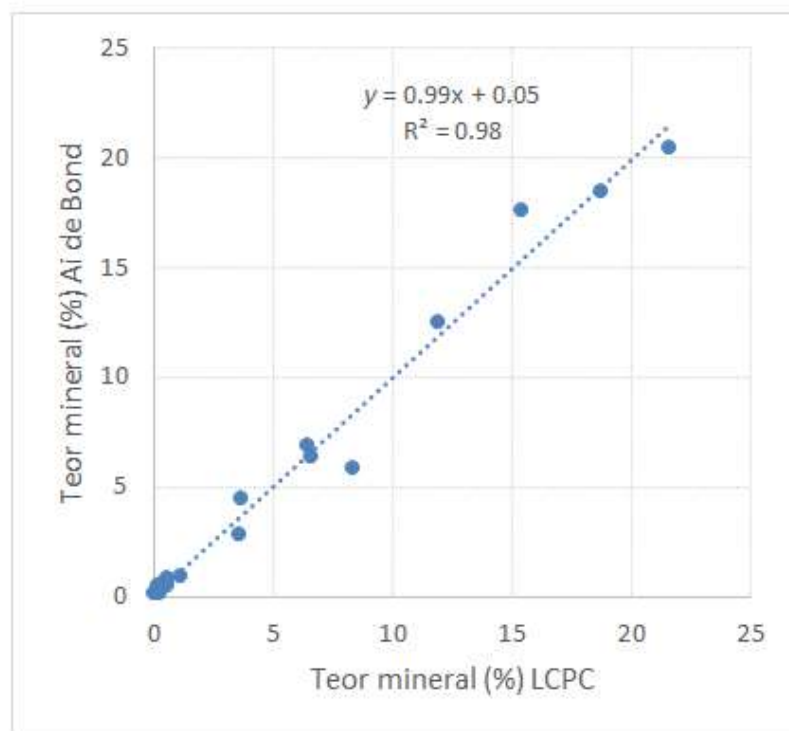
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

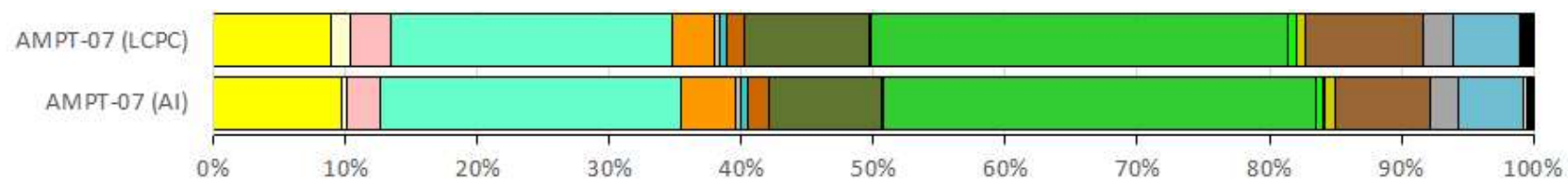




Minerais

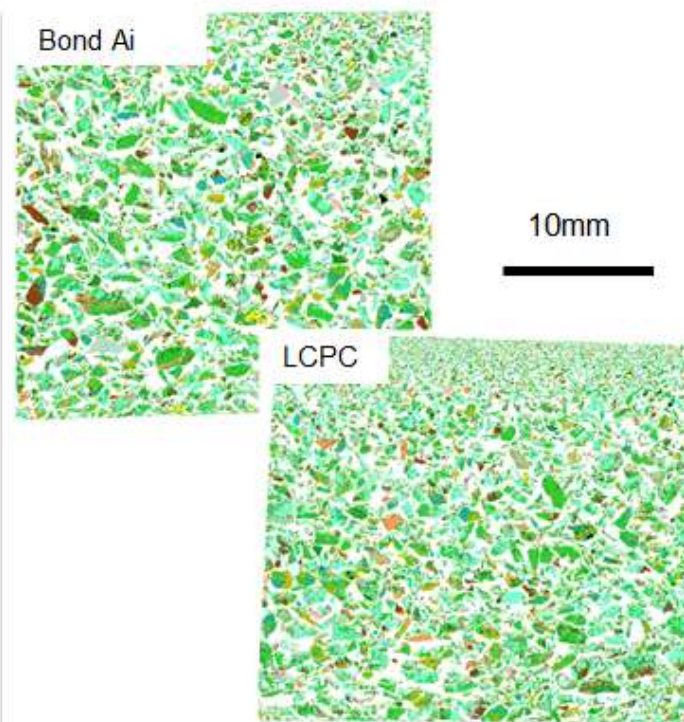
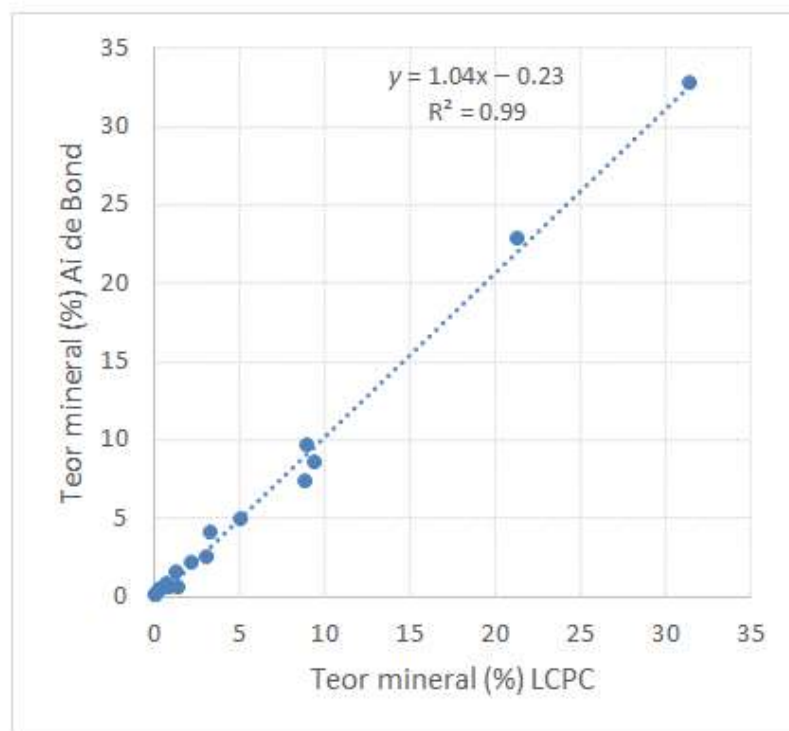
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

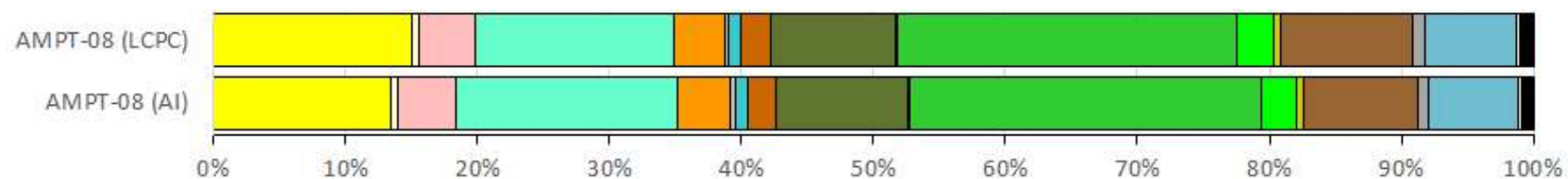




Minerais

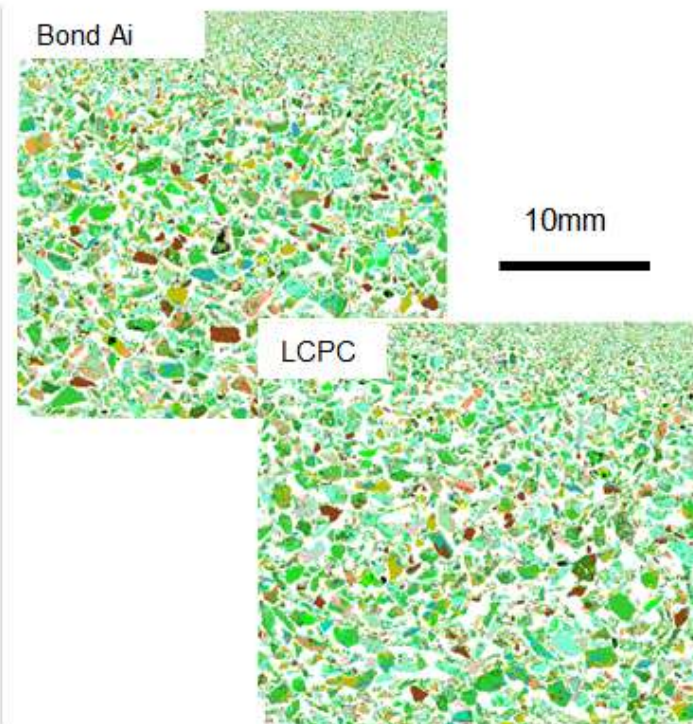
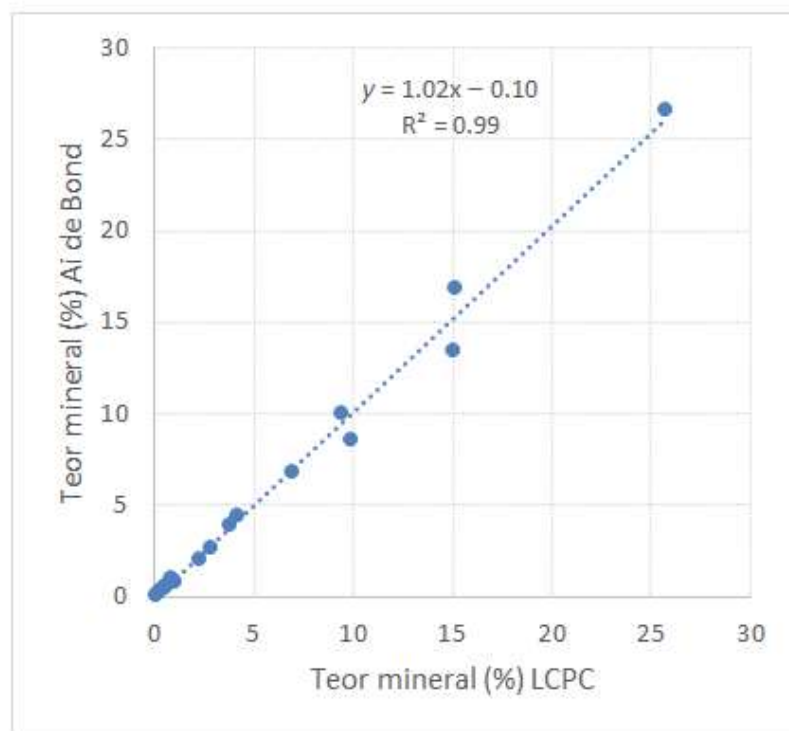
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

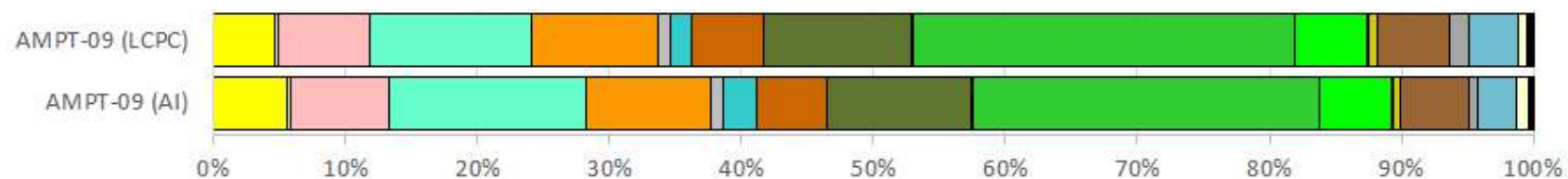




Minerais

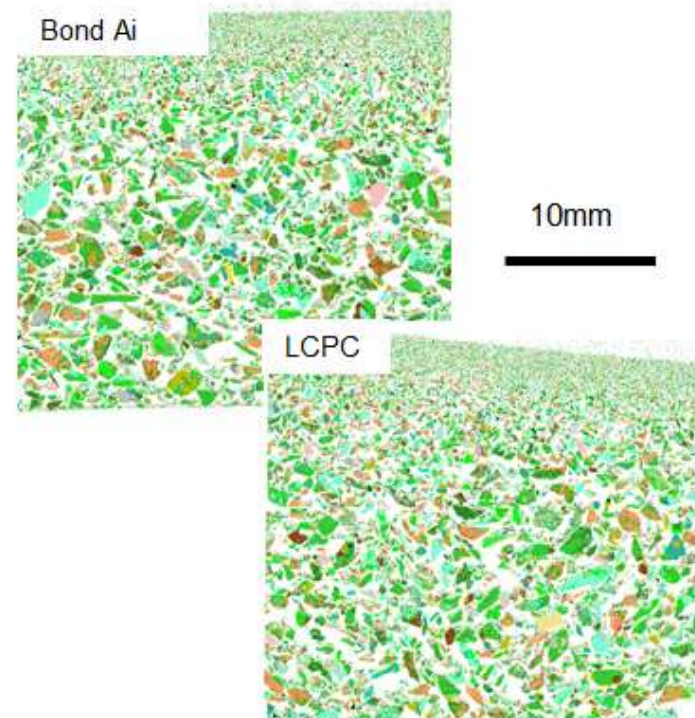
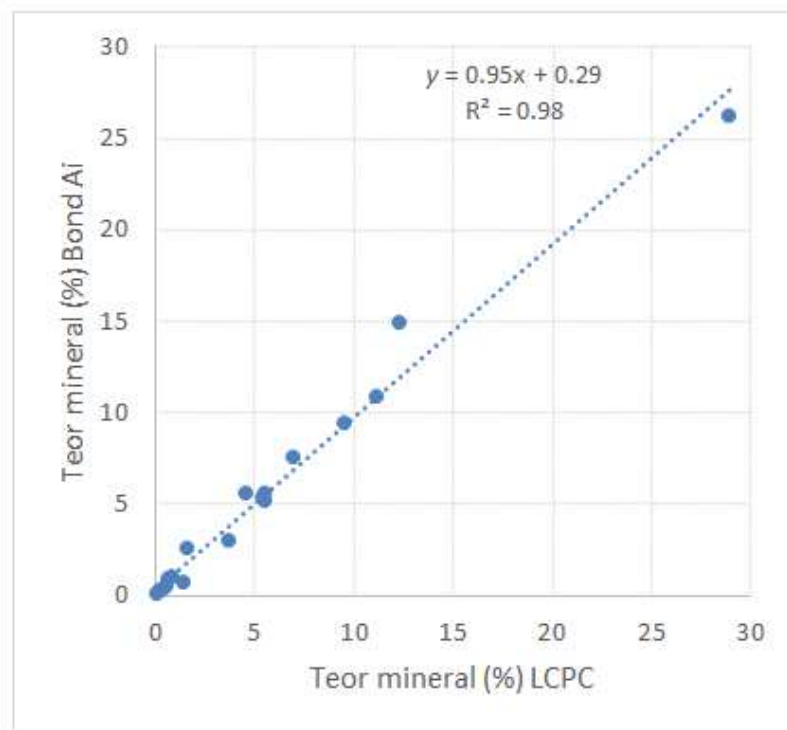
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

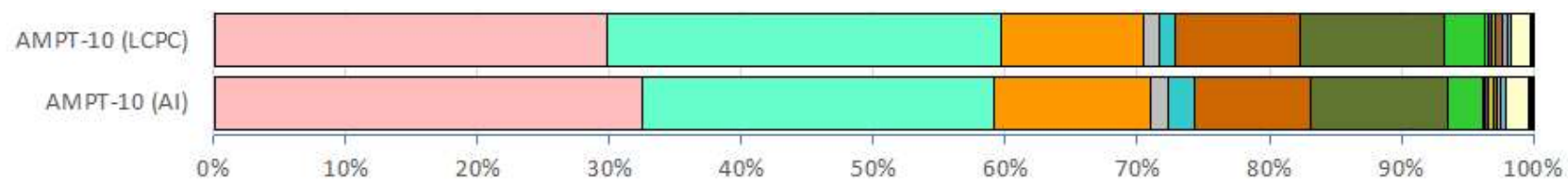




Minerais

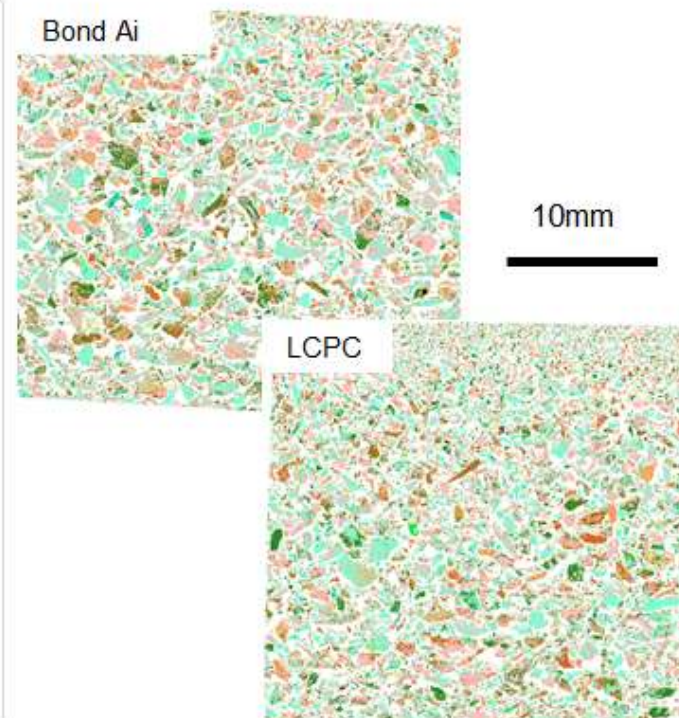
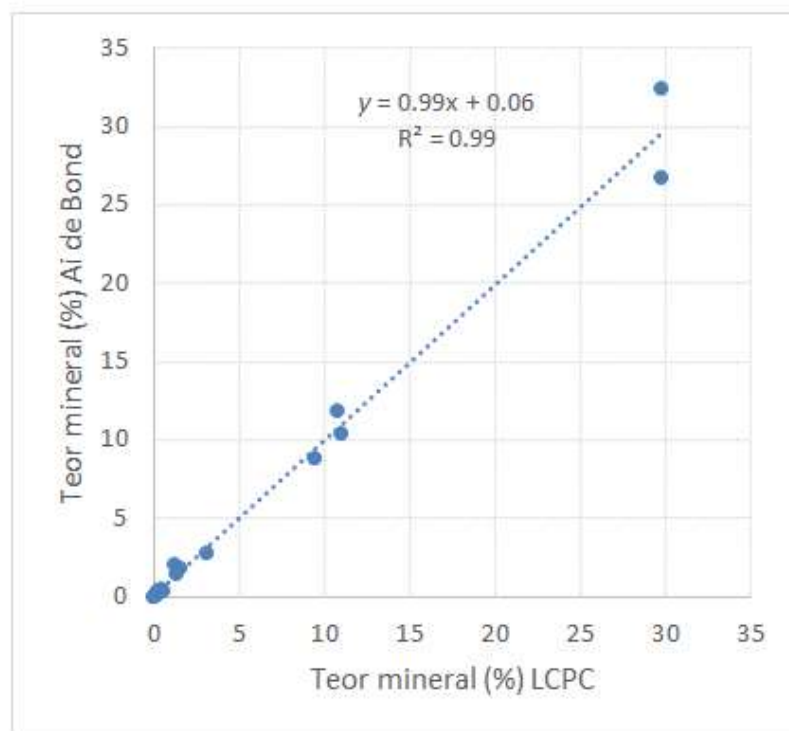
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

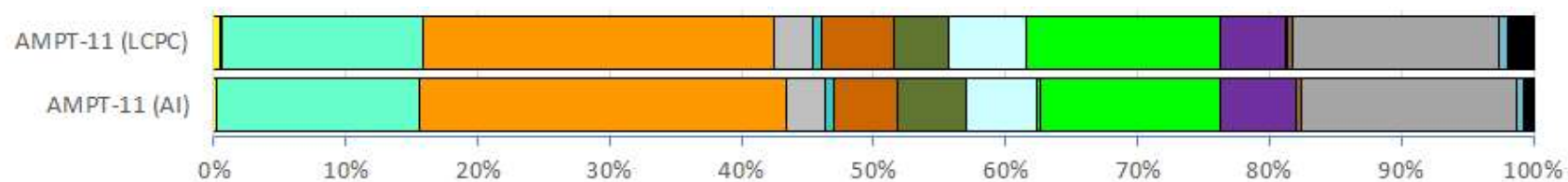




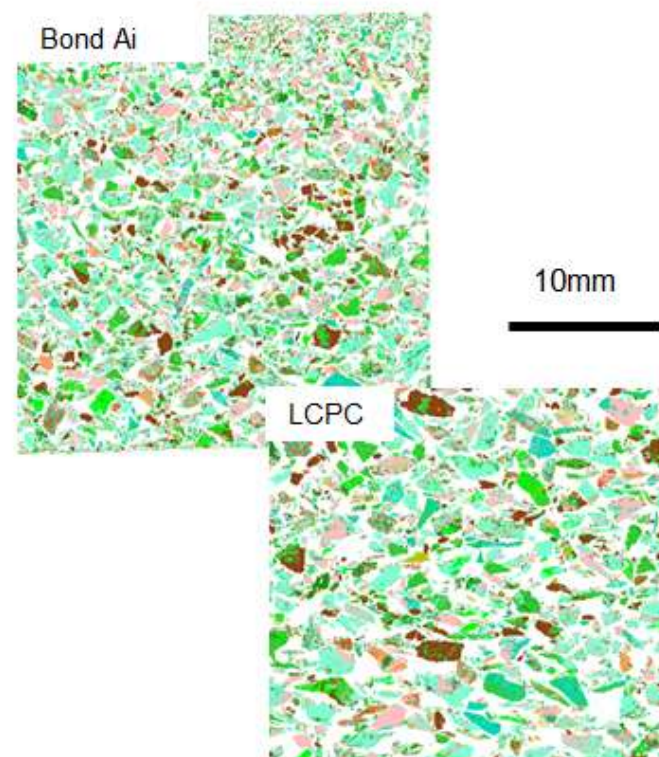
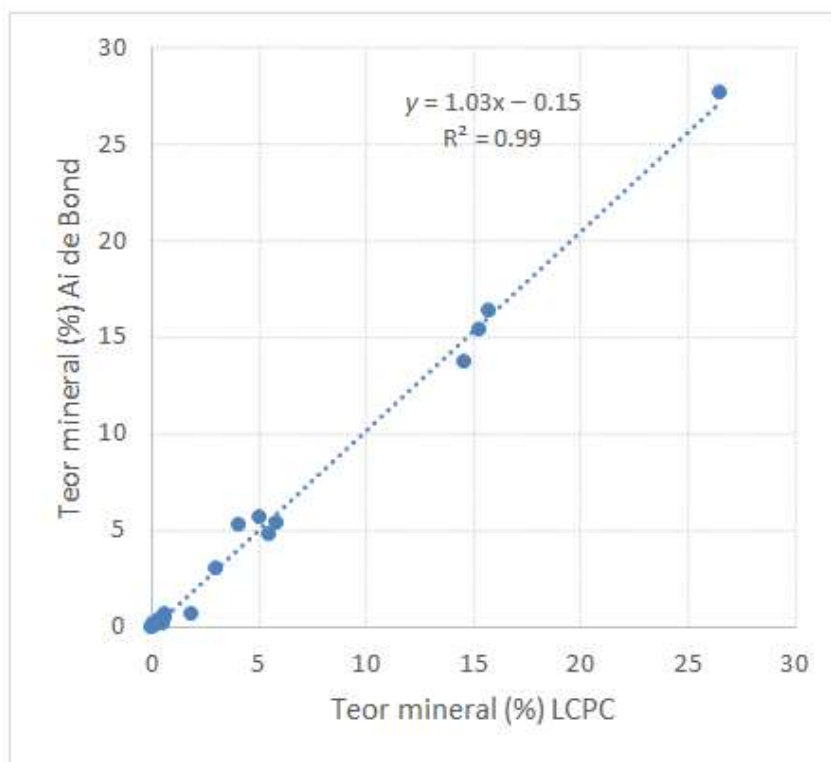
Minerais

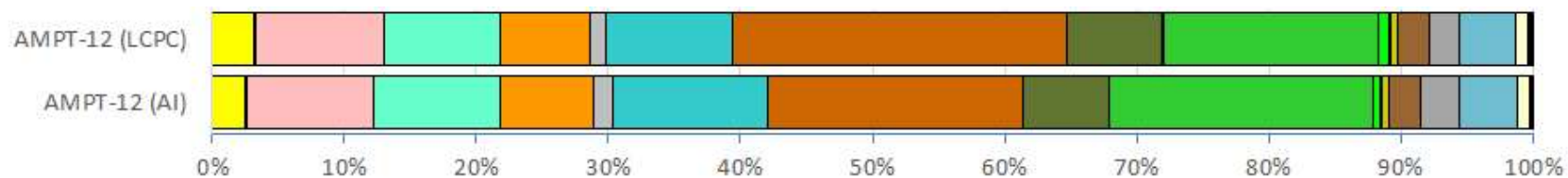
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases





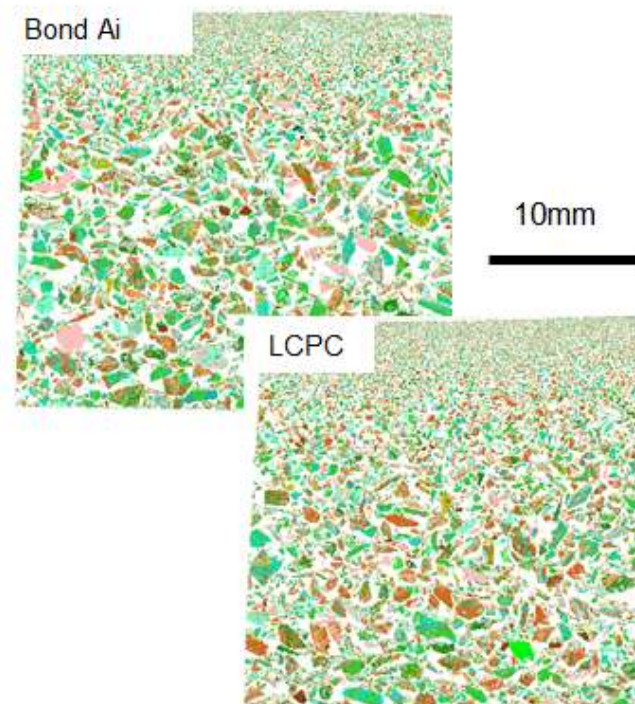
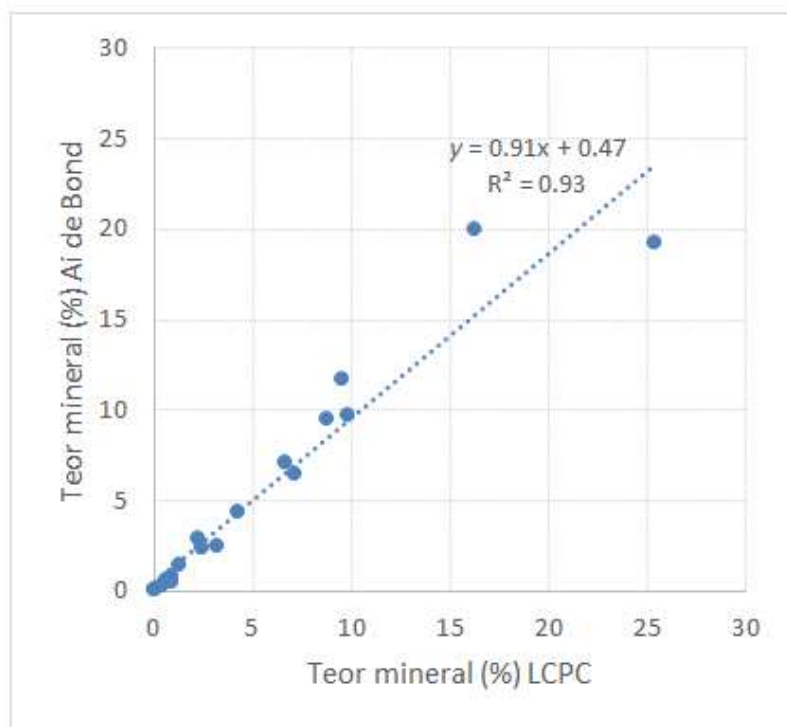
- Minerais**
- Calcopirita
 - Pirita
 - Quartzo
 - Albita
 - K-feldspatos
 - Muscovita
 - Escapolita
 - Biotita
 - Clorita
 - Talco
 - Anfibólios
 - Epidoto
 - Turmalina
 - Titanita
 - Óxidos de Fe
 - Óxidos de Ti
 - Apatita
 - Carbonatos
 - Outras fases

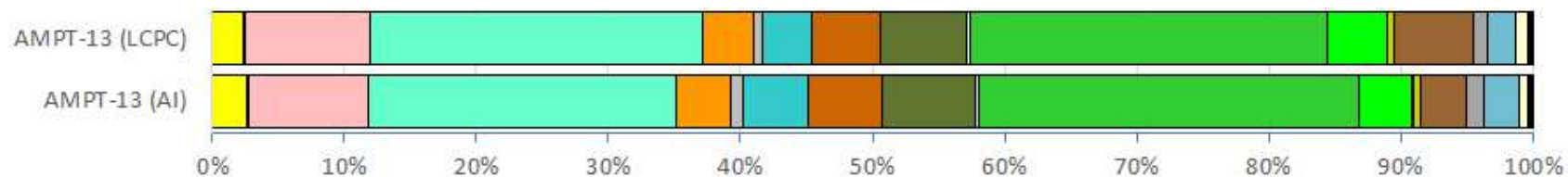




Minerais

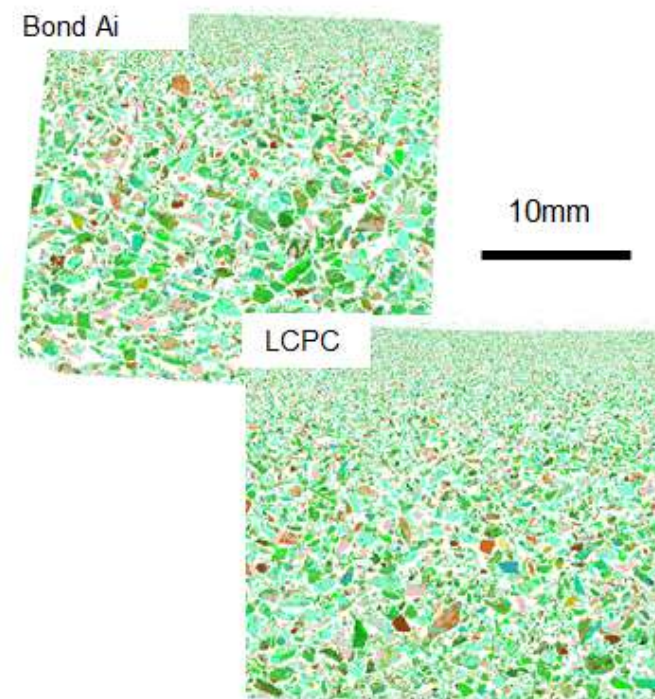
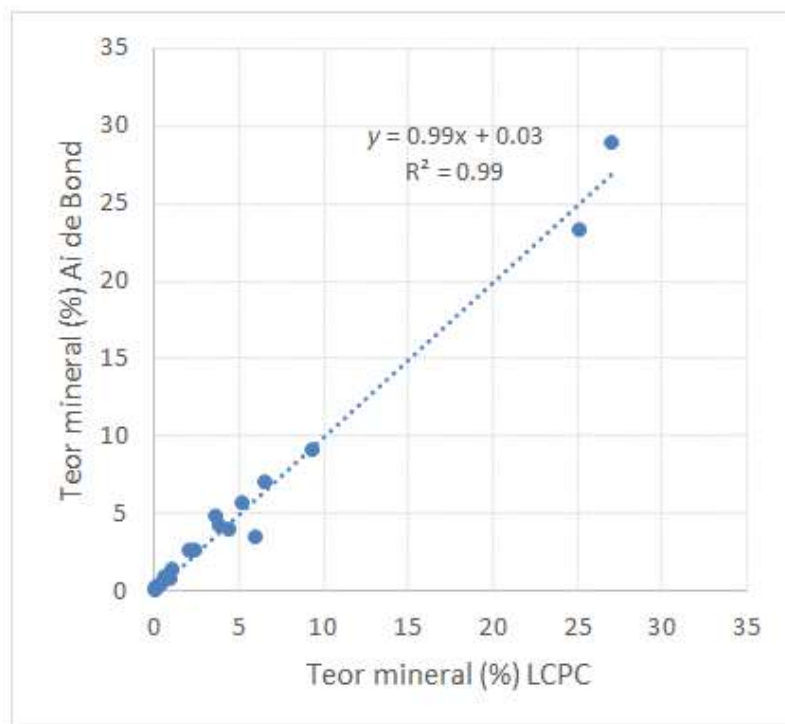
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

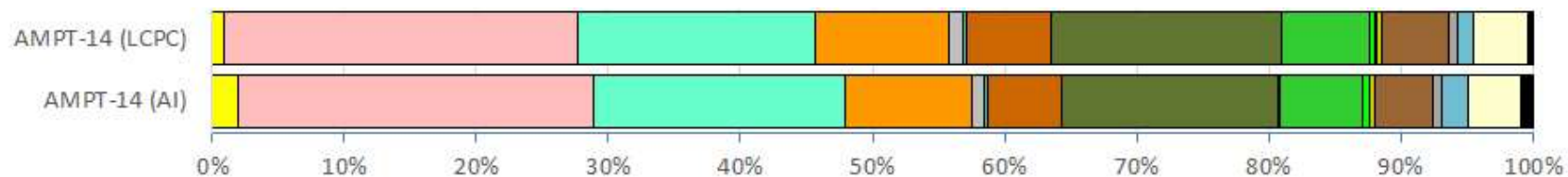




Minerais

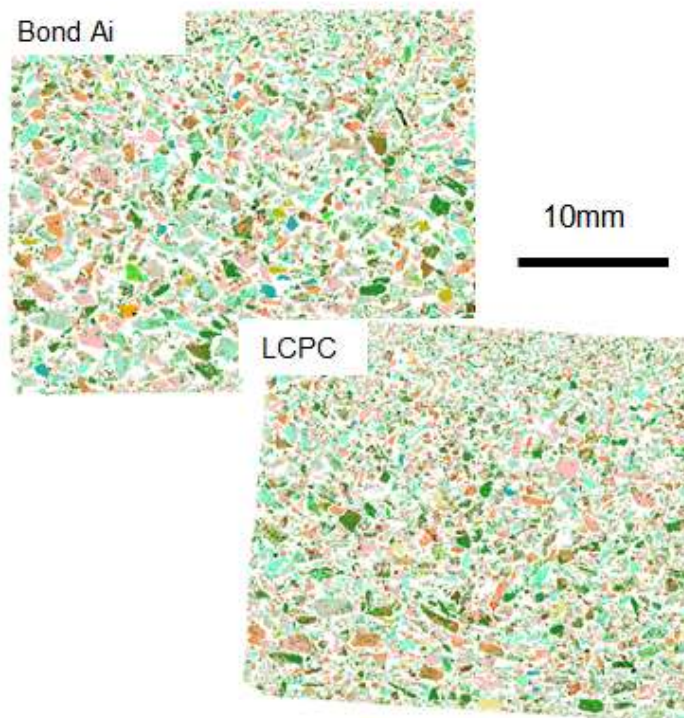
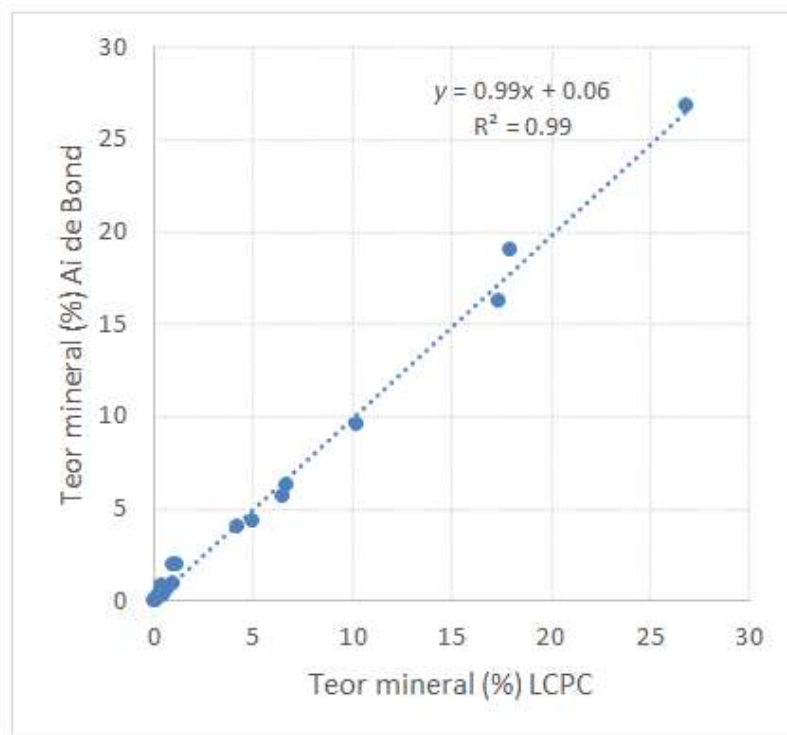
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

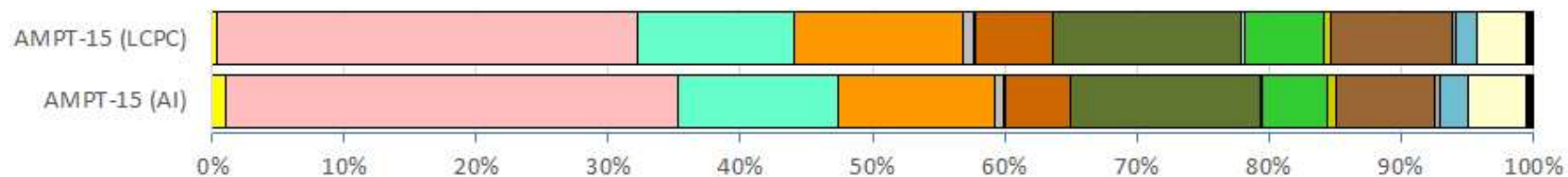




Minerais

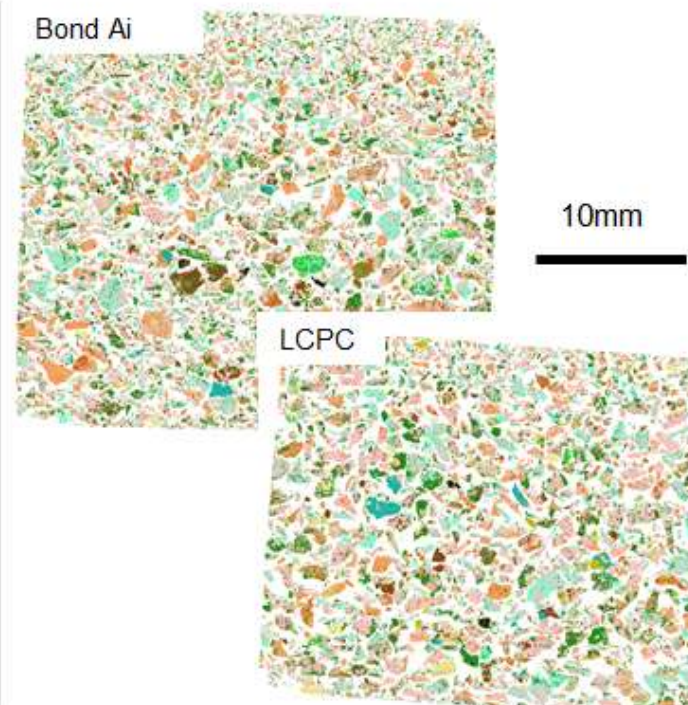
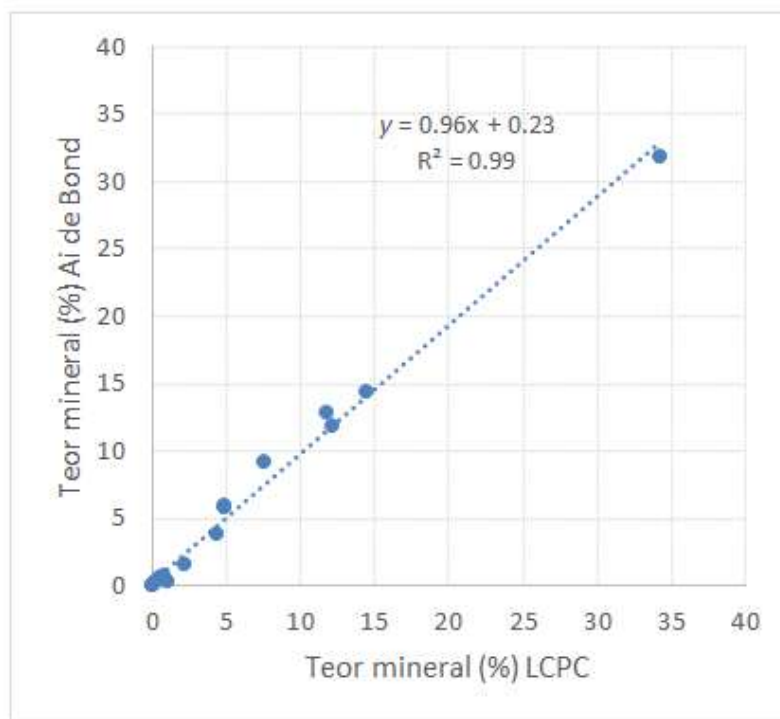
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

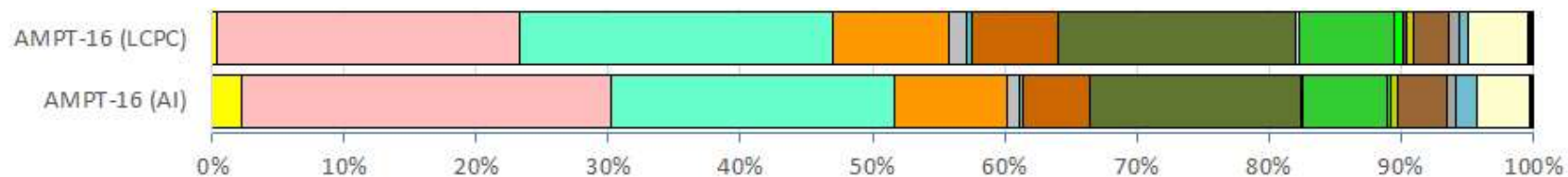




Minerais

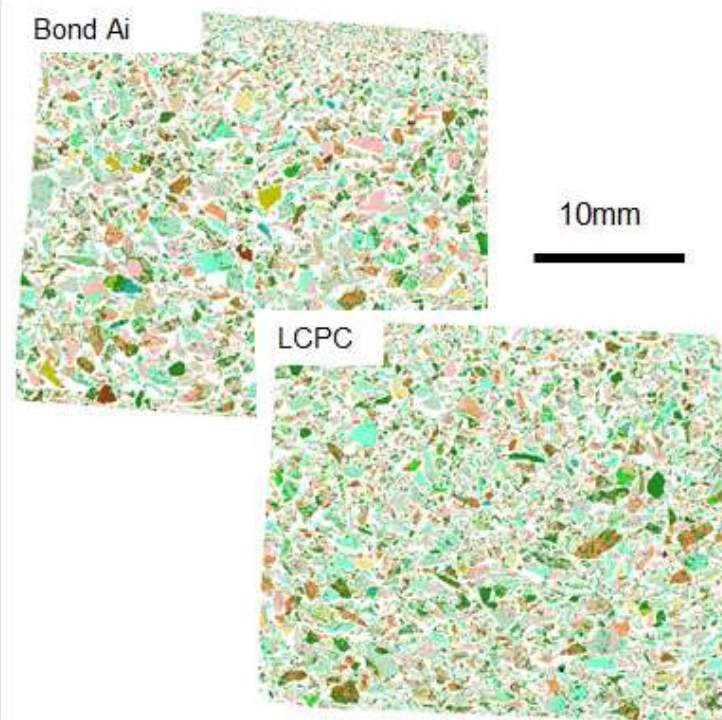
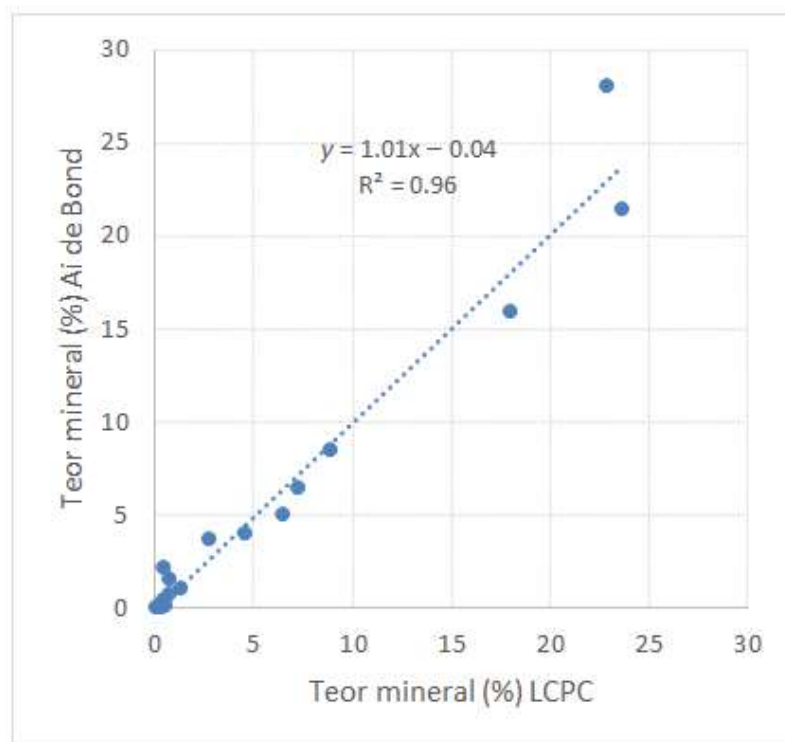
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

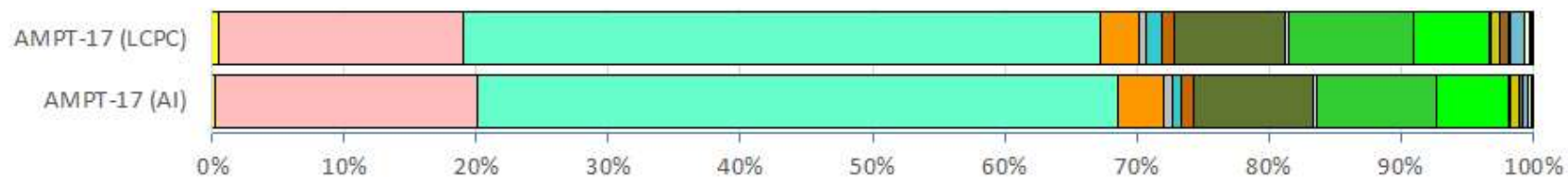




Minerais

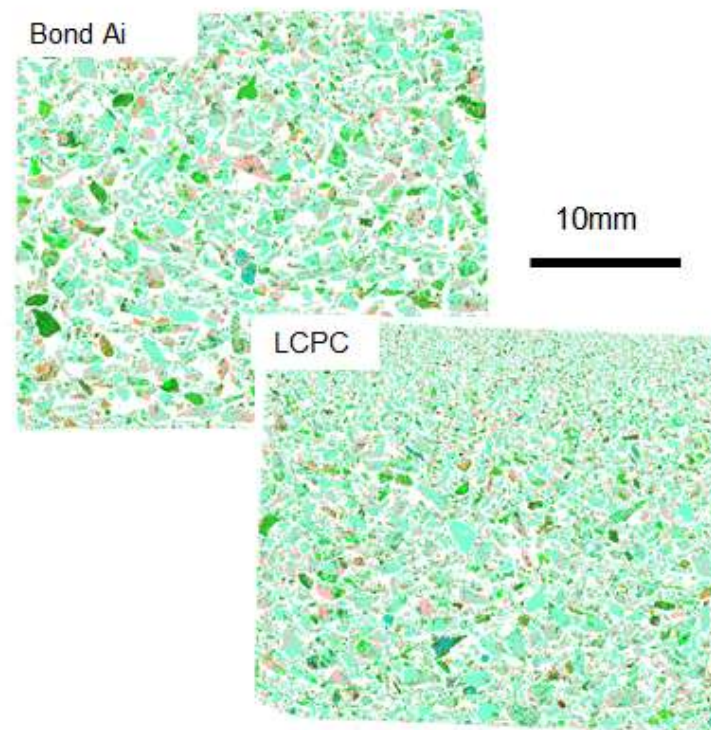
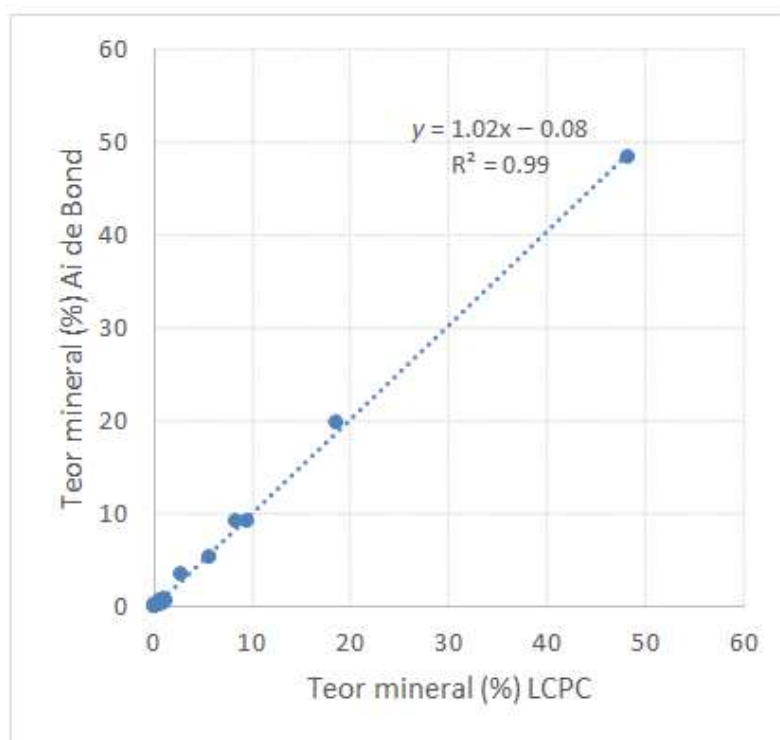
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

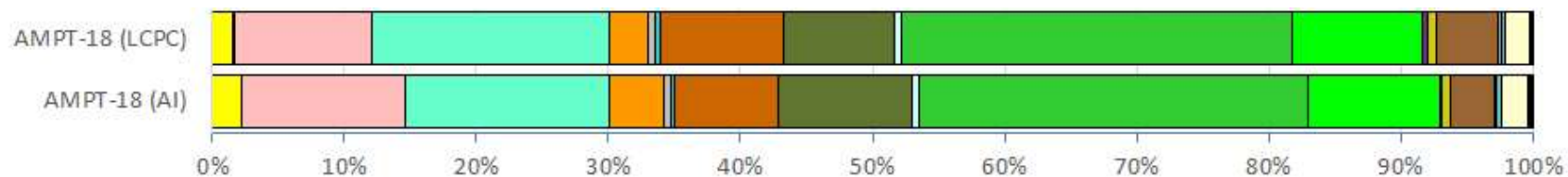




Minerais

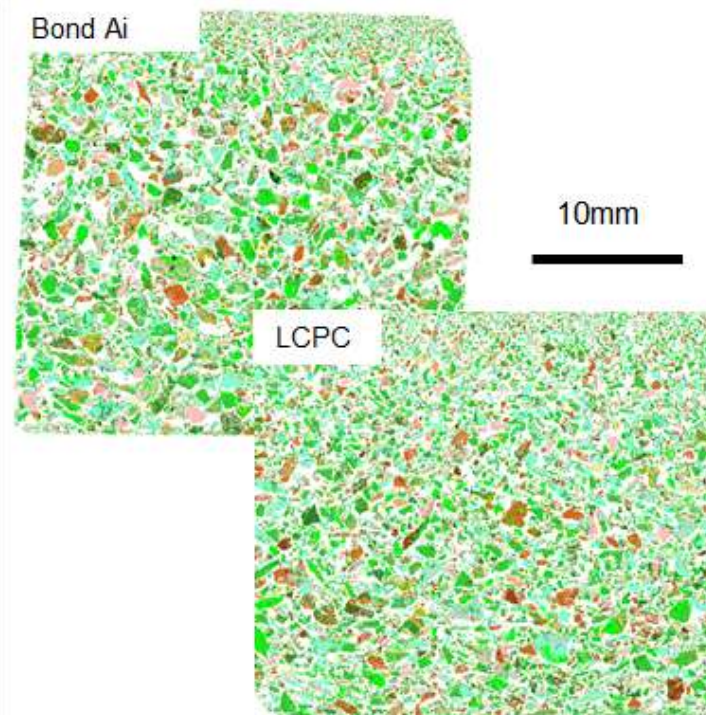
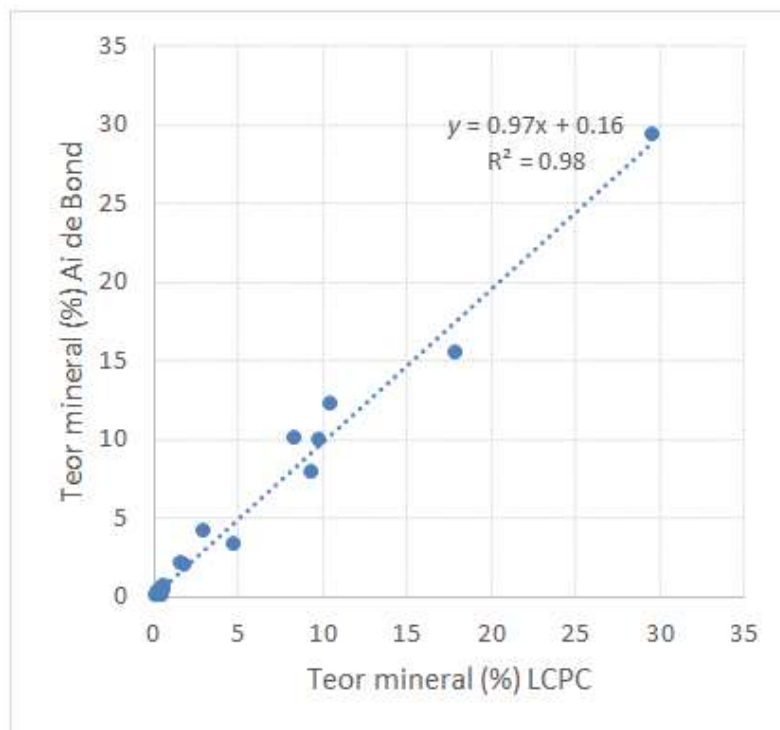
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

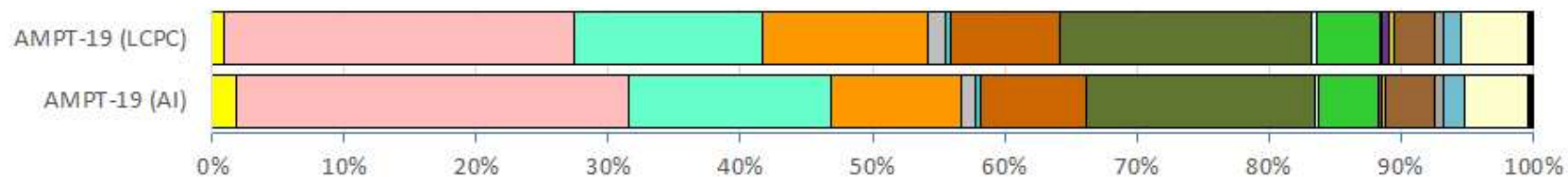




Minerais

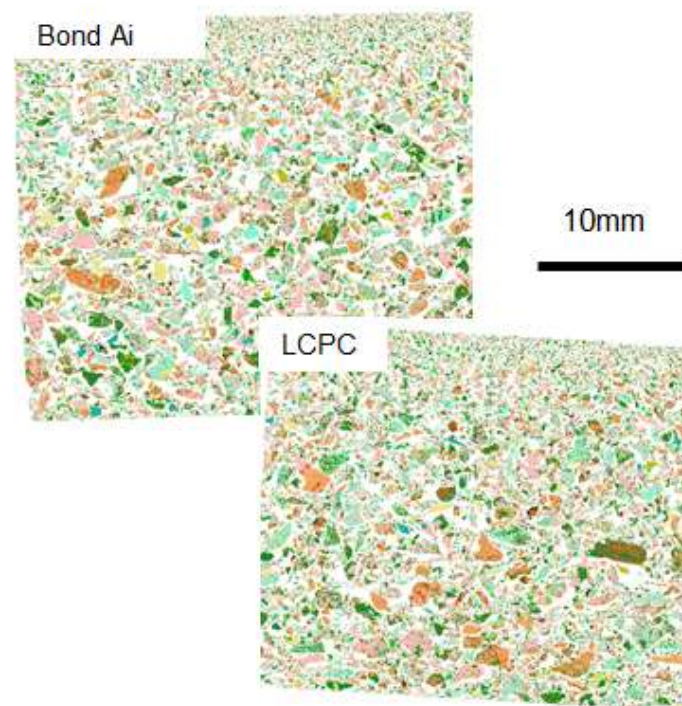
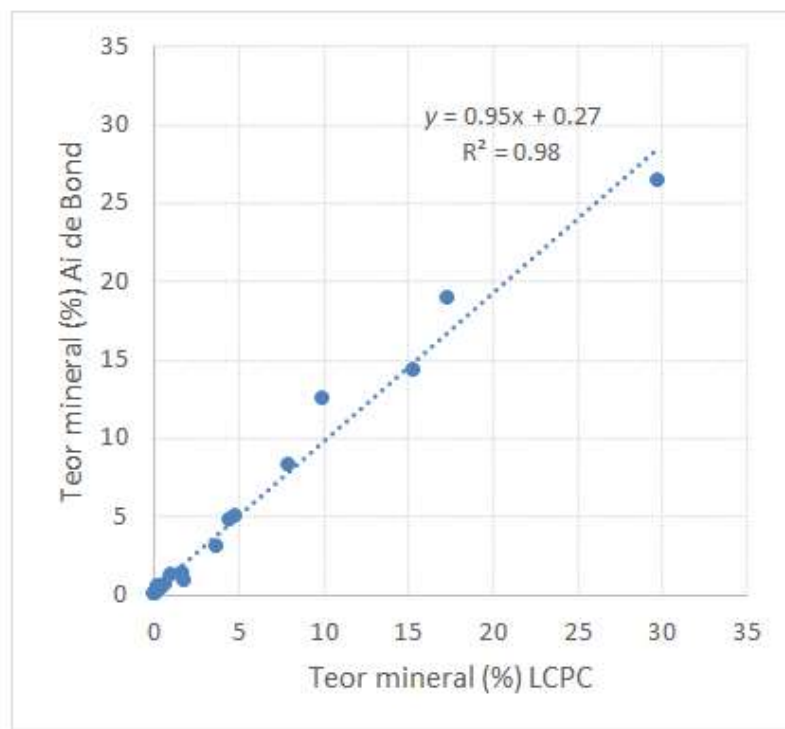
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

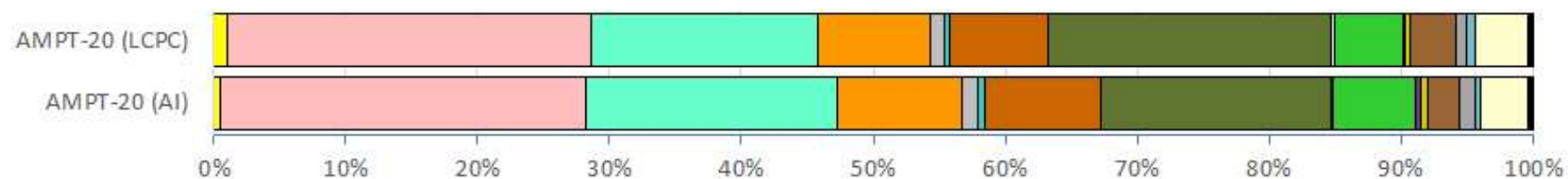




Minerais

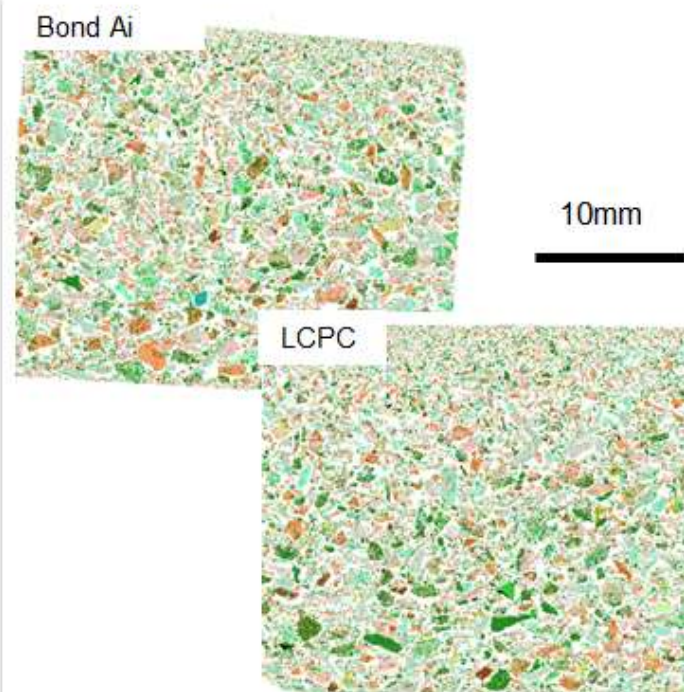
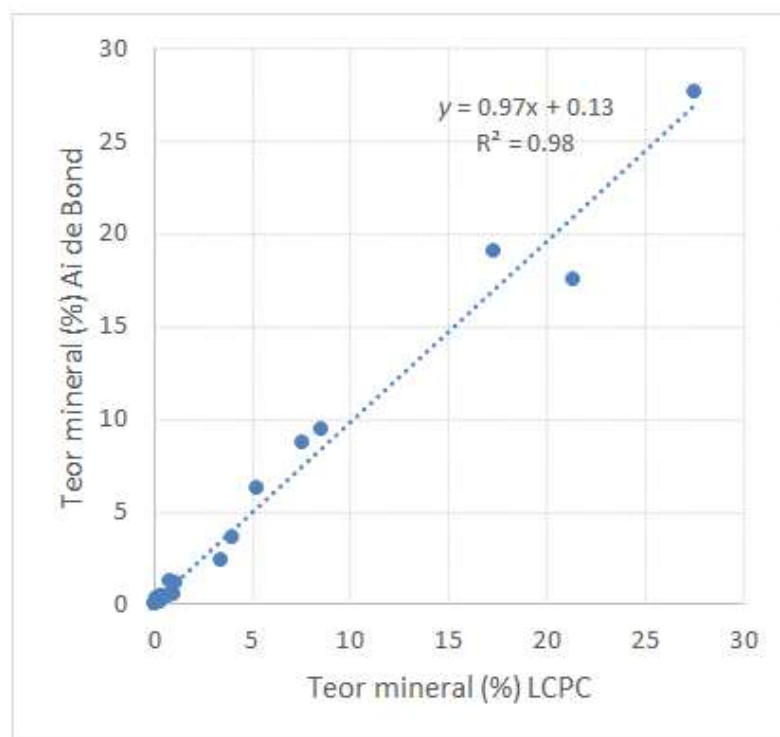
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

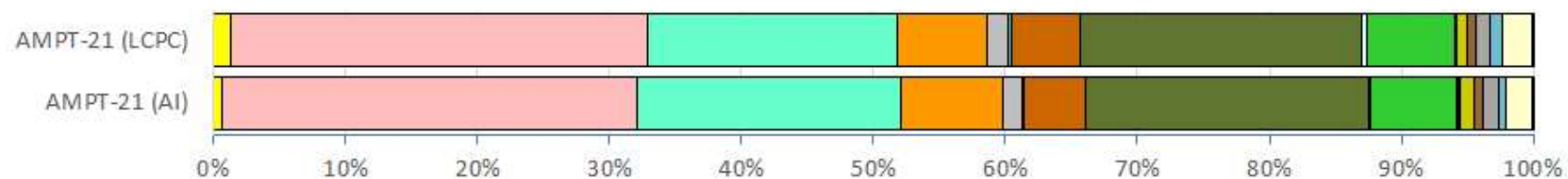




Minerais

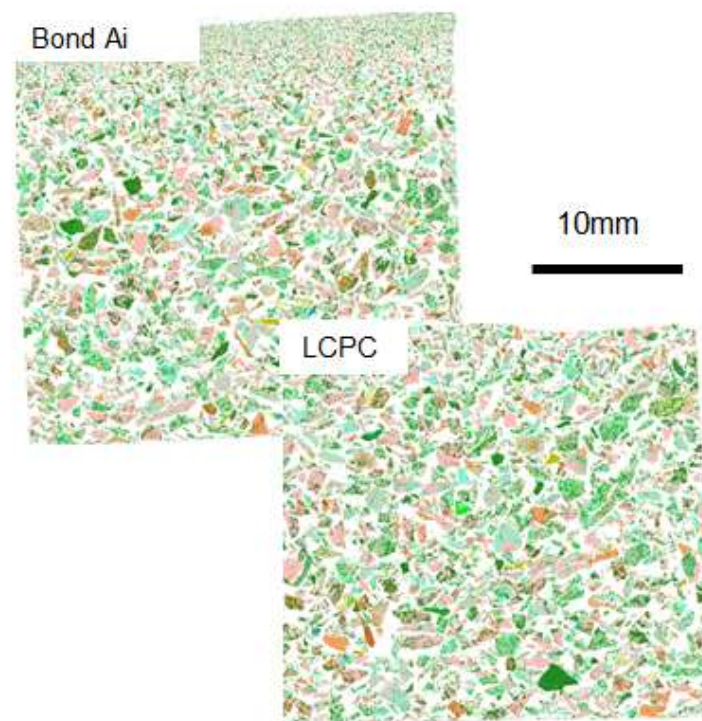
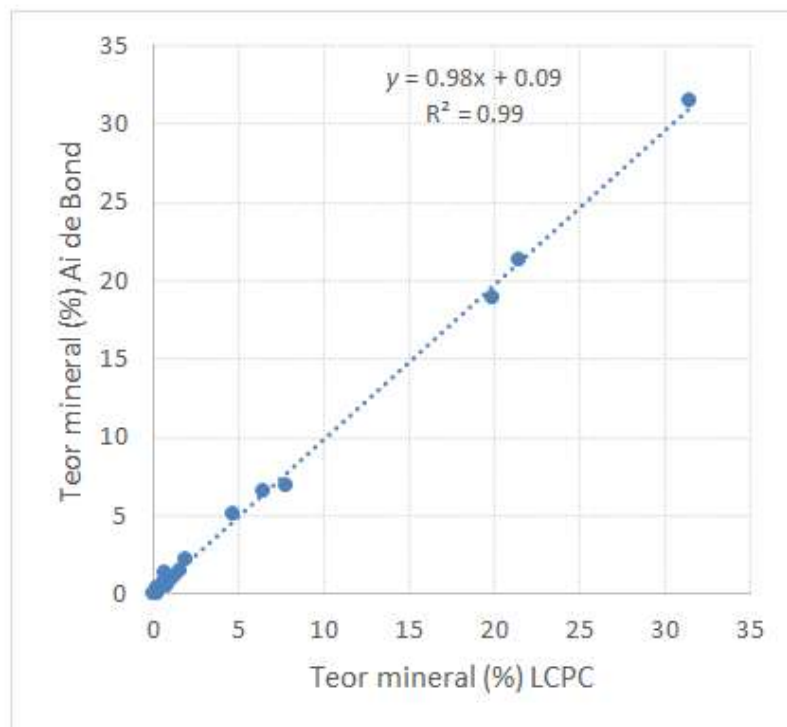
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

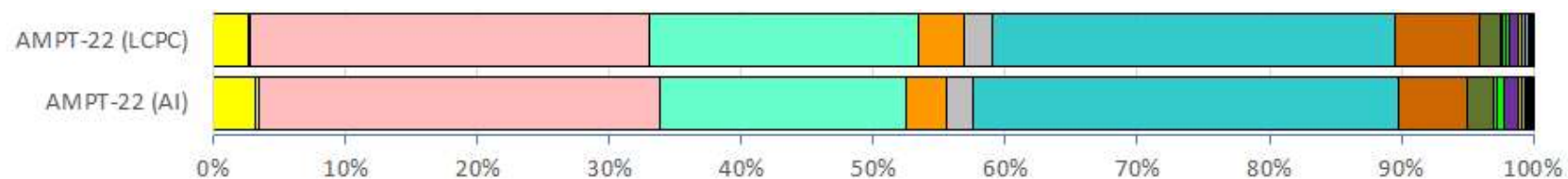




Minerais

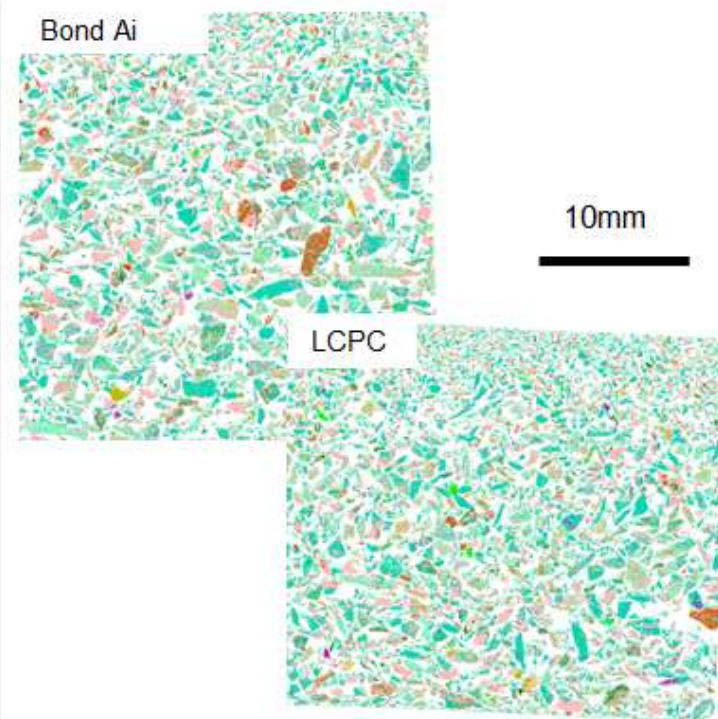
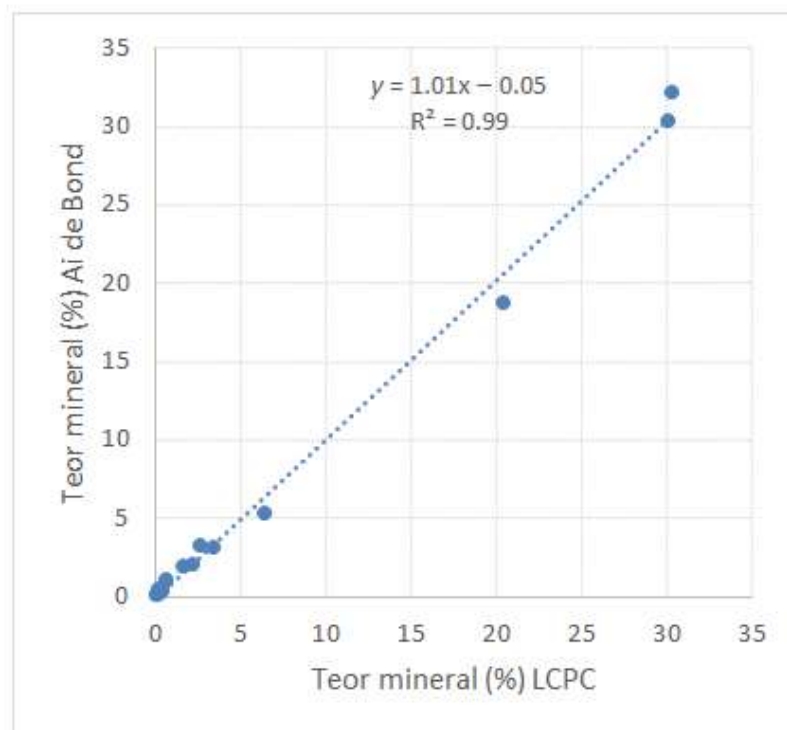
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

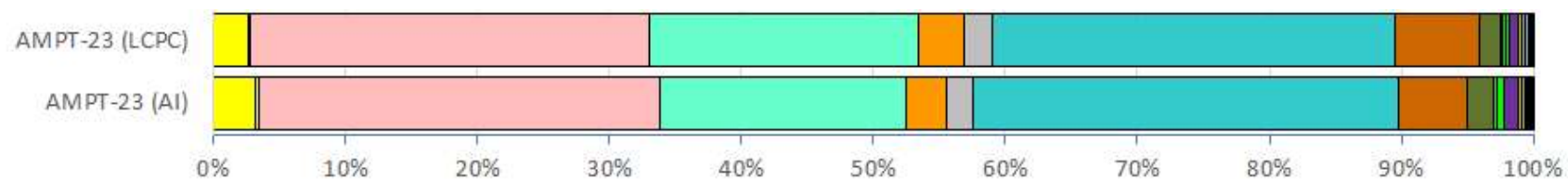




Minerais

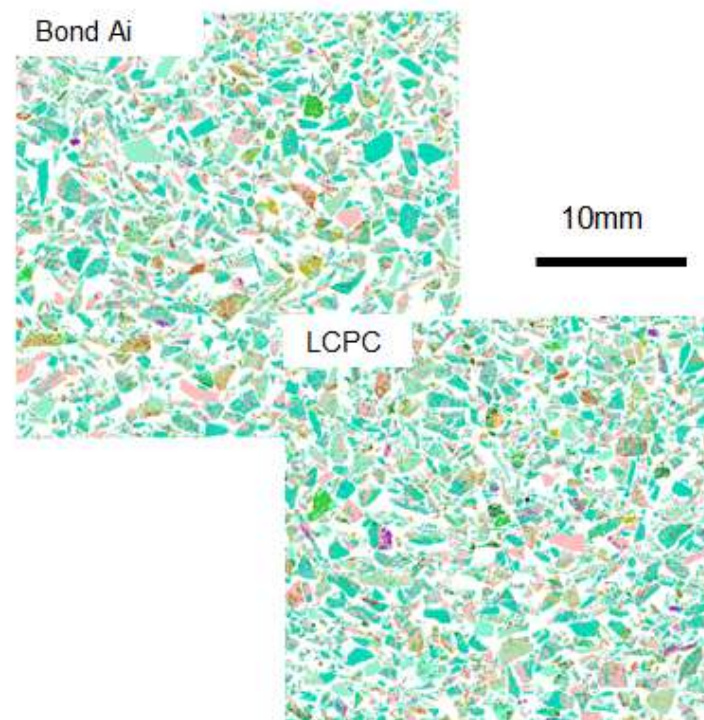
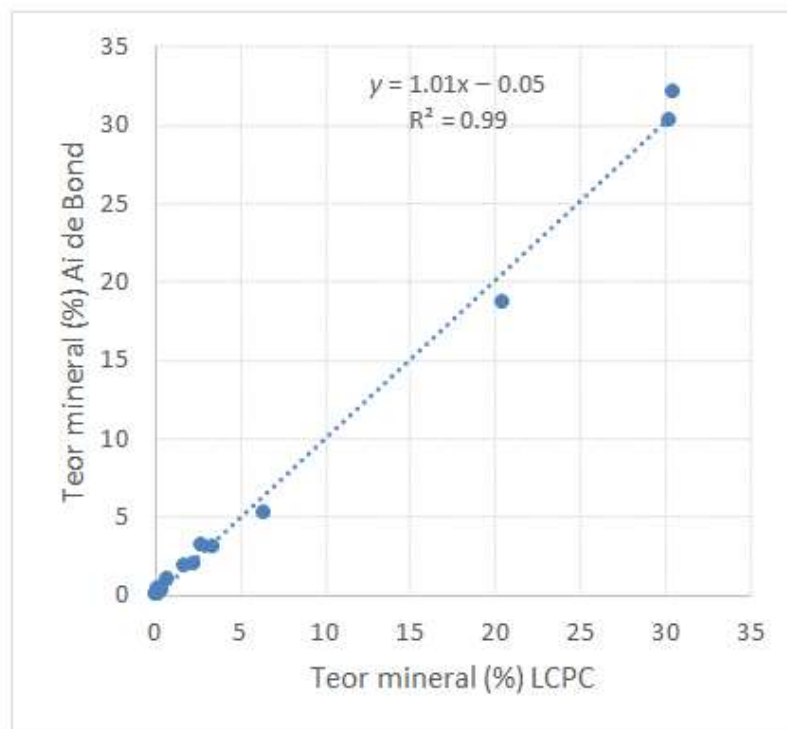
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

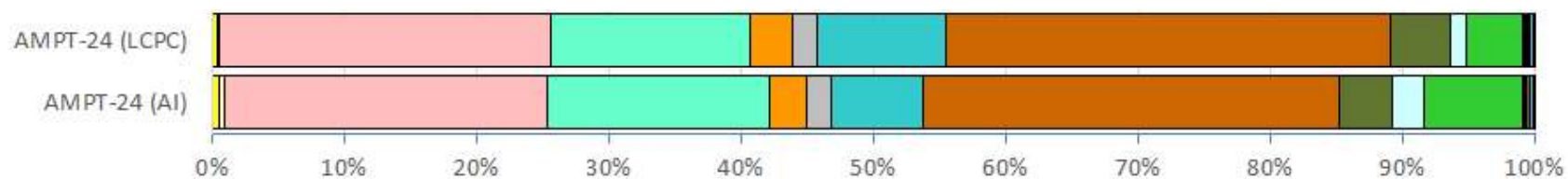




Minerais

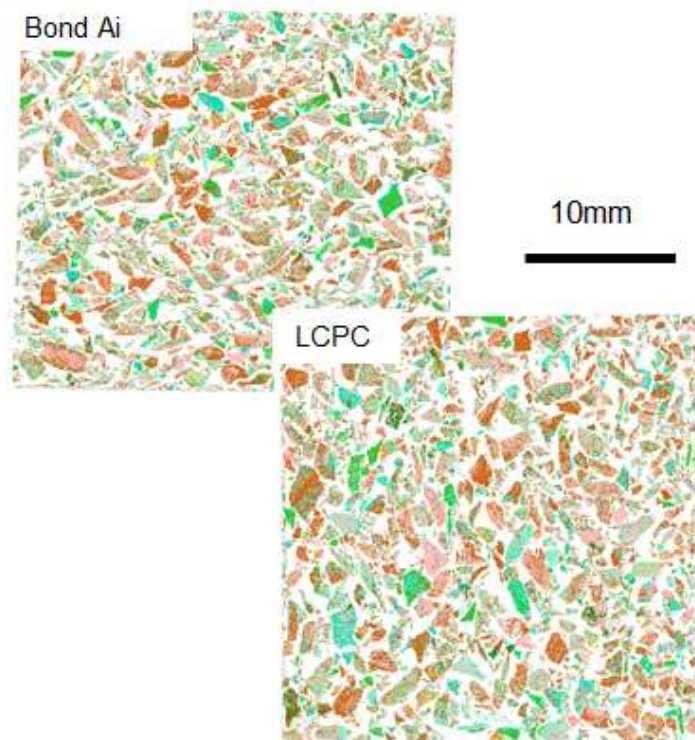
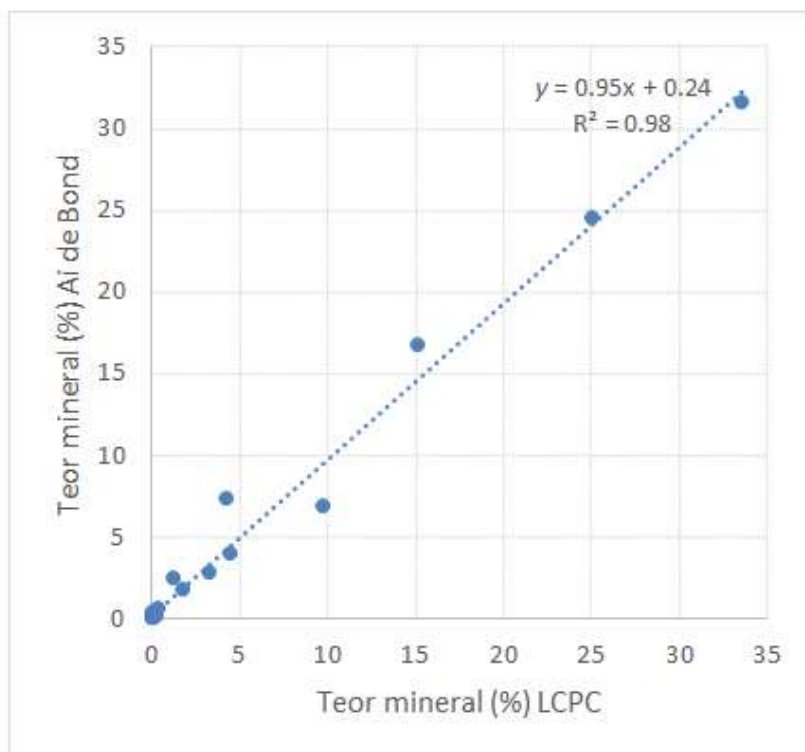
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

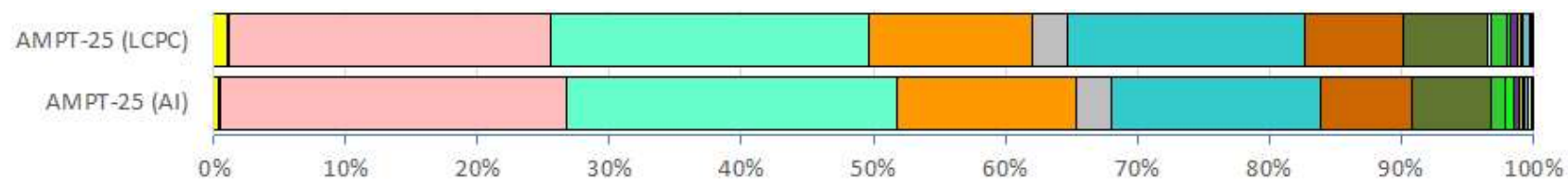




Minerais

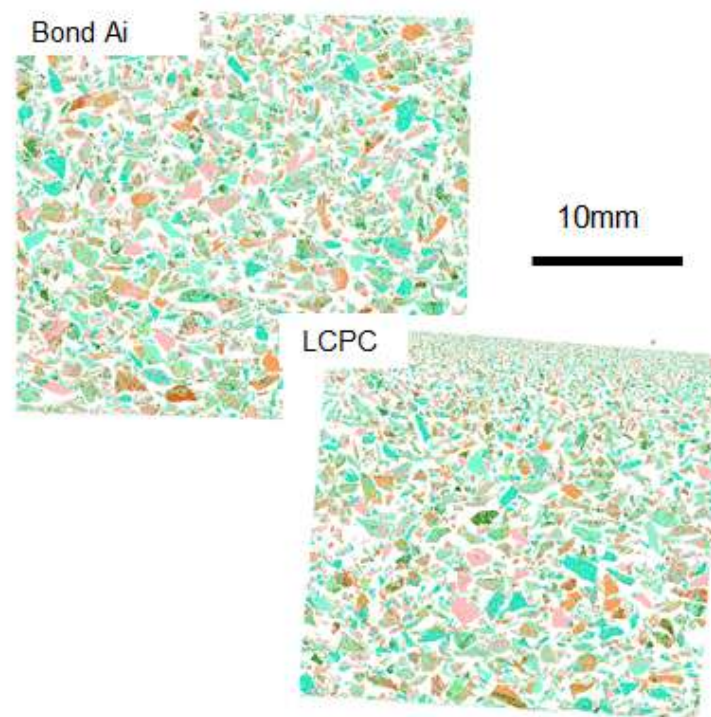
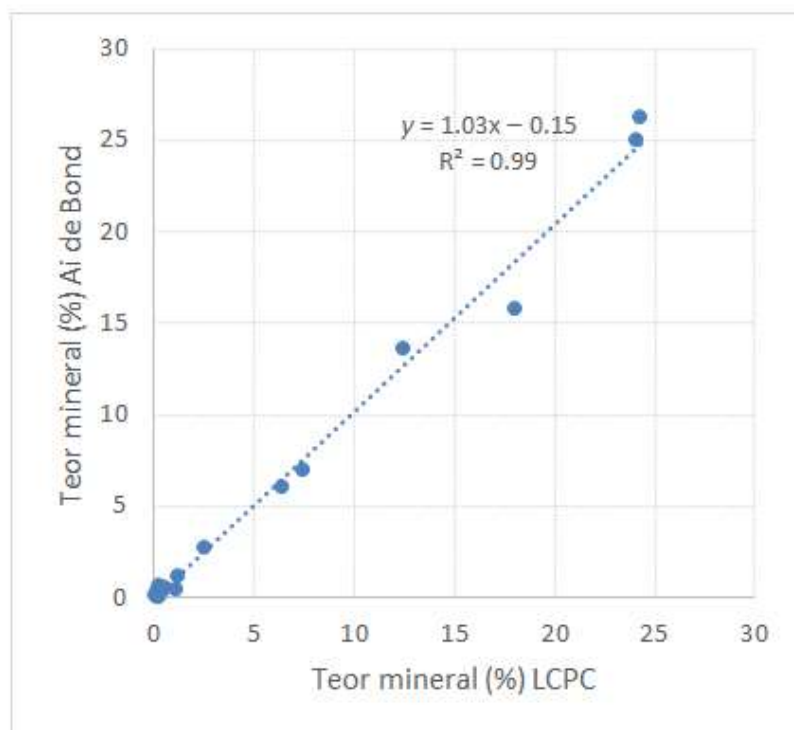
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

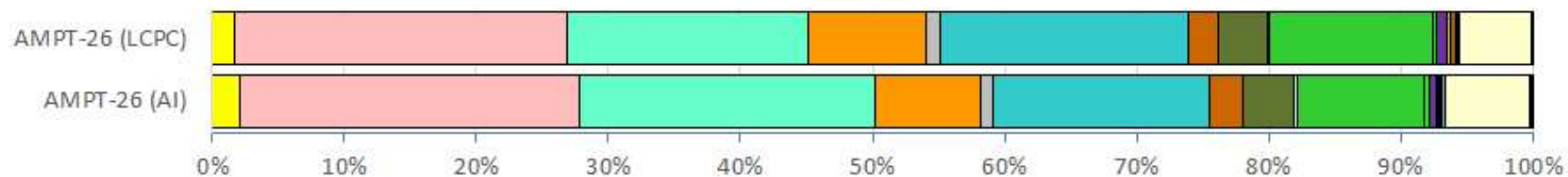




Minerais

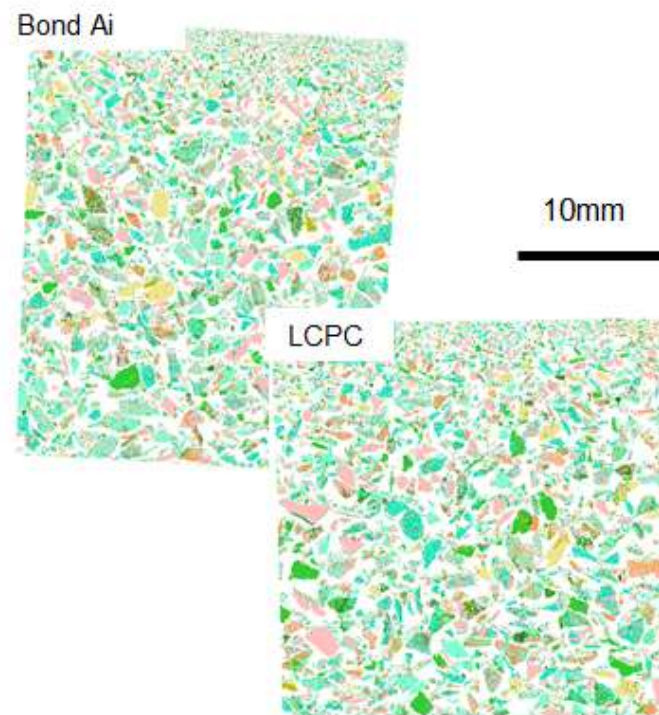
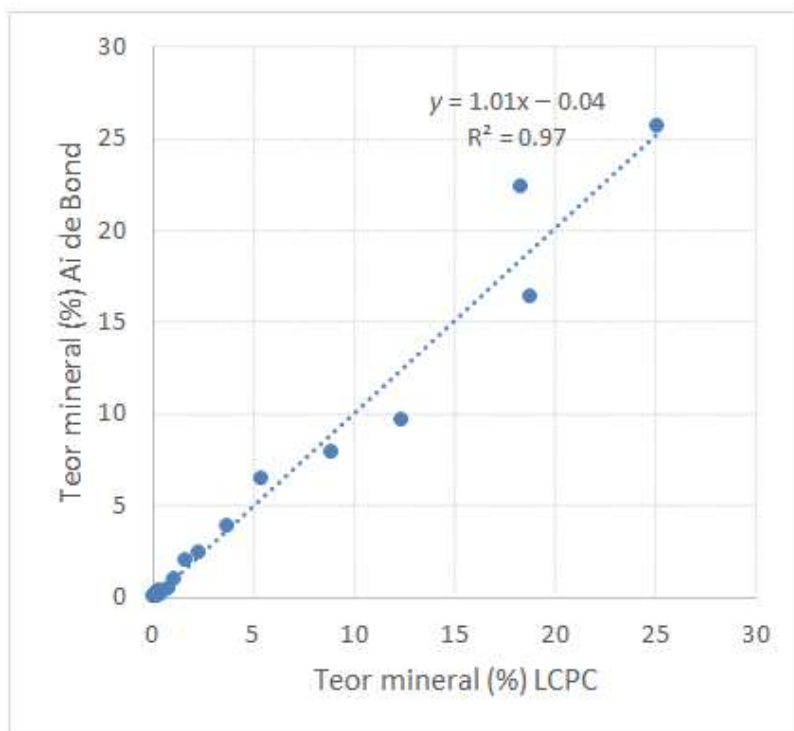
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

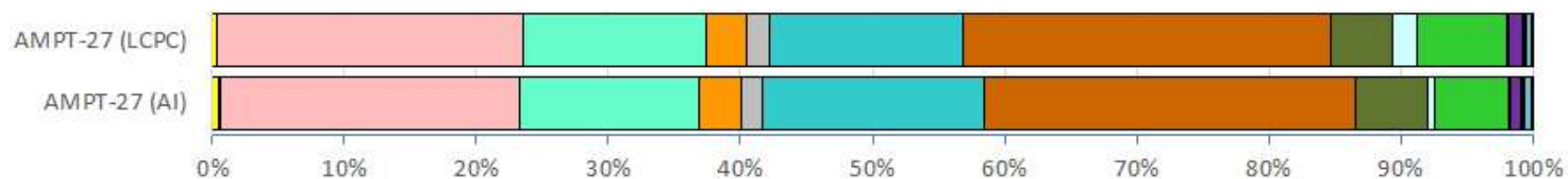




Minerais

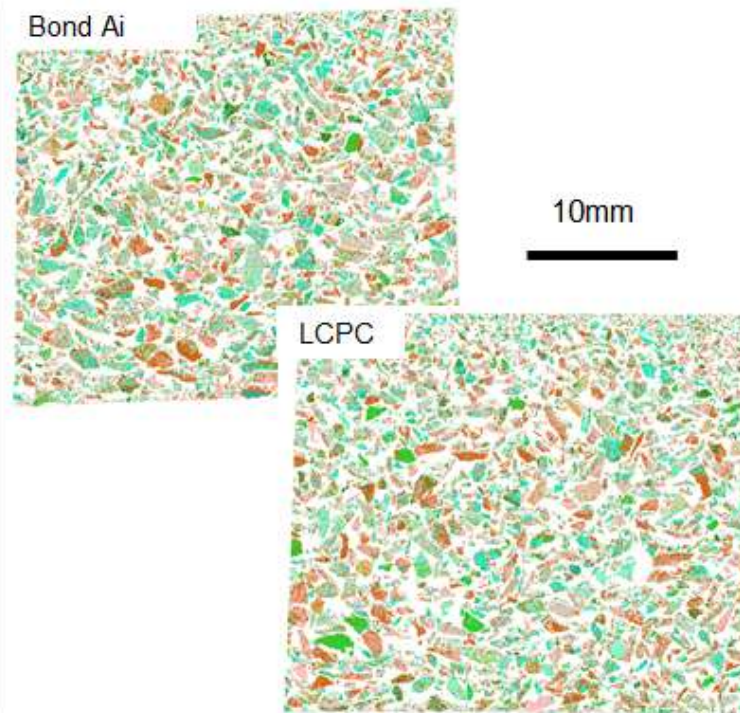
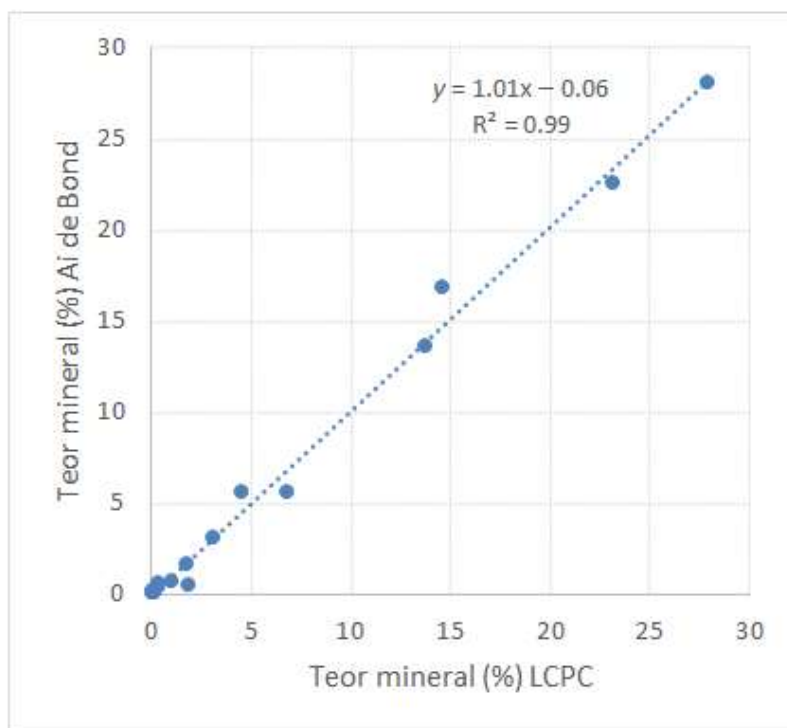
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

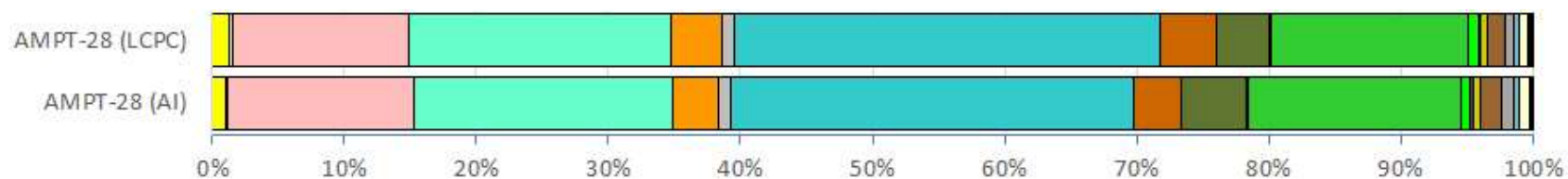




Minerais

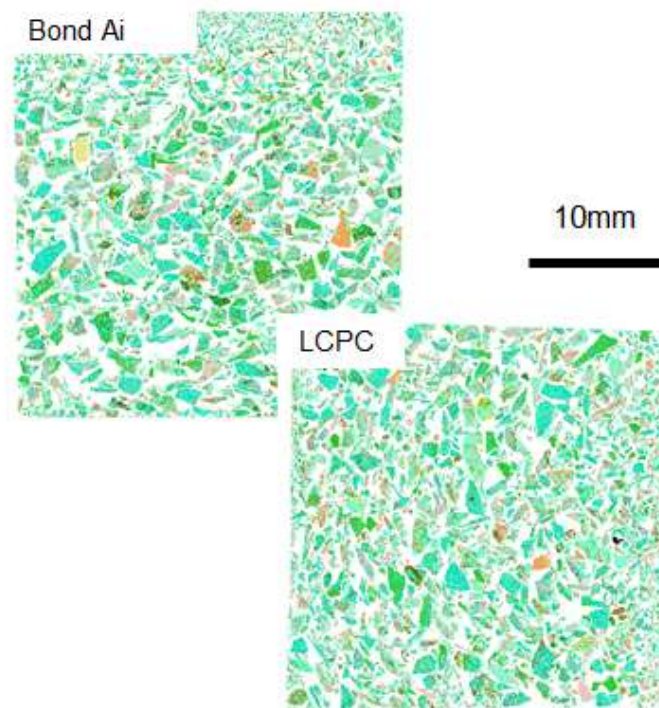
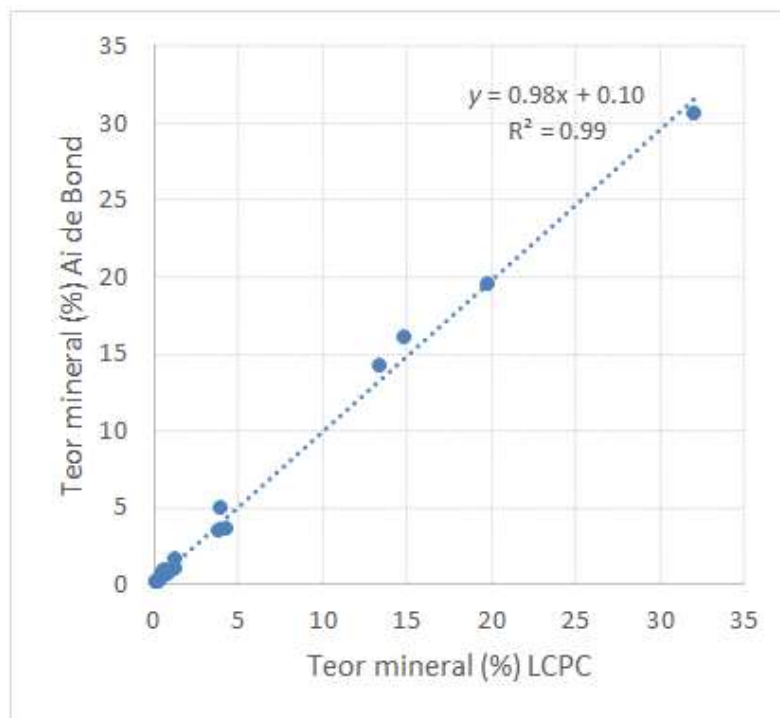
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

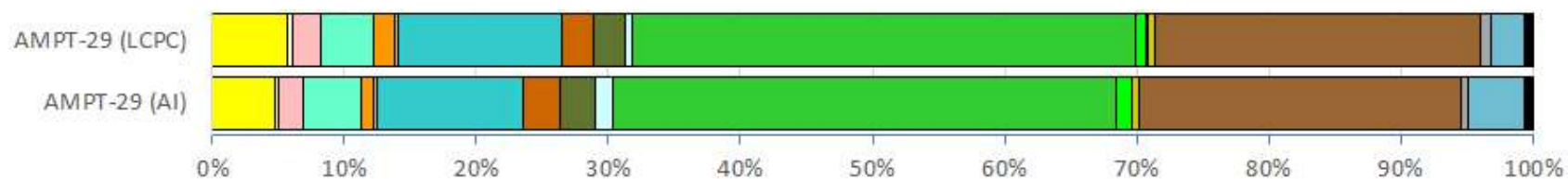




Minerais

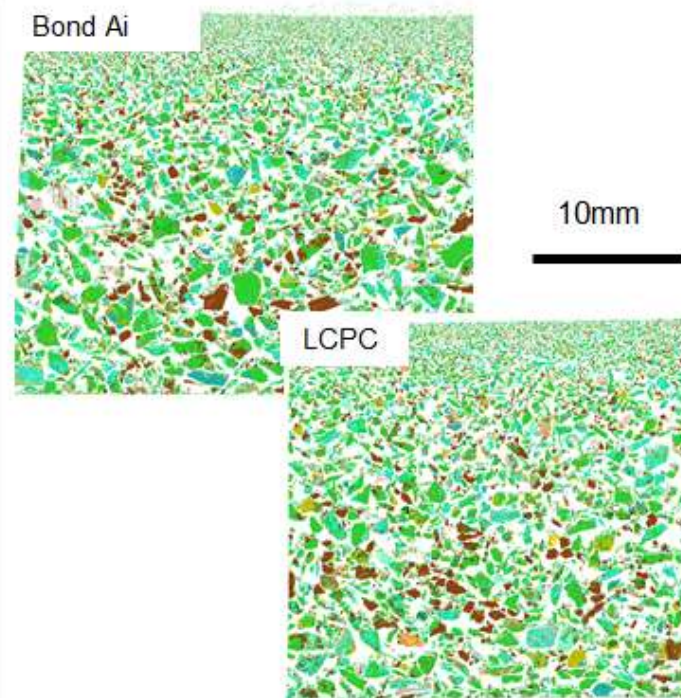
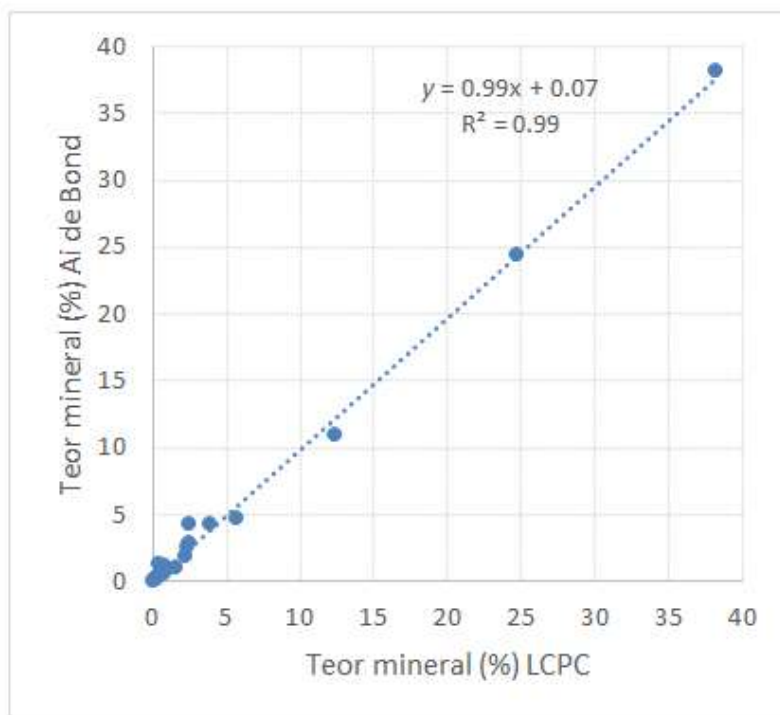
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

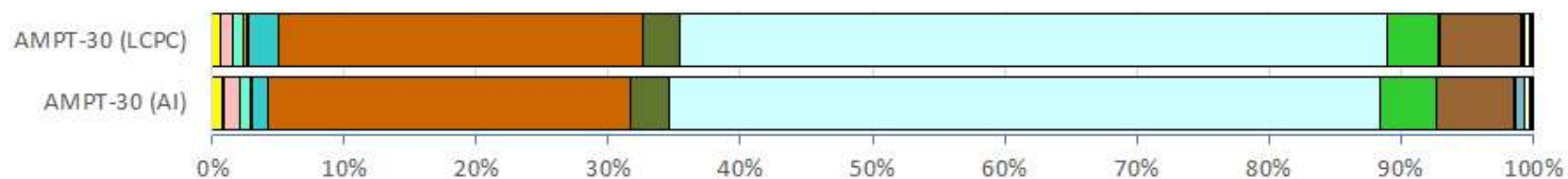




Minerais

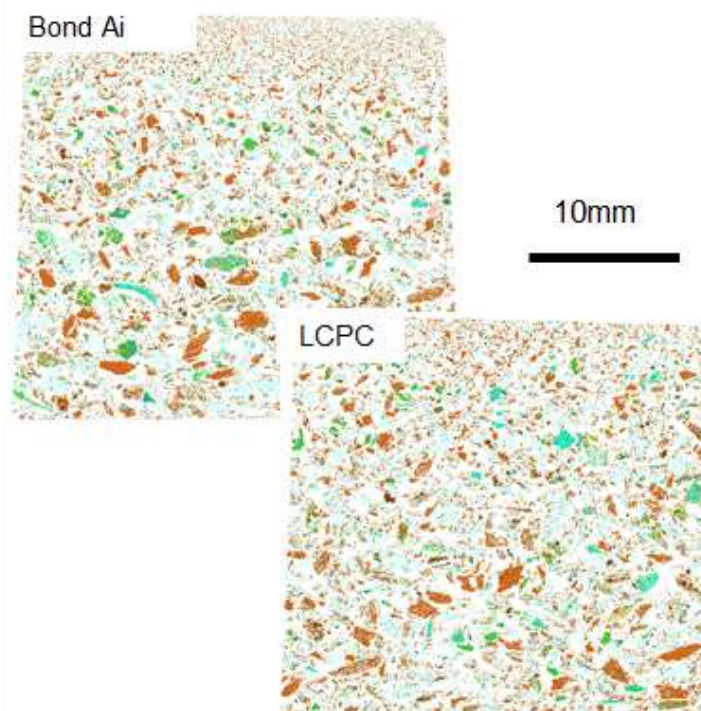
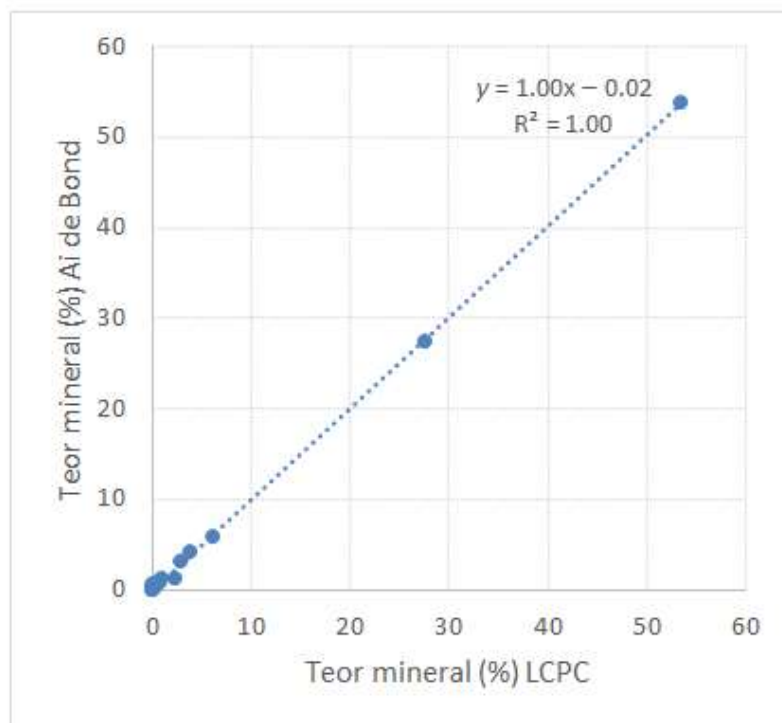
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

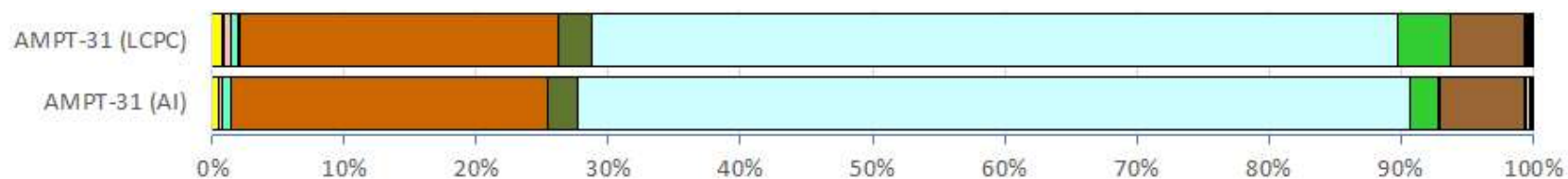




Minerais

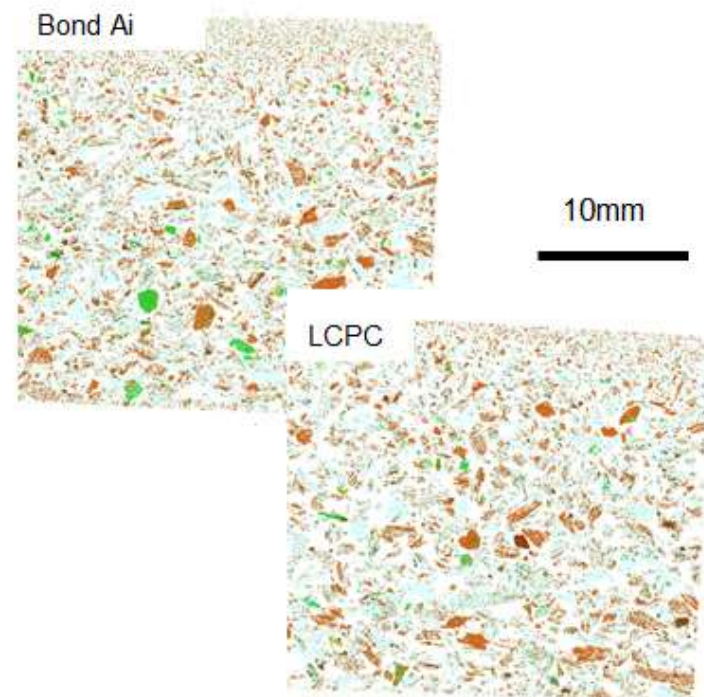
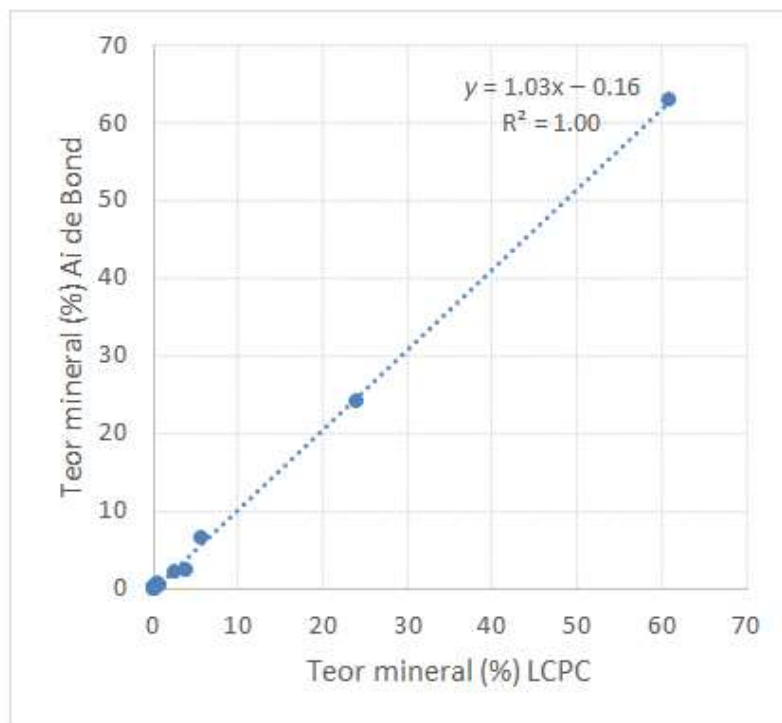
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

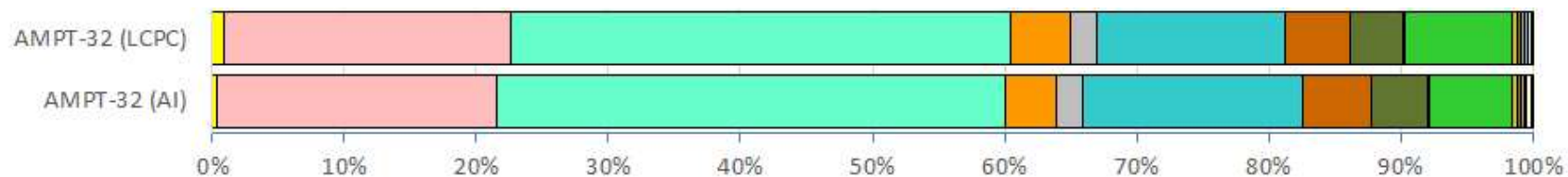




Minerais

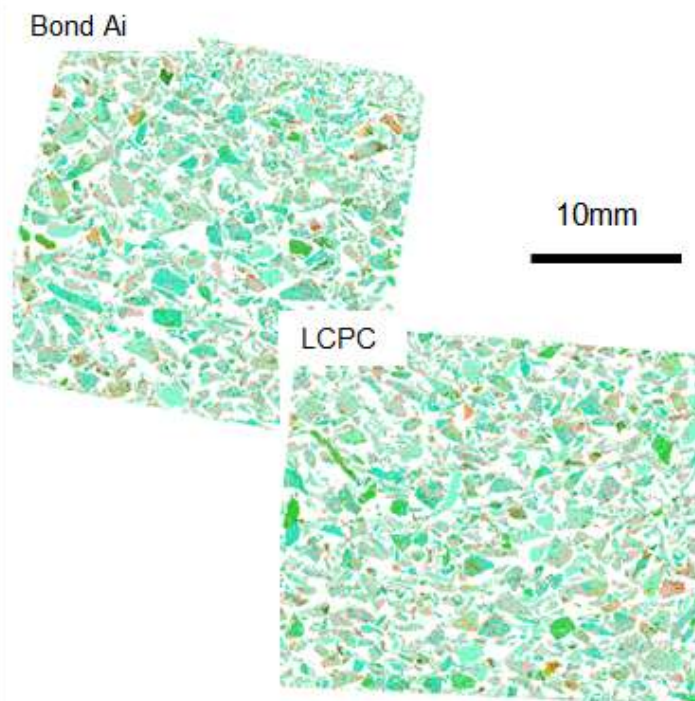
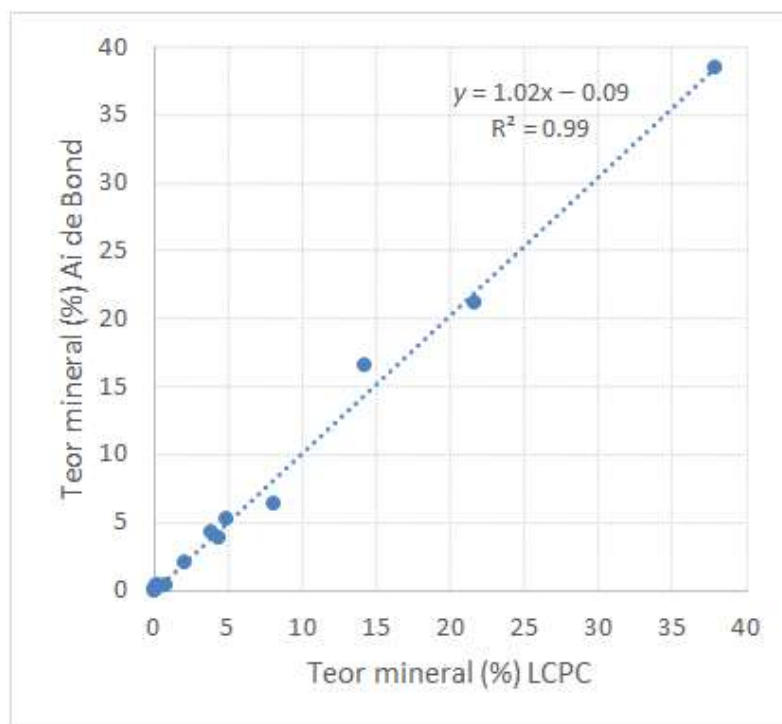
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

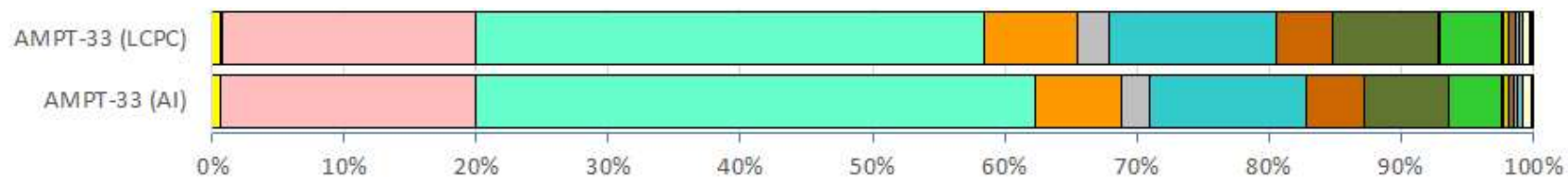




Minerais

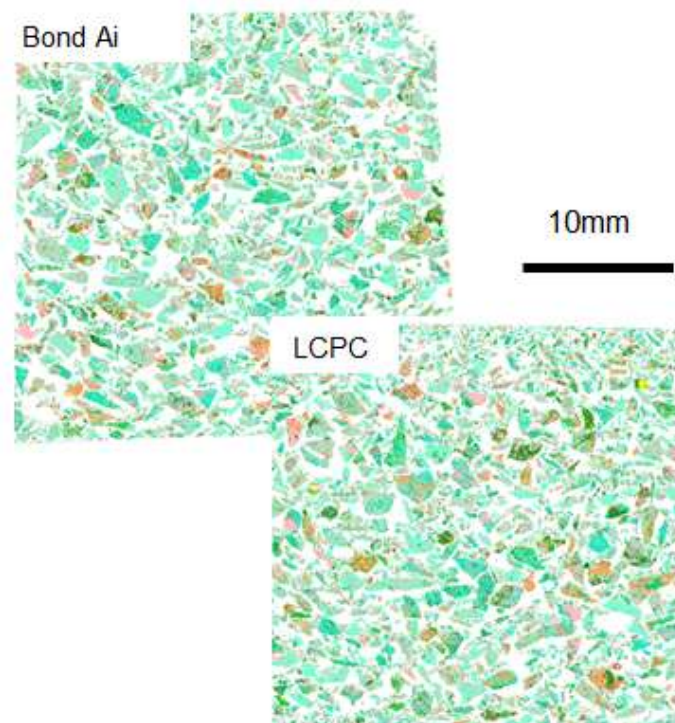
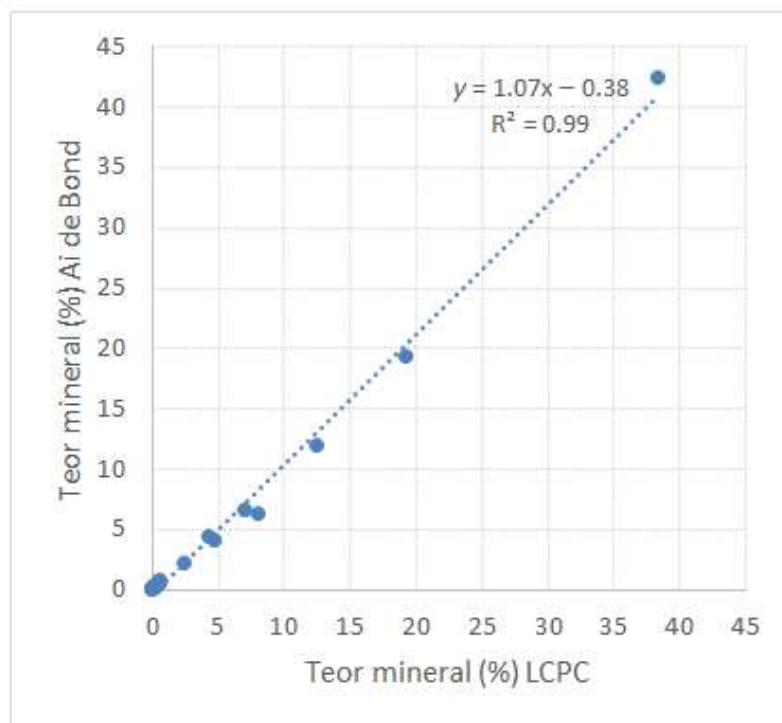
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

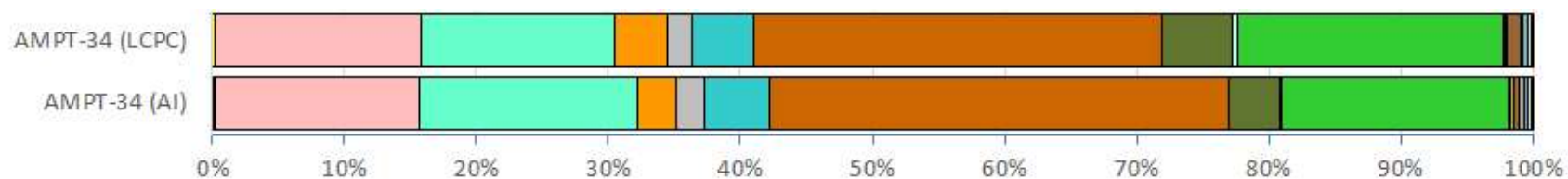




Minerais

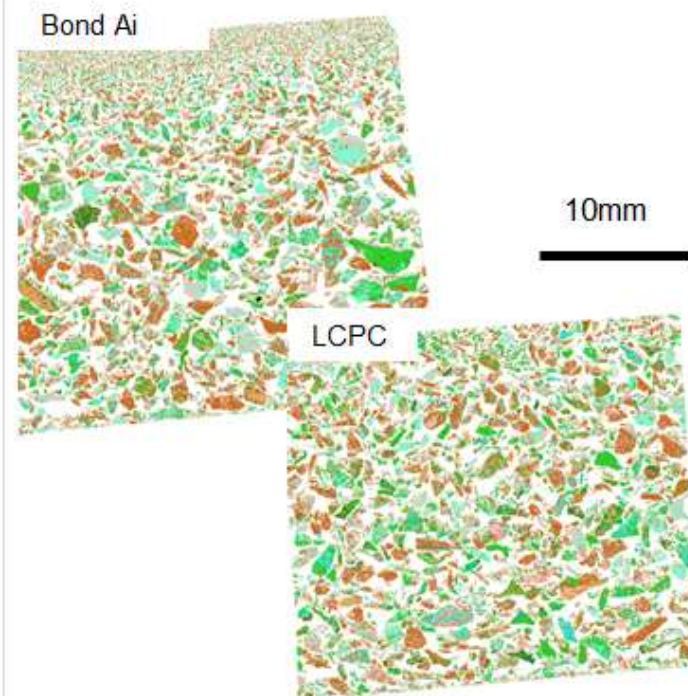
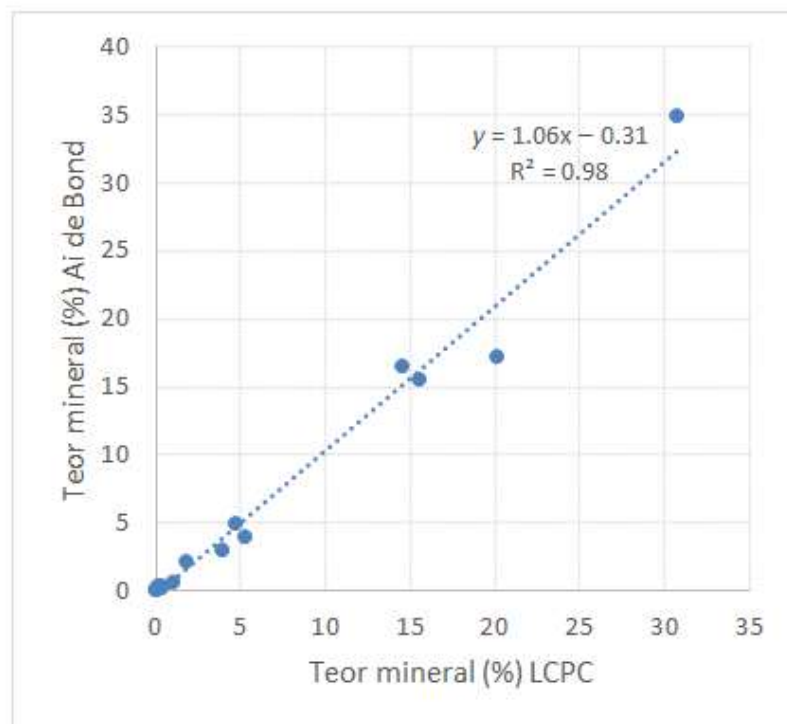
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

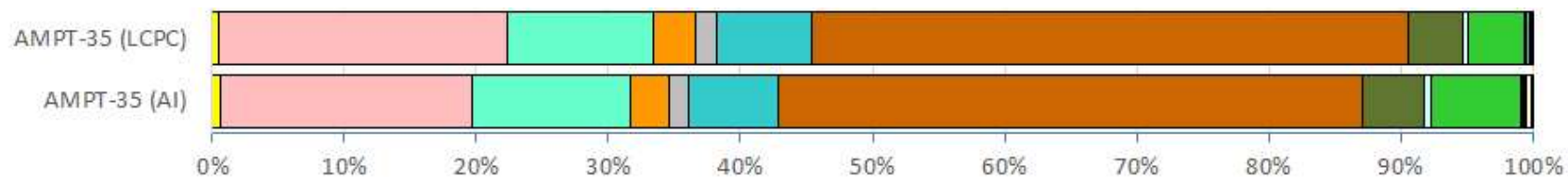




Minerais

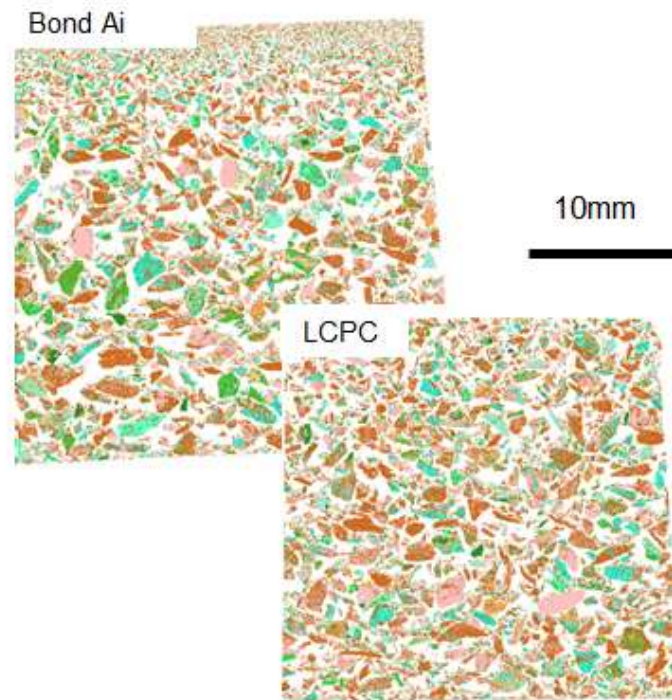
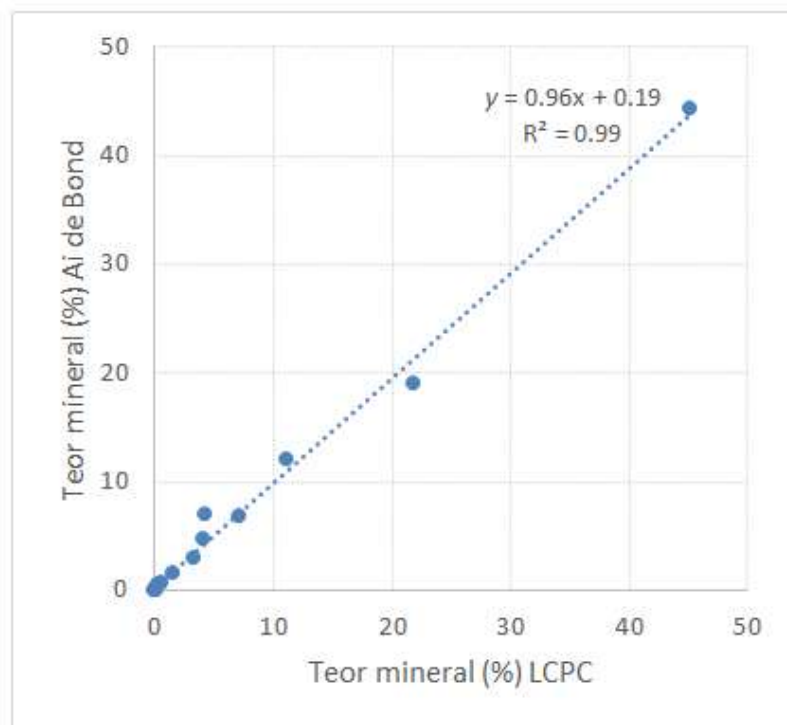
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

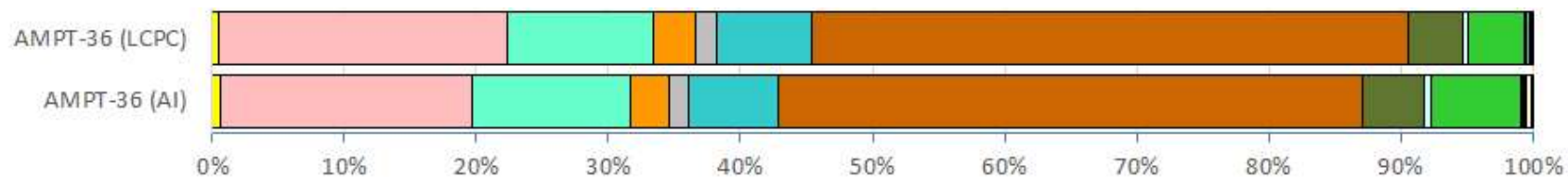




Minerais

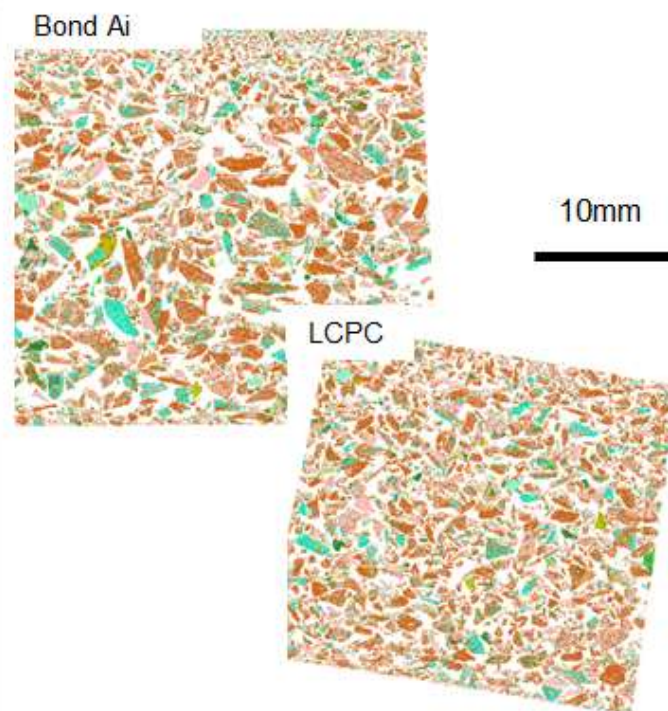
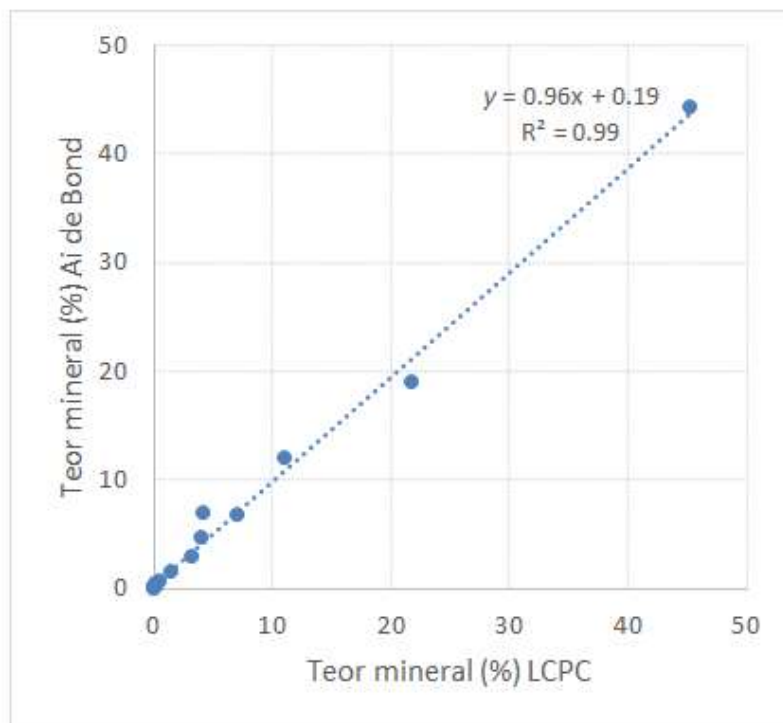
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

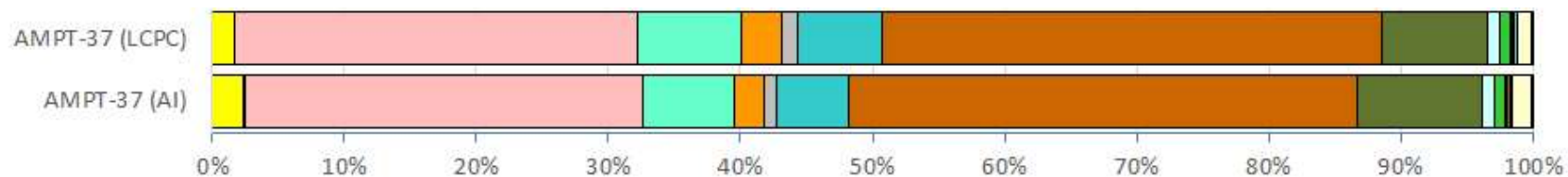




Minerais

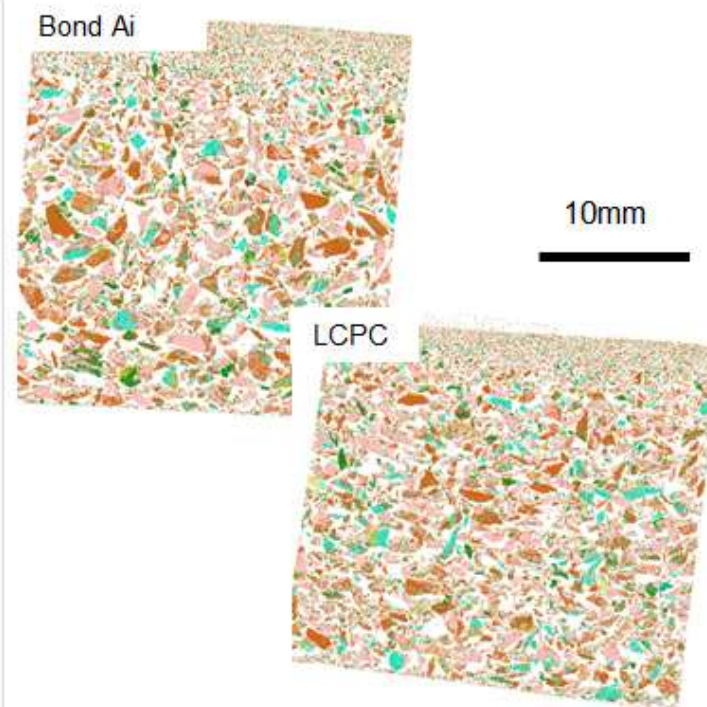
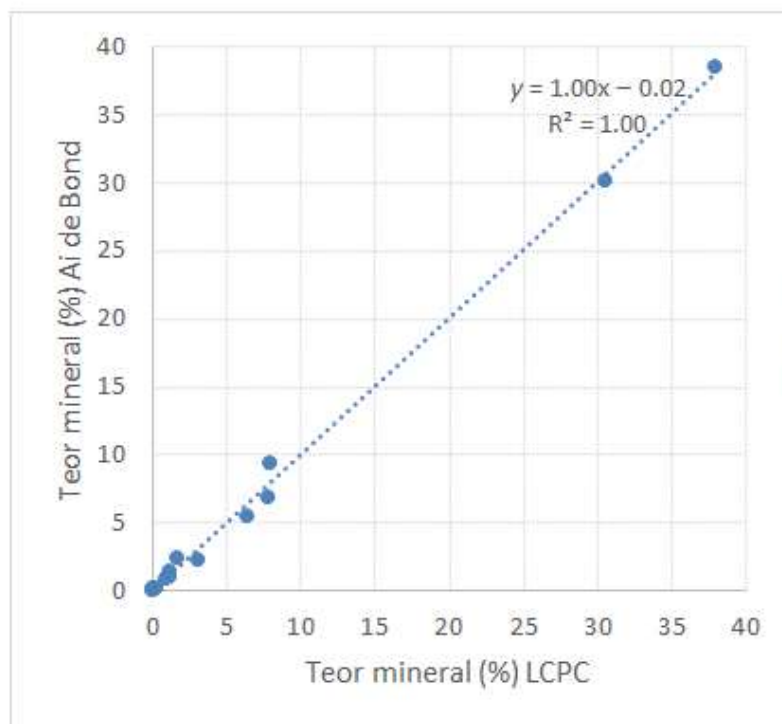
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

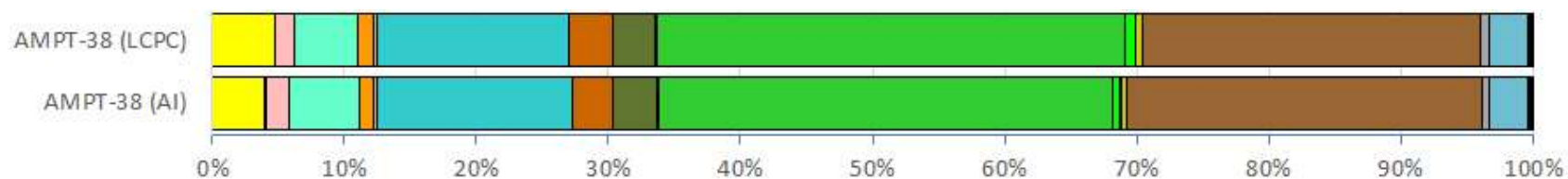




Minerais

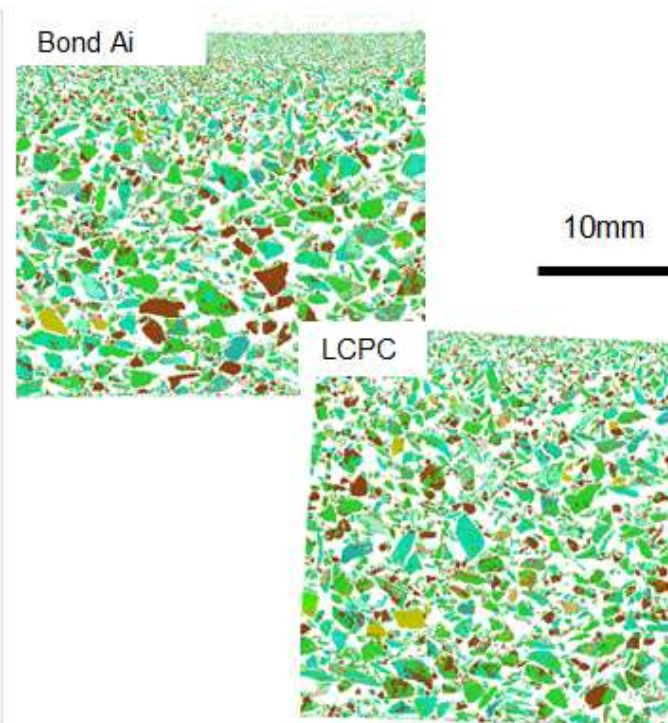
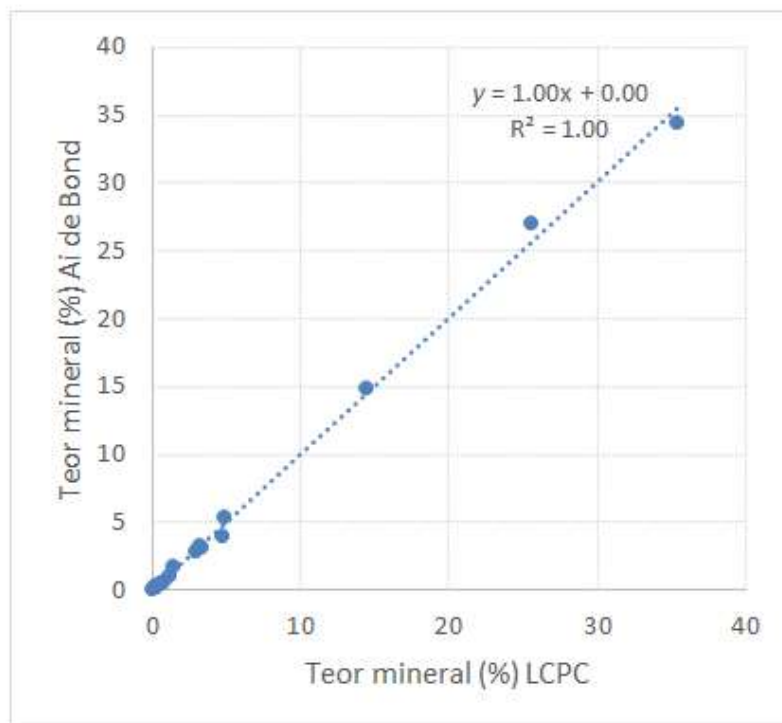
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

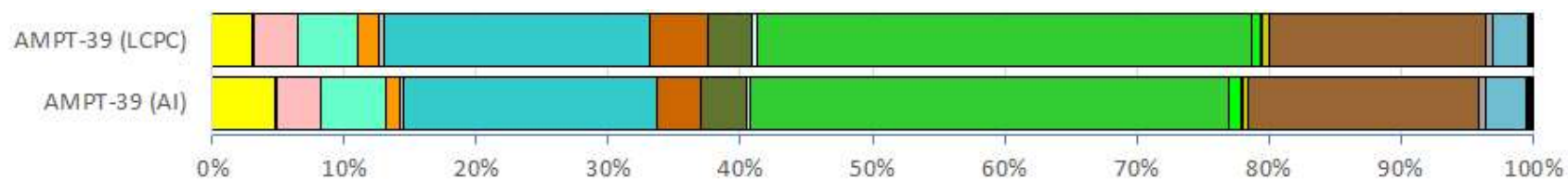




Minerais

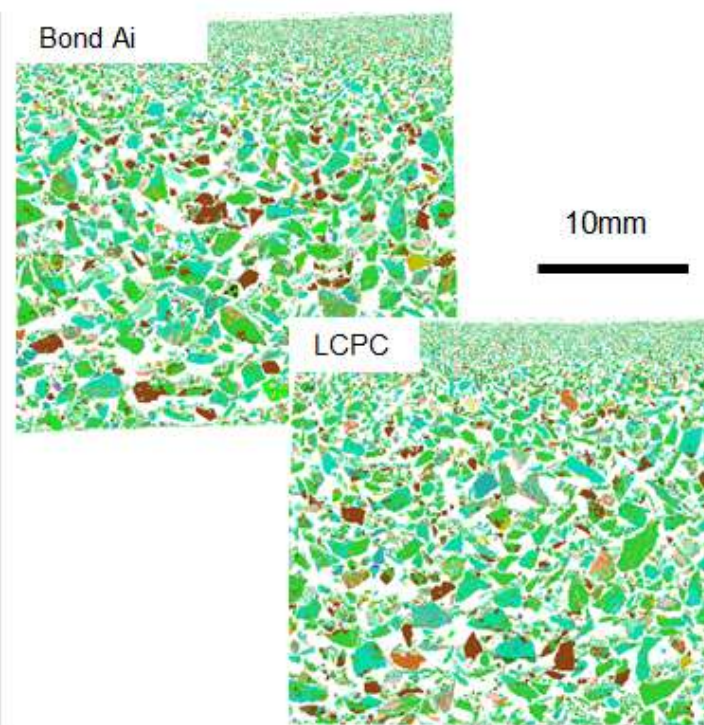
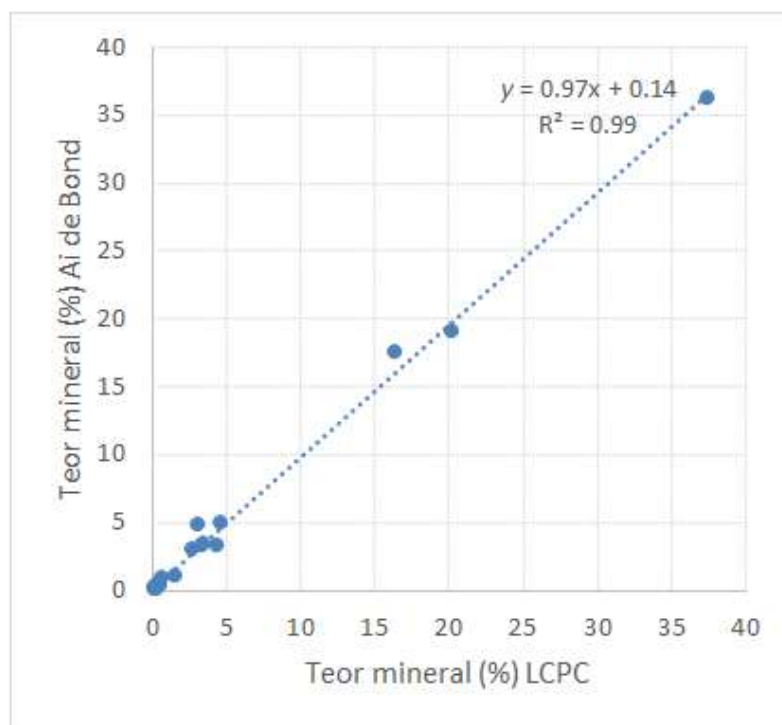
- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

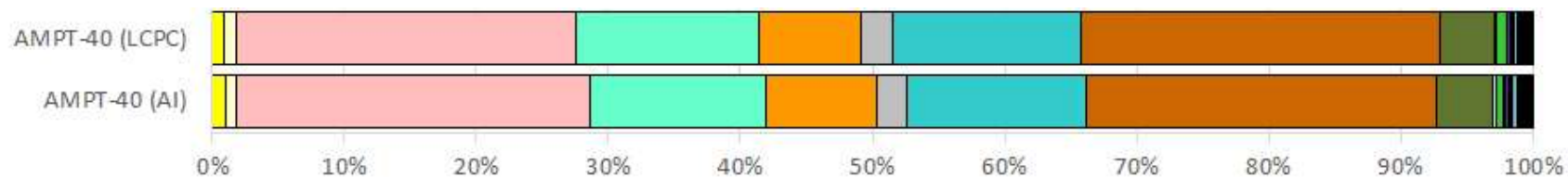




Minerais

- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases





Minerais

- Calcopirita
- Pirita
- Quartzo
- Albita
- K-feldspatos
- Muscovita
- Escapolita
- Biotita
- Clorita
- Talco
- Anfibólios
- Epidoto
- Turmalina
- Titanita
- Óxidos de Fe
- Óxidos de Ti
- Apatita
- Carbonatos
- Outras fases

