

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

Flávia Emery Pereira Sudário

Cominuição Seletiva de Minerais de Diferentes Moabilidades

Ouro Preto
2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FLÁVIA EMERY PEREIRA SUDÁRIO

Cominuição Seletiva de Minerais de Diferentes Moabilidades

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral: área de concentração em Tratamento de Minérios da Faculdade de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mineral.

Orientador: Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz

Ouro Preto
2010

Espaço reservado para ficha Catalográfica –
Universidade Federal de Ouro
Preto

Flávia Emery Pereira Sudário
Cominuição Seletiva de Minerais de Diferentes Moabilidades

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Faculdade de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Minas.
Ouro Preto, 2010

Banca Examinadora

José Aurélio Medeiros da Luz (Orientador) – UFOP

Rosa Malena Fernandes Lima – UFOP

Luís Claudio Monteiro Montenegro – UFMG

*Aos meus pais e familiares
pelo incentivo, paciência e
amor incondicional..*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela dedicação de uma vida, por me ensinar a ter determinação.

Ao meu orientador, Prof. Dr José Aurélio Medeiros da Luz, pela orientação, amizade e acima de tudo, pelo respeito e ensinamentos de um verdadeiro mestre.

Á Prof. Dra. Rosa Malena Fernandes Lima, pelas oportunidades de crescimento e descobertas profissionais.

Aos meus amigos, que estão sempre torcendo pelas minhas conquistas e me ajudaram neste momento.

A Deus, por tudo.

*“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará
ao seu tamanho original”*

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho visa à melhoria da separação entre a calcita e o quartzo, explorando as diferenças na moabilidade através de um modelo matemático. O presente trabalho, através da clássica equação de Rosin-Rammler, mostra as mudanças no comportamento do minério quando submetido à operação de moagem. O estudo do parâmetro de agudez de Rosin-Rammler permitiu a construção de um modelo matemático simples. A base teórica para o trabalho foi otimização de processo, realizada por Ray e Szekely (1973), através de um modelo estatístico baseado na distribuição log-normal das partículas após moagem. Este trabalho é parte de um escopo maior no qual engloba um modelo de otimização para o processo de cominuição através da relação de energia gasta e classificação.

PALAVRAS-CHAVE: moabilidade; Rosin-Rammler; agudez.

ABSTRACT

This work treats on the quartz and calcite grindability differences to achieve a preliminary grinding classification in order to improve further sorting operation. The present work, through classical mathematical equation of Rosin-Rammler, shows the changes in mineral behavior when submit to grinding operation. The knowledge of the Rosin-Rammler's sharpness parameter allows the building of a simple mathematical model. The theoretical base of this work was inspired by the study of the optimization process carried out by Ray and Szekely (1973) through a statistical model based on log-normal distribution of particle diameter after grinding. This work is part of a greater scope which encompasses an optimization model for comminution process as far as energetic consumption and mineral sorting are simultaneously concerned.

KEY-WORDS: grindability; Rosin-Rammler; sharpness.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1. Modelo de Ray e Szekely.....	31
3.2 Exemplo de Cominuição Seletiva.....	36
4. METODOLOGIA.....	39
4.1. Amostras.....	39
4.2. Modelagem do Processo.....	41
4.2.1. Generalidades.....	41
4.2.2 Modelo de cominuição seletiva.....	42
4.3. Ensaio de Validação do Modelo.....	45
4.3.1. Britagem do material.....	45
4.3.2. Massa mínima da amostra pelo método de Gy.....	46
4.3.2.1 Método de Gy.....	46
4.3.2.2. Amostragem pelo método de Gy.....	46
4.3.3. Cálculo do tamanho de bola.....	48
4.3.3.1 Fórmula de Bond.....	48
4.3.3.2 Cálculo do corpo moedor.....	48
4.3.4. Ensaio de Moagem.....	50
4.3.5. Análise granulométrica.....	50
4.4. O <i>Scilab</i>	55
4.5. FindGraph.....	56
4.6. EasyPlot.....	56
4.7. <i>Mathematica 7</i>	57
4.8. Delphi 7.....	57
4.9. Ajuste da Evolução dos Parâmetros Estatísticos.....	58
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
5.1. Discussão dos Resultados.....	60
5.2 Evolução dos Parâmetros Estatísticos.....	79
5.3 Modelagem da Moagem Binária.....	89
5.3.1 Aspectos conceituais.....	89

5.3.2 Modelo matemático para otimização.....	93
5.3.2.2 Construção do modelo.....	95
6. CONCLUSÕES.....	110
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
8. ADENDO.....	115

1. INTRODUÇÃO

O objetivo usual do processo de moagem é a diminuição do tamanho das partículas para liberação do material de interesse. A fragmentação de sólidos não está restrita apenas a liberar duas partículas sólidas de propriedades físico-químicas distintas como objetivado no setor mineiro, é também utilizada com outras finalidades e em vários outros setores.

Em hidrometalurgia, a cominuição é utilizada para facilitar a absorção química e a velocidade de reação através do ajuste das propriedades físico-químicas do sólido, que ao ser fragmentado aumenta este poder de absorção do mineral a ser lixiviado, em relação ao agente lixiviante.

Na indústria química, a cominuição também é utilizada para o aumento da velocidade de reação entre o sólido e o agente químico não sendo utilizada com o objetivo de liberar as partículas.

No setor de construção civil, a cominuição é utilizada apenas com o objetivo de diminuir a granulação das partículas sólidas que servem como produtos agregados para uso em concreto.

Atualmente, além da cominuição apenas para liberação do material útil, desponta como nova proposta promissora para o setor mineiro a cominuição seletiva. A cominuição seletiva visa principalmente o preparo da alimentação do circuito de separação de minérios, de forma a otimizar o contraste das características físico-químicas de cada um dos componentes, facilitando o beneficiamento.

A cominuição seletiva dentro da mineração irá facilitar o uso do processo de classificação, promovendo uma distinção prévia através da diferença na granulação do material.

Independentemente do tipo de cominuição é importante se consciencializar de que em qualquer caso deve-se evitar a formação excessiva de finos (sobremoagem), em virtude de serem, por excelência, refratários aos processos de separação.

Sabendo que os fundamentos do processo de cominuição se baseiam em condições de granulação e forma de fragmentação, é importante salientar cada um dos tópicos que determinam estes fundamentos.

Existem muitas variáveis no processo de moagem que nos levam a diversos valores de granulação e qualidade do produto. Entre essas variáveis podem ser citadas: dureza do material, tipo de equipamento utilizado, vazão do material, tipo de corpo moedor utilizado no processo, função quebra, função seleção, granulação de saída e granulação de entrada do material. Essa evolução granulométrica, por vezes é descrita por funções matemáticas que levam em conta a probabilidade de as partículas serem submetidas a eventos de quebra (função seleção) e, uma vez fragmentadas, a distribuição granulométrica das ditas partículas “filhas” (descrita pela chamada função de quebra).

Quando o processo de fragmentação de partículas através da moagem é realizado com duas substâncias minerais de moabilidades substancialmente diferentes, além da preocupação com a quebra de partículas, visando sua liberação, a adequação para o processo subsequente de separação por espécie se torna um fator extremamente importante, nessa instância, a seletividade da cominuição pode vir a favorecer a seletividade do processo de separação.

Este trabalho visou o estudo da cominuição seletiva, de modo a melhorar o desempenho de sistema de separação a jusante, sendo realizado através de campanha experimental em laboratório.

Além da campanha experimental em laboratório chegou-se a um resultado com variáveis que determinaram um valor de separação no processo entre duas espécies minerais, usando a metodologia algébrica incorporada a um programa computacional, o Scilab.

O trabalho apresentou inicialmente uma revisão bibliográfica do problema da cominuição com ênfase na cominuição seletiva. A seguir foi apresentada a proposta da criação de um modelo matemático para otimização da cominuição seletiva. Uma vez determinado o modelo teórico, foi feita a validação de algumas variáveis do modelo a partir de ensaios controlados de moagem em laboratório, tais tópicos serão a seguir detalhados.

2. OBJETIVOS

- Modelar algebricamente o processo de cominuição seletiva de sistema binário previamente liberado, a partir da reformulação do modelo matemático descrito por Ray e Szekely (1973).
- Validar o modelo matemático através dos resultados empíricos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma partícula após entrar no moinho, sofre algumas transformações devido ao processo de cominuição. Entre elas podem ser citadas: quebra de ligação química, transformação química e mecânica, quebra da partícula por impacto, por compressão e por abrasão, seleção da partícula para a quebra e formação de nova superfície de contato.

O comportamento das partículas minerais em um moinho de bolas é determinado pelo tipo de regime de moagem segundo Ale e Figueira (2002):

“Tem-se dois regimes de moagem: Na moagem em catarata, a velocidade do moinho carrega as bolas até uma posição bem elevada e elas caem sobre as outras bolas e sobre a polpa causando fragmentação por impacto. Na moagem em cascata, a velocidade baixa do moinho e o alto fator de enchimento faz com que as bolas ao alcançarem uma certa altura rolem sobre as outras não havendo quase impacto e a moagem se dá por abrasão ou atrito”.

O tipo de fragmentação determina o gasto energético em consequência da liberação de energia durante a quebra, e a transformação desta energia é um componente dependente do tipo de material a ser moído. Os principais parâmetros operacionais que definem a energia consumida são: o diâmetro do moinho, o comprimento do moinho, o volume da carga, a velocidade e o tipo de moinho.

Baseando-se nos parâmetros operacionais, Amlan e Rajamani (2001), formularam um modelo no qual definem que a distribuição do tamanho das bolas, velocidade angular do moinho e os diferentes tamanhos de moinhos, afetam diretamente o movimento da carga e, portanto, a distribuição da energia de colisão. No modelo citado, a ação de queda no moinho de bolas em cada colisão, afeta certa quantidade de material de uma classe granulométrica em particular e ocasiona a quebra deste material. O material selecionado para a quebra é

redistribuído em granulometrias inferiores e esta distribuição depende da energia de colisão entre as bolas e uma quantidade específica de massa de partículas.

Todos os trabalhos realizados definem a importância do aumento da eficiência do moinho, considerando aspectos químicos, mecânicos e cinéticos. Através destes estudos, observa-se a importância de determinar todas as variáveis que irão mudar valores de eficiência de moagem e custo de operação, como: o diâmetro do corpo moedor, revestimento, diâmetro do moinho e fatores no cálculo do custo de equipamento que deve ser reduzido alcançando um resultado ótimo com a máxima liberação e/ou separação das espécies envolvidas.

Fuerstenau e Abozeid (2002) estudaram a energia de eficiência do moinho de bolas na cominuição, definindo que a energia de eficiência é dada pela razão de energia da nova superfície criada durante a redução granulométrica pela energia mecânica fornecida para realizar a redução granulométrica na máquina. Os resultados mostraram que em relação à energia associada com a nova superfície produzida, o moinho de bolas é de certa forma ineficiente. Neste mesmo artigo foram apresentados os valores plotados da cominuição do quartzo, todos os resultados mostraram que a quantidade da nova superfície produzida é diretamente proporcional à energia despendida, que obedece a lei de Rittinger.

A Lei de Rittinger (Beraldo, 1987), desenvolvida em 1867, sugere que a energia consumida na cominuição é proporcional à nova superfície produzida. Rittinger utiliza a relação entre energia consumida, granulometria de produto e da alimentação, estando evidenciado na expressão:

$$E = K \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right) \quad (3.1)$$

Onde:

x_2 – diâmetro das partículas do produto;
 x_1 – diâmetro das partículas da alimentação.

A Lei de Kick (Beraldo, 1987), desenvolvida em 1885, estabelece que a energia consumida na cominuição é dependente apenas da relação de redução, sendo independente da granulometria original. É representada pela expressão:

$$E = K \ln \left(\frac{x_1}{x_2} \right) \quad (3.2)$$

Onde:

x_2 – diâmetro das partículas do produto.
 x_1 – diâmetro das partículas da alimentação.

A Lei de Bond (Beraldo, 1987) foi desenvolvida em 1952 após uma intensa campanha de ensaios laboratoriais e correlações industriais. É uma lei empírica, à qual Bond preconizou que a energia consumida na cominuição é proporcional ao comprimento das fissuras iniciais que se desenvolvem no fraturamento. Atualmente, a Lei de Bond é amplamente utilizada em escala industrial com vários fatores de correção.

Bond, em sua equação relaciona o consumo de potência com o grau de redução na moagem, a qual pode ser expressa por:

$$W = \frac{10Wi}{\sqrt{P}} - \frac{10Wi}{\sqrt{F}} \quad (3.3)$$

Onde:

W – Consumo específico de energia em $[J/kg^{-1}]$;

Wi – Índice de trabalho (*work index*) $[J/kg^{-1}]$;

P – Abertura da peneira na qual passam 80% do produto final moído $[\mu m]$;

F – Abertura da peneira na qual passam 80% de alimentação do moinho $[\mu m]$.

A partir dos estudos realizados por Bond (1952), Rittinger (1867) e Kick (1885), Morrell (2003) estudou uma nova relação para a energia específica requerida com a finalidade de otimizar o circuito de moagem. Neste estudo, Morrell relata a dificuldade que Bond encontrou quando passou da planta piloto à escala industrial na determinação do índice de trabalho. Por esta razão houve a inserção dos fatores de correção. O índice de trabalho (Wi) estudado por Bond é o principal parâmetro que diferencia a Lei de Bond das expressões anteriormente propostas. O índice de trabalho (Wi) é uma constante do material (e, a rigor, também do processo específico) representando a energia necessária para cominuir de uma granulometria representada por um diâmetro infinito a uma representada por 80% passante em 100 micrômetros.

Na verdade, o mesmo material pode exibir Wi diferente, dependendo das condições da operação de cominuição, pois está implícito que o mecanismo de quebra do tamanho infinito para até 100 μm seria o mesmo. Portanto é um valor de uma operação virtual, pois até certa granulação o mecanismo pode ser essencialmente de destacamento de grânulos (*fratura interparticular*), sendo que a partir dela, diminuindo-se o tamanho, o mecanismo de fragmentação será nitidamente *intraparticular*.

Ora, nesses casos acima citados, naturalmente é de esperar diferenças na energia específica consumida, mostrando que, na verdade o Wi não é necessariamente uma constante intrínseca do material e sim depende da faixa de trabalho considerada.

Realizando testes em escala piloto nos moinhos autógenos/semi-autógenos, Morrell verificou que o índice de Bond (W_i) diminui com a diminuição da granulação do produto, através desta conclusão é interessante lembrar que a definição do índice de Bond é: “parâmetro de cominuição no qual expressa a resistência do material à britagem e à moagem”. Sabe-se que a resistência da rocha aumenta com o decréscimo de tamanho devido às falhas pré-existentes que reduzem com a diminuição do tamanho da rocha, constituindo a afirmação supracitada uma indeterminação, sendo considerada perigosa tal conclusão. A descrição mais completa proposta por Morrell para a equação de cominuição é:

$$dE = -Cg(x) \frac{dx}{x^{f(x)}} \quad (3.4)$$

Onde:

E – energia requerida por unidade de massa (energia específica) em kWh/t;

$g(x)$ – função que descreve a variação das propriedades do material na quebra em relação à granulação da partícula;

C – Constante descrita pela propriedade de quebra do material.

A variação das propriedades do material na quebra não acontece da mesma forma para todas as rochas, mas é conhecido que determinadas rochas comportam-se de maneira similar.

Por esta conclusão a equação proposta se torna:

$$W = M_i K (x_2^{f(x_2)} - x_1^{f(x_1)}) \quad (3.5)$$

Onde:

W – energia específica (KWh/t);

K – constante escolhida para balanço de unidades na equação;

M_i – índice relatado para a propriedade de quebra de um minério (KWh/t);
 x_2 – 80% do tamanho passante no produto;
 x_1 – 80% do tamanho passante na alimentação.

A equação para a função $f(x)$ com melhores resultados é:

$$f(x) = -(a + x^b) \quad (3.6)$$

Onde:

a, b – constantes;
 x – 80% da granulometria passante.

Morrell concluiu que atualmente é mais eficiente usar o expoente de granulação da partícula sendo variável como proposto por Hukki, e não fixar o expoente de granulação da partícula em -0.5 , como proposto por Bond, apresentando este último uma deficiência na equação se não for utilizado os fatores de correção, acarretando um erro de 115% em circuitos de moagem de autógenos e semi-autógenos.

O consumo de energia envolvido na moagem de moinho de bolas é um dos fatores mais relevantes para otimização do processo de cominuição. O processo de cominuição é o que envolve maior dispêndio de energia, e como consequência é uma das maiores preocupações dentro beneficiamento de minerais. Como pequeno exemplo para análise, tem-se o estudo de Ribeiro e Abrantes (2001) sobre otimização energética do processo de moagem.

Alvarado e colaboradores (1998) estudaram o consumo de energia na moagem usando a correlação de Bond, incluindo todos os fatores de correção. Esse estudo relaciona a otimização do processo de cominuição a partir da segunda lei da termodinâmica. A parte mais relevante como auxílio teórico deste trabalho está no fato da criação de uma função objetivo

custo. A função objetivo relaciona a energia útil do processo de moagem somada à energia útil da britagem. De acordo com este trabalho, a função objetivo depende apenas da granulometria de alimentação.

Para maior compreensão do gasto de energia no processo de cominuição, é interessante apresentar um trabalho recente de Silva e Luz (2007), no qual foi analisada a relação anteriormente estudada por Thomas e Filippov (1999) entre o gasto energético no processo de cominuição e a perda de energia térmica do sistema para o ambiente ao seu redor.

O estudo utiliza a Lei de Hukki que relaciona a energia consumida por unidade de massa para reduzir o tamanho médio de partícula do material quebrado, e conclui a dependência do consumo energético em função da distribuição granulométrica do produto.

O estudo proposto por Thomas e Filippov (1999) reconhece que trabalhos atuais sobre energia despendida pelo processo de cominuição, necessitam de uma análise detalhada sobre os parâmetros morfológicos das partículas minerais. Em relação ao consumo de energia, eles afirmam que a ruptura mineral envolve muitos processos diferentes. Tais processos ocorrem juntos ou sucessivamente e não devem ser desconsiderados nas relações de gasto energético.

De acordo com o trabalho realizado, é necessária uma descrição precisa de propriedades geométricas do conjunto de descontinuidades naturais ou produzidas que ocorrem na partícula mineral durante a fragmentação.

Thomas e Filippov (1999) ressaltam a importância de estimar o gasto de energia térmica na criação de nova superfície da partícula para o balanço de energia do processo. Nesse trabalho são sugeridas duas hipóteses como base teórica: a primeira fala que a distribuição inicial da fratura é governada por uma lei fractal proposta por Turcotte (1986) e a segunda é que há uma lei de escala para descrever a forma da fratura nas partículas.

Thomas e Filippov (1999) relacionam o modelo de gasto energético proposto por Hukki e o modelo de estrutura fractal. Em conclusão ao trabalho, eles afirmam que o processo de fragmentação é altamente dependente das propriedades estruturais do mineral original.

Em um estudo sobre a eficiência energética, Tromans (2007) fala sobre o alto custo do processo de cominuição, descrevendo a natureza do processo que ele considerou como sendo ineficiente por estar baseado na energia mecânica (tensão) relativa à área superficial da fratura gerada (energia). Tromans destaca alguns estudos para aproveitar melhor o conceito de energia de superfície e cita o trabalho de Stamboliadis (2007) no qual conclui que a energia de superfície é uma propriedade que pode ser usada para definir a moabilidade do material. Neste trabalho, foi estudada a quebra da partícula por compressão para conhecer um limite máximo teórico de energia de eficiência dentro das condições de fratura ideal na cominuição (compressão).

O estudo da fratura nos minerais, realizado por Tromans (2007), inicialmente foi feito através do estudo de tensão uniaxial. Esse estudo sobre fratura nos minerais está relacionado à energia requerida para criar uma nova fratura, sendo o limite ideal máximo de eficiência (que ele denominou por E_{limite}) baseado na energia requerida para a criação de uma fratura. Entre os resultados obtidos por ele, 66 % é o limite ideal máximo de eficiência considerando uma carga de tensão uniaxial. Através da carga de compressão sobre a partícula, Tromans conclui sobre a necessidade de se produzir tensão para a propagação de uma falha pré-existente. Conclui também como a razão de Poisson e a tensão triaxial influenciam no limite máximo de energia de eficiência.

Stamboliadis (2006) em seu estudo teórico relaciona granulometria e energia, estudo no qual ele denomina de “teoria da distribuição da energia na cominuição”. Nesse estudo, ele relembra as três principais teorias da cominuição que foram propostas por Kick (1885), Rittinger (1867) e Bond (1952).

Stamboliadis (2006) denomina “índice de moabilidade” a energia requerida para cominuir certa quantidade de material de granulometria inicialmente grossa para uma granulometria fina. Esse estudo faz referência às principais equações utilizadas para determinar uma distribuição granulométrica, que são a de Rosin – Ramler (R-R) e a de Gates-Gaudin-Schuhmann (G-G-S), que calculam com aceitável exatidão os tamanhos d_{50} e d_{80} , utilizados normalmente para descrever o produto de granulometria mais fina da moagem.

O autor acima citado ressalta, porém, que nenhuma destas equações podem ser utilizadas para calcular a área superficial específica. De acordo com ele, a área superficial tende ao infinito quando a granulometria se aproxima de zero, desta forma, conhecendo a área superficial de uma amostra é possível calcular a granulometria de outra amostra com mesma área superficial específica. Entre algumas outras conclusões, Stamboliadis (2006) fala que a tensão superficial (medida em J/m^2) é a propriedade física dos materiais que pode ser usada para definir sua moabilidade.

Em mais um estudo sobre energia, porém em relação à cinética do moinho de bolas, Kheifets e Lin (1998) propõem uma relação que utiliza energia em lugar de tempo. O modelo é similar ao modelo clássico da cinética química, porém o tempo é substituído pela energia e a temperatura substituída pela relação de força. Como conclusão, a dependência entre a força e a eficiência energética foi confirmada experimentalmente. A substituição do tempo pela energia, e da temperatura pela força através do aparato matemático clássico da cinética química, possibilitou descrever o processo de redução granulométrica quantitativamente com a unificação de técnicas para escala industrial de moagem.

Entre os esforços para otimizar o processo de cominuição, encontra-se o estudo de Mishra (2003) que utiliza o método de elementos discretos (DEM) para otimizar o processo de moagem através da simulação computacional. Ele analisa o movimento da carga dentro do

moinho de bolas, considerando que este movimento tem grande influência na cominuição juntamente com a distribuição de energia.

O estudo de Mishra (2003) aborda a importância das mudanças físicas e químicas na partícula através da compreensão da quebra de uma única partícula, do movimento da carga no moinho e da medida das forças que atuam dentro do moinho. Para analisar a energia utilizada no processo de moagem, ele relaciona a corrente de energia e a eficiência de moagem ao movimento da carga e à colisão resultante das bolas que utilizam a energia para fraturar as partículas. Através das observações supracitadas, a energia é dada por:

$$P = 2\pi TN \quad (3.7)$$

O torque é dado por:

$$T = M_b r_g \text{sen} \alpha \quad (3.8)$$

Onde:

T – torque;

M_b – massa das bolas;

r_g – distância do centro do moinho ao centro de gravidade da carga;

α – ângulo de repouso da carga de bolas;

N – velocidade do moinho em rpm.

Mishra (2003) admite que o movimento da carga acontece em função do tipo de revestimento usado. O desgaste do moinho também é importante no processo de cominuição, porém é resultado de vários processos complexos, que devem ser detalhados para melhorar o desempenho da moagem. Ele utiliza argumentos que podem validar o modelo de balanço populacional a ser usado no modelamento em microescala, porque o modelo faz um prognóstico sobre a distribuição granulométrica das partículas na moagem. O modelamento

em microescala envolve a quebra de uma única partícula e a energia de impacto para que ocorra a distribuição granulométrica das partículas. O espectro da energia de impacto pode ser obtido através da simulação com DEM (Métodos de Elementos Discretos).

Além dos estudos desenvolvidos por Mishra (2003), Dong e Moys (2002) também utilizaram o DEM para simular e analisar a trajetória de uma bola no processo de moagem.

Eles plotaram a trajetória de entrada de uma bola, antes e depois do impacto sobre a carcaça do moinho, sob diversas velocidades. Através deste estudo, Dong e Moys (2002) conseguiram determinar um coeficiente entre a bola e a carcaça do moinho, para determinar a posição da carga no moinho e a velocidade da bola após o impacto.

Partículas minerais fragmentadas podem ser incorporadas na simulação do processo de moagem, que é baseado nas dinâmicas de uma partícula individual (DEM), porém, quando devem ser consideradas partículas de granulometria muito fina o método pode se tornar limitado. Este conhecimento foi reafirmado por Gates e Westcott (2000) ao estudar probabilidade de distribuição granulométrica após a fragmentação. Eles estudaram um processo de quebra baseado na estatística de Poisson e disponibilizaram um exemplo de população de fragmentos.

Um ótimo estudo para observar com maior detalhe a precisão do DEM em relação aos dados experimentais é o de Makokha e colaboradores (2007). O objetivo do trabalho é otimizar o desempenho do moinho. Os resultados simulados em relação à posição de carga dentro do moinho expressam bem a realidade da campanha experimental realizada.

Está bastante clara a importância de usar o DEM (Método do Elemento Discreto) na simulação do processo de cominuição. É possível também simular o fluxo de sólido particulado dentro dos moinhos pelo método DEM. Este estudo foi realizado por Cleary (2006) e analisa o transporte axial das partículas dentro do moinho. É um trabalho recente sobre o movimento de fluxo de minério.

O modelo de balanço populacional (King, 2001), analisa as propriedades das partículas através de suas coordenadas internas e externas. A idéia é que as partículas modificam suas coordenadas quando se movem pelo ambiente, processando e modificando a estrutura física e suas características internas.

Através do reconhecimento das coordenadas externas e internas de uma partícula, é possível conhecer sua posição no espaço, sendo extremamente importante em determinados modelos matemáticos. O tamanho da partícula, assim como a energia específica de superfície, possivelmente um dos principais parâmetros na otimização de um circuito de moagem, são considerados um exemplo de coordenada interna.

Para máquinas de cominuição, o uso da equação geral de balanço populacional é gerado dentro das seguintes condições: tem-se apenas uma coordenada interna que é a granulagem da partícula, o processo de desgaste e de quebra da partícula não é dependente da posição da partícula no moinho e as coordenadas externas são muito relevantes.

A equação de balanço populacional para um sistema de partículas na fragmentação é:

$$\frac{\partial n(v,t)}{\partial t} = \int_v^{\infty} \phi(u)\omega(u,v)n(u,t)du - \phi(v)n(v,t) \quad (3.9)$$

Onde:

$n(v,t)dv$ - concentração de um número de partículas em determinada granulometria $(v, v + dv)$, #/cm³.

$\phi(v)$ - razão de quebra para partículas de granulometria v , s⁻¹.

$\omega(u,v)dv$ - número provável de partículas formadas em determinada granulometria $(v, v + dv)$ pela quebra de uma única partícula de granulometria v , adimensional.

u, v - Volume de partícula, μm^3 .

Através das análises de Frandrich e colaboradores (1997) para desenvolvimento do modelo de liberação mineral, tem-se novamente o auxílio da equação de balanço populacional. A equação de balanço populacional é uma boa ferramenta para previsão da granulometria do produto no processo de cominuição, e foi utilizada nesse estudo onde se descreve o desenvolvimento de um modelo de liberação mineral para o leito de fragmentação de partícula de um minério binário de óxido de ferro. Entre os resultados obtidos, as medidas de liberação realizadas nos produtos do leito de fragmentação de partícula do minério binário de óxido de ferro mostraram um lugar de quebra preferencial nas partículas.

Khumalo e colaboradores (2007) também utilizaram o modelo de balanço populacional em suas análises sobre energia específica no processo de cominuição. Eles modelaram o produto experimental do processo de moagem e apresentaram os resultados geometricamente no espaço bi-dimensional.

Outro trabalho interessante que utiliza um modelo matemático para simular o processo de moagem com moinho de bolas é o de Carrisso e Possa (1993). Eles utilizaram um modelo cinético a partir do modelo de balanço populacional. As variáveis utilizadas na simulação foram: função distribuição de tempo de residência ($h(t)$), função de quebra (B) e função de seleção (S).

Para ressaltar a importância do detalhamento da cinética de fragmentação no processo de cominuição, é interessante comentar sobre um estudo que também utiliza a cinética da quebra durante a carga de compressão sobre a granulometria de alimentação confinada em um leito de partícula. Este estudo foi realizado por Fuerstenau e Gutsche (1999). Eles afirmam que a evolução do espectro granulométrico com a energia gasta é um processo assintótico. Foi observado que para simular o processo de cominuição, normalmente é utilizado o modelo de balanço populacional. Kwade (2004) direcionou seus estudos a partir de um modelo físico com o objetivo de otimizar o processo de cominuição. A análise para a otimização foi baseada

na ação da energia de tensão que ocorre no processo de cominuição. A partir dos resultados analisados, Kwade oferece algumas mudanças futuras para o processo de moagem pelo modelo de tensão.

Um estudo similar ao que está sendo proposto é o de Teke e colaboradores (2002) que estuda a cinética do moinho de bolas conduzindo moagem a úmido nos minerais de calcita e barita. Eles utilizam o S_i (função seleção) e o B_{ij} (função de quebra) para obter resultados de distribuição granulométrica através de simulação e comparar com experimentos realizados. O estudo relata o aumento ou diminuição dos valores de S_i em função da granulometria de alimentação e do tamanho da bola como corpo moedor.

Teke e colaboradores (2002) observaram que, com longo tempo de moagem, S_i decresce com o acúmulo de material fino no moinho. Na simulação, usaram-se valores de B_{ij} e S_i obtidos em laboratório. Através da opção de circuito aberto no simulador eles utilizaram B_{ij} e S_i para gerar valores da distribuição granulométrica da alimentação.

Pela comparação de valores obtidos na moagem da calcita e da barita, eles observaram que com o aumento da granulometria de alimentação, o valor de S_i aumenta proporcionalmente para ambos minerais. Para granulometrias finas, o efeito que ele denominou como abaixamento da taxa de quebra começa a acontecer primeiro na moagem da barita em relação à calcita. Foi observado que os valores de γ (constante característica denominada fator de finura) da barita são menores do que os valores da calcita, indicando que mais finos são produzidos na moagem da barita.

Entre as conclusões, serão destacadas algumas para melhor entendimento do trabalho de Teke:

1. Para a calcita, os valores de S_i aumentam com o aumento da granulometria da alimentação. Em relação ao corpo moedor, bolas menores aumentam os valores de S_i .

2. Por um fator de 1,15, os valores de S_i da barita são maiores que os da calcita considerando condições normais de moagem.
3. O decréscimo de eficiência de moagem pode ser causado pelas partículas finas que são difíceis de quebrar.
4. A razão para o efeito de abaixamento da taxa de quebra acontecer primeiro para a barita é devido a seu fator γ , chamado de fator de finura, que é menor em relação à calcita.

Bearman, Briggs e Kojovic (1997) estudaram através de testes específicos, o processo de cominuição em relação à resistência das rochas. Nesse estudo, são utilizados testes dentro da mecânica de rochas para medida de fragmentação. Neste trabalho foi investigada a relação dos parâmetros de tensão na fragmentação das rochas. Os resultados obtidos são utilizados com sucesso para a simulação e otimização de circuitos de moagem.

Para otimizar o processo de moagem em relação a parâmetros operacionais, Schnatz (2004) estudou como a variação da razão L/D , a razão de adição de carga de bolas e o tempo de residência afetam na demanda de energia específica. Entre os resultados, tem-se um abaixamento na demanda de energia específica utilizando bolas menores. Foi observado que o ótimo tempo de residência depende não apenas do material da alimentação, mas também da razão de adição de carga de bolas e da razão L/D .

Em trabalho mais recente de otimização de circuito de moagem, é interessante apenas comentar sobre o sistema de simulação dinâmica desenvolvido recentemente pela CSIRO Minerais. É um programa de ambiente gráfico chamado Matlab/Simulink usado para construir um conjunto de comandos de modelos matemáticos dinâmicos. O estudo foi realizado por Liu e Spencer (2004).

Como pode ser observado, o processo de cominuição tem sido destacado em vários estudos visando à obtenção de uma melhor qualidade de produto. Foram estudados vários modelos matemáticos visando ao aumento de eficiência no moinho de bolas.

Cada vez mais em busca de modelos mais simplificados e eficientes, encontram-se propostas que são baseadas na física, na química e na matemática pura.

Para exemplificar, será mostrado a seguir o modelo matemático de otimização em sistema de estrutura decomposta para duas espécies minerais.

3.1. Modelo de Ray e Szekely

Ray e Szekely (1973) utilizaram o *princípio máximo discreto* para formular o modelo matemático de otimização em sistemas de estrutura decomposta.

O modelo utilizando o *princípio máximo discreto* (Ray e Szekely, 1973) é eficiente apesar das simplificações adotadas nas suas premissas. A base do modelo se baseia no estudo de população de partículas sólidas obedecendo à distribuição log normal, e ignorando os fenômenos que ocorrem na cominuição pela análise de uma única partícula.

A distribuição granulométrica através do modelo log normal adotada por Ray é calculada por:

$$y(d) = \frac{1}{\log \sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ - \left[\frac{(\log d - \log d)^2}{2 \log^2 \sigma} \right] \right\} \quad (3.10)$$

Onde:

d – diâmetro médio da partícula.

σ^2 – variância do material.

$y(d)$ – fração do material com diâmetro entre d e $d + \Delta d$.

O desvio padrão dos materiais depende da granulometria de cada um, de forma que irá modificar ao longo do processo de cominuição com a mudança na granulação dos materiais.

O desvio padrão será diferente para cada material, sendo a constante de moabilidade também diferente. Ray e Szekely (1973) expressaram esta evolução do desvio padrão de uma das espécies de forma simplificada:

$$\sigma_{out} = \sigma_{in} \left(\frac{d_{out}}{d_{in}} \right)^k \quad (3.11)$$

Onde k é um parâmetro dependente do material utilizado na moagem, sendo que em seu exemplo de aplicação para o último estágio de moagem os autores adotaram os seguintes valores de k :

$K = 0,9$ para o material A.

$K = 0,85$ para o material B.

Pelo modelo proposto por Ray e Szekely, a função-objetivo relaciona a granulação final em cada estágio de moagem e o custo de equipamento que é proporcional ao tempo de residência. Quanto menor o tempo de residência, menor o desgaste do equipamento e menor o seu custo operacional.

Como função-objetivo, tem-se então:

$$I = \frac{\left[x_{1N} - 2\sqrt{2} \left(\frac{x_{1N}}{2} \right)^{0,9} \right] - \left[x_{2N} - 2\sqrt{2,7} \left(\frac{x_{2N}}{2,5} \right)^{0,85} \right]}{x_{1N}} - \alpha \sum_{n=1}^3 \tau_n \quad (3.12)$$

A função objetivo está submetida aos vínculos representados pela granulação de saída de cada material. Sem considerar os modelos mais comuns de balanço populacional (utilizando conceitos como funções de seleção e de quebra), Ray e Szekely (1973) adotaram as seguintes equações vinculantes:

$$x_{1n} = \frac{1}{\frac{1}{x_{1(n-1)}} + C_{An} \tau_n} + d_{A\infty} \quad (3.13)$$

$$x_{2n} = \frac{1}{\frac{1}{x_{2(n-1)}} + C_{Bn} \tau_n} + d_{B\infty} \quad (3.14)$$

Onde:

- $d_{A\infty}$ – tamanho limite da espécie para um tempo de moagem infinito [m];
- x_{1N} – tamanho de saída do material A no enésimo estágio de moagem [m];
- x_{2N} – tamanho de saída do material B no enésimo estágio de moagem;
- $x_{(x-1)}$ – tamanho de entrada do material A no enésimo estágio de moagem;
- $x_{2(x-1)}$ – tamanho de entrada do material B no enésimo estágio de moagem;
- τ_n – tempo de residência considerando no enésimo estágio de cominuição [s];
- C_{An} – constante de moabilidade do material A no enésimo estágio de moagem;
- C_{Bn} – constante de moabilidade do material B no enésimo estágio de moagem;
- α – constante ponderadora relacionada ao custo do equipamento.

Para tornar as variáveis da função objetivo independentes, esses autores aplicaram a técnica dos multiplicadores de Lagrange, necessidade imposta para utilizar o Princípio Máximo Discreto, que coloca a função-objetivo como:

$$I(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_n) = \sum_{n=1}^N F_n(x_{n-1}, u_n) + G(x_N) \quad (3.15)$$

No caso do exemplo dado por Ray e Szekely, $G(X_N)$ será:

$$G(x_3) = \frac{\left[x_{13} - 2\sqrt{2} \left(\frac{x_{13}}{2} \right)^{0,9} \right] - \left[x_{23} + 2\sqrt{2.7} \left(\frac{x_{23}}{2.5} \right)^{0,85} \right]}{x_{13}} \quad (3.16)$$

Sendo F_n :

$$F_n = -\alpha u_n \quad n = 1, 2, 3 \quad (3.17)$$

Deste modo a função objetivo será:

$$I = F_1 + F_2 + F_3 + G(x_3) \quad (3.18)$$

Aplicando a condição estacionária de Kuhn-Tucker para um valor ótimo, tem-se:

$$H_n \equiv F_n(x_{n-1}, u_n) + \lambda^T f_n(x_{n-1}, u_n) \quad (3.19)$$

O valor de H_n pode ser interpretado como resultado da função lagrangeana para o n ésimo estágio. Pela instância supracitada, o valor de H_n para o exemplo dado será:

$$H_n = -\alpha u_n + \lambda_{1n} \left(\frac{1}{\frac{1}{x_{1n-1}} + C_{An} u_n} + d_{A\infty} \right) + \lambda_{2n} \left(\frac{1}{\frac{1}{x_{2n-1}} + C_{Bn} u_n} + d_{B\infty} \right) \quad (3.20)$$

Onde $\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{1n} \\ \lambda_{2n} \end{bmatrix}$ é um vetor dos multiplicadores de Lagrange para o enésimo

estágio, que é dado pela derivada parcial em relação à H_n e $G(x)$. Pelo teorema do princípio máximo discreto esta derivada é calculada da seguinte forma:

$$\lambda_n^T = \frac{\partial H_{n+1}}{\partial x_n} \quad (3.21)$$

$$\lambda_N^T = \frac{\partial G}{\partial x_N} \quad (3.22)$$

Sendo que o resultado desta derivação para o problema proposto é:

$$\lambda_{1n} = \lambda_{1n+1} \left(\frac{1}{\frac{1}{x_{1n}} + C_{An+1} u_{n+1}} \right)^2 \left(\frac{1}{x_{1n}} \right)^2 \quad (3.23)$$

$$\lambda_{2n} = \lambda_{2n+1} \left(\frac{1}{x_{2n} + C_{Bn+1} u_{n+1}} \right)^2 \left(\frac{1}{x_{2n}} \right)^2 \quad (3.24)$$

e

$$\lambda_{13} = \frac{1 - 0.9\sqrt{2} \left(\frac{x_{13}}{2} \right)^{-0.1}}{x_{13}} - \frac{G(x_3)}{x_{13}} \quad (3.25)$$

$$\lambda_{23} = \frac{- \left[1 + \frac{1.7}{2.5} \sqrt{2} \left(\frac{x_{23}}{2.5} \right)^{-0.15} \right]}{x_{13}} \quad (3.26)$$

3.2 Exemplo de Cominuição Seletiva.

Foi realizado, no laboratório de tratamento mineral da UFOP, o processo de separação entre gibbsita e quartzo por atrição seguida de corte granulométrico (Luz, 2006). O processo de atrição pode ser considerado um processo de cominuição por abrasão, como, por vezes, na moagem autógena. Devido à moabilidade maior da gibbsita, esta fase mineralógica fica granulometricamente mais fina que o quartzo (para uma alimentação com os constituintes com a mesma granulação). O resultado nesse caso específico, porém, está relacionado com o processo de separação (concentração com enriquecimento de dada fase com a fase de

interesse) e não propriamente de liberação de partícula mineral. A título de ilustração, os resultados, após peneiramento, são apresentados nas figuras 3.1, 3.2 e 3.3, a seguir (Luz, 2006):



Figura 3.1 – Alimentação do sistema de atrição. Material: gibbsita e quartzo.



Figura 3.2 – Avaliação visual do sistema de atrição. Material, da esquerda para a direita: alimentação, produto grosso (quartzoso) após separação por peneira e produto fino (gibbsítico) após separação por peneira.



Figura 3.3 – Avaliação visual do produto grosso (quartzoso) empobrecido de gibbsita, após corte granulométrico subsequente à atrição.

Como podem ser observadas, as partículas de quartzo estão concentradas no material de granulometria grosseira, obtendo desta forma uma comparação real para o processo em estudo que é a separação por diferentes granulometrias.

4. METODOLOGIA

Primeiramente fez-se um estudo sobre um possível modelo matemático algébrico para posteriormente fazer o trabalho experimental. Para tanto, previu-se os seguintes itens: o modelo de Ray e Szekely que foi tomado como referência para a formulação de um modelo com novas propostas, o Scilab que auxiliou na execução do processo empírico, amostras, ensaios de moagem e determinação do teor nas amostras.

O material que foi utilizado estava liberado para que a fragmentação pudesse promover as condições que permitissem facilitar a subsequente separação de duas espécies de diferentes moabilidades.

4.1. Amostras

Os minerais utilizados para o trabalho foram o quartzo e a calcita, que já estavam liberados em consequência do principal motivo ser a separação da mistura pelas diferenças de moabilidades entre os mesmos. Optou-se por estudar uma mistura binária já liberada para simplificação do modelo. Futuramente os resultados servirão para balizar modelos matemáticos mais complexos.

O quartzo, proveniente da pedreira Taquaral, cidade de Ouro Preto – M.G., possui estrutura cristalina composta por sílica (dióxido de silício, SiO_2).



Figura 4.1. Cristais de quartzo (pedreira taquaral).



Figura 4.2 Quartzo da pedreira taquaral pronto para ser britado.

A calcita foi cedida pela Lage Minérios Limitada – **Lamil**, oriunda de sua cava em Pará de Minas (MG). A Lamil é uma empresa cujo produto principal é o agalmatolito, que possui aplicação em vários segmentos da indústria química. A calcita é um mineral com composição química CaCO_3 e com a notável característica de apresentar clivagem romboédrica perfeita.

As amostras foram preparadas da seguinte forma:

As amostras foram britadas e bitoladas em faixa granulométrica abaixo de 3,35 mm, pois, devido a indisponibilidade de amostra ilimitada deve-se procurar bitolar o material em faixa mais ampla para que se possa ter o maior coeficiente de aproveitamento das amostras disponíveis. Em virtude de o objetivo ser o modelamento do processo, foram usadas amostras de minérios sintéticos com dois minerais de diferenças de moabilidades bem acentuadas, para facilitar a formulação e a posterior calibração do modelo.

4.2. Modelagem do Processo

Para a modelagem do processo, previu-se primeiramente o tempo de residência e em último momento incorporou-se o custo de cominuição.

4.2.1. Generalidades

Para a modelagem do processo foram estudadas as seguintes variáveis:

- ✓ Tempo de residência.
- ✓ Granulometrias da alimentação e produto para cada tipo de mineral.
- ✓ Agudez e diâmetro mediano da calcita e do quartzo.
- ✓ Teor de calcita.

4.2.2 Modelo de cominuição seletiva

Para o novo modelo apresentado, a granulometria de entrada e saída não foi descrita pela distribuição log normal e sim pela distribuição de Rosin-Rammler, ao contrário do modelo de Ray e Szekely, isto porque a distribuição Log Normal apresenta dificuldades de manipulação algébrica (por exemplo, não é Riemann-integrável), além de estar atualmente em desuso, visto que as distribuições como Rosin-Rammler, Gates-Gaudin-Schuman, Gaudin-meloy são muito mais utilizadas.

Essa distribuição é expressa por:

$$Y_i = 1 - \exp \left[- \ln(0,5) \left(\frac{d_i}{d_{50c}} \right)^m \right] \quad (4.1)$$

Onde:

Y_i – Fração granulométrica passante acumulada de material na classe granulométrica i ;

d_i – tamanho (diâmetro) da classe i [m];

d_{50c} – tamanho nominal de corte (d_{50}) [m];

m – parâmetro de agudez (ou módulo da distribuição) [-].

A representação gráfica idealizada da evolução das equações de Rosin-Rammler descritoras da granulação de saída dos dois materiais considerando hipoteticamente uma mesma alimentação de entrada, após um tempo t de moagem, pode ser vista na figura 4.3.

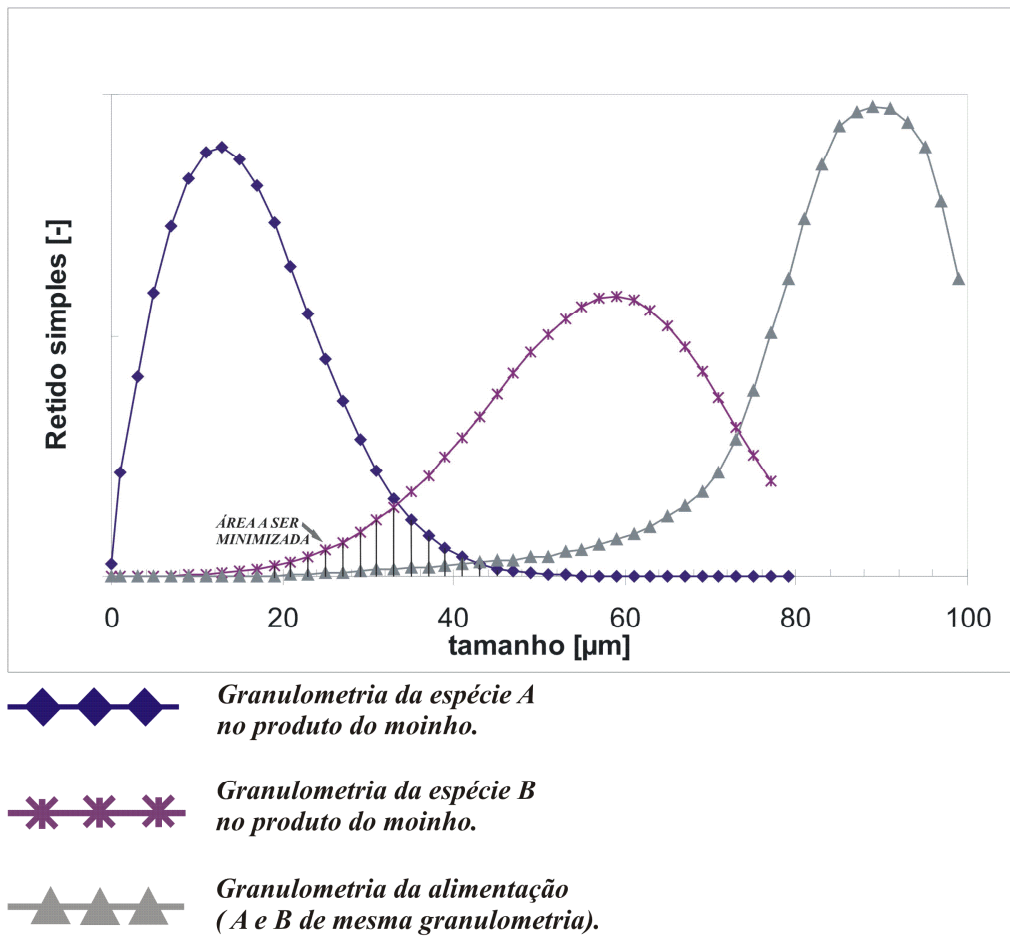


Figura 4.3 – Evolução da granulometria das espécies mineralógicas com o progresso da cominuição.

A área a ser minimizada estará sujeita as restrições econômicas (como o tamanho do moinho, por exemplo) e também às restrições técnicas do processo (como a variável tratabilidade dos produtos a processos subsequentes, como por exemplo, concentração densitária). Isso realça a importância de se estabelecer uma função penalidade vinculada a este conflito técnico-econômico, como quando se tem produção de muito fino no processo de moagem.

Para valores típicos experimentais em função do diâmetro do moinho (Machado, 1985.) em princípio, o modelo adotou como valores “*default*”, os segmentos:

- Porosidade do leito $\epsilon \approx 20\%$
- $h \approx 0,45 \times D$
- $L \approx 1,3 \times D$

O custo do equipamento pela expressão proposta por Bishop e Mular (1972) foi dado por:

$$custo = a(P)^b \quad (4.2)$$

a – custo do equipamento de referência no presente histórico [\$];

b – parâmetro igual a 0,54 para moinho de bolas com revestimento [-];

P – potência do equipamento [W].

Para o cálculo da potência:

$$P = 9540 \times L \times D^{2,5} \quad (4.3)$$

L – comprimento do moinho de bolas.

D – diâmetro do moinho de bolas.

Para todos os valores citados anteriormente, tem-se um custo de equipamento para moinho de bolas de acordo com o seguinte modelo matemático:

$$C_0 = 304,6 \times (P)^{0,54} \quad (4.4)$$

Onde:

P – potência do moinho de bolas [W].

Para auxiliar na validação do modelo e na análise dos resultados do processo de cominuição seletiva, utilizou-se o *Scilab*, um software com as características, descritas no sub-item 4.4.

4.3. Ensaios de Validação do Modelo

Os ensaios para validação do modelo foram ensaios de moagem para determinação de tempo de residência, gasto de energia e volume da carga de bolas a ser utilizado, ensaio de peneiramento para determinar a granulometria de entrada e saída do material no moinho de bolas e a separação das espécies minerais anteriormente misturadas.

4.3.1. Britagem do material

Todo o material foi britado para atingir a granulometria abaixo de 3,35 mm.

Foi feita a britagem inicialmente em britador de mandíbula e posteriormente, quando necessário ao material que ficou retido na peneira de 3,35 mm, foi realizada a britagem em britador de rolo.

Todo o material britado foi peneirado, o passante foi amostrado e moído em variados tempos de moagem. A amostragem do material a ser moído foi feita através do método de Gy.

4.3.2. Massa mínima da amostra pelo método de Gy

4.3.2.1 Método de Gy

A representação verdadeira de um grande corpo mineral por uma pequena amostra a ser tratada em laboratório é uma tarefa difícil. As dificuldades são principalmente em apurar uma adequada granulometria de amostra e determinar a quantidade exata no qual a amostra representa a amostra total.

Em cada caso a exatidão da amostra final dependerá da probabilidade matemática na qual a amostra representa o material total. Vários métodos têm sido apresentados para aumentar a probabilidade representativa do mineral como um todo. Foi desenvolvido por Gy um método extensamente utilizado, de mesmo modo, envolvendo ambos, granulometria e precisão de análise da amostra. Gy introduziu um modelo baseado em equiprobabilidade de espaços amostrais (Gupta e Yan, 2006).

4.3.2.2. Amostragem pelo método de Gy.

Inicialmente, todo material de quartzo e calcita foi britado (separadamente) até atingir uma granulometria abaixo de 3,35 mm. Após a britagem calculou-se o peso da amostra representativa para os ensaios de moagem com o auxílio do método de Gy (Wills e Napier-Munn, 2001).

Os cálculos realizados para a amostragem do material de peso aproximado inicial equivalente a 5.000 g foi:

$$M_{MIN} = \frac{Kd_{MAX}^3}{\sigma^2} \quad (4.5)$$

d_{MAX} = granulometria da maior partícula.

M_{MIN} = massa mínima requerida da amostra.

σ^2 = variância do erro amostral permitido na análise (no caso de uma distribuição normal é igual ao desvio padrão).

K é usualmente referido como constante de amostragem (Kg/m^3)

$$K = P_S P_D P_L \cdot m$$

Onde P_S = fator de forma da partícula (usualmente tomada como sendo 0,5 para partículas esféricas, 0.2 para minério de ouro).

P_D = fator de distribuição de partícula (usualmente entre 0.20 – 0.75 com valores maiores para distribuições granulométricas curtas, usualmente entre 0.25 e 0.50 quando o material é de um determinado tamanho)

m = fator mineralógico.

Desta forma, para o cálculo de massa mínima, $d_{MAX} = 3,35$ mm, $P_S = 0,5$, $P_D = 0,25$, $P_L = 1,0$, $m = 4.664$ kg/m^3 , $K = 583$, $\sigma = 0,30$ % :

$$M_{MIN} = \frac{583 \cdot \left(\frac{3,35}{1000}\right)^3}{0,30^2} = 2,43 \cong 2,5 \text{ kg} \quad (4.6)$$

4.3.3. Cálculo do tamanho de bola

4.3.3.1 Fórmula de Bond

A teoria de Bond para o qual a partícula de maior granulometria na alimentação determina o tamanho de bola de maior diâmetro para a quebra de partículas é bastante conhecida. Bond (1961) declarou em sua teoria da cominuição, “O princípio geral de seleção é que o tamanho adequado para a constituição granulométrica média na moagem é justamente o tamanho no qual irá quebrar a maior partícula da alimentação.” É melhor determinada para cada situação específica por teste de comparação (Partyka e Yan, *Fine Grinding in a horizontal Ball Mill*).

Foi realizado o cálculo do corpo moedor também pelo método de Azzaroni (Gupta e Yan, 2006), porém o resultado não foi tão satisfatório como pelo método de Bond.

4.3.3.2 Cálculo do corpo moedor

Para o cálculo do tamanho de corpo moedor, foi utilizada a fórmula de Bond, sendo a equação aplicável em escala industrial. Bond encontrou que para uma dada granulometria de alimentação, o maior tamanho de bola requerido pode ser determinado utilizando a seguinte equação:

$$B = 25.4 \sqrt{\frac{F}{K}} \sqrt[3]{\frac{SG \times W_i}{(\% Cs) \sqrt{3.281D}}} \quad (4.7)$$

B = diâmetro da bola (mm),

F = 80% passante da alimentação (μm),

K = uma constante empírica = 350 para moagem a húmido,
= 335 para moagem a seco,

SG = densidade específica do material,

Wi = Índice de trabalho de Bond,

%Cs = fração da velocidade crítica,

D = Diâmetro interno do moinho (m).

De posse dos valores, F=3350 μm , Wi=14,4 KWh/t curta, K=335, SG=2.65, %Cs=70% (Considerando 70% da velocidade crítica de acordo com o artigo “Fine Grinding in a horizontal Ball Mill”), D=0.206 m, foi calculado o tamanho do corpo moedor:

$$B = 25.4 \sqrt{\frac{3350}{335}} \sqrt[3]{\frac{2.65 \times 14.4}{(70) \sqrt{3.281 \times 0.206}}} = 70.0419534 \cong 70\text{mm} \quad (4.8)$$

Resultando em 70 mm para escala industrial, houve necessidade de adequação para escala de laboratório, utilizando-se um corpo moedor de 40 mm.

4.3.4. Ensaios de Moagem.

Foi utilizado inicialmente e finalmente apenas um moinho de bolas. O dimensionamento do moinho para maximizar o resultado de separação entre espécies minerais e minimizar o custo de equipamento possuiu a seguinte proposta:

- O tempo de residência é proporcional ao tamanho do moinho.
- O gasto energético é uma variável da função penalidade.

A moagem de todo material foi feita em moinho de ferro de 20,6 cm de diâmetro e 20,4 cm de comprimento, sendo o corpo moedor também de ferro.

Após moagem e análise granulométrica de todo material, foram plotados os valores da porcentagem passante com ajuste de Rosin-Rammler em um único gráfico para comparação.

4.3.5. Análise granulométrica

Para determinação no número de bateladas de peneiramento das amostras estudadas realizou-se preliminarmente o cálculo de capacidade máxima das peneiras, a partir da equação seguinte:

$$m = 2 \times \frac{d_i + d_s}{2} \times \frac{\pi D^2}{4} \times \rho \quad (4.9)$$

m=massa máxima (g),

d_i =abertura das peneiras em questão (cm),

d_s =abertura da peneira imediatamente acima da escala (cm),

D =diâmetro da peneira (cm),

P =massa específica (g/cm^3) da amostra a ser ensaiada.

O diâmetro das peneiras utilizadas foi 20 cm e o cálculo da massa inicial das amostras para análise resultou em aproximadamente 300 g.

As análises granulométricas foram realizadas em duplicata e algumas em triplicata, antes e após moagem do material nos tempos de 0, 300, 900, 1800, 3600 e 7200 segundos. Foram feitas análises granulométricas de 40 % de quartzo, 40 % de calcita, 20 % de quartzo e 20 % de calcita. Também foi realizada a moagem do quartzo, calcita e da mistura binária de 40 % de quartzo, 40 % de calcita, 20 % de quartzo e 20 % de calcita. O tempo de peneiramento para a análise granulométrica do material foi de 20 minutos para duas séries de peneiras, sendo a primeira série composta pelas frações de 8#, 10#, 12#, 14#, 16#, 20#, 28# e 35#, a segunda por 48#, 65#, 100#, 140#, 200#, 270#, 325#, 400# e – 400#.

Através da análise de gráfico no *Easyplot* pela porcentagem passante e tamanho da abertura da peneira (em micrômetro), foi retirado o valor da agudez do material, do diâmetro mediano e do coeficiente de correção R^2 .

A moagem do quartzo bitolado foi realizada na granulometria entre 3,35 e 4,75 mm, para a análise do possível comportamento refratário de finos durante a moagem que modifica o valor da agudez. Os tempos de moagem para o material bitolado também foram de 0, 300, 900, 1800, 3600 e 7200 segundos. Análises granulométricas foram realizadas após moagem para encontrar valores da agudez e diâmetro mediano do quartzo bitolado.

4.3.6. Determinação de teor.

Para análise do teor de um minério, contendo gibbsita e quartzo, Luz (2006) utilizou o método de termogavimetria simplificada, no qual a composição era determinada por análise térmica, ou seja, por desidroxilação parcial da gibbsita.

O processo utilizado para a análise de teor da Calcita e do Quartzo, de modo análogo será a Calcinação.

A calcinação é um processo de aquecimento de um sólido até a liberação de constituintes voláteis, utilizada principalmente para obtenção de óxidos. Consiste na remoção da água, do CO₂ e outros gases presentes ligados quimicamente à substância que se deseja calcinar.

Para a calcita, obtém-se o óxido de cálcio pela queima acima de 900 °C do carbonato de cálcio (CaCO₃) com liberação de gás carbônico. Portanto haverá decréscimo de massa da amostra, contendo calcita, após sua calcinação.

O quartzo possui estrutura cristalina composta por sílica (dióxido de silício, SiO₂), portanto sem transformação química de acréscimo ou decréscimo de massa durante a calcinação.

Desta forma, a equação será:



Assim, a partir da perda de massa por calcinação é possível quantificar (por mera estequiometria) os teores de calcita e quartzo em cada uma das granulometrias estudadas.

As etapas para efetuar a calcinação serão realizadas da seguinte forma:

1° - Moagem do material.

2° - Peneiramento.

3° - Seleção do material a ser calcinado, devidamente separado em granulometrias de 8#, 10#, 12#, 14#, 16#, 20#, 28#, 35#, 48#, 65#, 100#, 140#, 200#, 270#, 325# e 400# resultante do peneiramento após todo o processo de moagem. Para obtenção de uma quantidade satisfatória de material a ser calcinado, foi necessário muitas vezes fazer 3 ensaios de peneiramento porque para algumas misturas, o material peneirado não atingiu 5 g.

4° - O material foi aquecido na estufa a uma temperatura de 120° durante 1 hora.

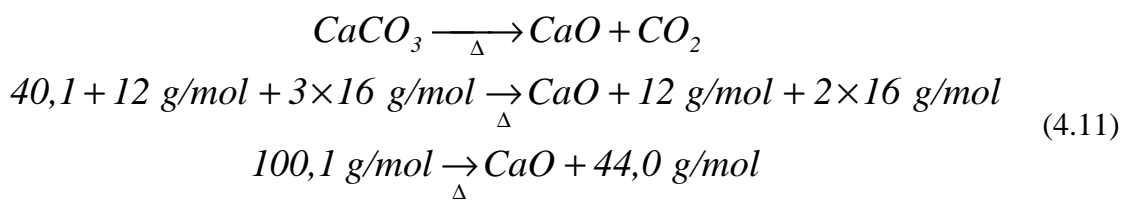
5° - Pesagem (massa seca = m_s).

6° - Aquecimento da amostra em mufla à 950°C durante 1 hora.

7° - Resfriamento em dessecador.

8° - Pesagem (massa calcinada = m_c).

Desta forma, para cálculo do teor tem-se:



$$\text{Massa da calcita} = \frac{44\text{g}}{100,1\text{g}} \times \Delta m \quad (4.12)$$

Onde:

$$\Delta m = m_{seca} - m_{calcinada} = \text{massa de CO}_2 \quad (4.13)$$

$$\text{teor da calcita} = t_{\text{calcita}} = \frac{m_c}{m_s} \quad (4.14)$$

Após todo o processo de calcinação de amostras de composição previamente conhecidas, foi feita a curva de calibração, através da linha de tendência linear para os pontos de teor de calcita em relação à perda de massa, obtendo-se a partir desta linha a equação para cálculo de teor, sendo do tipo:

$$y = ax + b \quad (4.15)$$

A necessidade de duas curvas de calibração foi proveniente da falta de quantidade suficiente de amostra para os tamanhos de 325# a 400#.

Os teores de calcita foram obtidos através da curva de calibração:

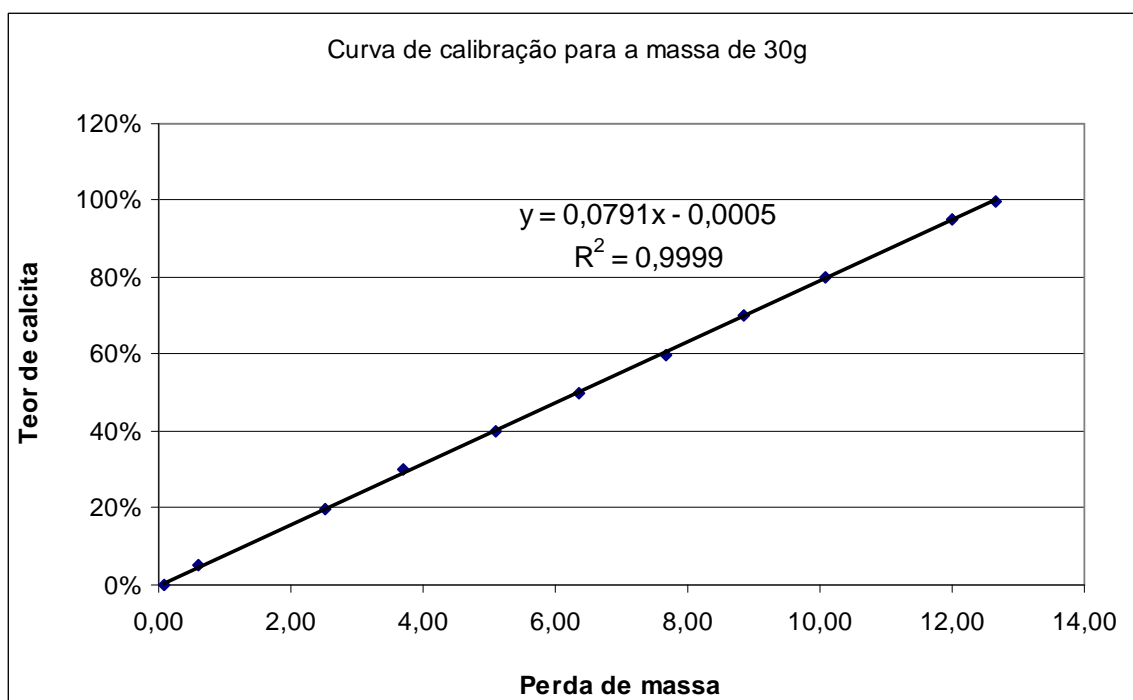


Figura 4.5 – Curva de calibração para cálculo de teor a partir de 30 g de mistura.

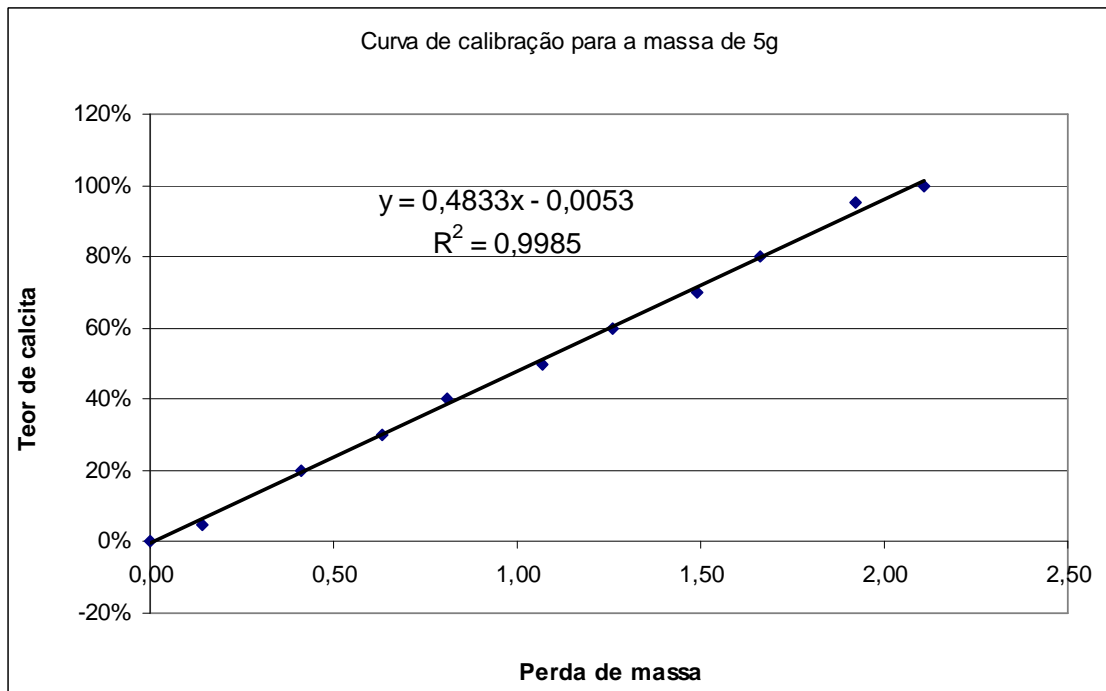


Figura 4.6 – Curva de calibração para cálculo de teor a partir de 5 g de mistura.

4.4. O Scilab

Para o desenvolvimento do modelo utilizou-se o *Scilab*, um software para processamento matemático dos dados que diminui a quantidade de análises em laboratório ajudando na validação do modelo matemático em desenvolvimento.

O *Scilab* é um *software* científico de distribuição gratuita para computação numérica e simbólica que auxilia no estudo de engenharia e aplicações de base científica. Este *software* possui centenas de funções matemáticas, sendo possível a adição interativa de programas em várias línguas (como a linguagem C e Fortran).

4.5. FindGraph

É um software desenvolvido pela *UniPhiz Lab*, para montagem de gráficos, curvas e digitalização. São 12 ferramentas de montagem, incluindo regressão linear, funções logísticas, aproximações de Fourier, redes neurais, curvas paramétricas com aproximações quadráticas e uma biblioteca de mais de 300 fórmulas bidimensionais. O programa permite que haja suavização, interpolação, seja aplicado filtros de Wavelet, subtração, integração e transformação de dados e curvas. Além disso, o programa suporta automação OLE (Open Labory Exchange) e pode ser incorporado a outros aplicativos.

4.6. EasyPlot

Programa computacional de análise estatística desenvolvido por S. Karon, da Spiral Software (www.spiralsoftware.com). É uma ferramenta científica para análise matemática de dados e análise gráfica, com leitura para arquivos de extensão txt. Possui ferramenta para a transformada de Fourier, leitura de coordenadas, ferramentas para dados e gráficos em 2-D e 3-D e interação com algumas linguagens de programação (como a linguagem C, por exemplo).

4.7. Mathematica 7

Programa computacional para programação, modelagem matemática, simulação, manipulação de dados, visualização gráfica, com suporte para diversas áreas de pesquisa, desenvolvido por Stephen Wolfram, da Wolfram (www.wolfram.com). Foi inicialmente criado para atender exigências de pesquisa em física, engenharia e matemática. Atualmente é utilizado nas ciências físicas, biológicas, sociais e diversas outras áreas. Seu inventor, Stephen Wolfram, também lançou um site de buscas, <http://www.wolframalpha.com/>, para auxiliar em pesquisas nas diversas áreas.

4.8. Delphi 7

Uma ferramenta de programação de interface gráfica que alia a facilidade do visual basic ao poder da linguagem object pascal. O Delphi apresenta uma biblioteca de componentes desenvolvida em Object Pascal – a VCL (Visual Component Library) -, na qual cada componente é representado por uma classe. Além disso, a linguagem Object Pascal suporta os requisitos básicos de programação orientada a objetos. A Borland disponibilizou o código-fonte dos componentes da VCL, o que permite aos desenvolvedores compreender sua estrutura hierárquica e codificação, facilitando a expansão dessa biblioteca mediante a criação de novos componentes.

4.9. Ajuste da Evolução dos Parâmetros Estatísticos

Para os resultados das análises de laboratório foram feitos ajustes pela curva Rosin-Rammler e através da sigmóide de Hill, em relação ao passante acumulado de todo o material britado abaixo de 3,35 mm. A equação da sigmóide de Hill é:

$$Y_i = \frac{x^m}{x^m + d_{50c}^m} \quad (4.16)$$

O ajuste pela sigmóide de Hill foi incentivado pela facilidade que a equação oferece em sua integração e/ou derivação, porém o melhor ajuste apresentado foi por Rosin-Rammler, sendo a única utilizada para obtenção dos resultados.

As curvas de ajuste do diâmetro mediano e a agudez em relação ao tempo foram encontradas com o emprego do *FindGraph* (sub-item 4.5), utilizado com êxito para o diâmetro mediano, já que mesmo a versão demo permite uma quantidade bem variada de equações para ajuste de pontos. A forma da equação encontrada para o diâmetro mediano em relação ao tempo de 0 a 7200 segundos foi:

$$y = a \times \exp\left(-\frac{t}{b}\right) + c \quad (4.17)$$

Onde:

t = tempo (segundos)

a, b e c = constantes.

Para a agudez, foram feitas várias tentativas de ajuste por equações mais complexas do que os polinômios de terceiro grau, porém não houve resultados adequados, portanto a agudez em relação ao tempo foi ajustada para:

$$y = a \times t^3 + b \times t^2 + c \times t + d \quad (4.18)$$

Onde:

a, b, c e d = constantes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Discussão dos Resultados

Aqui são apresentados os valores da porcentagem passante com ajuste da curva de Rosin-Rammler após moagem e análise granulométrica de todo material.

Todos os valores de agudez e diâmetro mediano foram encontrados através de uma curva regressional por Rosin-Rammler utilizando o EasyPlot.

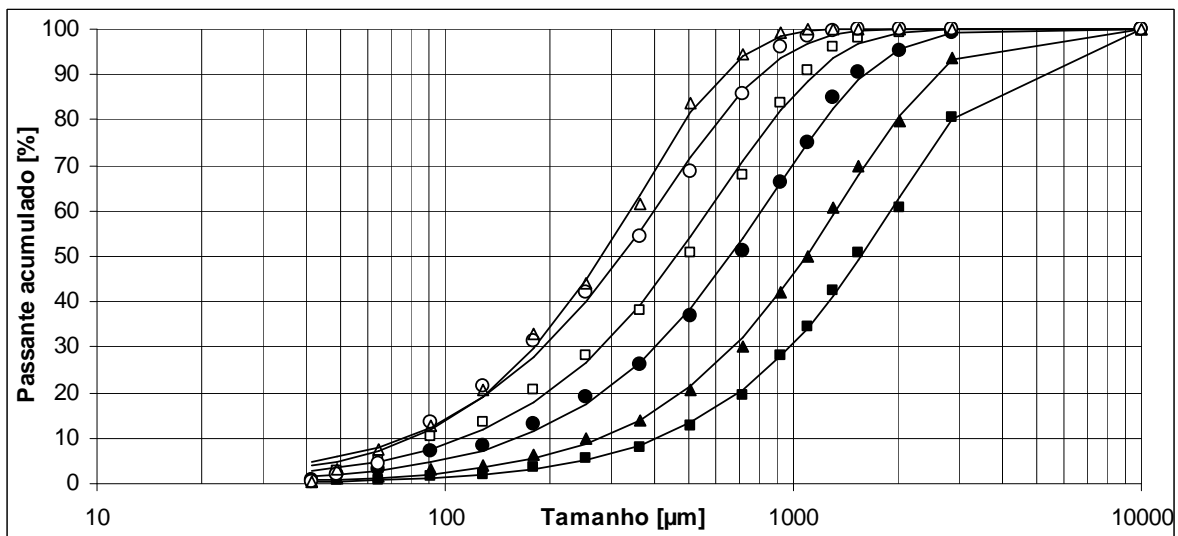


Figura 5.1 - Evolução temporal da distribuição granulométrica do quartzo isolado com regressão por Rosin-Rammler.

É possível observar que a curva de Rosin-Rammler apresentou um ajuste adequado a todos os valores de passante acumulado em todos os tempos de moagem, o que não ocorreu com todos os valores utilizando a sigmóide de Hill.

As curvas e os pontos plotados no gráfico 5.1 são mostrados na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Evolução da distribuição granulométrica do quartzo e curva Rosin-Rammler.

Tempo de moagem [s]	Agudez	Diâmetro mediano [μm]	R^2	Símbolo na Figura 5.1
0	1,40	1568	0,999	■
300	1,40	1084	0,999	▲
900	1,35	658	0,998	●
1800	1,33	463	0,997	□
3600	1,31	319	0,996	○
7200	1,51	281	0,999	△

É visualmente perceptível pelos valores de R^2 o ajuste adequado da curva de Rosin-Rammler.

Pode-se concluir que ao menos para o caso da calcita e do quartzo, uma mistura binária criada justamente não só pela diferença na moabilidade, mas também por diferenças físico-químicas que facilitaram no processo de calcinação, que a equação mais adequada para representar uma população de partículas em diferentes granulometrias é a de Rosin-Rammler.

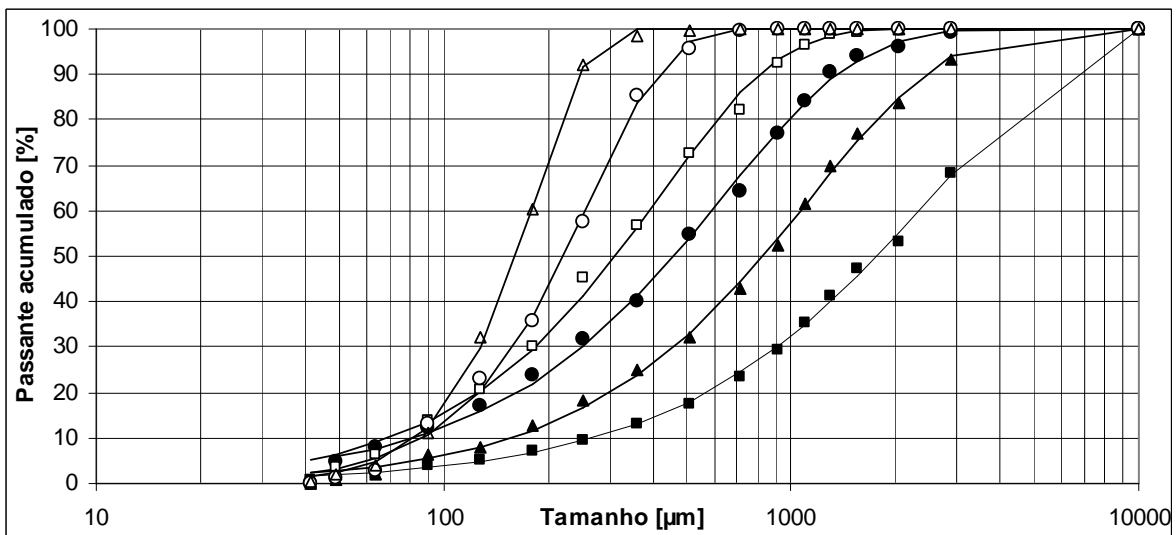


Figura 5.2 - Evolução temporal da distribuição granulométrica da calcita isolada com regressão por Rosin-Rammler.

As curvas e os pontos plotados no gráfico 5.2 são mostrados na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Evolução da distribuição granulométrica da calcita e curva Rosin-Rammler.

Tempo de moagem [s]	Agudez	Diâmetro mediano [μm]	R^2	Símbolo na Figura 5.2
0	1,01	1754	0,998	■
300	1,13	830	0,998	▲
900	1,10	458	0,998	●
1800	1,26	312	0,997	□
3600	2,00	223	0,999	○
7200	2,85	162	1,000	△

Podem ser observadas diferenças físicas entre o quartzo e a calcita também através do aumento dos valores para a agudez da calcita isolada quando comparados ao quartzo isolado, que tem diminuição de valores até o tempo de 3600 segundos.

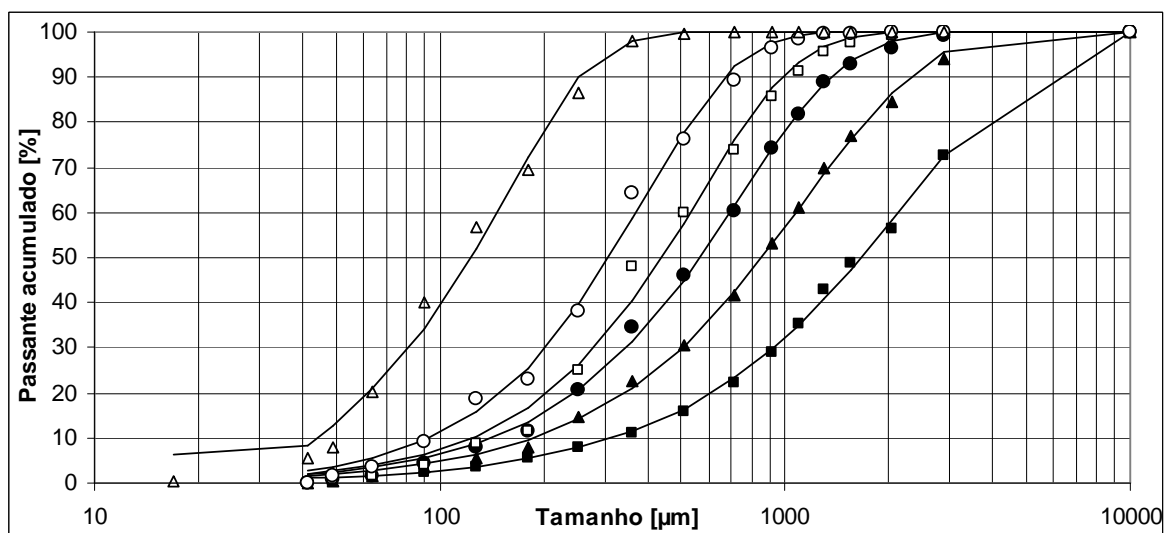


Figura 5.3 - Evolução temporal da granulometria global da mistura de 60% de calcita com 40% de quartzo com regressão por Rosin-Rammler.

A evolução temporal da agudez e do diâmetro mediano para o quartzo e calcita na condição de 60% para 40% foi como esperado, o decréscimo para os valores do diâmetro mediano acusando diminuição da granulometria, e o aumento da agudez indicando amplitude de faixa de bitolamento aproximadamente constante.

As curvas e os pontos plotados no gráfico 5.3 são mostrados na tabela 5.3.

Tabela 5.3: Evolução da distribuição da calcita (60%) e do quartzo (40%) e curva Rosin-Rammler.

Tempo de moagem [s]	Agudez	Diâmetro mediano [μm]	R^2	Símbolo na Figura 5.3
0	1,14	1659	0,998	■
300	1,24	858	0,999	▲
900	1,37	565	0,999	●
1800	1,49	440	0,995	□
3600	1,57	310	0,997	○
7200	1,64	174	0,994	△

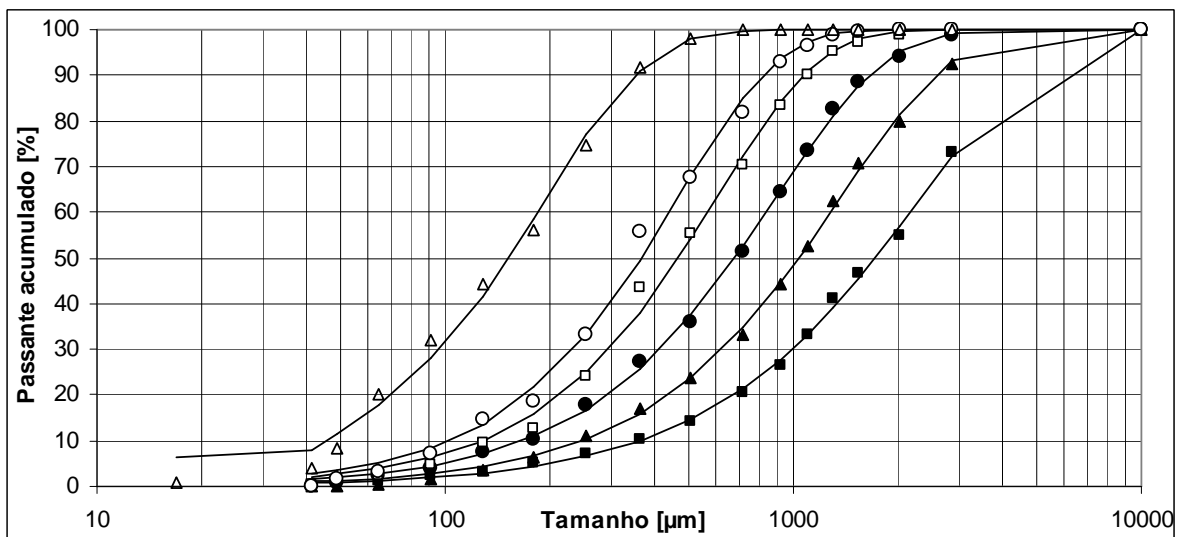


Figura 5.4 - Evolução temporal da granulação global da mistura de 40% de calcita com 60% de quartzo com regressão por Rosin-Rammler.

Para a condição 40% de calcita é observada uma similaridade com a situação anteriormente descrita para 60% de calcita.

As curvas e os pontos plotados no gráfico 5.4 são mostrados na tabela 5.4.

Tabela 5.4: Evolução da distribuição da calcita (40%) e do quartzo (60%) e curva Rosin-Rammler.

Tempo de moagem [s]	Agudez	Diâmetro mediano [μm]	R^2	Símbolo na Figura 5.4
0	1,21	1721	0,998	■
300	1,32	1033	0,999	▲
900	1,35	679	0,999	●
1800	1,45	468	0,998	□
3600	1,49	364	0,997	○
7200	1,45	215	0,996	△

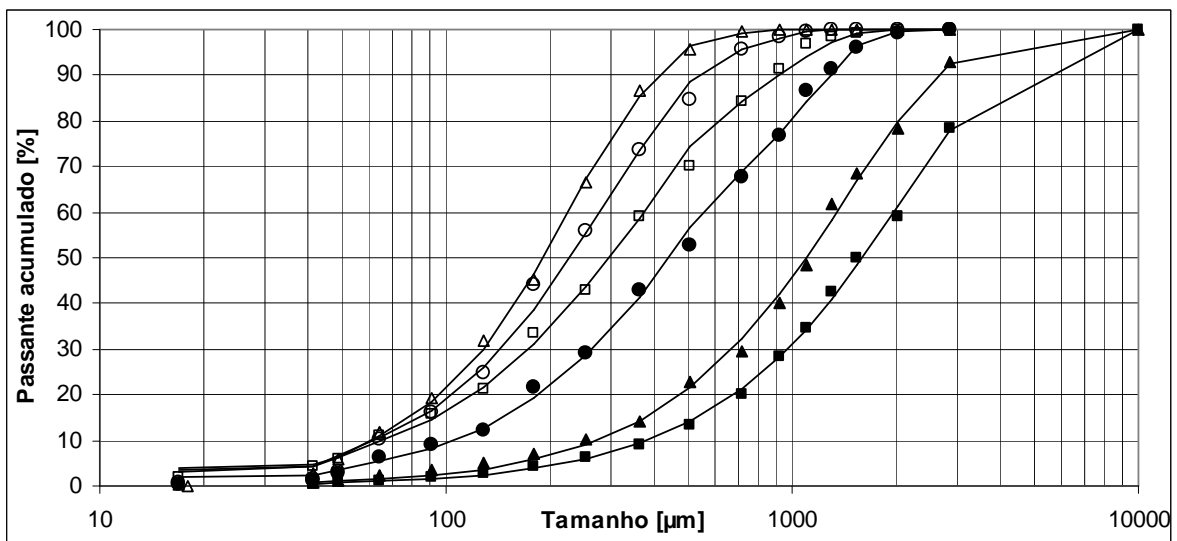


Figura 5.5 - Evolução temporal da granulagem global da mistura de 20% de calcita com 80% de quartzo com regressão por Rosin-Rammler.

As curvas e os pontos plotados no gráfico 5.5 são mostrados na tabela 5.5.

Para os valores acima mencionados, representados pela tabela 5.5 e pela figura 5.5, não houve mudança significativa.

Tabela 5.5: Evolução da distribuição da calcita (20%) e do quartzo (80%) e curva Rosin-Rammler.

Tempo de moagem [s]	Agudez	Diâmetro mediano [μm]	R^2	Símbolo na Figura 5.5
0	1,32	1596	0,999	■
300	1,36	1093	0,997	▲
900	1,32	619	0,998	●
1800	1,25	418	0,998	□
3600	1,44	323	0,997	○
7200	1,63	270	0,999	△

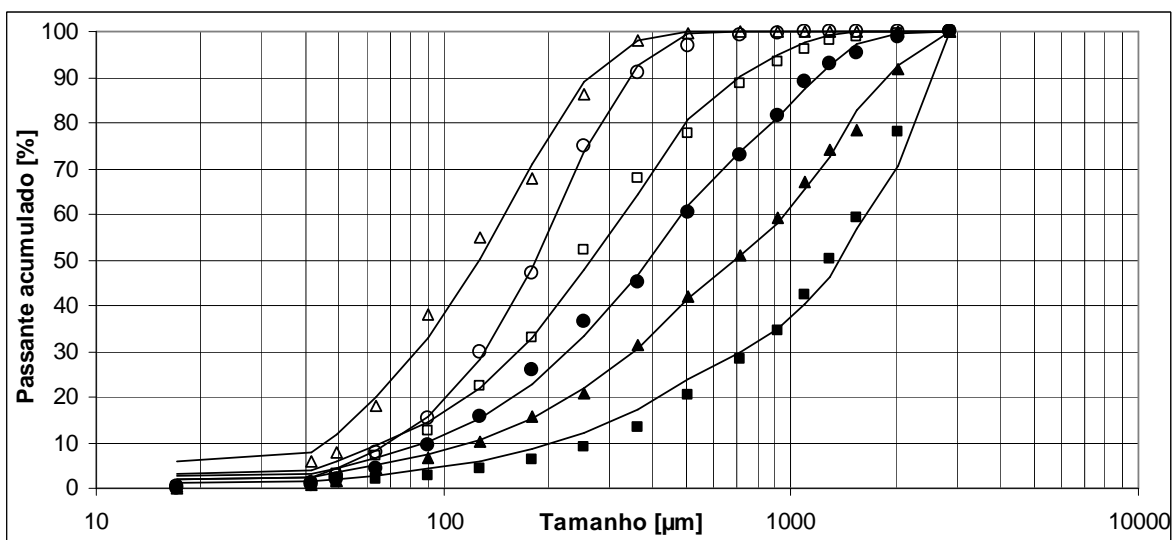


Figura 5.6 - Evolução temporal da granulação global da mistura de 80% de calcita com 20% de quartzo com regressão por Rosin-Rammler.

Para o valor da agudez no tempo 7200 segundos de moagem (tabela 5.6) houve um decréscimo que pode indicar erro experimental ou algum fenômeno indicativo de interferência entre os dois minerais.

As curvas e os pontos plotados no gráfico 5.6 são mostrados na tabela 5.6.

Tabela 5.6: Evolução da distribuição da calcita (80%) e do quartzo (20%) e curva Rosin-Rammler.

Tempo de moagem [s]	Agudez	Diâmetro mediano [μm]	R^2	Símbolo na Figura 5.6
0	1,08	1705	0,998	■
300	1,14	896	0,998	▲
900	1,27	549	0,997	●
1800	1,37	379	0,997	□
3600	1,99	260	0,999	○
7200	1,66	179	0,995	△

Com o intuito de melhorar a detecção de efeito da composição na moabilidade das misturas binárias, os valores regressionais correspondentes ao tamanho mediano (d_{50}) e à agudez da distribuição de cada mistura (m) foram plotados nas Figuras 5.7 a 5.13.

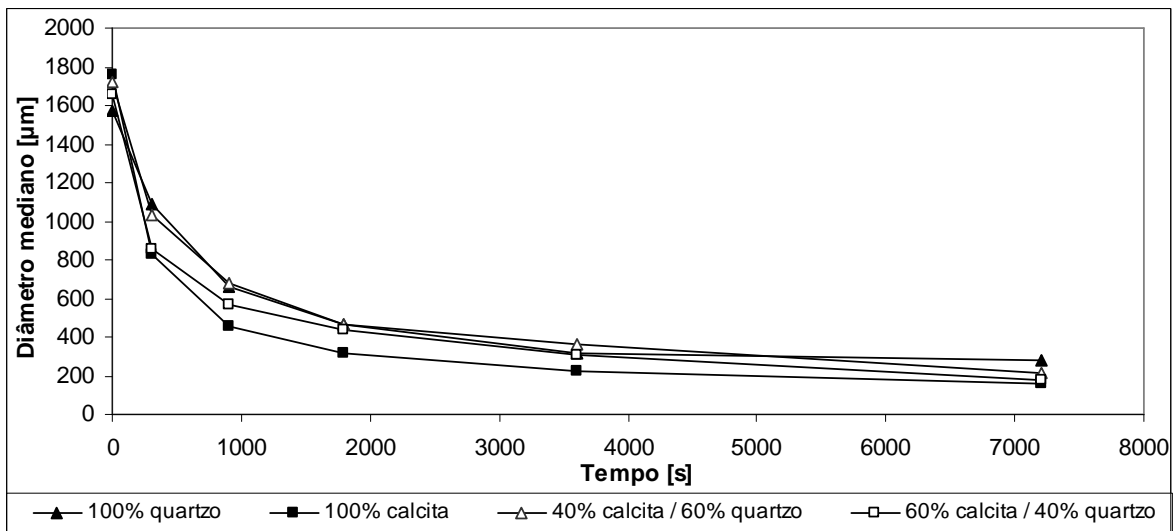


Figura 5.7 - Evolução temporal do diâmetro mediano em função do tempo de moagem referente à mistura 40% calcita / 60% quartzo, 60% calcita / 40% quartzo e ao quartzo e calcita isolados.

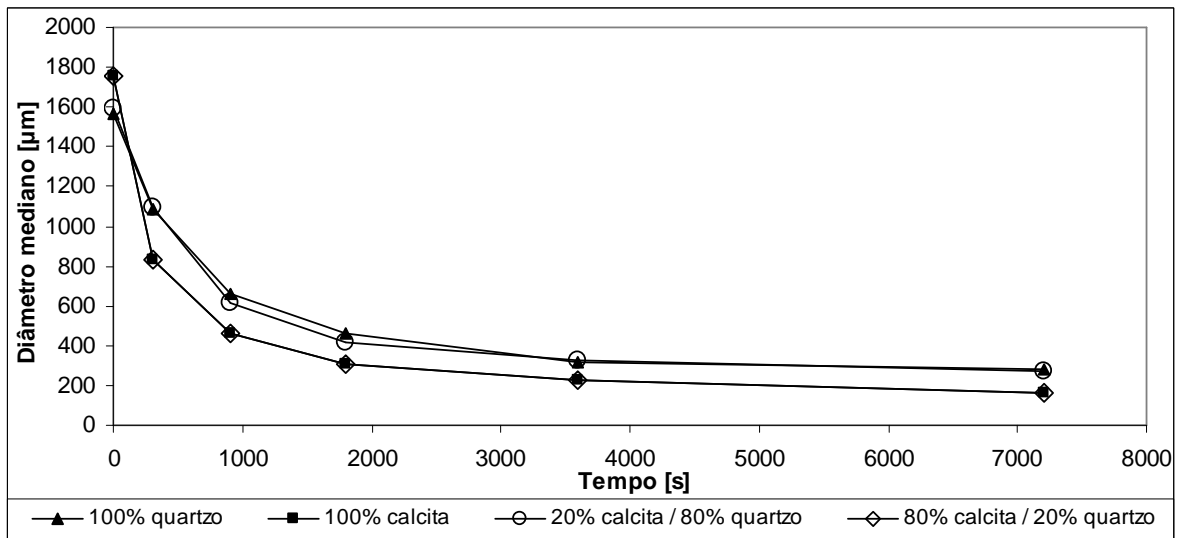


Figura 5.8 - Evolução temporal do diâmetro mediano em função do tempo de moagem referente à mistura 20% calcita / 80% quartzo, 80% calcita / 20% quartzo e ao quartzo e calcita isolados.

O diâmetro mediano para todas as misturas binárias comportaram-se de forma similar, indicando decréscimo de granulometria com a evolução no tempo de moagem, como esperado

Para um estudo mais detalhado sobre a possibilidade de uma faixa granulométrica com maior quantidade de finos atrapalhar os resultados das análises pelo bitolamento do material, durante a moagem ou no produto, foi realizado experimentos com material já bitolado.

Foi realizada a moagem do quartzo bitolado (peneirado para estar com o tamanho entre 3,35 e 4,75 mm), para comprovar como a quantidade de finos sendo refratária ao processo de moagem influi nos resultados da cominuição. O gráfico referente ao quartzo bitolado mostra uma diferença esperada em relação ao quartzo com granulometria abaixo de 3,35 mm. É esperado que para pequenos tempos de moagem o diâmetro mediano seja maior para o quartzo bitolado.

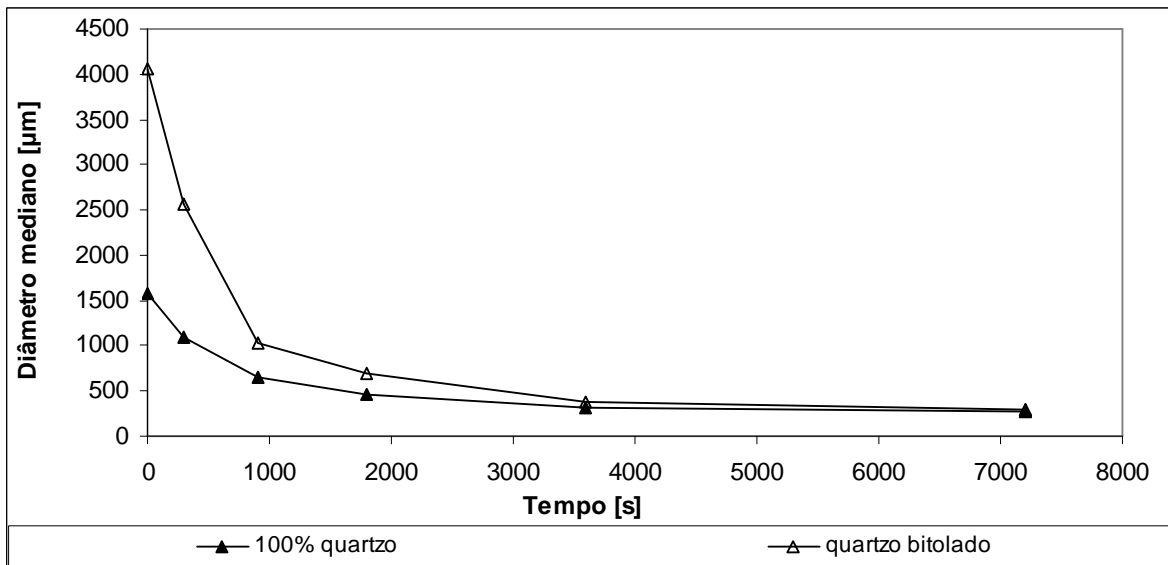


Figura 5.9 - Evolução temporal do diâmetro mediano em função do tempo de moagem referente ao quartzo bitolado entre 3,35 e 4,75 mm e quartzo isolado.

A evolução da agudez com o tempo de moagem é exibido nos gráficos 5.10 e 5.11.

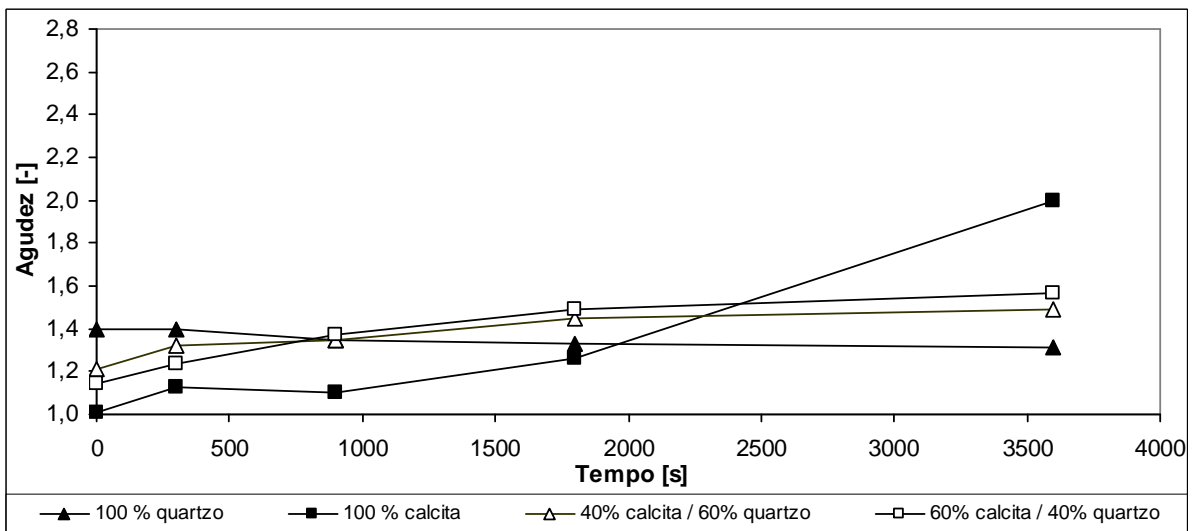


Figura 5.10 - Evolução temporal da agudez com 60% e 40% de calcita.

Através do gráfico 5.10 foi visto que os valores da agudez para a mistura 60% de calcita com 40% de quartzo, 100% de quartzo e 100% de calcita permanecem aproximadamente constantes após o tempo de moagem de 900 segundos, porém, os valores da agudez para a calcita pura sofrem uma variação e um aumento considerável após o tempo de 1800 segundos de moagem.

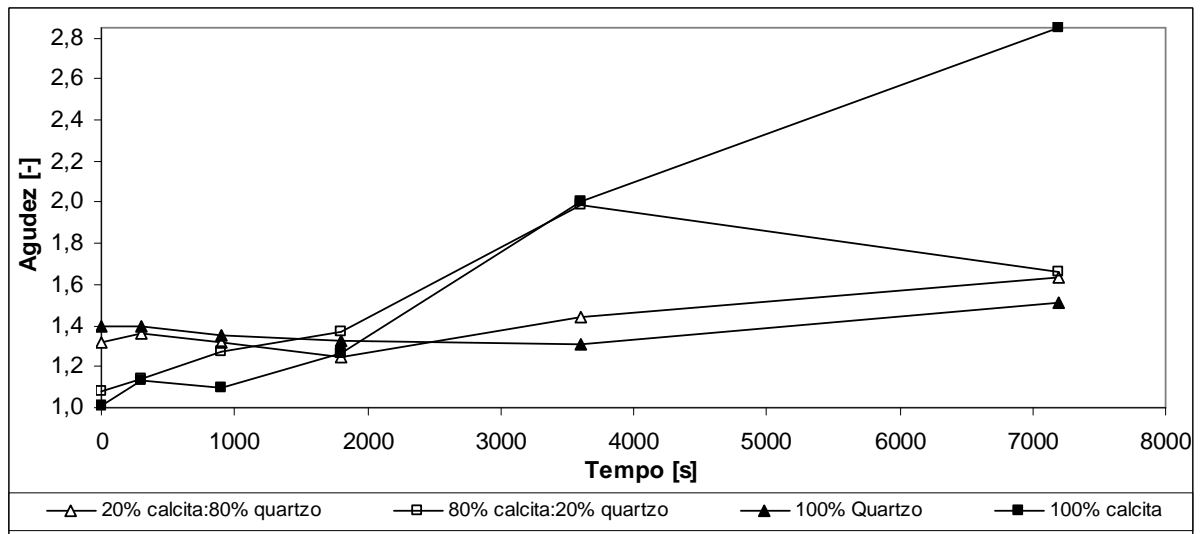


Figura 5.11 - Evolução temporal da agudez com 80% e 20% de calcita.

Pelo gráfico da figura 5.11 pode ser visto que quanto maior valor de calcita na mistura, maior o valor da agudez na mistura.

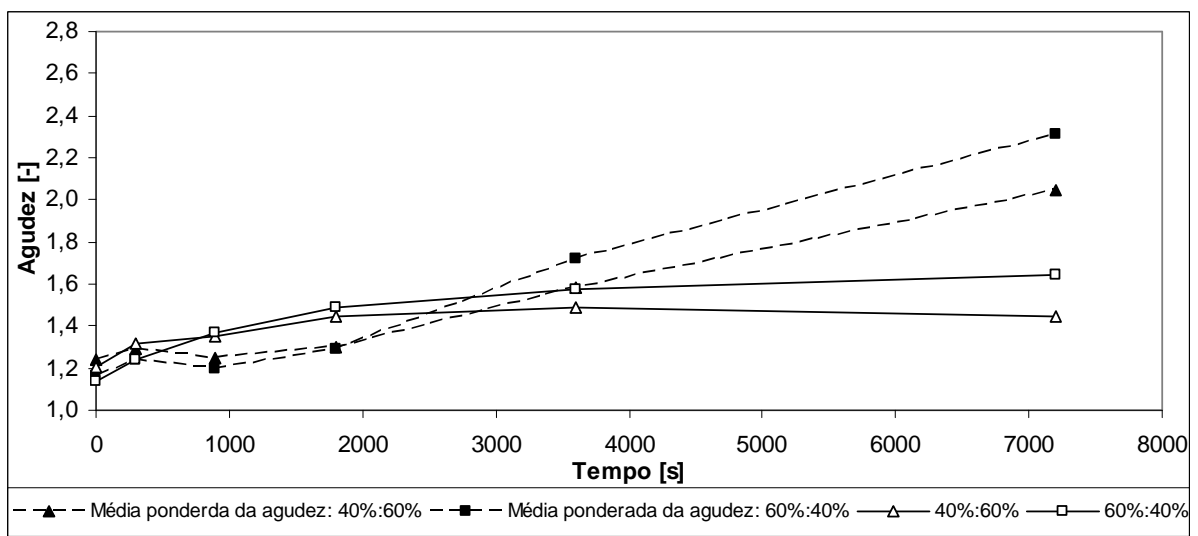


Figura 5.12 - Evolução temporal da agudez da mistura simulada e da mistura real para 60% e 40% de calcita.

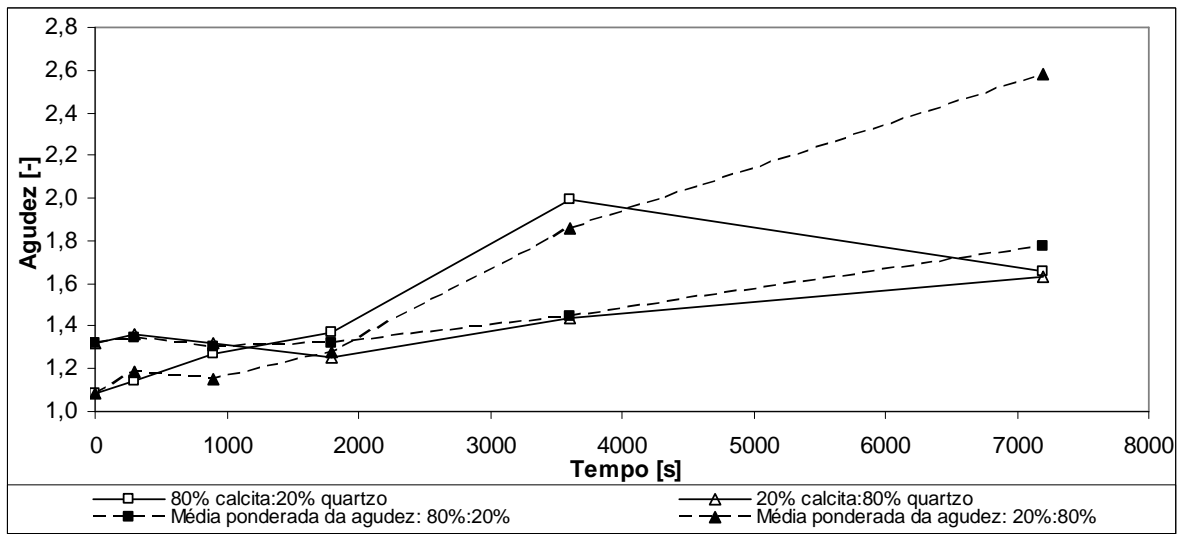


Figura 5.13 - Evolução temporal da agudez da mistura simulada e da mistura real para 80% e 20% de calcita.

A tabela seguinte apresenta os desvios entre os valores empíricos e os hipotéticos (média ponderada) da agudez para as misturas estudadas. Vê-se claramente que há interferência, pois os desvios são apreciáveis para maiores tempos de moagem. O último ponto (7200 s) discrepou da tendência geral, talvez indicando erro experimental. De qualquer modo, como os desvios relativos são apreciáveis a hipótese de não interferência pode ser descartada. Os efeitos de interferência mútua na cominuição das duas espécies mineralógicas em mistura ficam mais representativos, plotando-se a evolução granulométrica das duas espécies em separado. Naturalmente, para levantamento das curvas em separado, é necessária a determinação dos teores em cada ponto. Os valores da granulometria da calcita (virtualmente isolada) e do quartzo (virtualmente isolado) em função de tempo de moagem são mostrados nas Figuras – 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21.

Tabela 5.7: Desvio relativo da agudez da distribuição da mistura 40% e 60% calcita.

Mistura 40 % de calcita e 60 % de quartzo				Mistura 60 % de calcita e 40 % de quartzo		
Tempo [s]	Experimental	Ponderado	Desvio relativo	Experimental	Ponderado	Desvio relativo
0	1,21	1,24	-2,81%	1,14	1,17	-2,28%
300	1,32	1,29	2,12%	1,24	1,24	0,16%
900	1,35	1,25	7,41%	1,37	1,20	12,41%
1800	1,45	1,30	10,21%	1,49	1,29	13,56%
3600	1,49	1,59	-6,44%	1,57	1,72	-9,81%
7200	1,45	2,05	-41,10%	1,64	2,31	-41,10%

Tabela 5.8: Desvio relativo da agudez da distribuição da mistura 20% e 80% calcita.

Mistura 20 % de calcita e 80 % de quartzo				Mistura 80 % de calcita e 20 % de quartzo		
Tempo [s]	Experimental	Ponderado	Desvio relativo	Experimental	Ponderado	Desvio relativo
0	1,20	1,32	-9,47%	1,09	1,09	0,18%
300	1,36	1,35	1,03%	1,14	1,18	-3,86%
900	1,32	1,30	1,52%	1,27	1,15	9,45%
1800	1,25	1,32	-5,28	1,37	1,27	7,01%
3600	1,44	1,45	-0,56%	1,99	1,86	6,43%
7200	1,63	1,78	-9,08%	1,66	2,58	-55,54%

Para os tempos de moagem 0, 300, 900, 1800, 3600 e 7200 segundos foi plotado o teor de calcita na mistura:

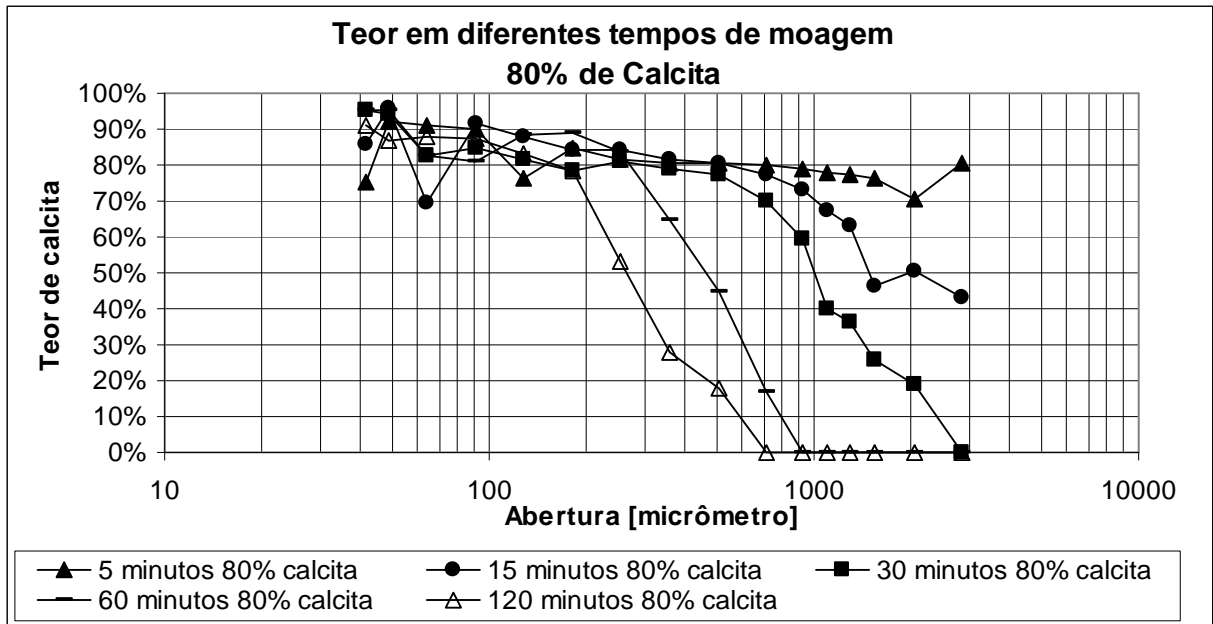


Figura 5.14 – Teor de calcita para a mistura 80% calcita / 20% quartzo.

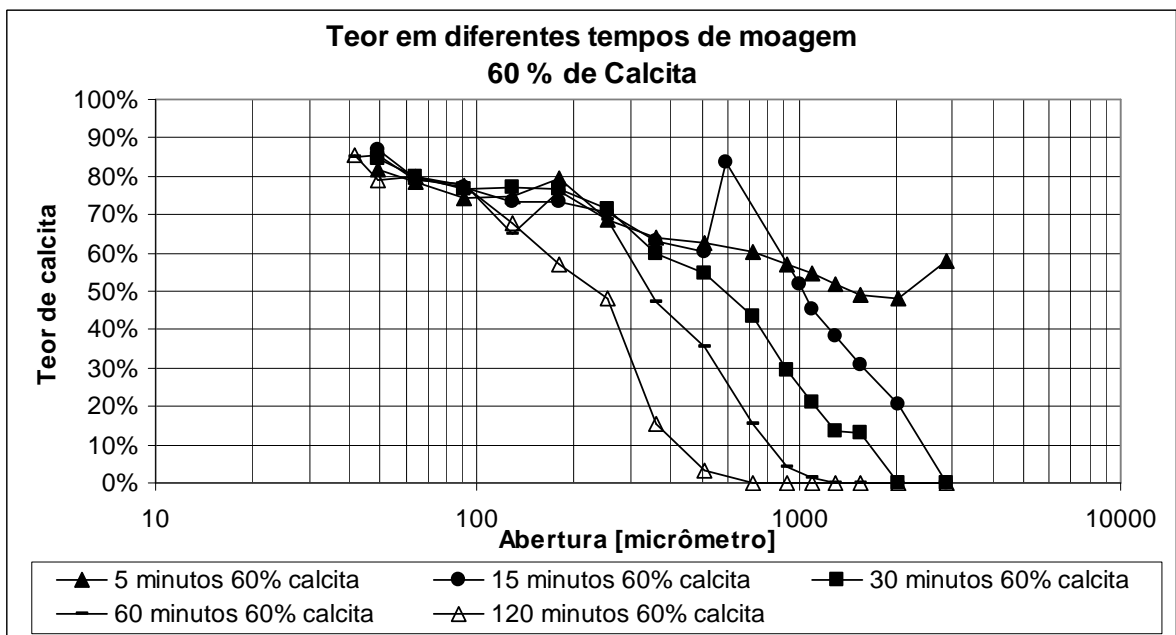


Figura 5.15 – Teor de calcita para a mistura 60% calcita / 40% quartzo.

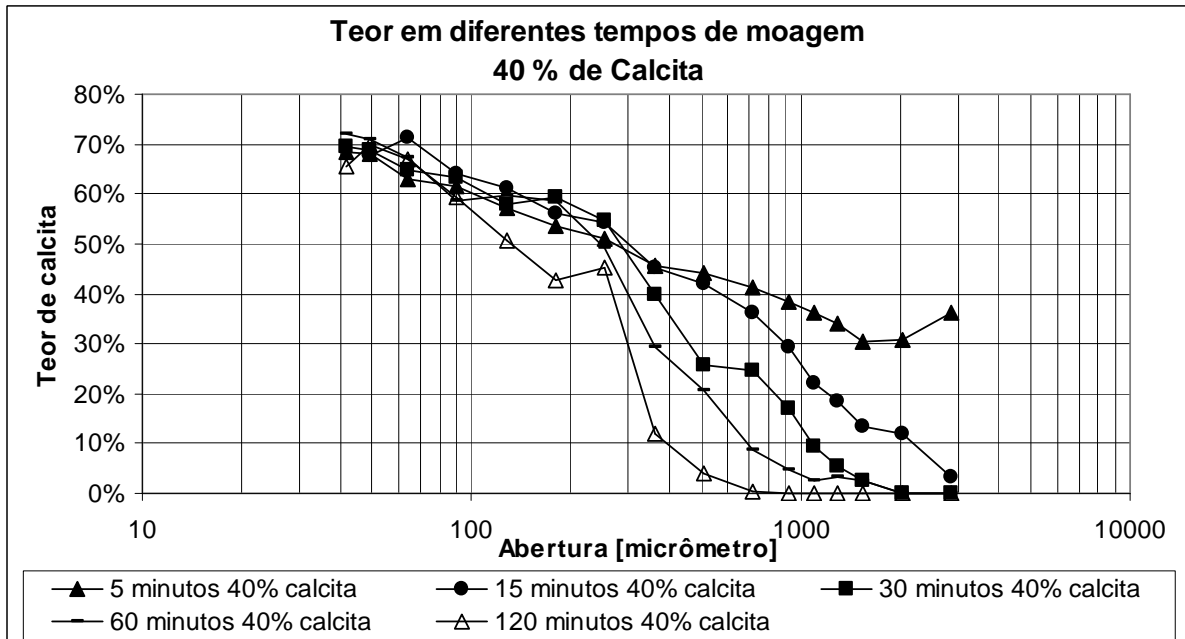


Figura 5.16 – Teor de calcita para a mistura 40% calcita / 60% quartzo.

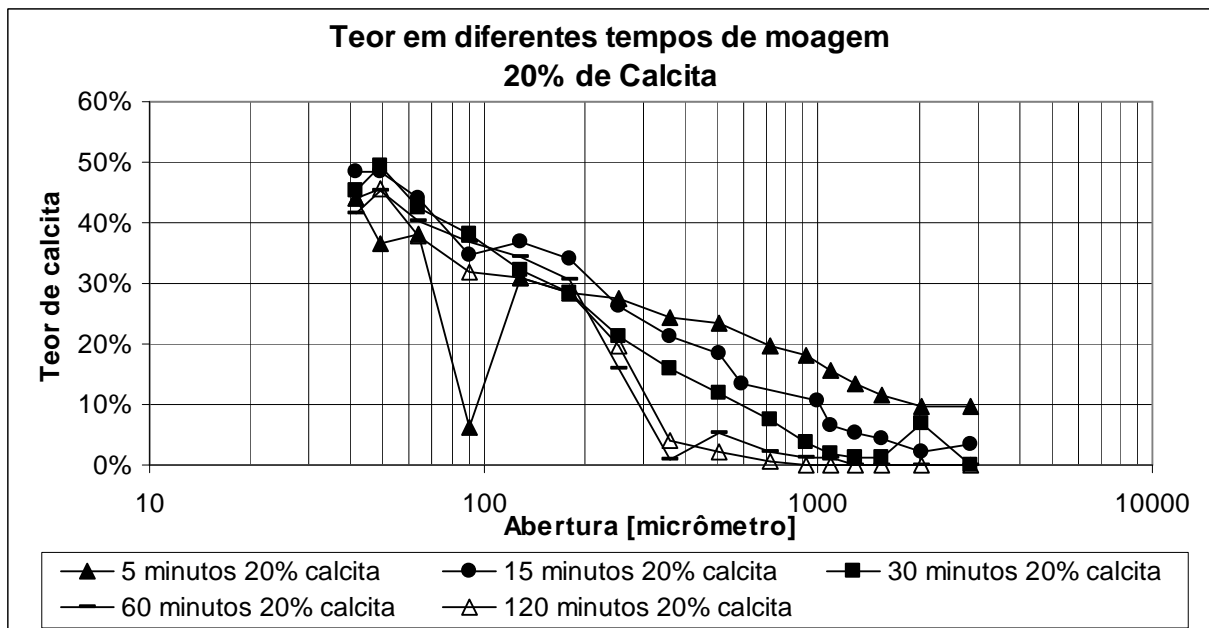


Figura 5.17 – Teor de calcita para a mistura 20% calcita / 80% quartzo.

Para o teor de calcita, houve comportamento esperado, com alguns pontos discrepantes, provavelmente indicando erro experimental.

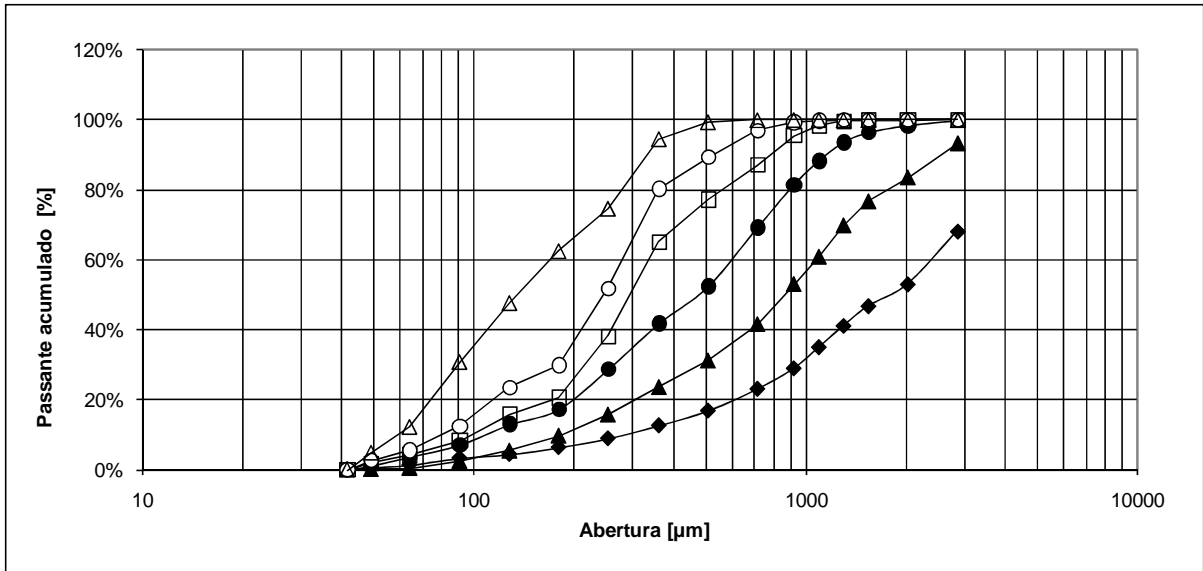


Figura 5.18 – Evolução Granulométrica da calcita quando em mistura calcita/quartzo na proporção 40 % para 60 %.

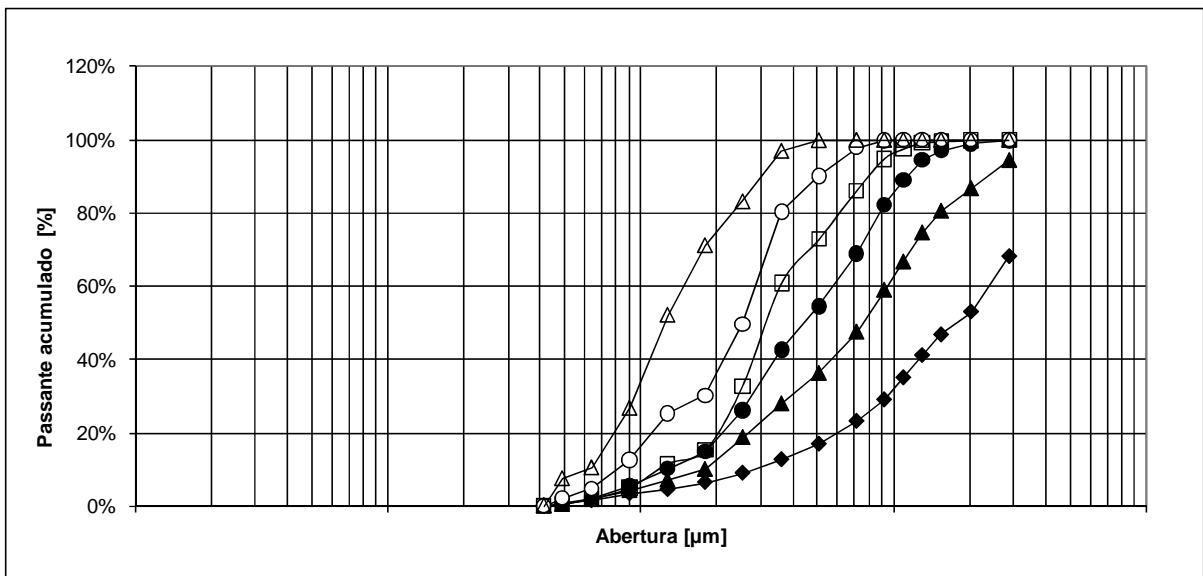


Figura 5.19 – Evolução Granulométrica da calcita quando em mistura calcita/quartzo na proporção 60 % para 40 %.

Tabela 5.9: Efeito da mistura na evolução temporal do diâmetro mediano dos minerais

Efeito da mistura na evolução do diâmetro mediano da calcita				Efeito da mistura na evolução do diâmetro mediano do quartzo			Símbolo nas Figuras 5.18 e 5.19
tempo [s]	100 % (pura)	60 %	40 %	100 % (puro)	60 %	40 %	
0	1754 μm	1769 μm	1769 μm	1568 μm	1570 μm	1570 μm	■
300	830 μm	748 μm	858 μm	1084 μm	1154 μm	1041 μm	▲
900	458 μm	456 μm	467 μm	658 μm	849 μm	727 μm	●
1800	312 μm	346 μm	315 μm	463 μm	594 μm	614 μm	□
3600	223 μm	242 μm	243 μm	319 μm	471 μm	447 μm	○
7200	162 μm	150 μm	137 μm	278 μm	286 μm	253 μm	△

Tabela 5.10: Efeito da mistura na evolução temporal da agudez da distribuição dos minerais

Efeito da mistura na evolução da agudez na parcela calcítica				Efeito da mistura na evolução da agudez na fração quartzosa			Símbolo nas Figuras 5.18 e 5.19
tempo [s]	100 % (pura)	60 %	40 %	100 % (puro)	60 %	40 %	
0	1,01	1,04	1,04	1,40	1,43	1,04	■
300	1,13	1,18	1,20	1,40	1,45	1,20	▲
900	1,10	1,39	1,30	1,35	1,54	1,30	●
1800	1,26	1,71	1,60	1,33	1,64	1,60	□
3600	2,00	1,79	1,77	1,31	1,65	1,77	○
7200	2,85	1,95	1,66	1,51	1,66	1,84	△

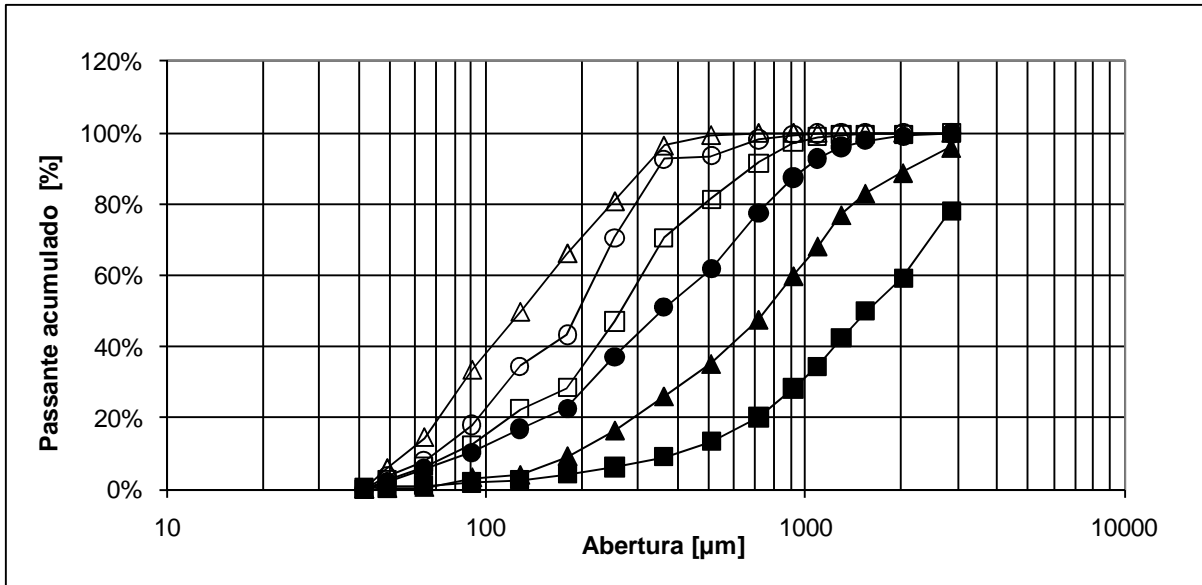


Figura 5.20 – Evolução Granulométrica da calcita quando em mistura calcita/quartzo na proporção 20 % para 80 %.

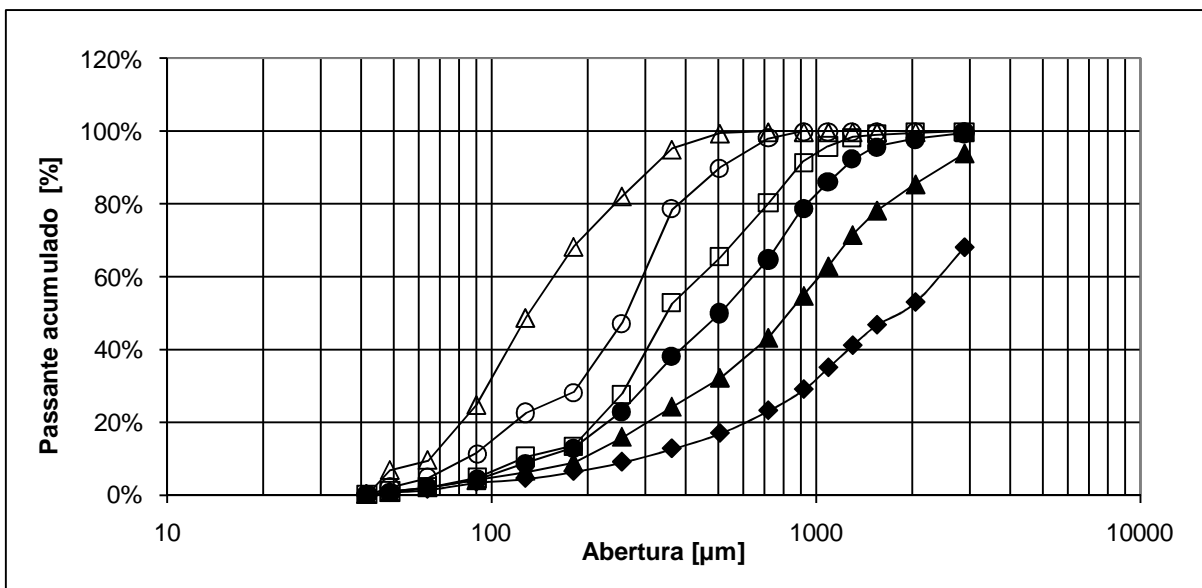


Figura 5.21 – Evolução Granulométrica da calcita quando em mistura calcita/quartzo na proporção 80 % para 20 %.

Tabela 5.11: Efeito da mistura na evolução temporal do diâmetro mediano dos minerais

Efeito da mistura na evolução do diâmetro mediano da calcita				Efeito da mistura na evolução do diâmetro mediano do quartzo			Símbolo nas Figuras 5.20 e 5.21
tempo [s]	100 % (pura)	20 %	80 %	100 % (puro)	20 %	80 %	
0	1754 μm	1769 μm	1769 μm	1568 μm	1570 μm	1570 μm	■
300	830 μm	747 μm	826 μm	1084 μm	993 μm	1106 μm	▲
900	458 μm	377 μm	499 μm	568 μm	768 μm	766 μm	●
1800	312 μm	270 μm	394 μm	463 μm	611 μm	521 μm	□
3600	223 μm	186 μm	252 μm	319 μm	521 μm	411 μm	○
7200	162 μm	139 μm	143 μm	278 μm	285 μm	251 μm	△

Tabela 5.12: Efeito da mistura na evolução temporal da agudez da distribuição dos minerais

Efeito da mistura na evolução da agudez na parcela calcítica				Efeito da mistura na evolução da agudez na fração quartzosa			Símbolo nas Figuras 5.20 e 5.21
tempo [s]	100 % (pura)	20 %	80 %	100 % (pura)	20 %	80 %	
0	1,01	1,04	1,04	1,40	1,43	1,43	■
300	1,13	1,29	1,21	1,40	1,33	1,37	▲
900	1,10	1,26	1,38	1,35	1,36	1,47	●
1800	1,26	1,51	1,60	1,33	1,43	1,53	□
3600	2,00	1,85	1,88	1,31	1,79	1,61	○
7200	2,85	1,72	1,92	1,51	2,01	1,54	△

A interdependência do comportamento dos dois minerais pode ser observada pelos gráficos das figuras 5.18 a 5.21. A presença de quartzo durante a moagem da calcita acarretou aumento do parâmetro de agudez da distribuição granulométrica da calcita na maioria dos tempos de moagem, levando o produto com faixa menos ampla de variação (isto é: aumento do bitolamento). Esse comportamento está compatível com o fato de a calcita apresentar

clivagem romboédrica perfeita, além de menor dureza e resistência mecânica, quando comparada ao quartzo.

Para compreender melhor e avaliar a interferência de finos no processo de moagem com a evolução temporal, foram feitas análises granulométricas para o produto de moagem do quartzo bitolado na granulometria entre 3,35 e 4,75 mm nos tempos 300, 900, 1800, 3600 e 7200 segundos, sendo que através das análises obteve-se a agudez e o diâmetro mediano do material.

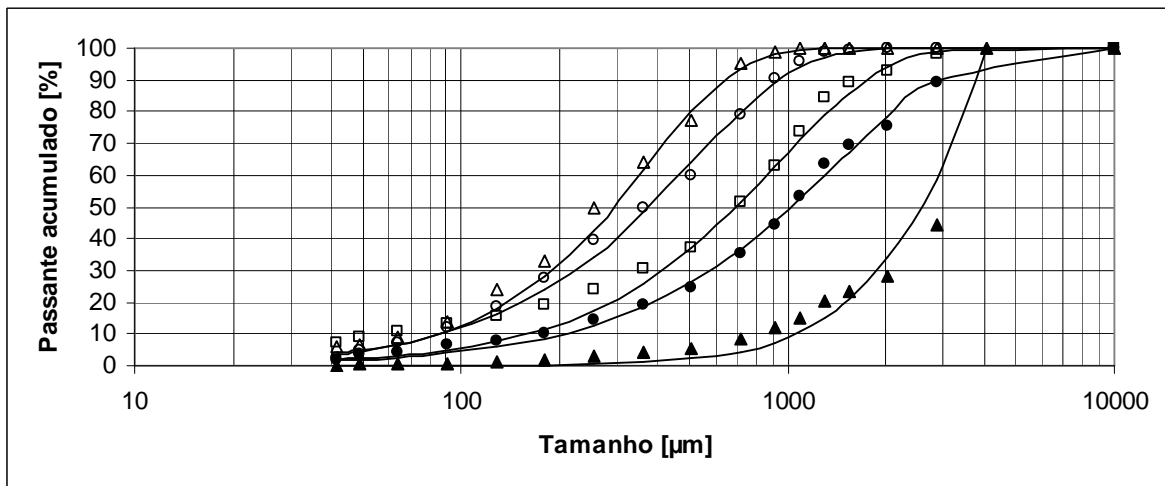


Figura 5.22 - Evolução temporal da distribuição granulométrica do quartzo isolado bitolado entre 3,35 e 4,75 mm com regressão por Rosin-Rammler.

Tabela 5.13: Evolução da distribuição granulométrica do quartzo isolado bitolado e curva Rosin-Rammler:

Tempo de moagem [s]	Agudez	Diâmetro mediano [μm]	R^2	Símbolo na Figura 5.22
0	90,70	4050 μm	1,000	■
300	2,14	2566 μm	0,939	▲
900	1,17	1030 μm	0,997	●
1800	1,29	694 μm	0,995	□
3600	1,29	373 μm	0,997	○
7200	1,54	292 μm	0,997	△

O material bitolado no tempo de moagem 0 certamente tem que apresentar um diâmetro mediano sendo a média entre os valores 3,35 e 4,75 mm, contudo, justamente pelo fato de o material estar em uma granulometria com pequena taxa de variação, o valor da agudez é alto, não devendo ser plotado.

5.2 Evolução dos Parâmetros Estatísticos

Para relacionar o tempo t com a distribuição granulométrica dada pela equação de Rosin-Rammler, foi necessário encontrar equações através da análise do diâmetro mediano e agudez em relação à evolução temporal na moagem. As equações encontradas e introduzidas na equação de Rosin-Rammler foram:

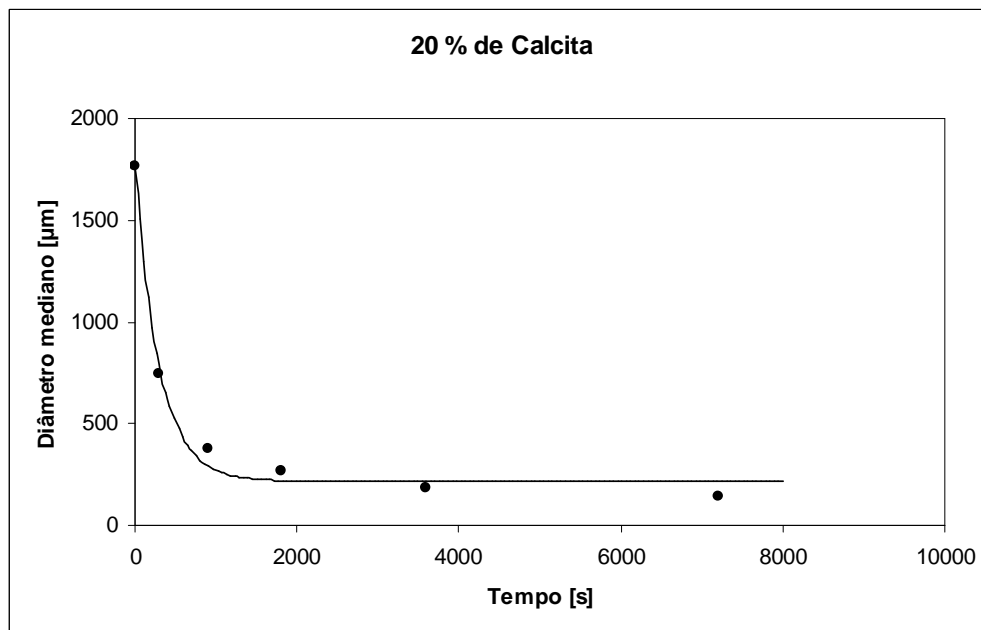


Figura 5.23 Curva de ajuste do diâmetro mediano em relação a 20% de calcita:

$$y = 1544 \times \exp\left(-\frac{t}{300}\right) + 216$$

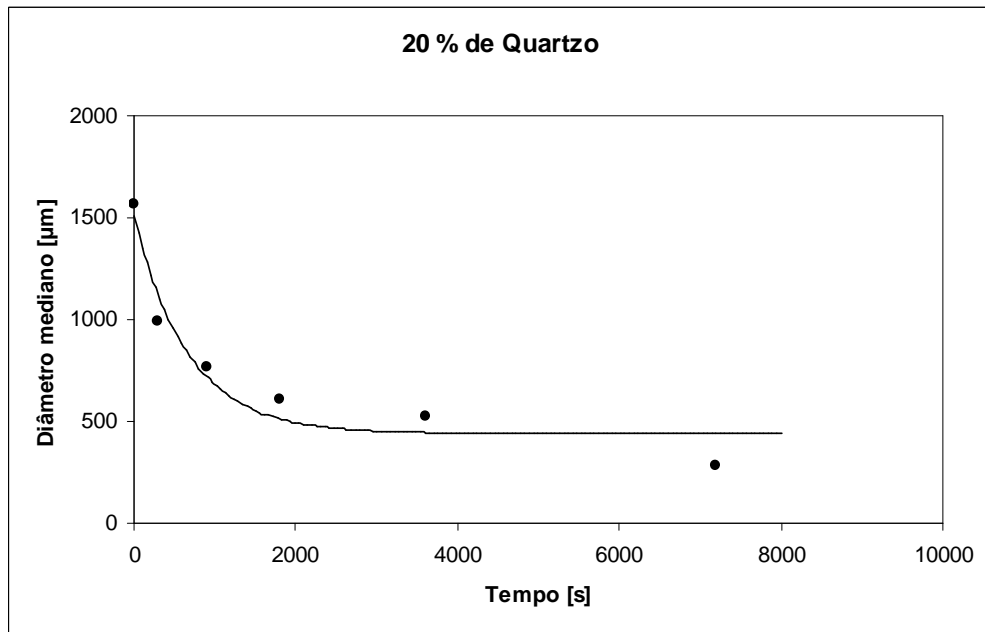


Figura 5.24 Curva de ajuste do diâmetro mediano em relação a 20% de quartzo:

$$y = 1067 \times \exp\left(-\frac{t}{669}\right) + 441$$

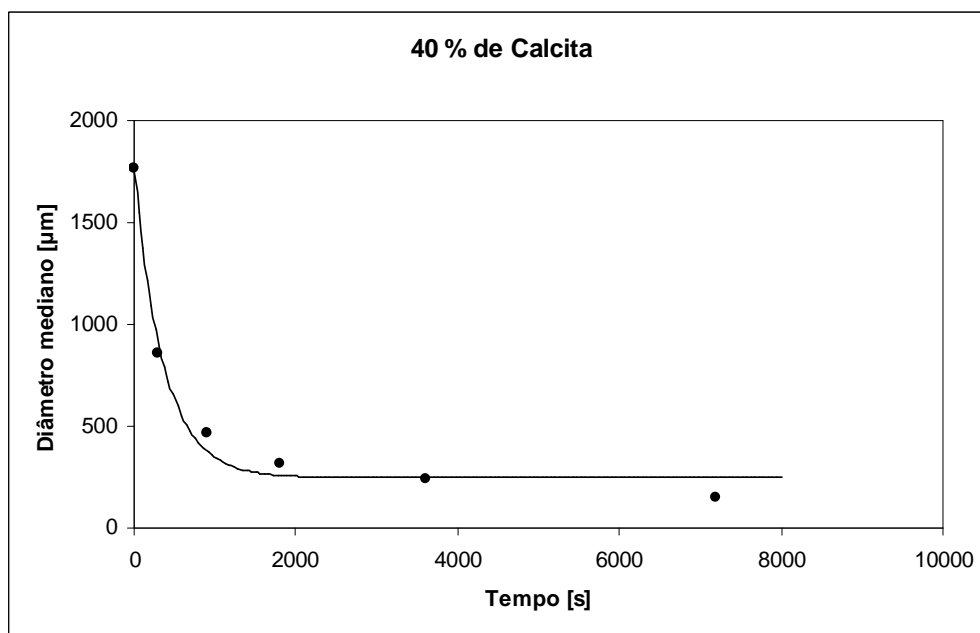


Figura 5.25 Curva de ajuste do diâmetro mediano em relação a 40% de calcita:

$$y = 1504 \times \exp\left(-\frac{t}{370}\right) + 248$$

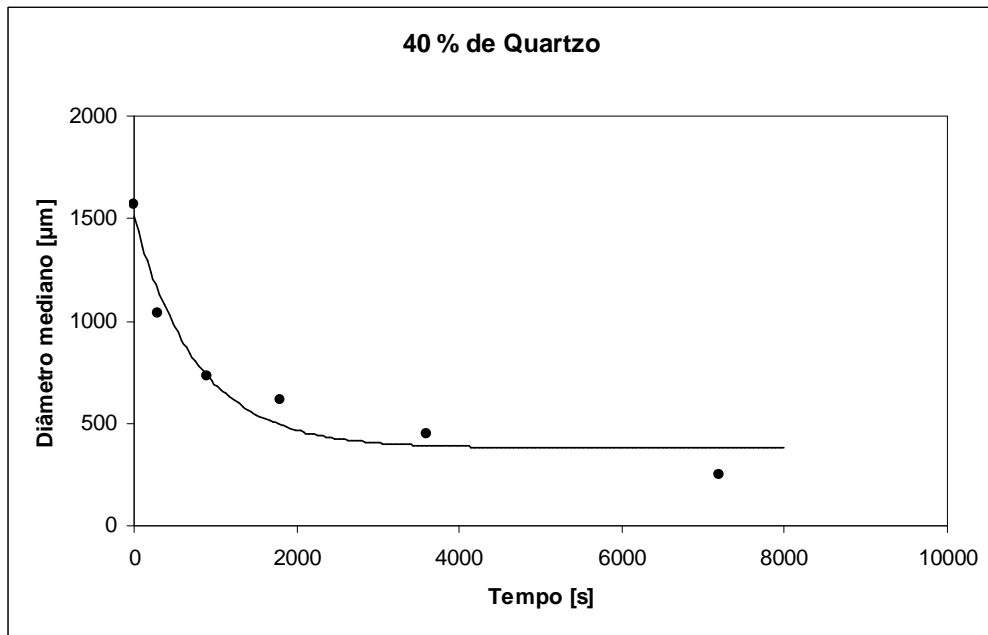


Figura 5.26 Curva de ajuste do diâmetro mediano em relação a 40% de quartzo:

$$y = 1128 \times \exp\left(-\frac{t}{777}\right) + 380$$

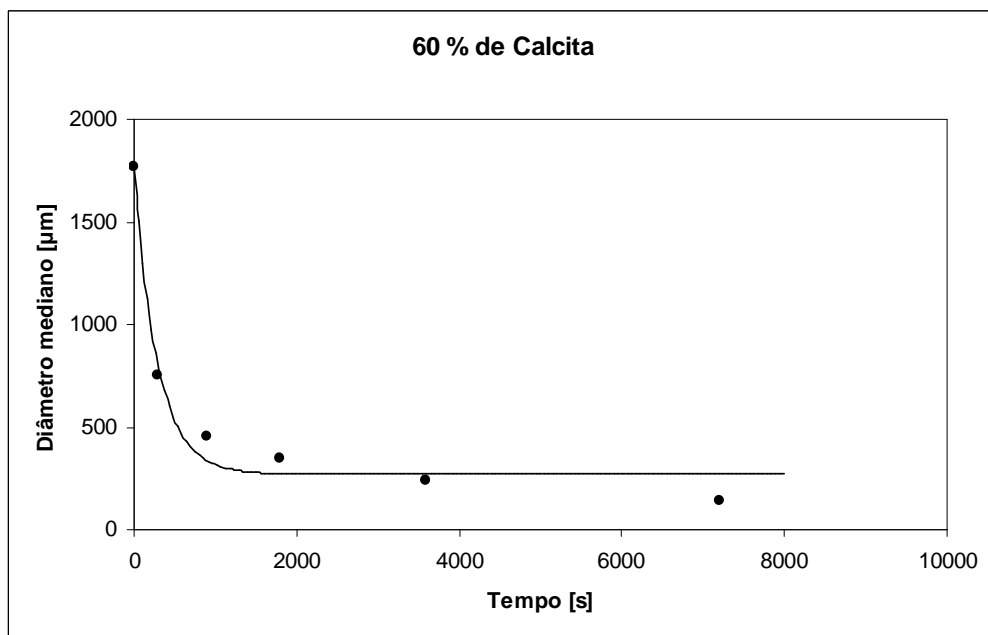


Figura 5.27 Curva de ajuste do diâmetro mediano em relação a 60% de calcita:

$$y = 1488 \times \exp\left(-\frac{t}{289}\right) + 269$$

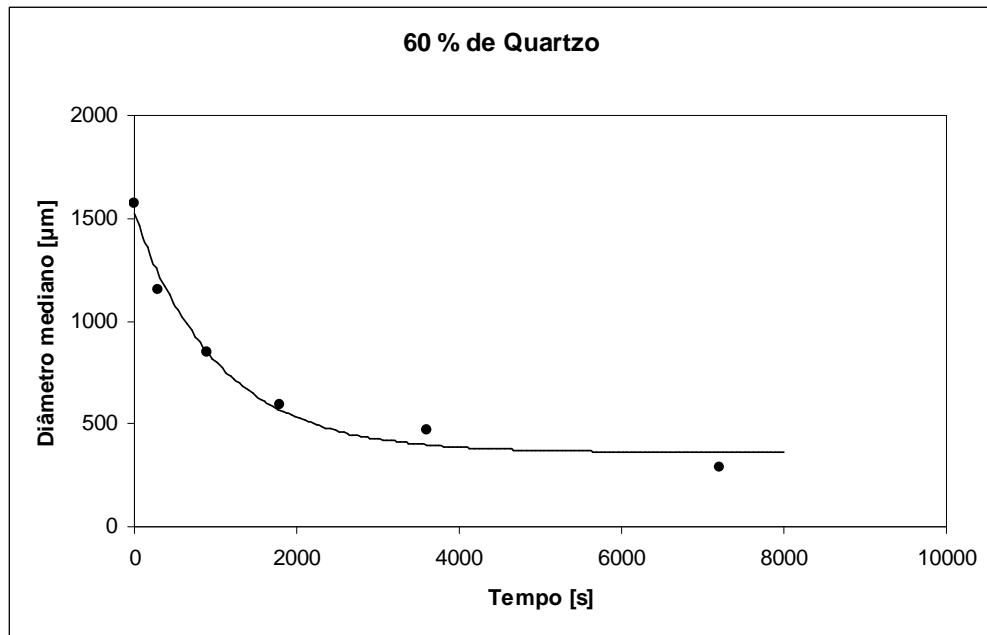


Figura 5.28 Curva de ajuste do diâmetro mediano em relação a 60% de quartzo:

$$y = 1160 \times \exp\left(-\frac{t}{1037}\right) + 361$$

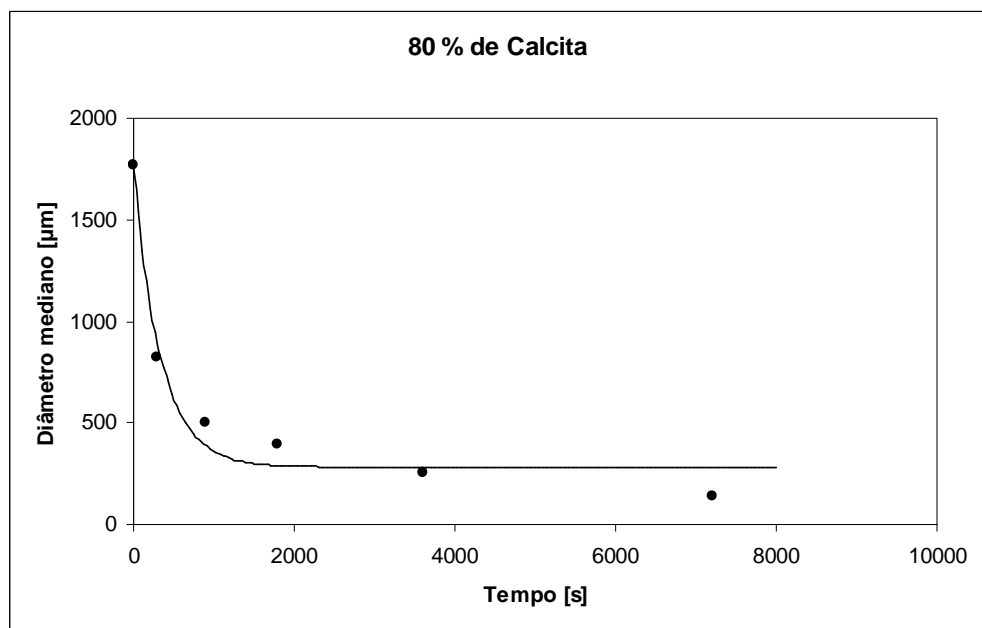


Figura 5.29 Curva de ajuste do diâmetro mediano em relação a 80% de calcita:

$$y = 1468 \times \exp\left(-\frac{t}{341}\right) + 282$$

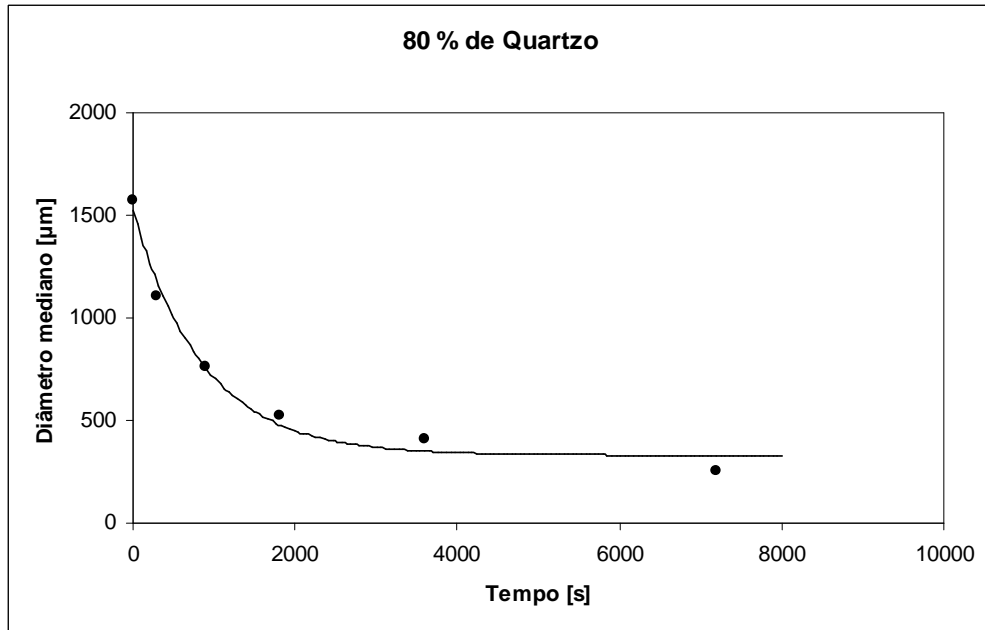


Figura 5.30 Curva de ajuste do diâmetro mediano em relação a 80% de Quartzo:

$$y = 1197 \times \exp\left(-\frac{t}{870}\right) + 331$$

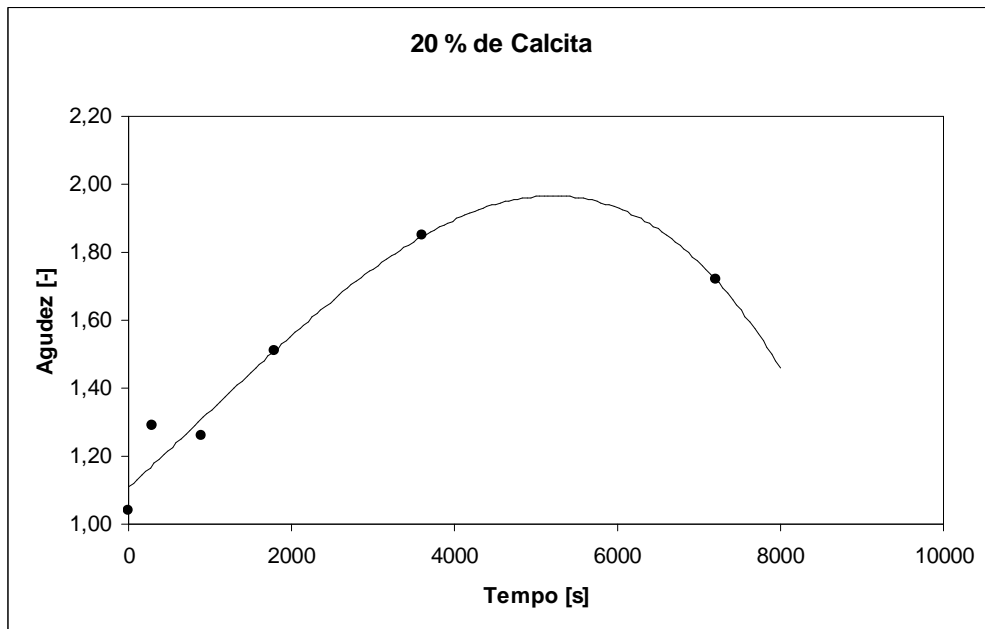


Figura 5.31 Curva de ajuste da agudez em relação a 20% de calcita:

$$y = -4,17e^{-12t^3} + 1,18e^{-8t^2} + 2,16e^{-4t} + 1,11$$

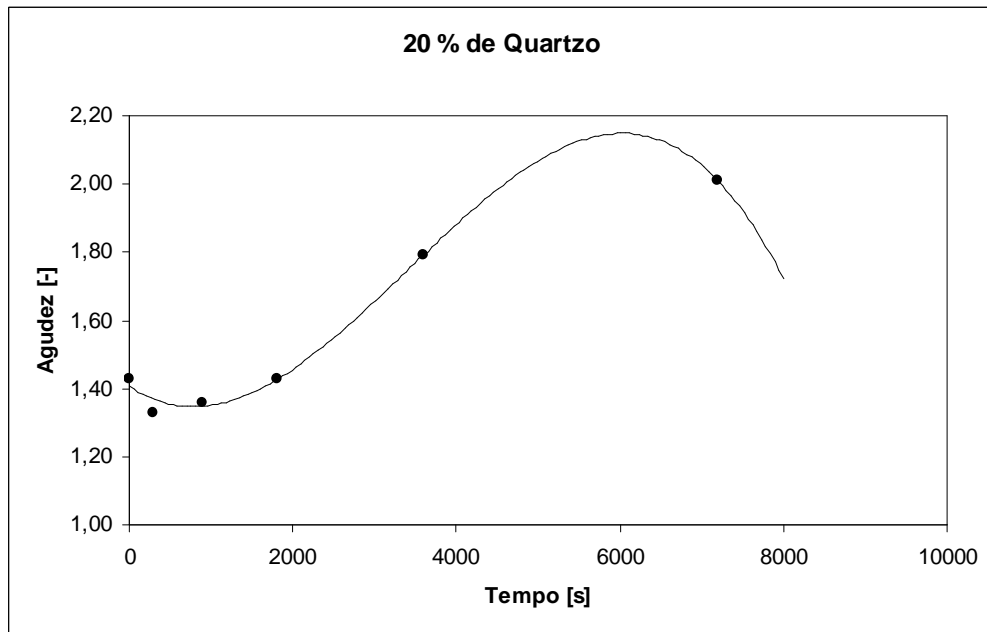


Figura 5.32 Curva de ajuste da agudez em relação a 20% de quartzo:

$$y = -1,11e^{-11}t^3 + 1,14e^{-7}t^2 + 1,58e^{-4}t + 1,41$$

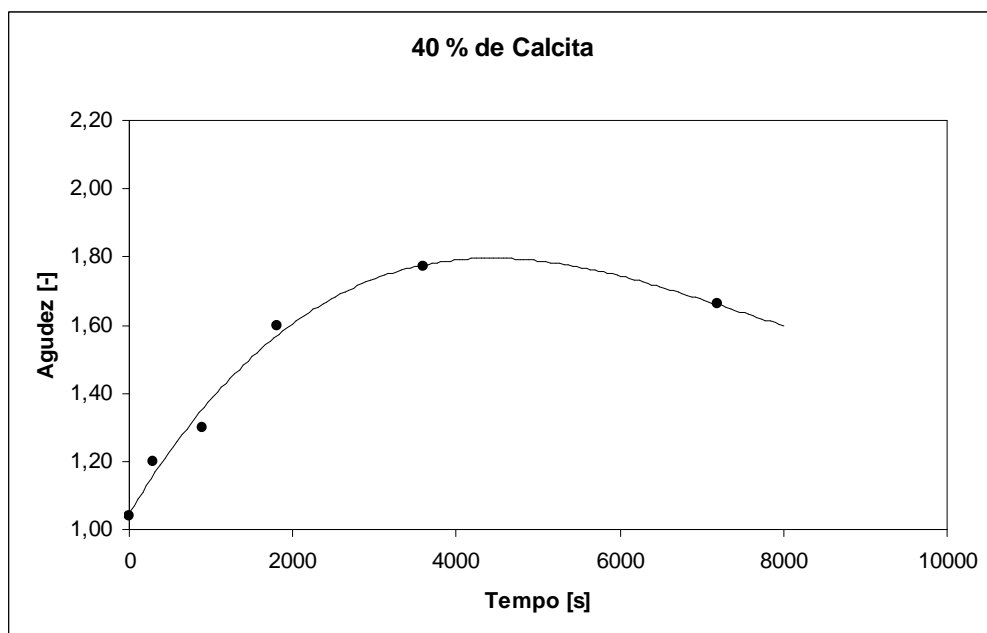


Figura 5.33 Curva de ajuste da agudez em relação a 40% de calcita:

$$y = 2,80e^{-12}t^3 + -6,28e^{-8}t^2 + 3,91e^{-4}t + 1,01$$

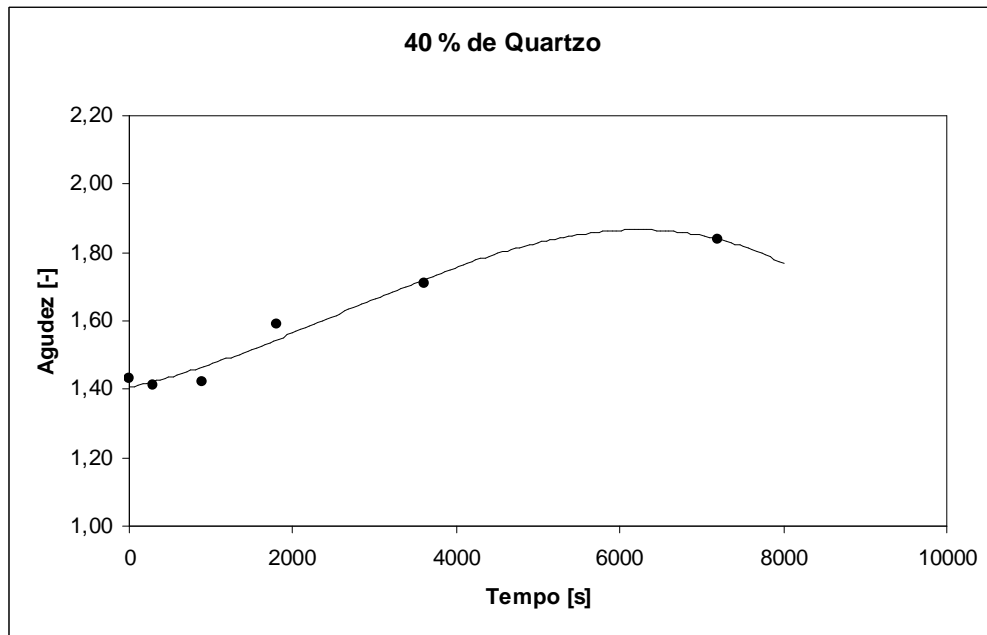


Figura 5.34 Curva de ajuste da agudez em relação a 40% de quartzo:

$$y = -2,47e^{-12}t^3 + 1,90e^{-8}t^2 + 5,12e^{-5}t + 1,41$$

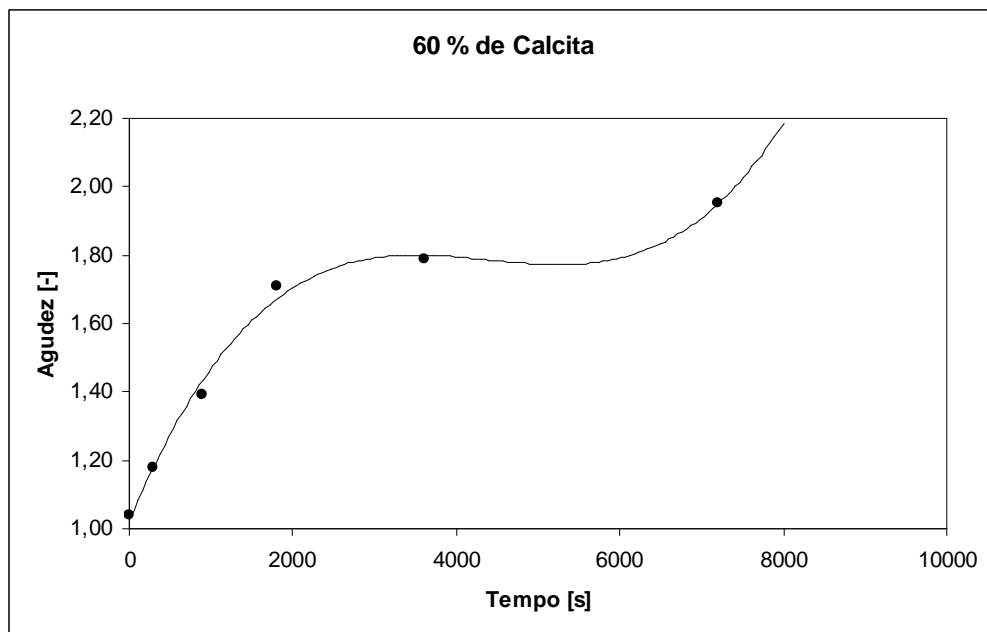


Figura 5.35 Curva de ajuste da agudez em relação a 60% de calcita:

$$y = 1,03e^{-11}t^3 + -1,35e^{-7}t^2 + 5,70e^{-4}t + 1,02$$

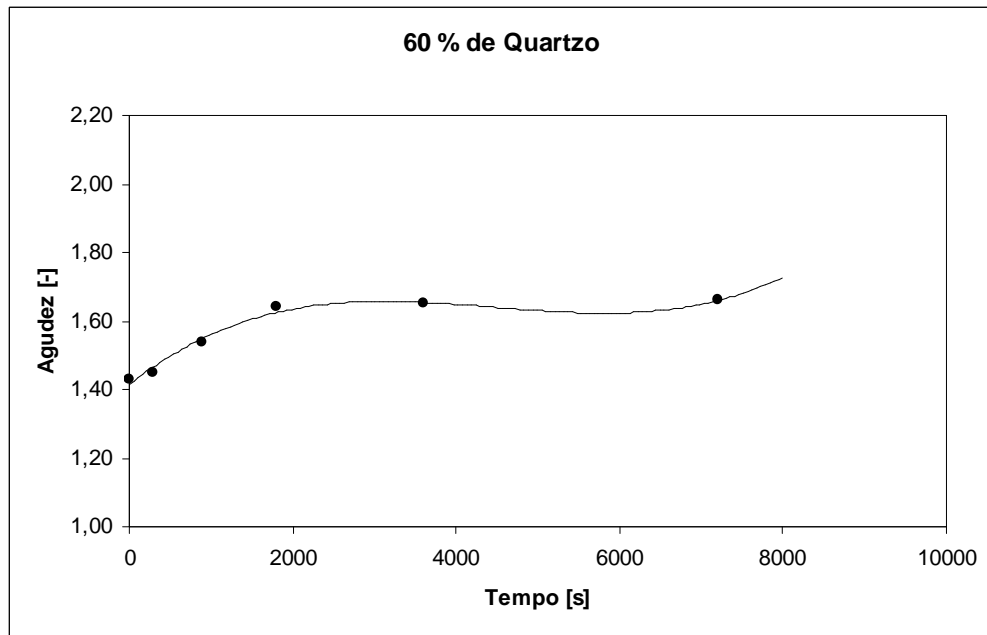


Figura 5.36 Curva de ajuste da agudez em relação a 60% de quartzo:

$$y = 3,49e^{-12}t^3 + -4,68e^{-8}t^2 + 1,90e^{-4}t + 1,41$$

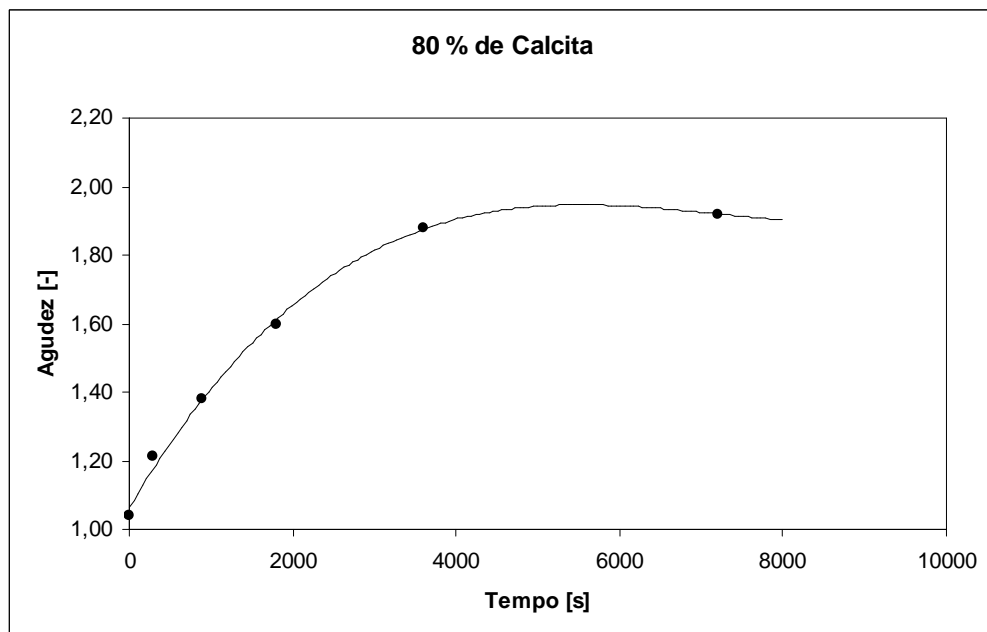


Figura 5.37 Curva de ajuste da agudez em relação a 80% de calcita:

$$y = 2,70e^{-12}t^3 + -5,88e^{-8}t^2 + 4,02e^{-4}t + 1,06$$

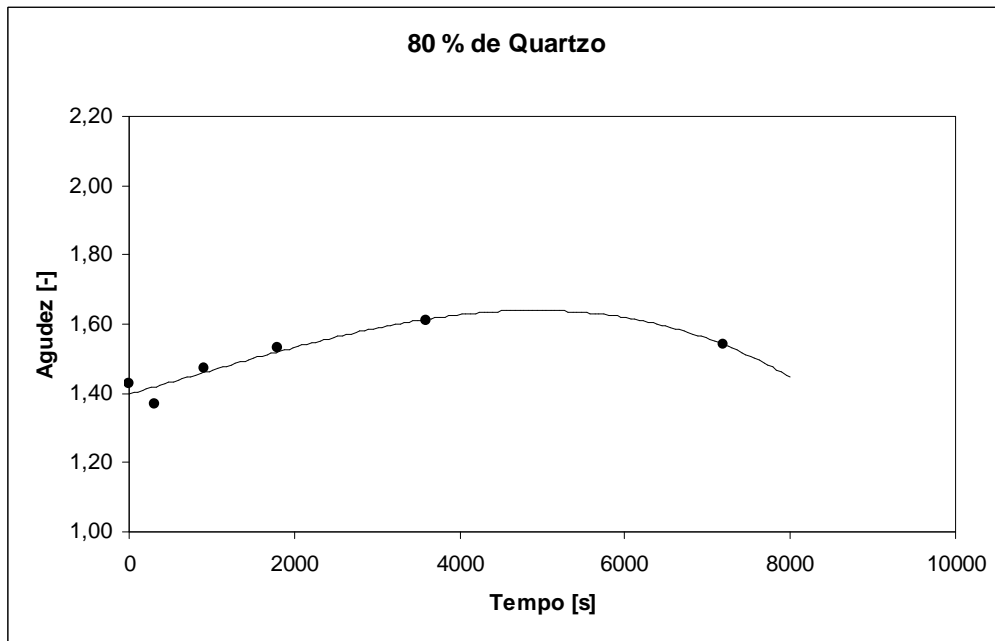


Figura 5.38 Curva de ajuste da agudez em relação a 80% de quartzo:

$$y = -1,28e^{-12t^3} + 2,57e^{-9t^2} + 6,74e^{-5t} + 1,40$$

Os valores da agudez e do diâmetro mediano calculados pelas equações da agudez e do diâmetro mediano em função do tempo de moagem (figuras 5.23 a 5.38) são mostrados pelas tabelas 5.14 a 5.17:

Tabela 5.14: Evolução dos valores da agudez e do diâmetro mediano para 20% de calcita e 80% de quartzo com o tempo de moagem

Valores da agudez [-]			Valores do diâmetro mediano [μm]		
20% : 80%			20% : 80%		
tempo [s]	calcita	quartzo	tempo [s]	calcita	quartzo
0	1,11	1,40	0	1760,00	1528,00
300	1,18	1,42	300	784,01	1178,89
900	1,31	1,46	900	292,87	756,43
1800	1,51	1,52	1800	219,83	482,20
3600	1,85	1,62	3600	216,01	350,10
7200	1,72	1,54	7200	216,00	331,30

Tabela 5.15: Evolução dos valores da agudez e do diâmetro mediano para 80% de calcita e 20% de quartzo com o tempo de moagem.

Valores da agudez [-]			Valores do diâmetro mediano [μm]		
80% : 20%			80% : 20 %		
tempo [s]	calcita	quartzo	tempo [s]	calcita	quartzo
0	1,06	1,41	0	1750,00	1508,00
300	1,18	1,47	300	891,04	1122,42
900	1,38	1,64	900	386,83	718,91
1800	1,61	2,00	1800	289,49	513,39
3600	1,87	2,94	3600	282,04	445,91
7200	1,91	4,31	7200	282,00	480,13

Tabela 5.16: Evolução dos valores da agudez e do diâmetro mediano para 40% de calcita e 60% de quartzo com o tempo de moagem

Valores da agudez [-]			Valores do diâmetro mediano [μm]		
40 % :60 %			40 % :60 %		
tempo [s]	calcita	quartzo	tempo [s]	calcita	quartzo
0	1,01	1,41	0	1752,00	1521,00
300	1,12	1,46	300	916,52	1229,60
900	1,31	1,55	900	380,09	848,01
1800	1,53	1,62	1800	259,60	565,47
3600	1,73	1,65	3600	248,09	397,04
7200	1,61	1,65	7200	248,00	362,12

Tabela 5.17: Evolução dos valores da agudez e do diâmetro mediano para 60% de calcita e 40% de quartzo com o tempo de moagem

Valores da agudez [-]			Valores do diâmetro mediano [μm]		
60 %:40 %			60 %:40 %		
tempo [s]	calcita	quartzo	tempo [s]	calcita	quartzo
0	1,02	1,41	0	1757,00	1508,00
300	1,18	1,43	300	795,96	1146,70
900	1,43	1,47	900	335,09	734,21
1800	1,67	1,55	1800	271,94	491,23
3600	1,80	1,73	3600	269,01	390,97
7200	1,97	1,84	7200	269,00	380,11

Quando comparados os valores de agudez e diâmetro mediano retirados das análises de laboratório aos calculados, pode ser observada uma coerência entre estes valores, indicando que não houve erro na escolha das equações 4.17 e 4.18.

5.3 Modelagem da Moagem Binária

5.3.1 Aspectos conceituais

Para a formulação do modelo matemático, foi idealizada a intersecção (denominada por I) entre as curvas ajustadas por Rosin-Rammler de calcita e quartzo (Figura 5.39) em cada valor de tempo. Os valores da agudez e do diâmetro mediano em relação ao tempo foram encontrados através da curva de ajuste apresentados nas equações 4.17 e 4.18.

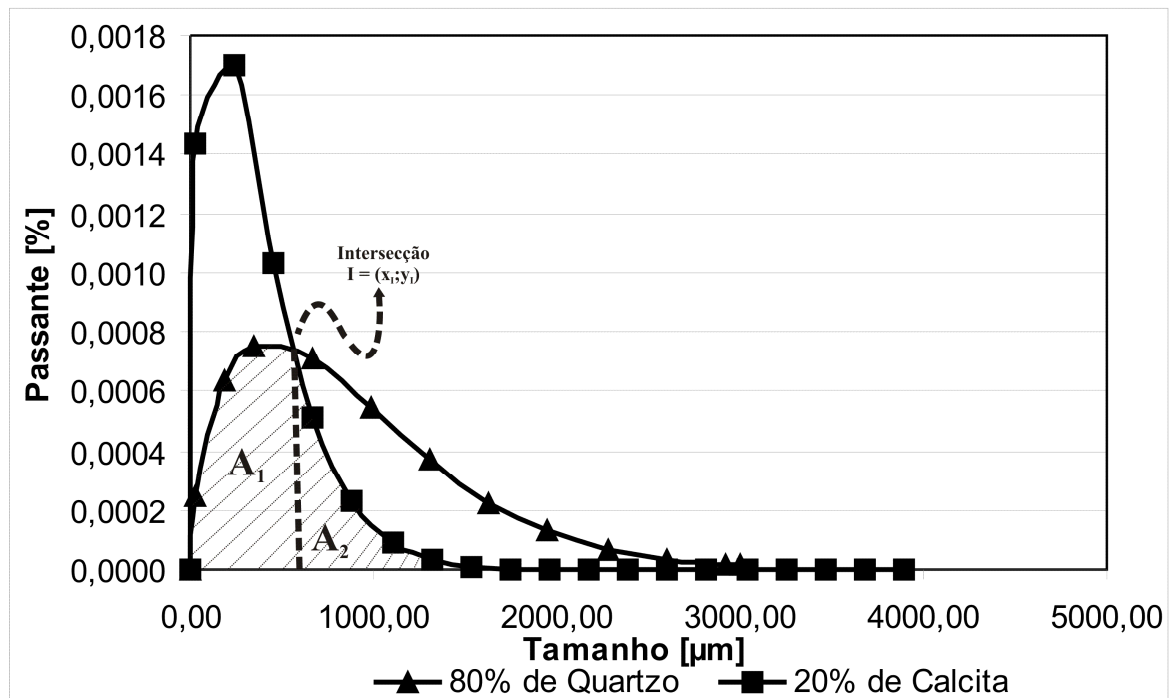


Figura 5.39 – Intersecção entre a curva do material A (calcita) e B (quartzo).

O cálculo da intersecção depende da curva de ajuste para os valores da agudez e do diâmetro mediano em relação ao tempo, de forma que através dos resultados obtidos em laboratório, encontrou-se a equação da agudez e do diâmetro mediano com a variável tempo. Foi feito *a priori*, um algoritmo para encontrar uma única intersecção como no modelo base, através da raiz dada pela equação de Rosin-Rammler do quartzo e da calcita. Porém, analisando-se as distribuições granulométricas dos componentes dos produtos da moagem, percebeu-se que pode haver mais raízes, pois as curvas poderão se interceptar em mais de um ponto.

O diâmetro mediano e a agudez podem ser explicitados a partir das equações 4.17 e 4.18 a serem incorporados à equação de Rosin-Rammler densidade de probabilidade:

$$f = \frac{m}{x_0} \times \left(\frac{x}{x_0} \right)^{m-1} \times \exp \left[- \left(\frac{x}{x_0} \right)^m \right] \quad (5.1)$$

Como o parâmetro de escala (x_0) é de menor uso na engenharia mineral, convencionou-se utilizar apenas o diâmetro mediano (d_{50}), medido através:

$$x_{50} = \left[-\ln\left(\frac{1}{2}\right) \right]^{\frac{1}{m}} \times x_0 \quad (5.2)$$

Considerando a curva f_A da figura 5.39 como sendo da calcita e a curva f_B o quartzo, tem-se na intersecção:

$$\text{Intersecção: } f_A = f_B \Rightarrow \text{encontra: } I \equiv (x_I, y_I) \quad (5.3)$$

Ou seja, para cada tempo de moagem, tem-se a equação $I_{AB}(x; y) \equiv f_A - f_B = 0$ que representa a intersecção. As raízes dessa equação fornecem, naturalmente os pontos de intersecção das curvas dos dois componentes na mistura em cominuição, de coordenadas x_I e y_I .

$$I = \frac{m_A}{x_{0A}} \times \left(\frac{x_I}{x_{0A}} \right)^{m_A-1} \times \exp \left[- \left(\frac{x_I}{x_{0A}} \right)^{m_A} \right] = \frac{m_B}{x_{0B}} \times \left(\frac{x_I}{x_{0B}} \right)^{m_B-1} \times \exp \left[- \left(\frac{x_I}{x_{0B}} \right)^{m_B} \right] \quad (5.4)$$

Esse modelo com um ponto de intersecção foi adotado por Ray e Szekely (1973), assim foi observado, através da plotagem dos valores da agudez e diâmetro mediano na equação de Rosin-Rammler densidade de probabilidade que as curvas do sistema em estudo se interceptam em mais de um lugar, havendo no mínimo duas raízes.

Entretanto, pelo método de aproximações sucessivas, foi observada a convergência dos valores para a primeira raiz, o zero na intersecção de x e y, considerando o tempo zero de moagem.

Uma das raízes é a solução trivial: $(x_I, y_I)=(0; 0)$

O método de aproximações sucessivas é um método iterativo que se baseia na aplicação de uma fórmula de recorrência que, sendo satisfeitas determinadas condições de convergência, gera a partir de um valor inicial uma sucessão de valores numéricos cujo limite é a raiz procurada. O valor inicial foi dado de acordo com o intervalo mais próximo da segunda raiz, sendo em função do diâmetro mediano:

$$x_0 = d_{50A} + \frac{(d_{50A} + d_{50B})}{2} \quad (5.5)$$

Porém, mesmo colocando um valor inicial aproximado da segunda raiz, o valor convergiu para zero.

Um maior estudo foi feito para encontrar uma forma de determinar um valor inicial a fim de gerar convergência para a segunda raiz, como mostra a figura 5.39. Conhecendo-se que raízes são determinadas nas curvas quando há mudança de sinal, houve direcionamento de esforços para um algoritmo que reconheça a mudança, porém, sem sucesso.

Para auxiliar no reconhecimento da raiz pela intersecção entre os gráficos de quartzo e calcita, foram plotados todas as curvas Rosin-Rammler densidade de probabilidade referentes ao quartzo e a calcita no EasyPlot e retirado o valor da intersecção.

5.3.2 Modelo matemático para otimização

Inicialmente optou-se pelo método das aproximações sucessivas a fim de encontrar a raiz das equações densidade probabilidade de Rosin Rammler do quartzo em relação à calcita, porém, devido ao insucesso dos resultados obtidos pelo método através de um programa feito no Scilab, da qual houve convergência para o ponto zero do gráfico, foi utilizado o método de Newton Raphson para a determinação da citada intersecção.

Este método é uma particularidade do método de aproximações sucessivas. O método consiste em fazer a iteração

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \quad (5.6)$$

a partir de uma condição inicial bem escolhida x_0 , e assim obter aproximações sucessivas de alguma raiz x^* de f .

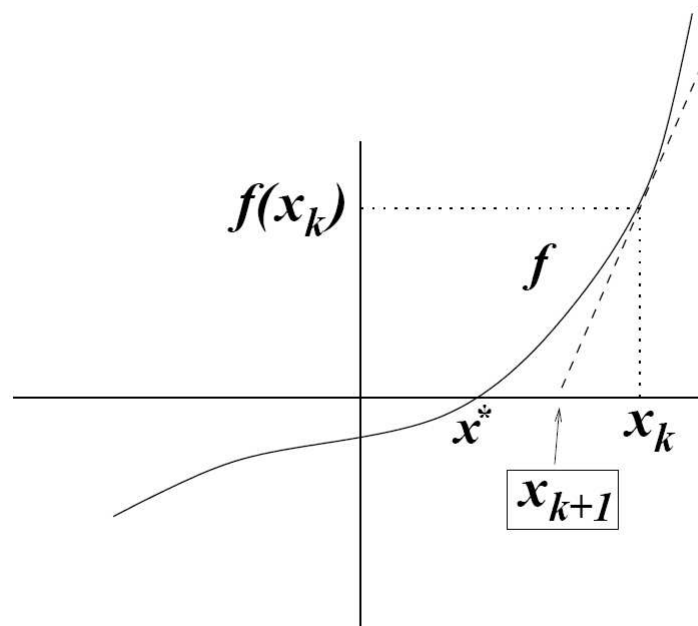


Figura 5.41: Representação gráfica da procura por um ponto de intersecção através de Newton Raphson.

A maneira de achar x_1 em função de x_0 , e igualmente depois achar x_{k+1} em função de x_k , tem uma forte inspiração geométrica: olhamos para a reta tangente ao gráfico de f no ponto $(x_k, f(x_k))$ e definimos x_{k+1} como sendo o ponto de encontro dessa reta com a abscissa. (Hirofume e Colli, 2008).

Para o caso do algoritmo criado em Scilab, os dados foram apresentados da seguinte forma:

Dados de Entrada: Aproximação inicial $x_0 = 360$ e tolerância ($\epsilon = 0.00000002$).

Saída: tempo em segundos, o valor de x da intersecção, a área total (somatório de $A_1 + A_2$), energia gasta para a moagem da calcita e do quartzo (E_a, E_b) e a função objetivo.

Algoritmo do método de Newton Raphson é mostrado na figura 5.42.

Para encontrar uma solução para $f(x) = 0$, dada a derivada de $f(x)$ e uma aproximação inicial x_0 . (Galvão e Nunes)

Dados de Entrada: Aproximação inicial x_0 e tolerância (ϵ).

Saída: Solução aproximada x ou mensagem de “solução não encontrada”.

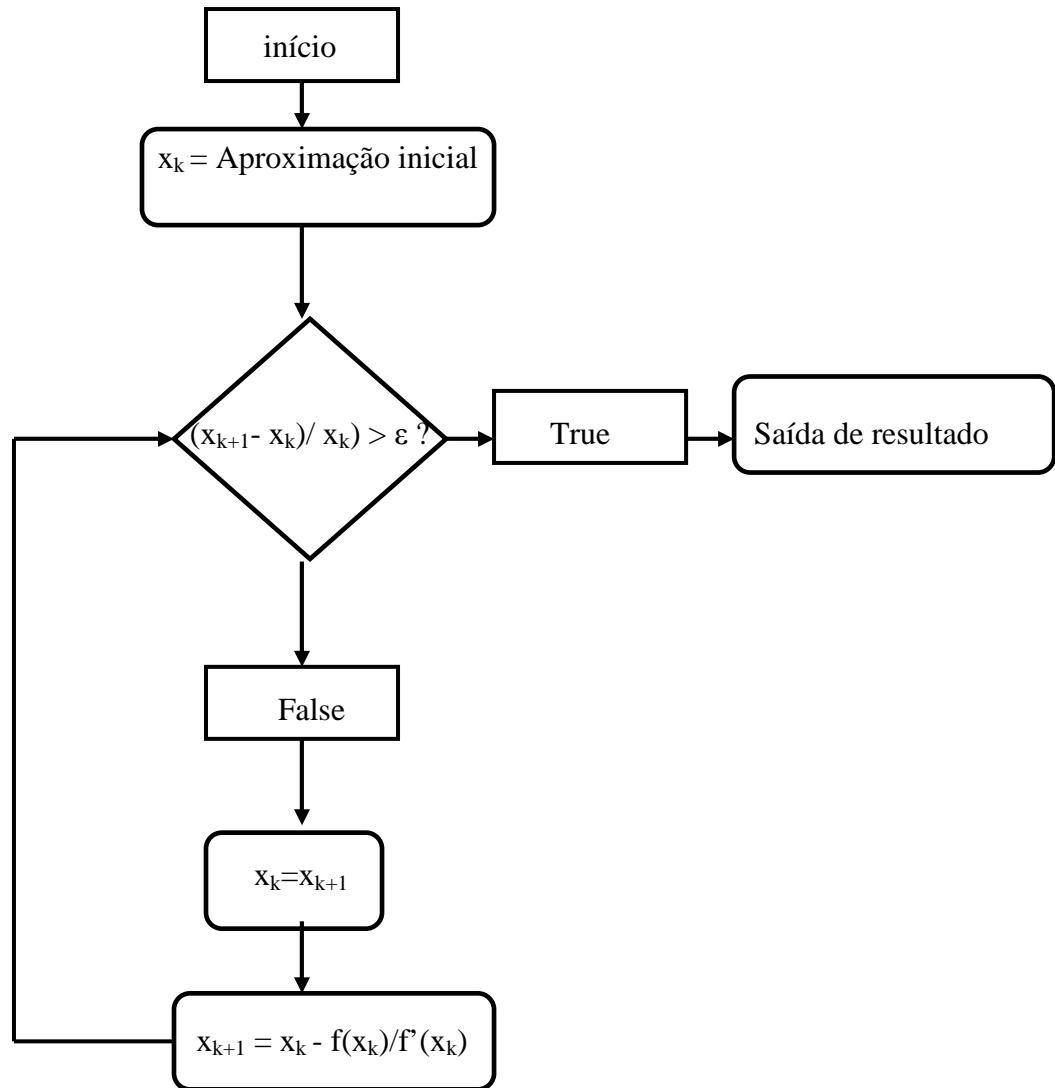


Figura 5.42: Algoritmo do método de Newton Raphson para a construção do modelo.

5.3.2.2 Construção do modelo

Para a construção do modelo, foi feito o algoritmo de Newton Raphson inicialmente em Delphi, nos tempos de 0 a 7200 segundos com espaçamento de 10 segundos. Foram

encontrados, através deste algoritmo, os valores da intersecção entre as equações Rosin-Rammler densidade probabilidade de quartzo e calcita.

Sendo a função Rosin-Rammler densidade probabilidade do quartzo em relação à calcita:

$$f(x) = \frac{ma}{xa} \times \left(\frac{x}{xa}\right)^{ma-1} \times \exp\left[-\left(\frac{x}{xa}\right)^{ma}\right] - \frac{mb}{xb} \times \left(\frac{x}{xb}\right)^{mb-1} \times \exp\left[-\left(\frac{x}{xb}\right)^{mb}\right] \quad (5.7)$$

Como o método de Newton Raphson necessita de derivação (equação 5.8), foi feita a derivada da função através do programa Mathematica 7:

$$f'(x) = \frac{e^{-\left(\frac{x}{xa}\right)^{ma}} \times (-1 + ma) \times ma \times \left(\frac{x}{xa}\right)^{-2+ma}}{xa^2} - \frac{e^{-\left(\frac{x}{xa}\right)^{ma}} \times ma^2 \times \left(\frac{x}{xa}\right)^{-2+2 \times ma}}{xa^2} - \frac{e^{-\left(\frac{x}{xb}\right)^{mb}} \times (-1 + mb) \times mb \times \left(\frac{x}{xb}\right)^{-2+mb}}{xb^2} + \frac{e^{-\left(\frac{x}{xb}\right)^{mb}} \times mb^2 \times \left(\frac{x}{xb}\right)^{-2+2 \times mb}}{xb^2} \quad (5.8)$$

Através da plotagem das curvas Rosin-Rammler densidade probabilidade do quartzo e calcita, confirmou-se os valores da intersecção em diversos tempos calculados pelo algoritmo:

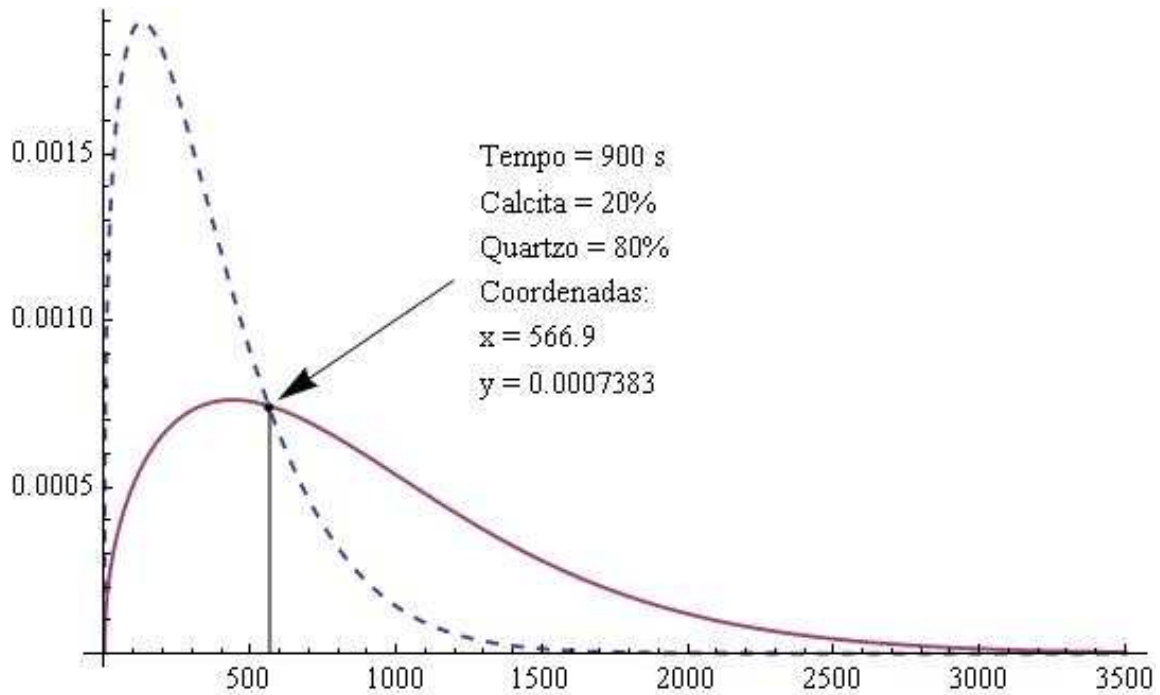


Figura 5.43: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 900 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

Onde, para todos os gráficos:

----- 20% calcita
 _____ 80% quartzo

Após encontrar o valor $I \equiv (x_I, y_I)$, o cálculo das áreas A_1 e A_2 da figura 5.39 foram efetuados empregando-se a distribuição acumulada de Rosin-Rammler (integral). Ou seja:

$$\text{Área } A_1 = 1 - Y_A(x = x_i) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x_I}{x_{0A}} \right)^{m_A} \right] \quad (5.9)$$

$$\text{Área } A_2 = Y_B(x = x_i) = \exp \left[- \left(\frac{x_I}{x_{0B}} \right)^{m_B} \right] \quad (5.10)$$

Os valores do x_I estudados na intersecção das curvas de quartzo e calcita nos seis tempos de moagem são mostrados na tabela 5.18.

Tabela 5.18: Evolução dos valores do x na intersecção entre as curvas de quartzo e calcita com valores de agudez e diâmetro mediano dos resultados experimentais.

Misturas	80 %:20 %	20%:80%	60%:40%	40%:60%
Tempo de moagem [s]	quartzo : calcita x_I	quartzo:calcita x_I	quartzo:calcita x_I	quartzo:calcita x_I
0	362,12	378,77	403,75	391,26
300	932,36	724,25	774,19	882,41
900	561,91	587,93	655,57	650,36
1800	399,58	412,07	455,77	468,26
3600	351,2	343,39	398,02	413,63
7200	359	327,78	374,61	405,83

Estes valores foram retirados pela intersecção das curvas de quartzo e calcita plotadas no *EasyPlot* usando o leitor de coordenadas cartesianas do cursor (“x-hair”), são valores que foram considerados na montagem do algoritmo para otimização do modelo.

Os valores das áreas foram calculados a partir da tabela 5.18 e das equações 5.9 e 5.10 e estão apresentados nas tabelas 5.19 e 5.20.

Tabela 5.19: Evolução dos valores das áreas nas curvas de calcita e quartzo.

Misturas	20 %:80 %		80 %:20 %	
	Área $A_2= 1- yA$ Calcita	yB Quartzo	Área $A_2= 1- yA$ Calcita	yB Quartzo
0	0,1129452	0,91178415	0,1279095	0,9059172
300	0,5725002	0,60853018	0,4191636	0,6945794
900	0,803787	0,6383584	0,7086235	0,6072922
1800	0,8194275	0,59411083	0,7057393	0,6397652
3600	0,8173362	0,49824006	0,6327716	0,7249225
7200	0,8100954	0,45638609	0,6032408	0,8247576

Tabela 5.20: Evolução dos valores das áreas nas curvas de calcita e quartzo.

Misturas	40 %:60 %		60 %:40 %	
	Área $A_2= 1- yA$ Calcita	yB Quartzo	Área $A_2= 1- yA$ Calcita	yB Quartzo
0	0,1456455	0,8986898	0,14	0,9017371
300	0,4365053	0,7030706	0,54	0,6206826
900	0,7578044	0,6277332	0,83	0,5599044
1800	0,8054035	0,6134331	0,82	0,5254075
3600	0,7926926	0,4985888	0,78	0,465839
7200	0,7405476	0,4803941	0,79	0,4574954

Estes valores retirados pela plotagem das curvas de quartzo e calcita servem como valores base para a construção de um algoritmo, por comparação, que devem ser valores próximos no tempo de moagem acima especificado.

Após o cálculo de área na intersecção das curvas de quartzo e calcita, o último procedimento é formular uma função objetivo que minimize a área desta intersecção de forma a gerar o melhor valor de área com o menor tempo possível, já que o tempo de residência é diretamente proporcional ao custo de moagem.

Para a montagem de uma função objetivo é necessário relacionar a área a ser minimizada com o tempo de moagem.

Na função objetivo têm-se equações de diâmetro mediano e agudez em relação ao tempo, com valores entre 10 a 7200 segundos. A necessidade de considerar vários valores para o tempo de moagem é facilitar na determinação do melhor tempo. As equações do diâmetro mediano e agudez em relação ao tempo são inseridas na equação de cálculo de área, obtendo-se nova equação. Como exemplo pode ser citado a equação com 20% de calcita:

$$Y_A(x = x_i) = \exp \left[- \left(\frac{x_I}{x_{0A}} \right) \underbrace{-4,17e^{-12}t^3 + 1,18e^{-8}t^2 + 2,16e^{-4}t + 1,11}_m \right] \quad (5.11)$$

Sendo:

$$x_{0A} = \frac{\overbrace{1544 \times \exp \left(-\frac{t}{300} \right) + 216}^{d_{50}}}{\left[-\ln \left(\frac{1}{2} \right) \right] \underbrace{\frac{1}{-4,17e^{-12}t^3 + 1,18e^{-8}t^2 + 2,16e^{-4}t + 1,11}}_m} \quad (5.12)$$

Através da inclusão da variável tempo ao cálculo da área, pode-se verificar após obter o valor da intersecção das curvas da figura 5.42, como as áreas A_1 e A_2 do gráfico se comportam com a evolução do tempo de moagem.

Pela facilidade de linguagem de programação, inicialmente foi feito o método de Newton-Raphson através do Delphi. Pela figura 5.44 pode-se fazer a comparação com o resultado da figura 5.43:

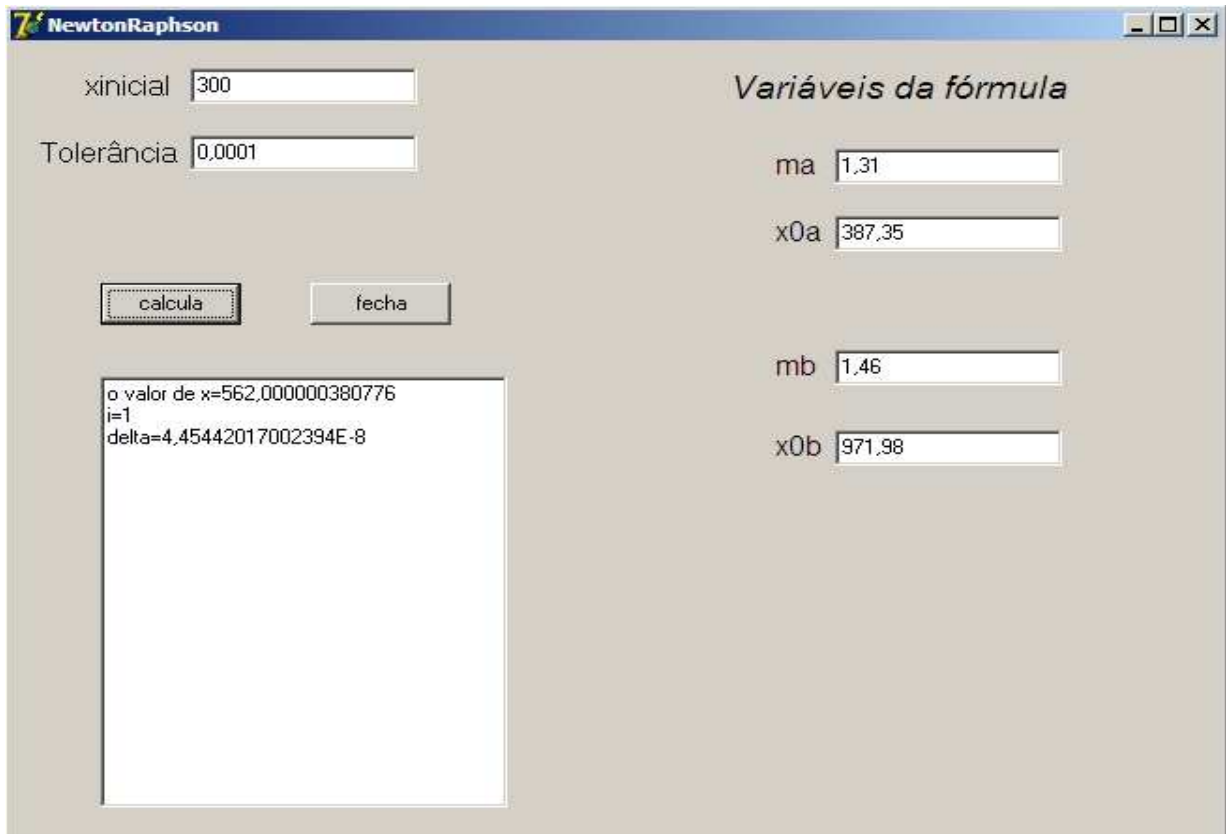


Figura 5.44: Valor da intersecção das curvas na figura 5.43.

Pelo gráfico obtivemos o valor de $x = 566$, sendo que o Delphi nos fornece um valor de $x = 562$. Através da plotagem de um valor inicial de x adequado, os resultados obtidos pelo algoritmo foram satisfatórios.

Outros exemplos de gráficos que ajudaram na formulação do modelo, feitos no Mathematica 7:

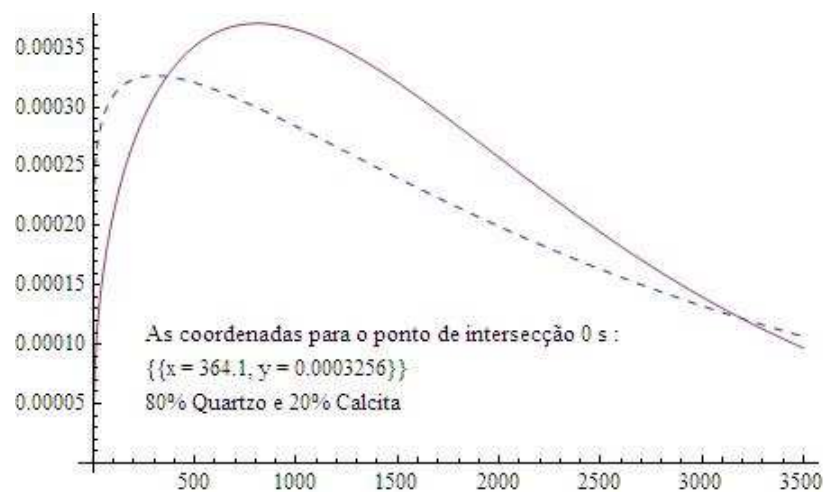


Figura 5.45: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 0 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

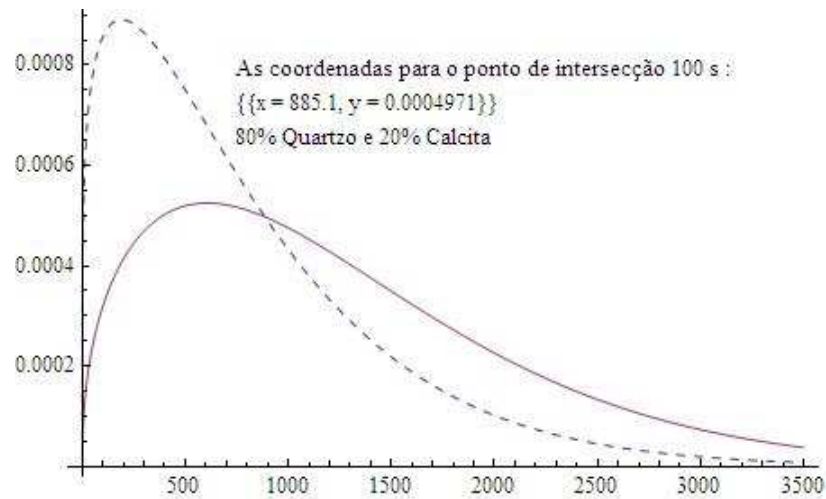


Figura 5.46: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 100 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

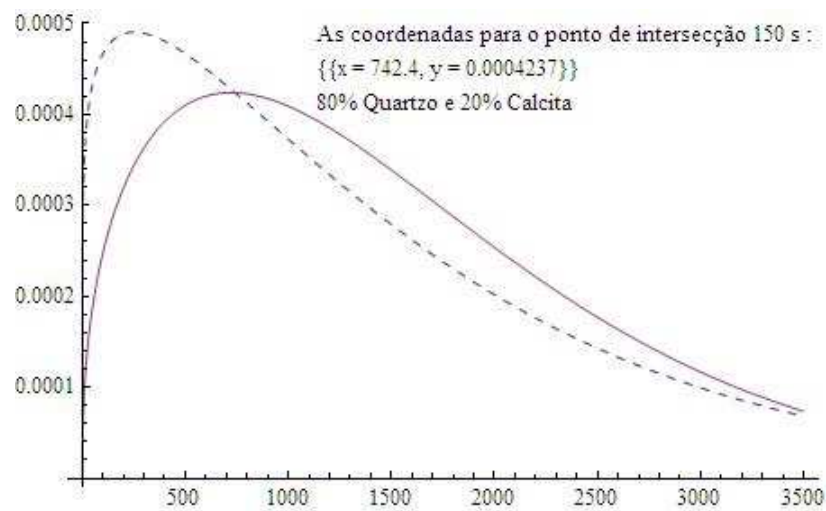


Figura 5.47: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 150 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

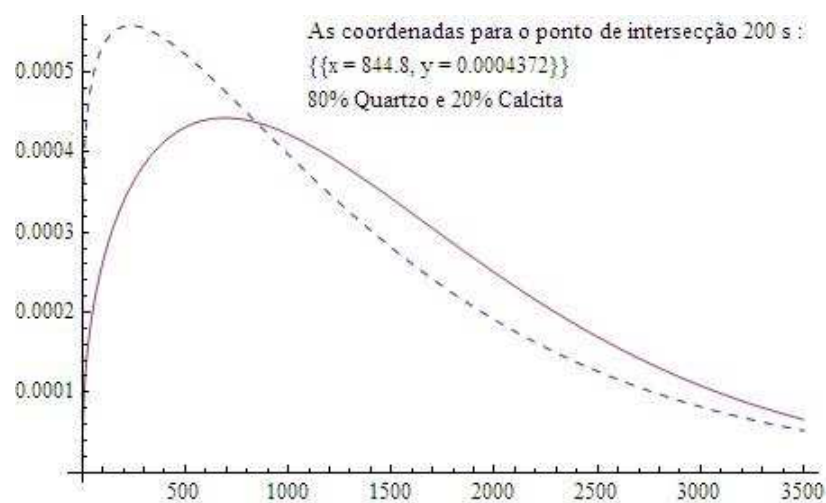


Figura 5.48: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 200 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

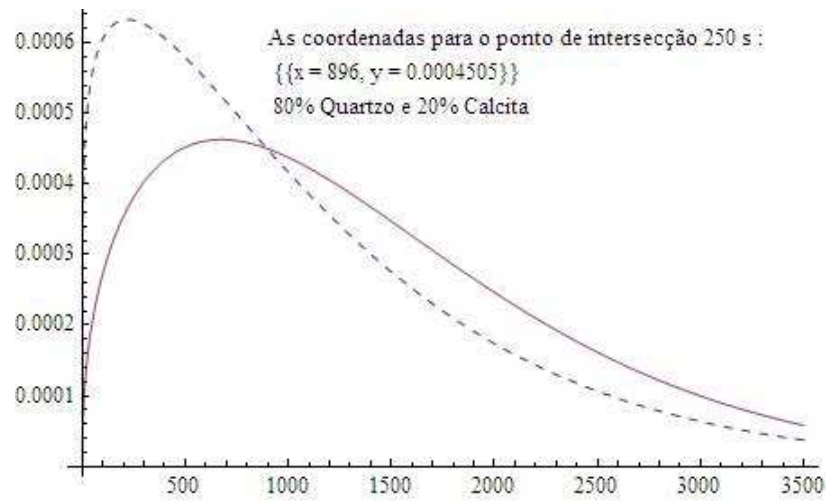


Figura 5.49: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 250 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

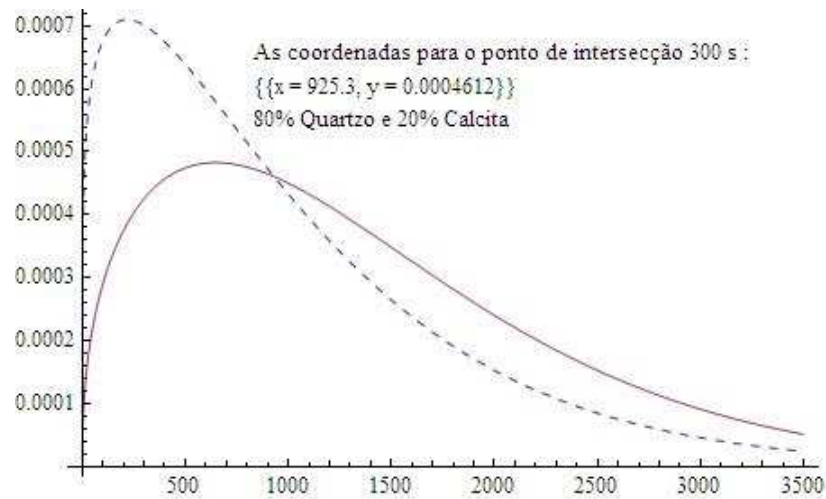


Figura 5.50: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 300 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

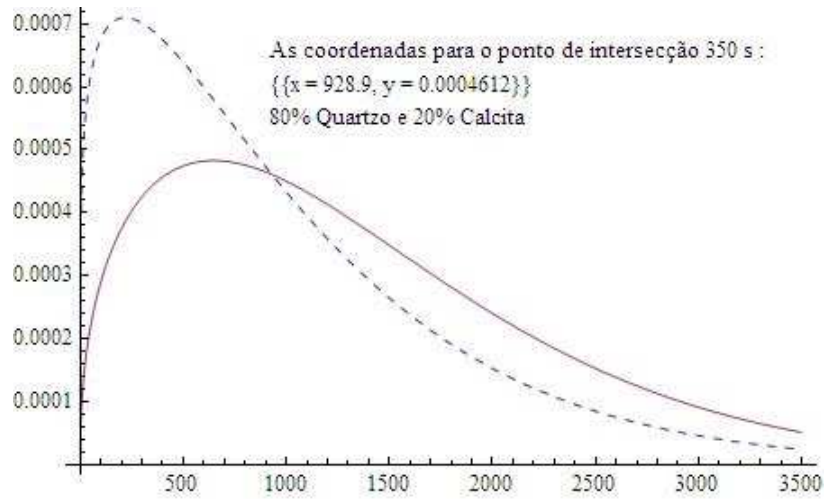


Figura 5.51: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 350 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

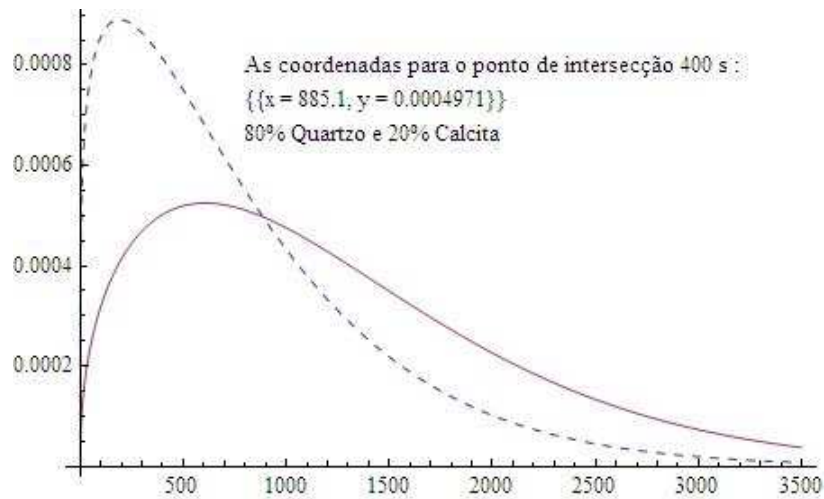


Figura 5.52: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 400 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

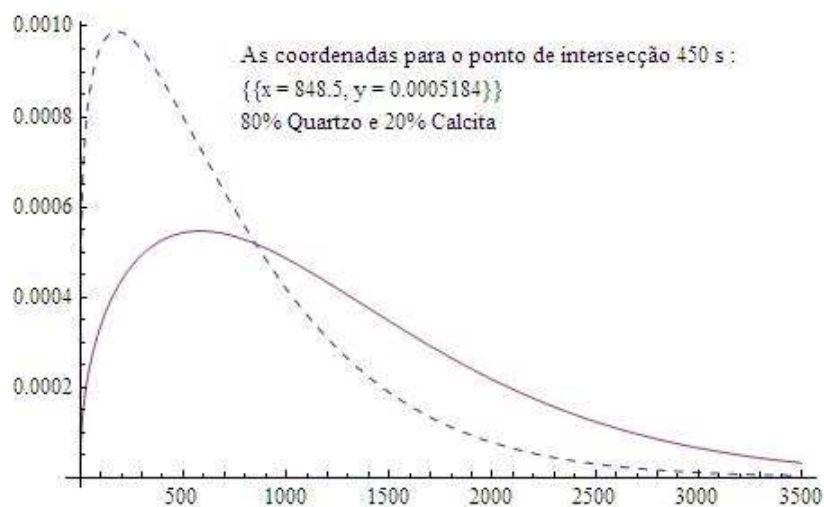


Figura 5.53: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 450 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

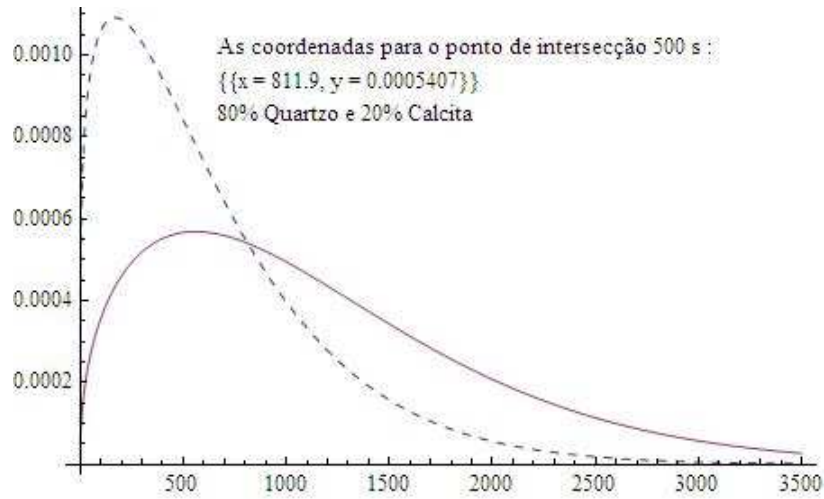


Figura 5.54: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 500 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

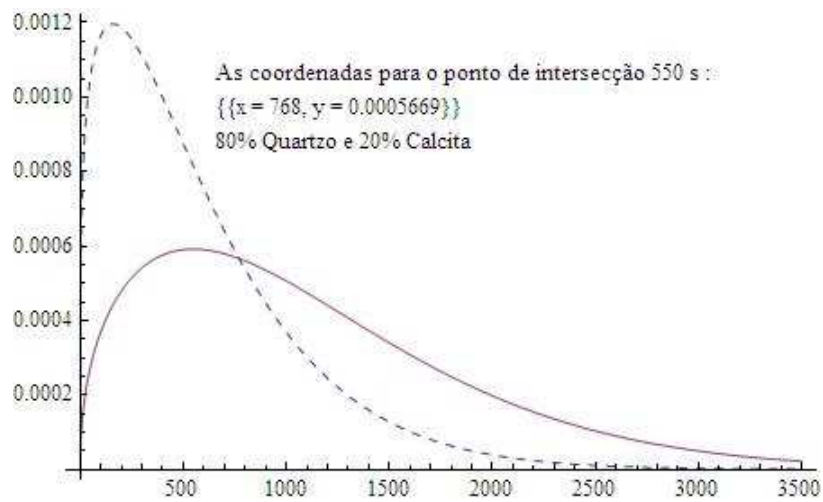


Figura 5.55: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 550 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

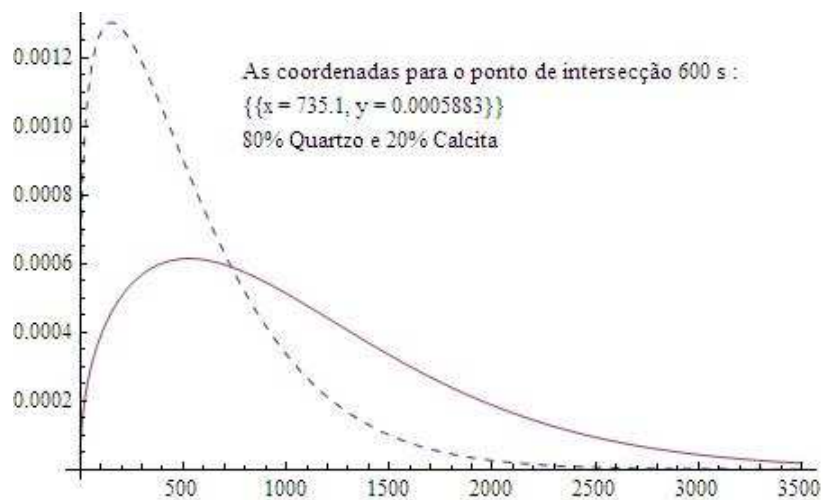


Figura 5.56: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 600 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

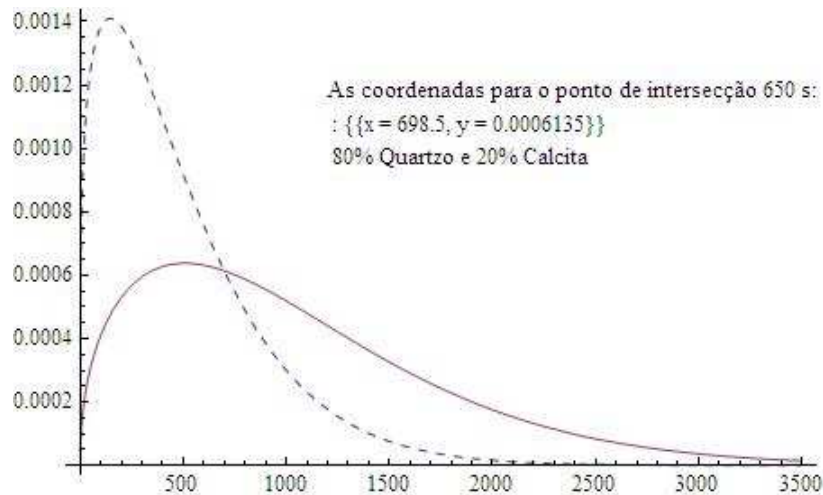


Figura 5.57: Valor aproximado de x_1 e y_1 no tempo de 650 segundos para calcita (20%) e quartzo (80%)

Após avaliar a precisão do programa feito em Delphi, foi utilizado o scilab para concluir a parte de programação, por ser um programa gratuito, foi escolhido para finalizar o algoritmo com a função objetivo.

A função objetivo é então a soma das áreas do gráfico mais uma constante formada pelo ponderador que multiplica uma função penalidade dependente inicialmente apenas do custo de operação. Estas áreas ficarão em função do tempo, ficando a função objetivo escrita como se segue:

$$f_{ob}^{(j)} = \text{Minimizar}[(S_1 + S_2) + \lambda \times f(c)] \quad (5.13)$$

Onde λ é o ponderador e $f(c)$ é uma função penalidade, sendo o custo, obviamente dependente também do tempo de moagem, já que com o aumento do tempo de moagem, há aumento da energia gasta. O parâmetro λ também depende dos benefícios econômicos decorrentes das operações de classificação subsequente. Em cada caso concreto e real, este impacto positivo deve ser quantificado normalmente através de testes em escala piloto.

Para o tempo de moagem t , tem-se após inclusão da equação clássica de cominuição de Bond:

$$f(c) = f(E, \$) = q \times Q \times 10 \times Wi \times \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \times t \quad (5.14)$$

Onde:

Q- vazão mássica [kg/seg.].

Wi – Índice de trabalho da calcita (A) e do quartzo (B) (*work index*) [J/kg^{-1}];

P – Abertura da peneira na qual passam 80% do produto final moído da calcita (A) e do quartzo (B) [μm];

F – Abertura da peneira na qual passam 80% de alimentação do moinho da calcita (A) e do quartzo (B) [μm].

Sendo que q leva em conta outros gastos operacionais como o meio moedor e consumo de revestimento do moinho ($q > 1$).

Foi feito todo o cálculo da função objetivo no scilab e, o ponderador, foi chamado de lambda (λ). O Editor de texto do scilab é simples, e o design gráfico para o resultado não é como no Delphi, porém, o scilab exhibe recursos matemáticos que ajudam na programação, como a função “*derivative*”, que calcula automaticamente a derivada de qualquer função. O Editor de texto do scilab é apresentado para se ter uma idéia do programa.

```

1 // Metodo de Newton Raphson
2 defff("y=f(x)", "y=(( (mA/x0A) * ((x/x0A)^(mA-1)) * exp(-(x/x0A)^mA)) - (mB/x0B) * ((x/x0B)^(mB-1)) * exp(-(x/x0B)^mB)); // funcao original (ver valor de m e d50)
3 defff("y=g(x)", "y=x-f(x)/derivative(f,x)"); // esquema de Newton
4 for t=0:10:7200;
5 mA=(-4.17e-12)*t^3+(1.18e-8)*t^2+(2.16e-4)*t+1.11;
6 d50A=1544*exp(-t/300)+216;
7 x0A=d50A/(-log(0.5))^(1/mA);
8 mB=(-1.28e-12)*t^3+(2.57e-9)*t^2+(6.74e-5)*t+1.40;
9 d50B=1197*exp(-t/870)+331;
10 x0B=d50B/(-log(0.5))^(1/mB);
11 lambdaA=0.00005;
12 lambdaB=0.00005;
13 iter=0;
14 x0=360;
15 x1=g(x0);
16 while abs((x1-x0)/x0)>0.00000002,
17 x0=x1;
18 x1=g(x0);
19 iter=iter+1;
20 end;
21 S1=exp(-(x1/x0A)^mA);
22 S2=1-exp(-(x1/x0B)^mB);
23 S=S1+S2;
24 Ea=10*10*((1/sqrt(d50A*(2.3219)^(1/mA)))-(1/sqrt(3759.25)));
25 Eb=10*14.4*((1/sqrt(d50B*(2.3219)^(1/mB)))-(1/sqrt(2788.95)));
26 FO=S*lambdaA*Ea+lambdaB*Eb;
27 printf("t = %g x1 = %g S = %g Ea = %g Eb = %g FO = %g\n",t, x1, S, Ea, Eb, FO)
28 end;
29
30

```

Figura 5.58: Exemplo do programa feito no editor de texto do scilab.

```

t = 6940 x1 = 355.017 S = 0.720725 Ea = 3.7571 Eb = 3.32329 FO = 0.721079
t = 6950 x1 = 355.031 S = 0.721037 Ea = 3.75565 Eb = 3.32254 FO = 0.721391
t = 6960 x1 = 355.045 S = 0.721351 Ea = 3.75418 Eb = 3.32179 FO = 0.721705
t = 6970 x1 = 355.059 S = 0.721668 Ea = 3.7527 Eb = 3.32102 FO = 0.722022
t = 6980 x1 = 355.072 S = 0.721987 Ea = 3.7512 Eb = 3.32026 FO = 0.72234
t = 6990 x1 = 355.084 S = 0.722308 Ea = 3.7497 Eb = 3.31948 FO = 0.722662
t = 6990 x1 = 355.096 S = 0.722632 Ea = 3.74817 Eb = 3.3187 FO = 0.722985
t = 6990 x1 = 355.107 S = 0.722958 Ea = 3.74664 Eb = 3.31791 FO = 0.723311
t = 6920 x1 = 355.117 S = 0.723286 Ea = 3.74509 Eb = 3.31712 FO = 0.723639
t = 6930 x1 = 355.127 S = 0.723616 Ea = 3.74353 Eb = 3.31632 FO = 0.723969
t = 6940 x1 = 355.136 S = 0.723949 Ea = 3.74195 Eb = 3.31551 FO = 0.724302
t = 6950 x1 = 355.144 S = 0.724285 Ea = 3.74036 Eb = 3.3147 FO = 0.724638
t = 6960 x1 = 355.152 S = 0.724623 Ea = 3.73875 Eb = 3.31388 FO = 0.724975
t = 6970 x1 = 355.159 S = 0.724963 Ea = 3.73713 Eb = 3.31306 FO = 0.725315
t = 6980 x1 = 355.165 S = 0.725305 Ea = 3.73549 Eb = 3.31223 FO = 0.725658
t = 6990 x1 = 355.17 S = 0.72565 Ea = 3.73385 Eb = 3.31139 FO = 0.726002
t = 7000 x1 = 355.174 S = 0.725998 Ea = 3.73218 Eb = 3.31055 FO = 0.72635
t = 7010 x1 = 355.178 S = 0.726347 Ea = 3.7305 Eb = 3.30969 FO = 0.726699
t = 7020 x1 = 355.18 S = 0.7267 Ea = 3.72881 Eb = 3.30884 FO = 0.727052
t = 7030 x1 = 355.182 S = 0.727054 Ea = 3.7271 Eb = 3.30797 FO = 0.727406
t = 7040 x1 = 355.183 S = 0.727412 Ea = 3.72538 Eb = 3.3071 FO = 0.727763
t = 7050 x1 = 355.182 S = 0.727771 Ea = 3.72364 Eb = 3.30623 FO = 0.728123
t = 7060 x1 = 355.181 S = 0.728133 Ea = 3.72188 Eb = 3.30535 FO = 0.728485
t = 7070 x1 = 355.179 S = 0.728498 Ea = 3.72011 Eb = 3.30446 FO = 0.728849
t = 7080 x1 = 355.175 S = 0.728865 Ea = 3.71833 Eb = 3.30356 FO = 0.729216
t = 7090 x1 = 355.171 S = 0.729235 Ea = 3.71653 Eb = 3.30266 FO = 0.729586
t = 7100 x1 = 355.165 S = 0.729607 Ea = 3.71471 Eb = 3.30175 FO = 0.729958
t = 7110 x1 = 355.159 S = 0.729982 Ea = 3.71288 Eb = 3.30083 FO = 0.730332
t = 7120 x1 = 355.151 S = 0.730359 Ea = 3.71103 Eb = 3.29991 FO = 0.73071
t = 7130 x1 = 355.142 S = 0.730739 Ea = 3.70916 Eb = 3.29898 FO = 0.731089
t = 7140 x1 = 355.131 S = 0.731121 Ea = 3.70728 Eb = 3.29805 FO = 0.731471
t = 7150 x1 = 355.119 S = 0.731506 Ea = 3.70538 Eb = 3.29711 FO = 0.731856
t = 7160 x1 = 355.106 S = 0.731894 Ea = 3.70347 Eb = 3.29616 FO = 0.732244
t = 7170 x1 = 355.092 S = 0.732284 Ea = 3.70154 Eb = 3.2952 FO = 0.732634
t = 7180 x1 = 355.076 S = 0.732676 Ea = 3.69959 Eb = 3.29424 FO = 0.733026
t = 7190 x1 = 355.059 S = 0.733072 Ea = 3.69762 Eb = 3.29327 FO = 0.733421

```

Figura 5.59: Exemplo do resultado na tela console do scilab.

O valor para Lambda (λ) foi calculado através do Excel, mas serão necessárias maiores pesquisas para avaliar ao certo este valor, a partir deste trabalho é lançada uma proposta para uma nova pesquisa, encontrar o valor de Lambda (λ) e também avaliar todos os custos possíveis gerados pela moagem da mistura binária de quartzo e calcita.

Ao fazer a busca para um valor de Lambda (λ) no Excel, ocorreram os seguintes resultados, que posteriormente, através de mais pesquisas, deverão ser avaliados:

1°) Considerando a moagem grátis, custo 0, $\lambda = 0$, o mínimo da função objetivo foi em 1160 segundos (19 minutos).

2°) Considerando a moagem com $\lambda = 1$, o mínimo da função objetivo cai para 10 segundos.

3°) Considerando a moagem com $\lambda = 0,05$, o mínimo da função objetivo cai para 860 segundos (14 minutos).

4°) Somando o custo de energia gasta ao custo de equipamento que se encontra nas equações 4,7 e 4,8, considerando um valor para $\lambda = 0$, ainda assim, o mínimo da função objetivo é 1160 segundos (19 minutos).

5°) Considerando a moagem com $\lambda = 1$, sendo o custo total igual ao custo de energia mais o custo de equipamento, o mínimo da função também é 10 segundos.

6°) Nas mesmas condições do comentário anterior, considerando $\lambda = 0,05$, o mínimo da função objetivo também é 860 segundos (14 minutos).

6. CONCLUSÕES

Por todo o exposto no presente trabalho concluiu-se que os valores para o parâmetro regressional da curva de Rosin-Rammler foram bons, indicando um ótimo ajuste e confirmando que é a melhor curva pra representar uma população de partículas em diversas granulometrias no caso da mistura binária de calcita e quartzo.

A calcita e o quartzo foram minerais representativos para o experimento, de forma que ficou muito clara a diferença entre ambos, em termos de moabilidade e diferenças físico-químicas.

A aplicação da distribuição de Rosin-Rammler nos resultados granulométricos obtidos pela campanha experimental de moagem em mistura binária permite observar a diferença do comportamento do quartzo e da calcita com o tempo de moagem. O diâmetro mediano evolui, para as duas espécies, segundo uma lei exponencial negativa, embora não haja sensível impacto da composição da mistura sobre esse parâmetro, quando se consideram as curvas granulométricas das duas espécies em separado (isto é: como se virtualmente estivessem isoladas, mesmo que, fisicamente, mescladas). O progresso da moagem não afetou sensivelmente o valor regressional do parâmetro de agudez para o quartzo, ou seja: embora o diâmetro mediano vá diminuindo com o tempo a amplitude da faixa de bitolamento fica aproximadamente constante para esse mineral. O comportamento da calcita, entretanto, mostra que o progresso da moagem leva a aumento na amplitude da distribuição granulométrica.

A moagem com o material bitolado mostrou que uma maior homogeneidade na distribuição granulométrica auxilia para uma diminuição uniforme no diâmetro mediano, já

esperado, porém não houve mudança significativa para o valor do parâmetro de agudez como previsto.

Os resultados mostraram-se promissores para auxiliar na diminuição de custo de moagem e no maior aproveitamento das diferenças dos minerais no tratamento de minério, porém é necessário um estudo mais detalhado do caso.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALE, Salvador Luiz matos de; FIGUEIRA, Hedda Vargas O. , *CETEM (Centro de tecnologia Mineral)*, Ministério da Ciência e tecnologia, Rio de Janeiro: Dezembro/2002.

ALVARADO, Sergio, et alii. *Energy-Exergy optimization of comminution*, *Energy*, Vol. 23, No. 2, 1998, pp. 153-158 Publisher: Pergamon.

BERALDO, José Luiz. *Moagem de Minérios em Moinhos Tubulares*. São Paulo: Edgard Blucher, pp. 1-12, 1987.

BEARMAN, R.A.; BRIGGS, C.A.; KOJOVIC, T. *The application of rock parameters to the prediction of comminution behaviour*, *Minerals Engineering*, Vol. 10, No. 3, 1997, pp. 255-264 Publisher: Pergamon.

CARRISSO, Regina Coeli C.; POSSA, Mário Valente. *Simulação de moagem de talco utilizando seixos*, CETEM/CNPq, pp. 4-5, 1993. Rio de Janeiro.

CLEARY, Paul W. *Axial transport in dry ball mills*, *Applied Mathematical Modelling* 30, 2006, pp.1343-1355 Publisher: Elsevier.

DATTA, Amlan; RAJAMANI. Raj K. *A direct approach of modeling batch grinding in ball mills using population balance principles and impact energy distribution*, *Int. J. Miner. Process.* 64, 2002 , pp. 181-200 Publisher: Elsevier .

DONG, H.; MOYS, M.H. *Assessment of discrete element method for one ball bouncing in a grinding mill*, *Int. J. Miner. Process.* 65, 2002, pp. 213-226 Publisher: Elsevier.

FANDRICH, A.G., et alii. *Mineral liberation by particle bed breakage*, *Minerals Engineering*, Vol. 10, No. 2, pp. 175-187, 1997 Publisher: Pergamon.

FINDGRAPH – Programa para montagem de gráficos, montagens de curvas e digitalização. Disponível em: <<http://ultradownloads.com.br/download/FindGraph/>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2010.

FUERSTENAU, D.W; ABOZEID, A.-Z.M. *The energy efficiency of ball milling in comminution*, *Int. J. Miner. Process.* 67, 2002, pp. 161-185 Publisher: Elsevier.

GALVÃO, Lauro César; NUNES, Luiz Fernando. *Algoritmo: Apostila Cálculo Numérico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)*.

GATES, D.J. ; WESTCOTT, M. *Generating a rock breakage process from sieve data*, *Minerals Engineering*, Vol. 13, No. 4-15, pp. 1603- 1614, 2000 Publisher: Pergamon.

GUPTA, A.;YAN, D.S., *Mineral processing design and operation: an introduction*, 2006, Publisher: Elsevier.

GUTSCHE, O.; FUERSTENAU, D. W. *Fracture kinetics of particle bed comminution – ramifications for fines production and mill optimization*, Powder Technology, 105, 1999, pp. 113-118 Publisher: Elsevier.

HECK, Nestor César. *Calcinação*. DEMA/UFRGS. Disponível em: <<http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/ENG06632/Calcinacao.pdf>>. Acesso em: 22 de janeiro de 2008.

HIDROFORME, Cláudio;COLLI, Eduardo, *Cálculo Numérico – Fundamentos e Aplicações*, Departamento de Matemática Aplicada, 6 de outubro de 2008.

KARON, S. *EasyPlot* – Programa Computacional de análise estatística (Spiral Software). Disponível em: <<http://www.spiralsoftware.com/>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2010.

KHEIFETS, A.S.; LIN, I.J. *Energetic approach to kinetics of batch ball milling*, Int. J. Miner. Process. 54, 1998, pp. 81-97 Publisher: Elsevier.

KHUMALO, N., et alii. An experimental validation of a specific energy-based approach for comminution, *Chemical Engineering Science* 62, 2007, pp. 2765-2776. Publisher: Elsevier.

KING, R.P. *Modeling & Simulation of Mineral Processing Systems*, pp. 34-42, 2001.

KWADE, A. Mill. *Selection and process optimization using a physical grinding model*, Int. J. Miner. Process, 2004, pp. S93-S101 Publisher: Elsevier.

LIU, Yi; SPENCER, Steven. *Dynamic simulation of grinding circuits*, Int. J. Miner. Process. 2004, pp. 1189-1198 Publisher: Elsevier.

LUZ, Adão Benvindo da, et alii; *Tratamento de minérios*, 3ª edição, pp. 769-777, 2002. CETEM/MCT

LUZ, José Aurélio Medeiros da. *Concentração De Gibbsita em Rejeito - Beneficiamento de Rejeito de Mercês. Relatório interno*. Ouro Preto, 2006.

MACHADO, Ivan Caetano. *Um método computarizado para o dimensionamento de moinhos*. 1985. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Belo Horizonte: EEUFG.

MAKOKHA, Augustine B., et alii. *A new approach to optimising the life and performance of worn liners in ball mills: Experimental study and DEM simulation*, Int. J. Miner. Process. 2007, pp. 221-227 Publisher: Elsevier.

MISHRA, B.K. A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method part II – Practical applications, Int. J. Miner. Process. 71, 2003, pp. 95-112 Publisher: Elsevier.

MORRELL, Stephen. *An alternative energy – size relationship to that proposed by Bond for the design and optimisation of grinding circuits*, Int. J. Miner. Process. 74, 2004, pp. 133-141 Publisher: Elsevier.

PARKINSON, Edythe A.; MULAR, A. L. *Mineral Processing Equipment Costs and Preliminary Capital: Cost Estimations*, pp. 40-41, 1972.

PARTYKA, T.; YAN, D., *Fine Grinding in a horizontal ball Mill*, WA School of Mines, Curtin University.

PETERSON, THOMAS W. (1986) *Similarity Solutions for the Population Balance Equation Describing Particle Fragmentation*, *Aerosol Science and Technology*, 5: 1, 93 — 101, First published on: 01 January 1986 (iFirst)

RAY, W.Harmon ; SZEKELY, Julian; *Process optimization*, pp. 180-188, 1973.

RIBEIRO, Manuel Joaquim P.M.; ABRANTES, João Carlos Castro. *Moagem em moinho de bolas: estudo de algumas variáveis e otimização energética do processo*, Cerâmica Industrial, Março/Abril, 2001.

SCHNATZ, R. *Optimization of continuous ball mills used for finish-grinding of cement by varying the L/D ratio, ball charge filling ratio, ball size and residence time*, *Int. J. Miner. Process.* 74S, 2004, pp. S55-S63 Publisher: Elsevier

STAMBOLIADIS, Elias Th. *The energy distribution theory of comminution specific surface energy, mill efficiency and distribution mode*, *Miner. Eng.* 20, 2007, pp. 140-145.

TEKE, E., et alii. *Kinetics of dry grinding of industrial minerals: calcite and barite*, *Int. J. Miner. Process.* 67, 2002, pp. 29-42 Publisher: Elsevier.

TURCOTTE, D.L. *Fractals and fragmentation*. *J. Geophys. Res.* 91, 1986, pp. 1921-1926.

THOMAS A.; FILIPPOV L.O. *Fractures, fractals and breakage energy of mineral particles*, *Int. J. Miner. Process.* 57, Number 4, October 1999, pp. 285-301(17) Publisher: Elsevier

TROMANS desmond. *Mineral comminution: Energy efficiency considerations*, *Miner. Eng.* (2008), doi:10.1016/j.mineng.2007.12.003

8. ADENDO

Análise granulométrica da alimentação (Quartzo). Material retirado da pedreira taquaral.

Peso inicial: 399,13 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-35#) = 50,11 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 = 1568

m = 1,4

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easypilot		
							x	R-R	
8	2,380	77,03	19,33	19,33	80,67	2380	2872,9	0,807	80,17
10	1,680	79,47	19,94	39,28	60,72	1680	2030,0	0,607	63,03
12	1,410	39,68	9,96	49,23	50,77	1410	1545,0	0,508	49,29
14	1,190	32,51	8,16	57,39	42,61	1190	1300,0	0,426	41,33
16	1,000	32,36	8,12	65,51	34,49	1000	1095,0	0,345	34,25
20	0,840	25,31	6,35	71,86	28,14	840	920,0	0,281	28,01
28	0,590	34,73	8,72	80,58	19,42	590	715,0	0,194	20,62
35	0,425	27,33	6,86	87,44	12,56	425	507,5	0,126	13,31
48	0,297	17,64	4,43	91,87	8,13	297	361,0	0,081	8,49
65	0,210	10,58	2,66	94,52	5,48	210	253,5	0,055	5,26
100	0,150	7,40	1,86	96,38	3,62	150	180,0	0,036	3,29
140	0,106	5,76	1,45	97,82	2,18	106	128,0	0,022	2,06
200	0,075	2,54	0,64	98,46	1,54	75	90,5	0,015	1,27
270	0,053	2,71	0,68	99,14	0,86	53	64,0	0,009	0,78
325	0,045	0,56	0,14	99,28	0,72	45	49,0	0,007	0,54
400	0,038	1,29	0,32	99,61	0,39	38	41,5	0,004	0,43
-400	-	1,57	0,39	100,00	0,00				
		Peso total:	398,47						

Análise granulométrica do produto de 5 minutos de moagem (Quartzo). Material retirado da pedra taquaral.

Peso inicial: 327,66 g e 335,95 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Segunda série : 48# a - 400#

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-35#) = 67,93 g e 68,40 g

d50 =

m =

1084

1,4

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	21,83	21,39
10	1,680	44,31	47,3
12	1,410	31,77	33,51
14	1,190	29,87	31,19
16	1,000	33,53	35,55
20	0,840	27,44	26,8
28	0,590	38,16	39,26
35	0,425	31,95	32,05
48	0,297	22,15	22,49
65	0,210	13,37	13,16
100	0,150	10,60	10,77
140	0,106	8,39	8,44
200	0,075	1,20	3,73
270	0,053	6,66	4,33
325	0,045	1,38	0,69
400	0,038	2,02	2,65
-400	-	2,10	1,64

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	21,61	6,53	6,53	93,47	2380	2872,9	0,935	93,37
10	1,680	45,81	13,85	20,38	79,62	1680	2030,0	0,796	81,14
12	1,410	32,64	9,87	30,24	69,76	1410	1545,0	0,698	67,97
14	1,190	30,53	9,23	39,47	60,53	1190	1300,0	0,605	59,10
16	1,000	34,54	10,44	49,91	50,09	1000	1095,0	0,501	50,49
20	0,840	27,12	8,20	58,11	41,89	840	920,0	0,419	42,36
28	0,590	38,71	11,70	69,81	30,19	590	715,0	0,302	32,10
35	0,425	32,00	9,67	79,48	20,52	425	507,5	0,205	21,30
48	0,297	22,32	6,75	86,23	13,77	297	361,0	0,138	13,82
65	0,210	13,27	4,01	90,24	9,76	210	253,5	0,098	8,67
100	0,150	10,69	3,23	93,47	6,53	150	180,0	0,065	5,46
140	0,106	8,42	2,54	96,01	3,99	106	128,0	0,040	3,42
200	0,075	2,47	0,75	96,76	3,24	75	90,5	0,032	2,12
270	0,053	5,50	1,66	98,42	1,58	53	64,0	0,016	1,31
325	0,045	1,04	0,31	98,73	1,27	45	49,0	0,013	0,90
400	0,038	2,34	0,71	99,43	0,57	38	41,5	0,006	0,72
-400	-	1,87	0,57	100,00	0,00				

Peso total: 330,84

Análise granulométrica do produto de 15 minutos de moagem (Quartz). Material retirado da pedreira taquaral.

d50 = 658

m = 1,35

Peso inicial: 284,75 g e 300,38 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-35#) = 82,71 g e 109,36 g

Segunda série : 48# a -400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	2,21	2,38
10	1,680	10,11	12,15
12	1,410	13,19	15,34
14	1,190	15,78	17,00
16	1,000	27,38	29,20
20	0,840	25,58	26,31
28	0,590	44,52	42,03
35	0,425	40,84	42,23
48	0,297	29,52	31,41
65	0,210	20,61	21,57
100	0,150	16,70	17,16
140	0,106	13,91	13,18
200	0,075	5,86	2,92
270	0,053	10,38	11,78
325	0,045	4,00	3,66
400	0,038	2,36	4,44
-400	-	1,06	2,88

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	2,30	0,79	0,79	99,21	2380	2872,9	0,992	99,37
10	1,680	11,13	3,84	4,63	95,37	1680	2030,0	0,954	95,81
12	1,410	14,27	4,92	9,55	90,45	1410	1545,0	0,904	88,86
14	1,190	16,39	5,66	15,21	84,79	1190	1300,0	0,848	82,41
16	1,000	28,29	9,76	24,97	75,03	1000	1095,0	0,750	74,81
20	0,840	25,95	8,95	33,92	66,08	840	920,0	0,661	66,37
28	0,590	43,28	14,93	48,85	51,15	590	715,0	0,511	53,95
35	0,425	41,54	14,33	63,18	36,82	425	507,5	0,368	38,62
48	0,297	30,47	10,51	73,70	26,30	297	361,0	0,263	26,52
65	0,210	21,09	7,28	80,97	19,03	210	253,5	0,190	17,41
100	0,150	16,93	5,84	86,81	13,19	150	180,0	0,132	11,35
140	0,106	13,55	4,67	91,49	8,51	106	128,0	0,085	7,32
200	0,075	4,39	1,51	93,00	7,00	75	90,5	0,070	4,65
270	0,053	11,08	3,82	96,83	3,17	53	64,0	0,032	2,94
325	0,045	3,83	1,32	98,15	1,85	45	49,0	0,019	2,06
400	0,038	3,40	1,17	99,32	0,68	38	41,5	0,007	1,65
-400	-	1,97	0,68	100,00	0,00				

Peso total: 289,83

Análise granulométrica do produto de 30 minutos de moagem (Quartzo). Material retirado da pedreira taquaral.

d50 = 463

m = 1,33

Peso inicial: 284,75 g e 300,38 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-35#) = 154,74 g e 156,04 g

Segunda série : 48# a - 400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	0,19	0,20
10	1,680	1,80	1,91
12	1,410	3,52	3,69
14	1,190	6,06	6,65
16	1,000	15,72	16,35
20	0,840	21,30	21,90
28	0,590	48,50	49,78
35	0,425	51,96	52,34
48	0,297	36,45	39,72
65	0,210	31,59	28,86
100	0,150	23,64	24,61
140	0,106	21,04	21,60
200	0,075	10,18	9,80
270	0,053	15,65	15,69
325	0,045	10,03	3,69
400	0,038	4,92	10,30
-400	-	1,00	1,25

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	0,20	0,06	0,06	99,94	2380	2872,9	0,999	99,96
10	1,680	1,86	0,61	0,67	99,33	1680	2030,0	0,993	99,29
12	1,410	3,61	1,18	1,85	98,15	1410	1545,0	0,982	96,80
14	1,190	6,36	2,08	3,93	96,07	1190	1300,0	0,961	93,52
16	1,000	16,04	5,24	9,17	90,83	1000	1095,0	0,908	88,67
20	0,840	21,60	7,06	16,23	83,77	840	920,0	0,838	82,23
28	0,590	49,14	16,06	32,29	67,71	590	715,0	0,677	70,93
35	0,425	52,15	17,05	49,33	50,67	425	507,5	0,507	54,30
48	0,297	38,09	12,45	61,78	38,22	297	361,0	0,382	39,22
65	0,210	30,23	9,88	71,66	28,34	210	253,5	0,283	26,74
100	0,150	24,13	7,89	79,55	20,45	150	180,0	0,205	17,91
140	0,106	21,32	6,97	86,52	13,48	106	128,0	0,135	11,78
200	0,075	9,99	3,27	89,78	10,22	75	90,5	0,102	7,60
270	0,053	15,67	5,12	94,90	5,10	53	64,0	0,051	4,86
325	0,045	6,86	2,24	97,14	2,86	45	49,0	0,029	3,44
400	0,038	7,61	2,49	99,63	0,37	38	41,5	0,004	2,76
-400	-	1,13	0,37	100,00	0,00				

Peso total: 305,96

Análise granulométrica do produto de 60 minutos de moagem (Quartz). Material retirado da pedreira taquaral.

d50 = 319

m = 1,31

Peso inicial: 306,07 g e 324,17 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-35#) = 207,95 g e 217,67 g

Segunda série : 48# a -400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	0,00	0,00
10	1,680	0,13	0,12
12	1,410	0,28	0,34
14	1,190	0,84	0,90
16	1,000	3,51	3,24
20	0,840	7,59	8,57
28	0,590	31,97	34,48
35	0,425	53,35	57,40
48	0,297	43,96	45,40
65	0,210	38,27	40,72
100	0,150	33,47	36,11
140	0,106	31,87	32,78
200	0,075	9,72 *	24,95
270	0,053	33,54	26,53
325	0,045	11,23	4,30
400	0,038	4,59	5,31
-400	-	0,77	1,20

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2380	2872,9	1,000	100,00
10	1,680	0,13	0,04	0,04	99,96	1680	2030,0	1,000	99,96
12	1,410	0,31	0,10	0,14	99,86	1410	1545,0	0,999	99,58
14	1,190	0,87	0,27	0,41	99,59	1190	1300,0	0,996	98,73
16	1,000	3,38	1,05	1,46	98,54	1000	1095,0	0,985	96,94
20	0,840	8,08	2,51	3,97	96,03	840	920,0	0,960	93,77
28	0,590	33,23	10,34	14,31	85,69	590	715,0	0,857	86,40
35	0,425	55,38	17,23	31,54	68,46	425	507,5	0,685	72,01
48	0,297	44,68	13,90	45,45	54,55	297	361,0	0,546	55,74
65	0,210	39,50	12,29	57,74	42,26	210	253,5	0,423	40,13
100	0,150	34,79	10,83	68,57	31,43	150	180,0	0,314	27,93
140	0,106	32,33	10,06	78,63	21,37	106	128,0	0,214	18,91
200	0,075	24,95	7,76	86,39	13,61	75	90,5	0,136	12,46
270	0,053	30,04	9,35	95,74	4,26	53	64,0	0,043	8,10
325	0,045	7,77	2,42	98,15	1,85	45	49,0	0,018	5,78
400	0,038	4,95	1,54	99,69	0,31	38	41,5	0,003	4,68
-400	-	0,99	0,31	100,00	0,00				

Peso total: 321,34

Análise granulométrica do produto de 120 minutos de moagem (Quartzo). Material retirado da pedreira taquaral.

d50 = 281,25

m = 1,51

Peso inicial: 249,15 g e 244,57 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#

Segunda série : 48# a - 400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	0,00	0,00
10	1,680	0,00	0,00
12	1,410	0,08	0,00
14	1,190	0,36	0,36
16	1,000	1,41	1,25
20	0,840	12,83	11,54
28	0,590	26,79	25,38
35	0,425	54,49	54,43
48	0,297	45,75	40,82
65	0,210	25,45	29,18
100	0,150	34,03	27,34
140	0,106	20,44	18,90
200	0,075	10,80	14,26
270	0,053	10,31	11,55
325	0,045	5,29	7,94
400	0,038	0,72	1,23
-400			

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easypilot		
							x	R-R	
8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2380	2872,9	1,000	100,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00	100,00	1680	2030,0	1,000	100,00
12	1,410	0,00	0,00	0,00	100,00	1410	1545,0	1,000	99,99
14	1,190	0,04	0,02	0,02	99,98	1190	1300,0	1,000	99,91
16	1,000	0,35	0,14	0,16	99,84	1000	1095,0	0,998	99,55
20	0,840	1,33	0,54	0,70	99,30	840	920,0	0,993	98,42
28	0,590	12,19	4,94	5,64	94,36	590	715,0	0,944	94,13
35	0,425	26,09	10,58	16,23	83,77	425	507,5	0,838	81,55
48	0,297	54,46	22,10	38,32	61,68	297	361,0	0,617	63,60
65	0,210	43,29	17,56	55,89	44,11	210	253,5	0,441	44,71
100	0,150	27,32	11,08	66,97	33,03	150	180,0	0,330	29,76
140	0,106	30,69	12,45	79,42	20,58	106	128,0	0,206	19,03
200	0,075	19,67	7,98	87,40	12,60	75	90,5	0,126	11,76
270	0,053	12,53	5,08	92,49	7,51	53	64,0	0,075	7,15
325	0,045	10,93	4,43	96,92	3,08	45	49,0	0,031	4,83
400	0,038	6,62	2,68	99,60	0,40	38	41,5	0,004	3,78
-400		0,98	0,40	100,00	0,00				

Peso total: 246,46

Análise granulométrica da alimentação (Calçita).

Peso inicial: 370,52 g e 392,44 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-35#) = 68,99 g e 68,43 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 = 1754

m = 1,01

Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
2,380	126,35	123,32
1,680	60,27	58,11
1,410	26,11	22,82
1,190	20,58	23,70
1,000	23,71	24,02
0,840	23,00	24,30
0,590	23,19	22,64
0,425	24,40	24,41
0,297	17,32	15,85
0,210	13,96	14,92
0,150	10,03	10,07
0,106	7,53	7,84
0,075	3,91	4,53
0,053	7,50	7,73
0,045	2,93	2,36
0,038	2,88	2,82
—	2,61	2,08

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	124,84	31,69	31,69	68,31	2380	2872,9	0,683	68,05
10	1,680	59,19	15,03	46,72	53,28	1680	2030,0	0,533	55,22
12	1,410	24,47	6,21	52,93	47,07	1410	1545,0	0,471	45,65
14	1,190	22,14	5,62	58,55	41,45	1190	1300,0	0,414	40,08
16	1,000	23,87	6,06	64,61	35,39	1000	1095,0	0,354	34,99
20	0,840	23,65	6,00	70,61	29,39	840	920,0	0,294	30,32
28	0,590	22,92	5,82	76,43	23,57	590	715,0	0,236	24,42
35	0,425	24,41	6,20	82,63	17,37	425	507,5	0,174	17,97
48	0,297	16,59	4,21	86,84	13,16	297	361,0	0,132	13,10
65	0,210	14,44	3,67	90,50	9,50	210	253,5	0,095	9,36
100	0,150	10,05	2,55	93,05	6,95	150	180,0	0,069	6,72
140	0,106	7,69	1,95	95,01	4,99	106	128,0	0,050	4,81
200	0,075	4,22	1,07	96,08	3,92	75	90,5	0,039	3,41
270	0,053	7,62	1,93	98,01	1,99	53	64,0	0,020	2,42
325	0,045	2,65	0,67	98,68	1,32	45	49,0	0,013	1,85
400	0,038	2,85	0,72	99,40	0,60	38	41,5	0,006	1,57
-400	—	2,35	0,60	100,00	0,00				
Peso total:		393,90							

Análise granulométrica do produto de 5 minutos de moagem (Calcita).

Peso inicial: 316,74 g e 304,75 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 104,20 g e 96,42 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 = 830

m = 1,13

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	21,99	21,09
10	1,680	29,75	29,17
12	1,410	21,27	20,27
14	1,190	20,23	22,30
16	1,000	26,78	25,83
20	0,840	27,79	27,95
28	0,590	30,55	28,95
35	0,425	33,98	32,52
48	0,297	24,00	21,68
65	0,210	21,20	19,81
100	0,150	16,66	17,13
140	0,106	17,38	12,45
200	0,075	7,29	3,70
270	0,053	11,28	14,63
325	0,045	4,27	4,82
400	0,038	1,61	1,37
-400	-	0,17	0,55

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	21,54	6,94	6,94	93,06	2380	2872,9	0,931	94,04
10	1,680	29,46	9,50	16,44	83,56	1680	2030,0	0,836	85,11
12	1,410	20,77	6,70	23,14	76,86	1410	1545,0	0,769	75,31
14	1,190	21,27	6,86	29,99	70,01	1190	1300,0	0,700	68,36
16	1,000	26,31	8,48	38,47	61,53	1000	1095,0	0,615	61,25
20	0,840	27,87	8,98	47,45	52,55	840	920,0	0,525	54,10
28	0,590	29,75	9,59	57,05	42,95	590	715,0	0,430	44,33
35	0,425	33,25	10,72	67,76	32,24	425	507,5	0,322	32,80
48	0,297	22,84	7,36	75,13	24,87	297	361,0	0,249	23,70
65	0,210	20,51	6,61	81,74	18,26	210	253,5	0,183	16,59
100	0,150	16,90	5,45	87,18	12,82	150	180,0	0,128	11,59
140	0,106	14,92	4,81	91,99	8,01	106	128,0	0,080	8,04
200	0,075	5,50	1,77	93,76	6,24	75	90,5	0,062	5,51
270	0,053	12,96	4,18	97,94	2,06	53	64,0	0,021	3,76
325	0,045	4,55	1,47	99,40	0,60	45	49,0	0,006	2,79
400	0,038	1,49	0,48	99,88	0,12	38	41,5	0,001	2,32
-400	-	0,36	0,12	100,00	0,00	-	-	-	-

Peso total: 310,21

Análise granulométrica do produto de 15 minutos de moagem (Calcita).

Peso inicial: 296,91 g e 328,07 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-35#) = 157,45 g e ? g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 = 458

m = 1,1

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	2,50	2,13
10	1,680	10,80	8,57
12	1,410	7,60	5,40
14	1,190	12,30	10,41
16	1,000	19,40	18,74
20	0,840	21,68	23,31
28	0,590	37,37	41,61
35	0,425	27,77	32,82
48	0,297	41,64	47,80
65	0,210	23,21	28,58
100	0,150	20,59	29,95
140	0,106	21,00	21,76
200	0,075	12,82	16,78
270	0,053	11,72	15,40
325	0,045	8,26	9,45
400	0,038	16,65	13,05
-400		0,64	0,32

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	2,32	0,74	0,74	99,26	2380	2872,9	0,993	99,46
10	1,680	9,69	3,11	3,86	96,14	1680	2030,0	0,961	97,17
12	1,410	6,50	2,09	5,95	94,05	1410	1545,0	0,941	92,87
14	1,190	11,36	3,65	9,60	90,40	1190	1300,0	0,904	88,74
16	1,000	19,07	6,13	15,73	84,27	1000	1095,0	0,843	83,60
20	0,840	22,50	7,23	22,96	77,04	840	920,0	0,770	77,53
28	0,590	39,49	12,70	35,66	64,34	590	715,0	0,643	67,74
35	0,425	30,30	9,74	45,40	54,60	425	507,5	0,546	53,97
48	0,297	44,72	14,38	59,78	40,22	297	361,0	0,402	41,34
65	0,210	25,90	8,33	68,11	31,89	210	253,5	0,319	30,35
100	0,150	25,27	8,13	76,23	23,77	150	180,0	0,238	21,97
140	0,106	21,38	6,87	83,11	16,89	106	128,0	0,169	15,68
200	0,075	14,80	4,76	87,86	12,14	75	90,5	0,121	10,99
270	0,053	13,56	4,36	92,22	7,78	53	64,0	0,078	7,65
325	0,045	8,86	2,85	95,07	4,93	45	49,0	0,049	5,76
400	0,038	14,85	4,77	99,85	0,15	38	41,5	0,002	4,82
-400		0,48	0,15	100,00	0,00				

Peso total: 311,02

Análise granulométrica do produto de 30 minutos de moagem (Calcita).

Peso inicial: 324,39 g e 320,38 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-35#) = ? g e 232,19 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 = 312

m = 1,26

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	0,17	0,26
10	1,680	0,71	0,71
12	1,410	1,10	1,26
14	1,190	1,69	2,11
16	1,000	7,95	6,86
20	0,840	12,28	12,65
28	0,590	33,61	33,07
35	0,425	31,54	30,81
48	0,297	51,20	52,89
65	0,210	39,76	35,25
100	0,150	49,88	45,38
140	0,106	32,15	31,11
200	0,075	27,65	14,80
270	0,053	17,55	32,83
325	0,045	10,38	7,87
400	0,038	10,77	10,95
-400		0,00	0,45

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	0,22	0,07	0,07	99,93	2380	2872,9	0,999	100,00
10	1,680	0,71	0,22	0,29	99,71	1680	2030,0	0,997	99,94
12	1,410	1,18	0,36	0,65	99,35	1410	1545,0	0,993	99,45
14	1,190	1,90	0,59	1,24	98,76	1190	1300,0	0,988	98,48
16	1,000	7,41	2,29	3,52	96,48	1000	1095,0	0,965	96,57
20	0,840	12,47	3,85	7,37	92,63	840	920,0	0,926	93,33
28	0,590	33,34	10,30	17,67	82,33	590	715,0	0,823	86,06
35	0,425	31,18	9,63	27,30	72,70	425	507,5	0,727	72,18
48	0,297	52,05	16,07	43,37	56,63	297	361,0	0,566	56,53
65	0,210	37,51	11,58	54,95	45,05	210	253,5	0,451	41,35
100	0,150	47,63	14,71	69,66	30,34	150	180,0	0,303	29,29
140	0,106	31,63	9,77	79,43	20,57	106	128,0	0,206	20,19
200	0,075	21,23	6,55	85,98	14,02	75	90,5	0,140	13,56
270	0,053	25,19	7,78	93,76	6,24	53	64,0	0,062	8,99
325	0,045	9,13	2,82	96,58	3,42	45	49,0	0,034	6,51
400	0,038	10,86	3,35	99,93	0,07	38	41,5	0,001	5,31
-400		0,23	0,07	100,00	0,00				

Peso total: 323,83

Análise granulométrica do produto de 60 minutos de moagem (Calcita).

Peso inicial: 252,51 g e 264,10 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 238,99 g e 264,10 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 =

m =

223

2

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	0,00	0,00
10	1,680	0,00	0,00
12	1,410	0,00	0,00
14	1,190	0,00	0,00
16	1,000	0,00	0,00
20	0,840	0,00	0,00
28	0,590	0,81	0,89
35	0,425	10,56	9,56
48	0,297	25,39	27,30
65	0,210	68,96	75,44
100	0,150	53,74	56,68
140	0,106	32,25	34,72
200	0,075	25,47	25,48
270	0,053	25,96	26,02
325	0,045	4,00	5,05
400	0,038	2,25	2,63
-400	-	0,47	0,22

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2380	2872,9	1,000	100,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00	100,00	1680	2030,0	1,000	100,00
12	1,410	0,00	0,00	0,00	100,00	1410	1545,0	1,000	100,00
14	1,190	0,00	0,00	0,00	100,00	1190	1300,0	1,000	100,00
16	1,000	0,00	0,00	0,00	100,00	1000	1095,0	1,000	100,00
20	0,840	0,00	0,00	0,00	100,00	840	920,0	1,000	100,00
28	0,590	0,85	0,33	0,33	99,67	590	715,0	0,997	99,92
35	0,425	10,06	3,92	4,25	95,75	425	507,5	0,958	97,24
48	0,297	26,35	10,25	14,50	85,50	297	361,0	0,855	83,74
65	0,210	72,20	28,10	42,60	57,40	210	253,5	0,574	59,17
100	0,150	55,21	21,49	64,09	35,91	150	180,0	0,359	36,34
140	0,106	33,49	13,03	77,12	22,88	106	128,0	0,229	20,42
200	0,075	25,48	9,92	87,04	12,96	75	90,5	0,130	10,79
270	0,053	25,99	10,12	97,15	2,85	53	64,0	0,028	5,55
325	0,045	4,53	1,76	98,92	1,08	45	49,0	0,011	3,29
400	0,038	2,44	0,95	99,87	0,13	38	41,5	0,001	2,37
-400	-	0,35	0,13	100,00	0,00	-	-	-	-

Peso total: 256,93

Análise granulométrica do produto de 120 minutos de moagem (Calcita).

Peso inicial: 316,74 g e 304,75 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 104,20 g e 96,42 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 =

m =

162

2,85

Produto 1. Produto 2.

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	0,00	0,00
10	1,680	0,00	0,00
12	1,410	0,00	0,00
14	1,190	0,07	0,00
16	1,000	0,05	0,00
20	0,840	0,05	0,07
28	0,590	0,13	0,19
35	0,425	1,27	1,12
48	0,297	3,47	2,97
65	0,210	19,86	21,06
100	0,150	95,87	104,70
140	0,106	87,41	89,23
200	0,075	68,73	62,54
270	0,053	27,81	18,89
325	0,045	2,06	9,78
400	0,038	5,38	4,05
-400	-	1,37	1,24

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2380	2872,9	1,000	100,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00	100,00	1680	2030,0	1,000	100,00
12	1,410	0,00	0,00	0,00	100,00	1410	1545,0	1,000	100,00
14	1,190	0,04	0,01	0,01	99,99	1190	1300,0	1,000	100,00
16	1,000	0,03	0,01	0,02	99,98	1000	1095,0	1,000	100,00
20	0,840	0,06	0,02	0,04	99,96	840	920,0	1,000	100,00
28	0,590	0,16	0,05	0,09	99,91	590	715,0	0,999	100,00
35	0,425	1,20	0,38	0,47	99,53	425	507,5	0,995	100,00
48	0,297	3,22	1,02	1,49	98,51	297	361,0	0,985	99,89
65	0,210	20,46	6,50	7,99	92,01	210	253,5	0,920	91,65
100	0,150	100,29	31,87	39,86	60,14	150	180,0	0,601	60,78
140	0,106	88,32	28,07	67,93	32,07	106	128,0	0,321	29,83
200	0,075	65,64	20,86	88,79	11,21	75	90,5	0,112	12,35
270	0,053	23,35	7,42	96,21	3,79	53	64,0	0,038	4,79
325	0,045	5,92	1,88	98,09	1,91	45	49,0	0,019	2,27
400	0,038	4,72	1,50	99,59	0,41	38	41,5	0,004	1,42
-400	-	1,31	0,41	100,00	0,00				

Peso total: 314,69

Análise granulométrica da alimentação da mistura: 60% de Calcita (1440g) X 40% de Quartzo (960g)

Peso inicial: 314,21 g e 300,96 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 47,80 g e 51,16 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 =

m =

1659

1,14

[Produto 1.M(6/4) | Produto 2.M(6/4)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	88,87	81,86
10	1,680	51,97	48,00
12	1,410	25,06	22,29
14	1,190	17,67	20,46
16	1,000	23,19	22,06
20	0,840	20,41	20,56
28	0,590	19,45	20,59
35	0,425	19,75	20,78
48	0,297	13,53	14,87
65	0,210	10,15	11,00
100	0,150	6,78	7,34
140	0,106	4,68	7,28
200	0,075	4,30	4,41
270	0,053	3,90	0,69
325	0,045	2,84	3,91
400	0,038	0,90	1,04
-400	-	0,38	0,61

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easyplot	R-R
8	2,380	85,37	27,47	27,47	72,53	2380	x	R-R
10	1,680	49,99	16,08	43,55	56,45	1680	2872,9	0,725
12	1,410	23,68	7,62	51,17	48,83	1410	2030,0	0,564
14	1,190	19,07	6,13	57,30	42,70	1190	1545,0	0,488
16	1,000	22,63	7,28	64,58	35,42	1000	1300,0	0,427
20	0,840	20,49	6,59	71,17	28,83	840	1095,0	0,354
28	0,590	20,02	6,44	77,62	22,38	590	715,0	0,224
35	0,425	20,27	6,52	84,14	15,86	425	507,5	0,159
48	0,297	14,20	4,57	88,70	11,30	297	361,0	0,113
65	0,210	10,58	3,40	92,11	7,89	210	920,0	0,288
100	0,150	7,06	2,27	94,38	5,62	150	715,0	0,224
140	0,106	5,98	1,92	96,30	3,70	106	253,5	0,079
200	0,075	4,36	1,40	97,70	2,30	75	180,0	0,056
270	0,053	2,30	0,74	98,44	1,56	53	128,0	0,037
325	0,045	3,38	1,09	99,53	0,47	45	90,5	0,023
400	0,038	0,97	0,31	99,84	0,16	38	64,0	0,016
-400	-	0,50	0,16	100,00	0,00		49,0	0,005
		310,79					41,5	0,002
								1,03

Peso total:

310,79

Análise granulométrica do produto da moagem de 5 minutos da mistura: 60% de Calcita (1440g) X 40% de Quartzo (960g)
 Peso inicial: 277,35 g e 293,07 g

858
1,24

d50 =

m =

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 68,50 g e 67,56 g

Segunda série : 48# a -400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	17,68	16,00
10	1,680	28,95	26,49
12	1,410	23,26	20,07
14	1,190	20,60	18,94
16	1,000	26,18	24,37
20	0,840	23,64	23,51
28	0,590	33,60	32,31
35	0,425	31,30	31,11
48	0,297	22,65	22,49
65	0,210	23,41	22,88
100	0,150	19,58	18,51
140	0,106	6,23	7,42
200	0,075	6,49	6,75
270	0,053	4,64	5,36
325	0,045	2,58	3,80
400	0,038	1,44	1,62
-400	-	0,00	0,00

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	16,84	5,87	5,87	94,13	2380	2872,9	0,941	95,50
10	1,680	27,72	9,66	15,53	84,47	1680	2030,0	0,845	86,69
12	1,410	21,67	7,55	23,08	76,92	1410	1545,0	0,769	76,25
14	1,190	19,77	6,89	29,97	70,03	1190	1300,0	0,700	68,66
16	1,000	25,28	8,81	38,78	61,22	1000	1095,0	0,612	60,86
20	0,840	23,58	8,22	47,00	53,00	840	920,0	0,530	53,04
28	0,590	32,96	11,49	58,48	41,52	590	715,0	0,415	42,47
35	0,425	31,21	10,88	69,36	30,64	425	507,5	0,306	30,33
48	0,297	22,57	7,87	77,22	22,78	297	361,0	0,228	21,09
65	0,210	23,15	8,07	85,29	14,71	210	253,5	0,147	14,17
100	0,150	19,05	6,64	91,93	8,07	150	180,0	0,081	9,51
140	0,106	6,83	2,38	94,31	5,69	106	128,0	0,057	6,34
200	0,075	6,62	2,31	96,61	3,39	75	90,5	0,034	4,17
270	0,053	5,00	1,74	98,35	1,65	53	64,0	0,016	2,73
325	0,045	3,19	1,11	99,47	0,53	45	49,0	0,005	1,97
400	0,038	1,53	0,53	100,00	0,00	38	41,5	0,000	1,61
-400	-	0,00	0,00	100,00	0,00				

Peso total: 286,93

Análise granulométrica do produto da moagem de 15 minutos da mistura: 60% de Calcita (1440g) X 40% de Quartzo (960g)
 Peso inicial: 282,02 g e ? g

565
1,37

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 131,04 g e 134,88 g

d50 =

m =

Segunda série : 48# a -400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	2,02	1,64
10	1,680	7,91	7,81
12	1,410	10,25	9,44
14	1,190	12,82	9,30
16	1,000	18,90	21,54
20	0,840	20,72	22,01
28	0,590	38,55	39,84
35	0,425	39,20	40,41
48	0,297	30,87	31,66
65	0,210	39,39	38,19
100	0,150	20,40	30,89
140	0,106	8,22	12,67
200	0,075	10,25	10,53
270	0,053	7,14	6,32
325	0,045	2,94	2,77
400	0,038	2,44	1,52
-400	=	0,28	0,00

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	1,83	0,65	0,65	99,35	2380	2872,9	0,993	99,84
10	1,680	7,86	2,81	3,47	96,53	1680	2030,0	0,965	98,16
12	1,410	9,85	3,52	6,99	93,01	1410	1545,0	0,930	93,61
14	1,190	11,06	3,96	10,95	89,05	1190	1300,0	0,891	88,59
16	1,000	20,22	7,24	18,19	81,81	1000	1095,0	0,818	82,02
20	0,840	21,37	7,65	25,83	74,17	840	920,0	0,742	74,12
28	0,590	39,20	14,03	39,86	60,14	590	715,0	0,601	61,60
35	0,425	39,81	14,25	54,10	45,90	425	507,5	0,459	45,03
48	0,297	31,27	11,19	65,29	34,71	297	361,0	0,347	31,29
65	0,210	38,79	13,88	79,18	20,82	210	253,5	0,208	20,64
100	0,150	25,65	9,18	88,35	11,65	150	180,0	0,116	13,47
140	0,106	10,45	3,74	92,09	7,91	106	128,0	0,079	8,67
200	0,075	10,39	3,72	95,81	4,19	75	90,5	0,042	5,48
270	0,053	6,73	2,41	98,22	1,78	53	64,0	0,018	3,45
325	0,045	2,86	1,02	99,24	0,76	45	49,0	0,008	2,40
400	0,038	1,98	0,71	99,95	0,05	38	41,5	0,001	1,92
-400	=	0,14	0,05	100,00	0,00				

Peso total: 279,42

Análise granulométrica do produto da moagem de 30 minutos da mistura: 60% de Calcita (1440g) X 40% de Quartzo (960g)
 Peso inicial: 276,13 g e 276,06 g

440
1,49

d50 =
m =

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 164,52 g e 224,38 g

Segunda série : 48# a -400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	0,38	0,00
10	1,680	2,69	2,28
12	1,410	3,79	4,08
14	1,190	5,56	4,82
16	1,000	12,11	12,45
20	0,840	14,53	15,44
28	0,590	32,74	32,44
35	0,425	38,76	39,28
48	0,297	32,40	32,30
65	0,210	64,36	61,94
100	0,150	33,83	40,13
140	0,106	4,68	10,56
200	0,075	17,45	10,37
270	0,053	7,02	5,08
325	0,045	3,20	2,51
400	0,038	1,56	1,84
-400	-	0,07	0,00

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	0,19	0,07	0,07	99,93	2380	2872,9	0,999	100,00
10	1,680	2,49	0,90	0,97	99,03	1680	2030,0	0,990	99,88
12	1,410	3,94	1,43	2,40	97,60	1410	1545,0	0,976	98,89
14	1,190	5,19	1,89	4,29	95,71	1190	1300,0	0,957	96,93
16	1,000	12,28	4,46	8,75	91,25	1000	1095,0	0,913	93,26
20	0,840	14,99	5,44	14,19	85,81	840	920,0	0,858	87,51
28	0,590	32,59	11,84	26,03	73,97	590	715,0	0,740	76,04
35	0,425	39,02	14,17	40,20	59,80	425	507,5	0,598	57,57
48	0,297	32,35	11,75	51,95	48,05	297	361,0	0,481	40,32
65	0,210	63,15	22,94	74,88	25,12	210	253,5	0,251	26,27
100	0,150	36,98	13,43	88,32	11,68	150	180,0	0,117	16,72
140	0,106	7,62	2,77	91,08	8,92	106	128,0	0,089	10,43
200	0,075	13,91	5,05	96,14	3,86	75	90,5	0,039	6,36
270	0,053	6,05	2,20	98,33	1,67	53	64,0	0,017	3,84
325	0,045	2,86	1,04	99,37	0,63	45	49,0	0,006	2,60
400	0,038	1,70	0,62	99,99	0,01	38	41,5	0,000	2,03
-400	-	0,04	0,01	100,00	0,00				

Peso total: 275,33

Análise granulométrica do produto da moagem de 60 minutos da mistura: 60% de Calcita (1440g) X 40% de Quartzo (960g)
 Peso inicial: 276,13 g e 276,06 g

310
1,57

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = ? g e 239,37 g

d50 =
m =

Segunda série : 48# a -400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	0,00	0,00
10	1,680	0,28	0,00
12	1,410	0,63	0,51
14	1,190	0,84	1,00
16	1,000	3,43	3,57
20	0,840	5,76	5,65
28	0,590	21,11	22,60
35	0,425	38,57	40,16
48	0,297	35,62	37,30
65	0,210	82,27	76,67
100	0,150	42,20	48,16
140	0,106	6,69	20,62
200	0,075	31,36	26,68
270	0,053	19,32	15,49
325	0,045	2,92	8,27
400	0,038	3,36	5,57
-400	-	0,00	0,45

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2380	2872,9	1,000	100,00
10	1,680	0,14	0,05	0,05	99,95	1680	2030,0	1,000	100,00
12	1,410	0,57	0,19	0,23	99,77	1410	1545,0	0,998	99,98
14	1,190	0,92	0,30	0,54	99,46	1190	1300,0	0,995	99,86
16	1,000	3,50	1,15	1,69	98,31	1000	1095,0	0,983	99,34
20	0,840	5,71	1,88	3,57	96,43	840	920,0	0,964	97,82
28	0,590	21,86	7,20	10,77	89,23	590	715,0	0,892	92,38
35	0,425	39,37	12,97	23,74	76,26	425	507,5	0,763	77,75
48	0,297	36,46	12,01	35,75	64,25	297	361,0	0,642	58,54
65	0,210	79,47	26,18	61,93	38,07	210	253,5	0,381	39,67
100	0,150	45,18	14,88	76,82	23,18	150	180,0	0,232	25,56
140	0,106	13,66	4,50	81,32	18,68	106	128,0	0,187	15,87
200	0,075	29,02	9,56	90,88	9,12	75	90,5	0,091	9,54
270	0,053	17,41	5,73	96,61	3,39	53	64,0	0,034	5,66
325	0,045	5,60	1,84	98,45	1,55	45	49,0	0,015	3,76
400	0,038	4,47	1,47	99,93	0,07	38	41,5	0,001	2,91
-400	-	0,23	0,07	100,00	0,00				

Peso total: 303,53

Análise granulométrica do produto da moagem de 120 minutos da mistura: 60% de Calcita (1440g) X 40% de Quartzo (960g)

Peso inicial: 302,16 g , 310,19 g e 296,34 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#

Segunda série : 48# a - 400#

174

1,64

d50 =

m =

Abertura (#)	Abertura (mm)	Produto 1		Produto 2		Produto 3	
		Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0,00		
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0,00		
12	1,410	0,00	0,00	0,00	0,00		
14	1,190	0,00	0,00	0,00	0,00		
16	1,000	0,08	0,00	0,00	0,05		
20	0,840	0,14	0,07	0,07	0,07		
28	0,590	0,99	1,11	1,11	1,04		
35	0,425	4,96	5,77	5,77	4,94		
48	0,297	35,70	35,17	35,17	33,15		
65	0,210	48,36	61,74	61,74	57,87		
100	0,150	38,25	40,63	40,63	37,89		
140	0,106	58,96	51,69	51,69	44,85		
200	0,075	69,52	47,41	47,41	64,74		
270	0,053	16,37	43,67	43,67	31,95		
325	0,045	7,73	4,85	4,85	6,19		
400	0,038	19,60	16,49	16,49	12,13		
-400		1,67	1,39	1,39	1,38		

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easyplot		
							x	R-R	
8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2380	2872,9	1,000	100,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00	100,00	1680	2030,0	1,000	100,00
12	1,410	0,00	0,00	0,00	100,00	1410	1545,0	1,000	100,00
14	1,190	0,00	0,00	0,00	100,00	1190	1300,0	1,000	100,00
16	1,000	0,04	0,01	0,01	99,99	1000	1095,0	1,000	100,00
20	0,840	0,09	0,03	0,04	99,96	840	920,0	1,000	100,00
28	0,590	1,05	0,34	0,38	99,62	590	715,0	0,996	99,91
35	0,425	5,22	1,70	2,08	97,92	425	507,5	0,979	98,19
48	0,297	34,67	11,26	13,34	86,66	297	361,0	0,867	89,92
65	0,210	53,12	17,25	30,60	69,40	210	253,5	0,694	72,33
100	0,150	38,92	12,64	43,24	56,76	150	180,0	0,568	51,94
140	0,106	51,83	16,84	60,08	39,92	106	128,0	0,399	34,23
200	0,075	60,56	19,67	79,75	20,25	75	90,5	0,202	21,12
270	0,053	37,81	12,28	92,04	7,96	53	64,0	0,080	12,58
325	0,045	6,96	2,26	94,30	5,70	45	49,0	0,057	8,31
400	0,038	16,07	5,22	99,52	0,48	38	41,5	0,005	6,39
-400		1,48	0,48	100,00	0,00				

Peso total: 307,83

Análise granulométrica da alimentação da mistura: 40% de Calcita (960g) X 60% de Quartzo (1440g)

Peso inicial: 322,02 g e 318,89 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 45,00 g e 46,08 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 =

m =

1721

1,21

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	87,64	85,10
10	1,680	58,60	56,57
12	1,410	27,33	25,83
14	1,190	18,28	17,06
16	1,000	25,31	26,42
20	0,840	20,22	21,58
28	0,590	19,45	19,77
35	0,425	19,55	20,09
48	0,297	12,09	14,00
65	0,210	10,29	9,56
100	0,150	6,17	6,39
140	0,106	5,51	5,30
200	0,075	3,32	3,29
270	0,053	3,97	3,34
325	0,045	1,19	1,34
400	0,038	1,28	1,65
-400	-	0,90	1,03

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	86,37	27,02	27,02	72,98	2380	2872,9	0,730	72,43
10	1,680	57,59	18,01	45,03	54,97	1680	2030,0	0,550	57,11
12	1,410	26,58	8,31	53,34	46,66	1410	1545,0	0,467	45,57
14	1,190	17,67	5,53	58,87	41,13	1190	1300,0	0,411	38,96
16	1,000	25,87	8,09	66,96	33,04	1000	1095,0	0,330	33,04
20	0,840	20,90	6,54	73,49	26,51	840	920,0	0,265	27,74
28	0,590	19,61	6,13	79,63	20,37	590	715,0	0,204	21,30
35	0,425	19,82	6,20	85,83	14,17	425	507,5	0,142	14,63
48	0,297	13,05	4,08	89,91	10,09	297	361,0	0,101	9,94
65	0,210	9,93	3,10	93,01	6,99	210	253,5	0,070	6,60
100	0,150	6,28	1,96	94,98	5,02	150	180,0	0,050	4,41
140	0,106	5,41	1,69	96,67	3,33	106	128,0	0,033	2,94
200	0,075	3,31	1,03	97,70	2,30	75	90,5	0,023	1,94
270	0,053	3,66	1,14	98,84	1,16	53	64,0	0,012	1,28
325	0,045	1,27	0,40	99,24	0,76	45	49,0	0,008	0,93
400	0,038	1,47	0,46	99,70	0,30	38	41,5	0,003	0,76
-400	-	0,97	0,30	100,00	0,00				
		Peso total:	319,71						

Peso total: 319,71

Análise granulométrica do produto da moagem de 5 minutos da mistura: 40% de Calcita (960g) X 60% de Quartzo (1440g)

Peso inicial: 277,35 g e 293,07 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série: 8# a 35#, O fundo(-31#) = 68,50 g e 67,56 g

Segunda série: 48# a - 400#

1033

1,32

d50 =

m =

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	19,41	23,91
10	1,680	34,32	38,30
12	1,410	23,97	27,41
14	1,190	25,32	20,26
16	1,000	24,97	31,91
20	0,840	21,79	24,88
28	0,590	31,84	31,59
35	0,425	27,06	27,14
48	0,297	19,09	18,93
65	0,210	17,30	17,90
100	0,150	12,93	12,68
140	0,106	8,18	9,06
200	0,075	6,76	4,24
270	0,053	3,21	4,02
325	0,045	0,55	0,40
400	0,038	0,31	0,10
-400		0,00	0,00

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easyplot x	Passante	R-R
8	2,380	21,66	7,60	7,60	92,40	2380	2872,9	0,924	93,10
10	1,680	36,31	12,75	20,35	79,65	1680	2030,0	0,797	81,56
12	1,410	25,69	9,02	29,37	70,63	1410	1545,0	0,706	69,25
14	1,190	22,79	8,00	37,37	62,63	1190	1300,0	0,626	60,89
16	1,000	28,44	9,98	47,35	52,65	1000	1095,0	0,526	52,70
20	0,840	23,34	8,19	55,54	44,46	840	920,0	0,445	44,84
28	0,590	31,72	11,13	66,68	33,32	590	715,0	0,333	34,72
35	0,425	27,10	9,51	76,19	23,81	425	507,5	0,238	23,76
48	0,297	19,01	6,67	82,86	17,14	297	361,0	0,171	15,89
65	0,210	17,60	6,18	89,04	10,96	210	253,5	0,110	10,28
100	0,150	12,81	4,50	93,54	6,46	150	180,0	0,065	6,67
140	0,106	8,62	3,03	96,56	3,44	106	128,0	0,034	4,31
200	0,075	5,50	1,93	98,49	1,51	75	90,5	0,015	2,75
270	0,053	3,62	1,27	99,76	0,24	53	64,0	0,002	1,75
325	0,045	0,48	0,17	99,93	0,07	45	49,0	0,001	1,23
400	0,038	0,21	0,07	100,00	0,00	38	41,5	0,000	0,99
-400		0,00	0,00	100,00	0,00				

Peso total: 284,87

Análise granulométrica do produto da moagem de 15 minutos da mistura: 40% de Calcita (960g) X 60% de Quartzo (1440g)

679

1,35

d50 =

m =

Peso inicial: 308,97 g e ? g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série: 8# a 35#, O fundo(-31#) = 112,87 g e 114,58 g

Segunda série: 48# a - 400#

Produto M(4/6)1.B	Produto M(4/6)2.B
-------------------	-------------------

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	4,20	4,05
10	1,680	14,93	14,42
12	1,410	18,17	17,56
14	1,190	20,43	16,77
16	1,000	29,05	28,47
20	0,840	29,38	27,74
28	0,590	40,98	40,46
35	0,425	38,64	58,53
48	0,297	28,27	28,44
65	0,210	26,56	31,48
100	0,150	23,49	25,57
140	0,106	10,25	6,69
200	0,075	10,68	11,16
270	0,053	6,12	5,57
325	0,045	5,65	2,91
400	0,038	2,76	2,02
-400		0,48	0,14

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	4,13	1,30	1,30	98,70	2380	2872,9	0,987	99,22
10	1,680	14,68	4,64	5,95	94,05	1680	2030,0	0,941	95,22
12	1,410	17,87	5,65	11,60	88,40	1410	1545,0	0,884	87,79
14	1,190	18,60	5,88	17,48	82,52	1190	1300,0	0,825	81,10
16	1,000	28,76	9,10	26,58	73,42	1000	1095,0	0,734	73,32
20	0,840	28,56	9,03	35,62	64,38	840	920,0	0,644	64,81
28	0,590	40,72	12,88	48,50	51,50	590	715,0	0,515	52,44
35	0,425	48,59	15,37	63,87	36,13	425	507,5	0,361	37,37
48	0,297	28,36	8,97	72,84	27,16	297	361,0	0,272	25,58
65	0,210	29,02	9,18	82,02	17,98	210	253,5	0,180	16,75
100	0,150	24,53	7,76	89,78	10,22	150	180,0	0,102	10,90
140	0,106	8,47	2,68	92,46	7,54	106	128,0	0,075	7,03
200	0,075	10,92	3,45	95,91	4,09	75	90,5	0,041	4,46
270	0,053	5,85	1,85	97,76	2,24	53	64,0	0,022	2,82
325	0,045	4,38	1,39	99,15	0,85	45	49,0	0,009	1,97
400	0,038	2,39	0,76	99,90	0,10	38	41,5	0,001	1,58
-400		0,31	0,10	100,00	0,00				

Peso total: 316,11

Análise granulométrica do produto da moagem de 30 minutos da mistura: 40% de Calcita (960g) X 60% de Quartzo (1440g)

Peso inicial: 323,82 g e 334,17 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série: 8# a 35#, O fundo(-31#) = 179,44 g e 184,69 g

Segunda série: 48# a - 400#

468

1,45

d50 =

m =

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	0,36	0,59
10	1,680	3,04	2,96
12	1,410	5,34	5,13
14	1,190	6,16	7,34
16	1,000	17,12	17,11
20	0,840	22,37	21,56
28	0,590	42,24	44,70
35	0,425	48,27	49,71
48	0,297	39,02	38,92
65	0,210	70,85	55,27
100	0,150	35,70	40,02
140	0,106	6,89	14,00
200	0,075	14,72	15,37
270	0,053	6,52	10,03
325	0,045	3,58	5,18
400	0,038	1,72	5,03
-400		0,00	0,32

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easyplot	R-R
8	2,380	0,48	0,14	0,14	99,86	2380	x	99,99
10	1,680	3,00	0,91	1,06	98,94	1680	2872,9	99,70
12	1,410	5,24	1,59	2,65	97,35	1410	2030,0	98,01
14	1,190	6,75	2,05	4,71	95,29	1190	1545,0	95,26
16	1,000	17,12	5,21	9,91	90,09	1000	1300,0	90,72
20	0,840	21,97	6,69	16,60	83,40	840	1095,0	84,23
28	0,590	43,47	13,23	29,83	70,17	590	920,0	72,24
35	0,425	48,99	14,91	44,74	55,26	425	715,0	54,14
48	0,297	38,97	11,86	56,60	43,40	297	507,5	37,86
65	0,210	63,06	19,19	75,79	24,21	210	361,0	24,79
100	0,150	37,86	11,52	87,31	12,69	150	253,5	15,92
140	0,106	10,45	3,18	90,49	9,51	106	180,0	10,04
200	0,075	15,05	4,58	95,07	4,93	75	128,0	6,20
270	0,053	8,28	2,52	97,59	2,41	53	90,5	3,80
325	0,045	4,38	1,33	98,92	1,08	45	64,0	2,59
400	0,038	3,38	1,03	99,95	0,05	38	49,0	2,04
-400		0,16	0,05	100,00	0,00		41,5	

Peso total: 328,57

Análise granulométrica do produto da moagem de 120 minutos da mistura: 40% de Calcita (1440g) X 60% de Quartzo (960g)
 Peso inicial: 302,16 g , 310,19 g e 296,34 g
 Tempo de peneiramento: 20 minutos
 Primeira série : 8# a 35#
 Segunda série : 48# a - 400#

215
 1,45

d50 =
 m =

Abertura (#)	Abertura (mm)	Produto 1 Peso 1 (g)	Produto 2 Peso 2 (g)	Produto 3 Peso 3 (g)
8	2,380	0,00	0,00	0,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00
12	1,410	0,00	0,00	0,00
14	1,190	0,00	0,04	0,00
16	1,000	0,16	0,13	0,00
20	0,840	0,41	0,43	0,39
28	0,590	5,33	5,39	5,46
35	0,425	18,46	18,86	19,07
48	0,297	52,12	50,42	51,52
65	0,210	52,77	52,88	61,84
100	0,150	37,32	34,93	36,26
140	0,106	44,22	36,51	38,12
200	0,075	30,88	45,37	31,90
270	0,053	39,51	30,27	35,78
325	0,045	9,67	18,95	11,65
400	0,038	9,36	5,66	12,85
-400		0,98	2,25	4,13

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easyplot x	Passante	R-R
8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2380	2872,9	1,000	100,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00	100,00	1680	2030,0	1,000	100,00
12	1,410	0,00	0,00	0,00	100,00	1410	1545,0	1,000	100,00
14	1,190	0,01	0,00	0,00	100,00	1190	1300,0	1,000	99,99
16	1,000	0,10	0,03	0,04	99,96	1000	1095,0	1,000	99,94
20	0,840	0,41	0,14	0,17	99,83	840	920,0	0,998	99,67
28	0,590	5,39	1,79	1,96	98,04	590	715,0	0,980	98,09
35	0,425	18,80	6,23	8,19	91,81	425	507,5	0,918	91,00
48	0,297	51,35	17,02	25,20	74,80	297	361,0	0,748	77,00
65	0,210	55,83	18,50	43,70	56,30	210	253,5	0,563	58,53
100	0,150	36,17	11,99	55,69	44,31	150	180,0	0,443	41,48
140	0,106	37,32	12,36	68,06	31,94	106	128,0	0,319	27,88
200	0,075	36,05	11,95	80,00	20,00	75	90,5	0,200	17,94
270	0,053	35,19	11,66	91,66	8,34	53	64,0	0,083	11,27
325	0,045	13,42	4,45	96,11	3,89	45	49,0	0,039	7,80
400	0,038	9,29	3,08	99,19	0,81	38	41,5	0,008	6,18
-400		2,45	0,81	100,00	0,00				

Peso total: 301,78

Análise granulométrica do produto da moagem de 5 minutos da mistura: 80% de Calcita (1440g) X 20% de Quartzo (960g)
 Peso inicial: 311,03 g , 312,40 g e 303,03 g
 Tempo de peneiramento: 20 minutos

896
 1,14

Primeira série : 8# a 35#

Segunda série : 48# a - 400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Produto 1	Produto 2	Produto 3
		Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)
8	2,380	16,65	29,33	35,61
10	1,680	37,56	44,26	49,71
12	1,410	13,89	15,35	15,59
14	1,190	24,29	25,16	21,90
16	1,000	25,78	25,47	26,31
20	0,840	29,40	27,48	24,54
28	0,590	32,75	30,34	26,78
35	0,425	39,23	34,66	30,80
48	0,297	18,54	16,86	71,33
65	0,210	18,26	16,01	14,44
100	0,150	19,25	19,12	14,57
140	0,106	10,50	8,93	19,01
200	0,075	6,29	8,38	7,42
270	0,053	11,25	5,53	8,70
325	0,045	3,28	2,19	4,04
400	0,038	2,18	1,51	2,13
-400		0,53	0,70	0,60

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	27,20	8,21	8,21	91,79	2380	2872,9	0,918	92,69
10	1,680	43,84	13,23	21,43	78,57	1680	2030,0	0,786	82,81
12	1,410	14,94	4,51	25,94	74,06	1410	1545,0	0,741	72,47
14	1,190	23,78	7,18	33,12	66,88	1190	1300,0	0,669	65,34
16	1,000	25,85	7,80	40,92	59,08	1000	1095,0	0,591	58,16
20	0,840	27,14	8,19	49,10	50,90	840	920,0	0,509	51,05
28	0,590	29,96	9,04	58,14	41,86	590	715,0	0,419	41,49
35	0,425	34,90	10,53	68,67	31,33	425	507,5	0,313	30,41
48	0,297	35,58	10,73	79,40	20,60	297	361,0	0,206	21,80
65	0,210	16,24	4,90	84,30	15,70	210	253,5	0,157	15,15
100	0,150	17,65	5,32	89,62	10,38	150	180,0	0,104	10,53
140	0,106	12,81	3,87	93,49	6,51	106	128,0	0,065	7,26
200	0,075	7,36	2,22	95,71	4,29	75	90,5	0,043	4,95
270	0,053	8,49	2,56	98,27	1,73	53	64,0	0,017	3,36
325	0,045	3,17	0,96	99,23	0,77	45	49,0	0,008	2,49
400	0,038	1,94	0,59	99,82	0,18	38	41,5	0,002	2,07
-400		0,61	0,18	100,00	0,00				

Peso total: 331,46

Análise granulométrica do produto da moagem de 15 minutos da mistura: 80% de Calcita (1440g) X 20% de Quartzo (960g)

549

1,27

d50 =

m =

Peso inicial:

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#

Segunda série : 48# a - 400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Produto 1		Produto 2		Produto 3	
		Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)
8	2,380	4,01	2,83	2,50			
10	1,680	16,24	10,65	6,19			
12	1,410	8,52	8,26	7,14			
14	1,190	11,03	13,51	11,61			
16	1,000	31,30	20,95	17,80			
20	0,840	30,01	26,09	21,79			
28	0,590	36,94	38,31	40,24			
35	0,425	47,06	47,07	50,09			
48	0,297	24,33	26,43	27,18			
65	0,210	25,32	27,53	46,22			
100	0,150	39,76	40,48	15,63			
140	0,106	13,86	21,98	22,61			
200	0,075	15,91	13,01	17,70			
270	0,053	7,23	6,61	9,02			
325	0,045	3,83	3,13	4,25			
400	0,038	1,89	1,58	1,33			
-400		0,40	0,61	0,35			

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easyplot		
							x	R-R	
8	2,380	3,11	1,01	1,01	98,99	2380	2872,9	0,990	99,66
10	1,680	11,03	3,56	4,57	95,43	1680	2030,0	0,954	97,40
12	1,410	7,97	2,58	7,15	92,85	1410	1545,0	0,929	92,42
14	1,190	12,05	3,89	11,04	88,96	1190	1300,0	0,890	87,40
16	1,000	23,35	7,55	18,59	81,41	1000	1095,0	0,814	81,10
20	0,840	25,96	8,39	26,98	73,02	840	920,0	0,730	73,69
28	0,590	38,50	12,44	39,42	60,58	590	715,0	0,606	62,07
35	0,425	48,07	15,54	54,95	45,05	425	507,5	0,450	46,60
48	0,297	25,98	8,40	63,35	36,65	297	361,0	0,367	33,44
65	0,210	33,02	10,67	74,02	25,98	210	253,5	0,260	22,88
100	0,150	31,96	10,33	84,35	15,65	150	180,0	0,157	15,48
140	0,106	19,48	6,30	90,64	9,36	106	128,0	0,094	10,33
200	0,075	15,54	5,02	95,67	4,33	75	90,5	0,043	6,78
270	0,053	7,62	2,46	98,13	1,87	53	64,0	0,019	4,42
325	0,045	3,74	1,21	99,34	0,66	45	49,0	0,007	3,17
400	0,038	1,60	0,52	99,85	0,15	38	41,5	0,001	2,58
-400		0,45	0,15	100,00	0,00				

Peso total: 309,44

Análise granulométrica do produto da moagem de 30 minutos da mistura: 80% de Calcita (1440g) X 20% de Quartzo (960g)

379

1,37

Peso inicial:

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#

Segunda série : 48# a - 400#

d50 =

m =

Abertura (#)	Abertura (mm)	Produto 1		Produto 2		Produto 3	
		Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)
8	2,380	0,49	1,06	0,63			
10	1,680	2,24	3,00	2,24			
12	1,410	2,16	2,73	3,09			
14	1,190	5,54	5,30	5,82			
16	1,000	8,02	9,75	8,03			
20	0,840	12,60	15,36	13,91			
28	0,590	31,65	35,41	33,25			
35	0,425	28,57	30,24	29,11			
48	0,297	46,19	47,50	48,25			
65	0,210	47,01	58,35	68,12			
100	0,150	28,28	39,17	29,04			
140	0,106	26,80	29,01	29,34			
200	0,075	19,68	16,71	13,71			
270	0,053	19,34	11,76	6,75			
325	0,045	6,80	4,19	3,59			
400	0,038	4,45	3,10	2,21			
-400	-	0,99	0,90	0,67			

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura (µm)	Para Easypilot	
							x	R-R
8	2,380	0,73	0,24	0,24	99,76	2380	2872,9	100,00
10	1,680	2,49	0,83	1,07	98,93	1680	2030,0	99,90
12	1,410	2,66	0,88	1,96	98,04	1410	1545,0	99,14
14	1,190	5,55	1,85	3,80	96,20	1190	1300,0	97,65
16	1,000	8,60	2,86	6,66	93,34	1000	1095,0	94,85
20	0,840	13,96	4,64	11,30	88,70	840	920,0	90,33
28	0,590	33,44	11,12	22,42	77,58	590	715,0	80,87
35	0,425	29,31	9,75	32,17	67,83	425	507,5	64,44
48	0,297	47,31	15,73	47,90	52,10	297	361,0	47,71
65	0,210	57,83	19,23	67,13	32,87	210	253,5	32,94
100	0,150	32,16	10,70	77,83	22,17	150	180,0	22,11
140	0,106	28,38	9,44	87,27	12,73	106	128,0	14,50
200	0,075	16,70	5,55	92,82	7,18	75	90,5	9,28
270	0,053	12,62	4,20	97,02	2,98	53	64,0	5,88
325	0,045	4,86	1,62	98,63	1,37	45	49,0	4,12
400	0,038	3,25	1,08	99,72	0,28	38	41,5	3,29
-400	-	0,85	0,28	100,00	0,00			

Peso total: 300,70

Análise granulométrica do produto da moagem de 60 minutos da mistura: 80% de Calcita (1440g) X 20% de Quartzo (960g)
 Peso inicial: d50 = 260
 Tempo de peneiramento: 20 minutos m = 1,99
 Primeira série : 8# a 35#
 Segunda série : 48# a - 400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Produto 1		Produto 2		Produto 3	
		Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	1,410	0,00	0,00	0,16	0,13	0,13	0,13
14	1,190	0,20	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21
16	1,000	0,71	0,58	0,58	0,68	0,68	0,68
20	0,840	1,52	1,44	1,44	1,37	1,37	1,37
28	0,590	7,84	7,35	7,35	7,95	7,95	7,95
35	0,425	17,20	15,95	15,95	17,36	17,36	17,36
48	0,297	50,99	48,36	48,36	48,30	48,30	48,30
65	0,210	80,65	86,78	86,78	87,31	87,31	87,31
100	0,150	46,66	53,86	53,86	58,04	58,04	58,04
140	0,106	43,96	43,83	43,83	44,04	44,04	44,04
200	0,075	35,46	13,43	13,43	18,30	18,30	18,30
270	0,053	20,52	14,10	14,10	13,16	13,16	13,16
325	0,045	5,83	4,94	4,94	4,73	4,73	4,73
400	0,038	2,92	2,19	2,19	2,41	2,41	2,41
-400		0,73	0,83	0,83	0,52	0,52	0,52

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easyplot		R-R
							x	Passante	
8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2380	2872,9	1,000	100,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00	100,00	1680	2030,0	1,000	100,00
12	1,410	0,10	0,03	0,03	99,97	1410	1545,0	1,000	100,00
14	1,190	0,21	0,07	0,10	99,90	1190	1300,0	0,999	100,00
16	1,000	0,66	0,22	0,32	99,68	1000	1095,0	0,997	100,00
20	0,840	1,44	0,47	0,79	99,21	840	920,0	0,992	99,98
28	0,590	7,71	2,53	3,32	96,68	590	715,0	0,967	99,44
35	0,425	16,84	5,53	8,85	91,15	425	507,5	0,911	92,74
48	0,297	49,22	16,16	25,01	74,99	297	361,0	0,750	73,60
65	0,210	84,91	27,88	52,89	47,11	210	253,5	0,471	48,27
100	0,150	52,85	17,35	70,24	29,76	150	180,0	0,298	28,35
140	0,106	43,94	14,43	84,67	15,33	106	128,0	0,153	15,57
200	0,075	22,40	7,35	92,02	7,98	75	90,5	0,080	8,14
270	0,053	15,93	5,23	97,25	2,75	53	64,0	0,027	4,17
325	0,045	5,17	1,70	98,95	1,05	45	49,0	0,011	2,47
400	0,038	2,51	0,82	99,77	0,23	38	41,5	0,002	1,78
-400		0,69	0,23	100,00	0,00				

Peso total: 304,57

Análise granulométrica do produto da moagem de 120 minutos da mistura: 80% de Calcita (1440g) X 20% de Quartzo (960g)

Peso inicial:

179

Tempo de peneiramento: 20 minutos

d50 =

Primeira série : 8# a 35#

m =

1,66

Segunda série : 48# a - 400#

Abertura (#) / Abertura (mm)	Produto 1		Produto 2		Produto 3	
	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,08	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05
20	0,14	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
28	0,99	1,11	1,11	1,04	1,04	1,04
35	4,96	5,77	5,77	4,94	4,94	4,94
48	35,70	35,17	35,17	33,15	33,15	33,15
65	48,36	61,74	61,74	57,87	57,87	57,87
100	38,25	40,63	40,63	37,89	37,89	37,89
140	58,96	51,69	51,69	44,85	44,85	44,85
200	69,52	47,41	47,41	64,74	64,74	64,74
270	16,37	43,67	43,67	31,95	31,95	31,95
325	7,73	4,85	4,85	6,19	6,19	6,19
400	19,60	16,49	16,49	12,13	12,13	12,13
-400	1,67	1,39	1,39	1,38	1,38	1,38

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easyplot		R-R
							x	Passante	
8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2380	2872,9	1,000	100,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00	100,00	1680	2030,0	1,000	100,00
12	1,410	0,00	0,00	0,00	100,00	1410	1545,0	1,000	100,00
14	1,190	0,00	0,00	0,00	100,00	1190	1300,0	1,000	100,00
16	1,000	0,04	0,01	0,01	99,99	1000	1095,0	1,000	100,00
20	0,840	0,09	0,03	0,05	99,95	840	920,0	1,000	100,00
28	0,590	1,05	0,35	0,39	99,61	590	715,0	0,996	99,90
35	0,425	5,22	1,72	2,12	97,88	425	507,5	0,979	97,99
48	0,297	34,67	11,45	13,56	86,44	297	361,0	0,864	89,15
65	0,210	55,99	18,49	32,05	67,95	210	253,5	0,679	70,92
100	0,150	38,92	12,85	44,90	55,10	150	180,0	0,551	50,32
140	0,106	51,83	17,11	62,02	37,98	106	128,0	0,380	32,78
200	0,075	60,56	20,00	82,01	17,99	75	90,5	0,180	20,02
270	0,053	30,66	10,12	92,14	7,86	53	64,0	0,079	11,81
325	0,045	6,26	2,07	94,20	5,80	45	49,0	0,058	7,75
400	0,038	16,07	5,31	99,51	0,49	38	41,5	0,005	5,94
-400	-	1,48	0,49	100,00	0,00	-	-	-	-

Peso total: 302,86

Análise granulométrica do produto da moagem de 5 minutos da mistura: 20% de Calcita (480g) X 80% de Quartzo (1920g)

1093

1,36

d50 =

m =

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#

Segunda série : 48# a - 400#

Produto 1	Produto 2	Produto 3
Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)
27,32	24,18	12,45
49,94	49,96	26,82
32,00	34,54	22,48
20,71	20,50	17,95
41,17	44,74	32,41
22,37	25,33	25,42
28,45	31,53	36,47
16,82	18,01	23,00
22,71	22,90	32,57
10,03	10,09	13,97
8,60	8,29	11,67
5,74	5,07	7,45
3,79	3,97	4,79
3,84	3,73	5,17
2,69	1,46	3,45
1,69	1,64	2,77
2,95	0,08	2,71

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Para Easypilot	
						x	R-R
8	2,380	21,32	7,20	7,20	92,80	2872,9	0,928
10	1,680	42,24	14,26	21,46	78,54	2030,0	0,785
12	1,410	29,67	10,02	31,48	68,52	1545,0	0,685
14	1,190	19,72	6,66	38,14	61,86	1300,0	0,619
16	1,000	39,44	13,32	51,46	48,54	1095,0	0,485
20	0,840	24,37	8,23	59,69	40,31	920,0	0,403
28	0,590	32,15	10,86	70,55	29,45	715,0	0,295
35	0,425	19,28	6,51	77,06	22,94	507,5	0,229
48	0,297	26,06	8,80	85,86	14,14	361,0	0,141
65	0,210	11,36	3,84	89,69	10,31	253,5	0,103
100	0,150	9,52	3,21	92,91	7,09	180,0	0,071
140	0,106	6,09	2,06	94,97	5,03	128,0	0,050
200	0,075	4,18	1,41	96,38	3,62	90,5	0,036
270	0,053	4,25	1,43	97,81	2,19	64,0	0,022
325	0,045	2,53	0,86	98,67	1,33	49,0	0,013
400	0,038	2,03	0,69	99,35	0,65	41,5	0,006
-400	-	1,91	0,65	100,00	0,00		

Peso total: 296,13

Análise granulométrica do produto da moagem de 15 minutos da mistura: 20% de Calcita (480g) X 80% de Quartzo (1920g)

619

1,32

df50 =

m =

Peso inicial:

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#

Segunda série : 48# a - 400#

Produto 1	Produto 2	Produto 3
Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)
1,48	2,81	2,14
7,66	12,55	9,93
9,89	16,70	14,31
10,57	16,20	16,41
29,26	34,65	25,51
26,07	28,01	28,32
46,63	45,40	43,82
32,10	28,56	28,55
46,12	39,81	39,54
25,06	19,58	21,16
26,67	22,41	35,73
12,14	10,63	7,88
9,75	8,45	7,74
12,18	10,38	7,68
7,21	3,85	2,80
3,96	1,94	0,32
1,46	3,46	0,17

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	2,14	0,71	0,71	99,29	2380	2872,9	0,993	99,48
10	1,680	10,05	3,33	4,04	95,96	1680	2030,0	0,960	96,40
12	1,410	13,63	4,52	8,55	91,45	1410	1545,0	0,914	90,16
14	1,190	14,39	4,77	13,32	86,68	1190	1300,0	0,867	84,21
16	1,000	29,81	9,87	23,20	76,80	1000	1095,0	0,768	77,05
20	0,840	27,47	9,10	32,30	67,70	840	920,0	0,677	68,95
28	0,590	45,28	15,00	47,30	52,70	590	715,0	0,527	56,76
35	0,425	29,74	9,85	57,15	42,85	425	507,5	0,429	41,33
48	0,297	41,82	13,85	71,00	29,00	297	361,0	0,290	28,84
65	0,210	21,93	7,27	78,27	21,73	210	253,5	0,217	19,21
100	0,150	28,27	9,36	87,63	12,37	150	180,0	0,124	12,69
140	0,106	10,22	3,38	91,02	8,98	106	128,0	0,090	8,29
200	0,075	8,65	2,86	93,88	6,12	75	90,5	0,061	5,33
270	0,053	10,08	3,34	97,22	2,78	53	64,0	0,028	3,41
325	0,045	4,62	1,53	98,75	1,25	45	49,0	0,012	2,41
400	0,038	2,07	0,69	99,44	0,56	38	41,5	0,006	1,94
-400	-	1,70	0,56	100,00	0,00	-	-	-	-

Peso total: 301,87

Análise granulométrica do produto da moagem de 30 minutos da mistura: 20% de Calcita (480g) X 80% de Quartzo (1920g)

Peso inicial:

418

Tempo de peneiramento: 20 minutos

1,25

Primeira série : 8# a 35#

df50 =

m =

Segunda série : 48# a - 400#

Produto 1	Produto 2	Produto 3
Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)
0,34	0,14	0,23
1,88	1,78	1,69
3,14	3,55	3,18
5,35	4,11	4,04
19,64	16,58	16,25
24,36	20,64	20,37
43,67	43,88	44,03
32,15	34,86	35,54
45,00	53,42	54,73
25,66	30,85	31,05
28,69	40,30	45,34
14,63	19,36	17,49
11,81	14,75	18,35
17,61	15,70	13,97
6,06	5,08	4,87
6,46	9,09	5,99
9,14	3,04	5,31

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easypilot		
							x	Passante	R-R
8	2,380	0,24	0,08	0,08	99,92	2380	2872,9	0,999	99,96
10	1,680	1,78	0,57	0,65	99,35	1680	2030,0	0,994	99,32
12	1,410	3,29	1,06	1,70	98,30	1410	1545,0	0,983	97,13
14	1,190	4,50	1,44	3,15	96,85	1190	1300,0	0,969	94,29
16	1,000	17,49	5,61	8,76	91,24	1000	1095,0	0,912	90,07
20	0,840	21,79	6,99	15,75	84,25	840	920,0	0,843	84,40
28	0,590	43,86	14,07	29,82	70,18	590	715,0	0,702	74,23
35	0,425	34,18	10,97	40,78	59,22	425	507,5	0,592	58,66
48	0,297	51,05	16,38	57,16	42,84	297	361,0	0,428	43,85
65	0,210	29,19	9,36	66,53	33,47	210	253,5	0,335	30,99
100	0,150	38,11	12,23	78,75	21,25	150	180,0	0,212	21,48
140	0,106	17,16	5,50	84,26	15,74	106	128,0	0,157	14,61
200	0,075	14,97	4,80	89,06	10,94	75	90,5	0,109	9,73
270	0,053	15,76	5,06	94,11	5,89	53	64,0	0,059	6,42
325	0,045	5,34	1,71	95,83	4,17	45	49,0	0,042	4,64
400	0,038	7,18	2,30	98,13	1,87	38	41,5	0,019	3,79
-400	-	5,83	1,87	100,00	0,00	-	-	-	-
		Peso total:	311,72						

Análise granulométrica do produto da moagem de 60 minutos da mistura: 20% de Calcita (480g) X 80% de Quartzo (1920g)

323

1,44

d50 =

m =

Peso inicial:

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#

Segunda série : 48# a - 400#

Produto 1	Produto 2	Produto 3
Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)
0,00	0,00	0,09
0,13	0,08	0,14
0,32	0,35	0,29
0,65	0,74	0,52
3,63	3,49	3,02
8,47	9,33	7,14
32,43	34,61	27,37
33,95	33,24	29,32
54,47	51,28	47,67
35,18	32,30	34,43
59,06	55,24	54,01
28,20	25,41	19,59
20,10	15,36	18,80
21,98	18,46	20,02
5,31	4,08	4,19
1,63	4,74	0,97
1,34	3,41	1,33

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	0,03	0,01	0,01	99,99	2380	2872,9	1,000	100,00
10	1,680	0,12	0,04	0,05	99,95	1680	2030,0	0,999	99,99
12	1,410	0,32	0,11	0,16	99,84	1410	1545,0	0,998	99,86
14	1,190	0,64	0,22	0,38	99,62	1190	1300,0	0,996	99,42
16	1,000	3,38	1,17	1,55	98,45	1000	1095,0	0,985	98,21
20	0,840	8,31	2,87	4,42	95,58	840	920,0	0,956	95,62
28	0,590	31,47	10,88	15,30	84,70	590	715,0	0,847	88,66
35	0,425	32,17	11,12	26,42	73,58	425	507,5	0,736	73,52
48	0,297	51,14	17,68	44,10	55,90	297	361,0	0,559	55,67
65	0,210	33,97	11,74	55,84	44,16	210	253,5	0,442	38,68
100	0,150	56,10	19,39	75,24	24,76	150	180,0	0,248	25,82
140	0,106	24,40	8,43	83,67	16,33	106	128,0	0,163	16,71
200	0,075	18,09	6,25	89,92	10,08	75	90,5	0,101	10,50
270	0,053	20,15	6,97	96,89	3,11	53	64,0	0,031	6,52
325	0,045	4,53	1,56	98,45	1,55	45	49,0	0,015	4,48
400	0,038	2,45	0,85	99,30	0,70	38	41,5	0,007	3,55
-400	-	2,03	0,70	100,00	0,00	-	-	-	-
Peso total:		289,29							

Análise granulométrica do produto da moagem de 120 minutos da mistura: 80% de Calcita (1440g) X 20% de Quartzo (960g)

270

1,63

d50 =

m =

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#

Segunda série : 48# a - 400#

Abertura (#)	Abertura (mm)	Produto 1		Produto 2		Produto 3	
		Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)	Peso 3 (g)
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	1,410	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	1,190	0,09	0,22	0,22	0,08	0,08	0,08
16	1,000	0,40	0,39	0,39	0,31	0,31	0,31
20	0,840	1,05	1,18	1,18	1,19	1,19	1,19
28	0,590	11,11	11,01	11,01	11,08	11,08	11,08
35	0,425	27,79	28,25	28,25	27,69	27,69	27,69
48	0,297	58,19	60,18	60,18	60,64	60,64	60,64
65	0,210	73,92	64,38	64,38	55,56	55,56	55,56
100	0,150	41,99	41,94	41,94	36,01	36,01	36,01
140	0,106	42,73	33,82	33,82	36,51	36,51	36,51
200	0,075	21,20	22,23	22,23	24,13	24,13	24,13
270	0,053	10,05	18,93	18,93	23,17	23,17	23,17
325	0,045	4,44	9,62	9,62	16,57	16,57	16,57
400	0,038	4,67	6,24	6,24	9,10	9,10	9,10
-400	-	1,03	0,98	0,98	1,89	1,89	1,89

Peso total: 300,65

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Para Easypilot	
						x	R-R
8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2872,9	100,00
10	1,680	0,00	0,00	0,00	100,00	2030,0	100,00
12	1,410	0,00	0,00	0,00	100,00	1545,0	100,00
14	1,190	0,13	0,04	0,04	99,96	1300,0	99,99
16	1,000	0,37	0,12	0,17	99,83	1095,0	99,89
20	0,840	1,14	0,38	0,54	99,46	920,0	99,40
28	0,590	11,07	3,68	4,23	95,77	715,0	96,63
35	0,425	27,91	9,28	13,51	86,49	507,5	85,61
48	0,297	59,67	19,85	33,36	66,64	361,0	67,14
65	0,210	64,62	21,49	54,85	45,15	253,5	46,50
100	0,150	39,98	13,30	68,15	31,85	180,0	30,09
140	0,106	37,69	12,53	80,68	19,32	128,0	18,56
200	0,075	22,52	7,49	88,17	11,83	90,5	11,01
270	0,053	17,38	5,78	93,95	6,05	64,0	6,42
325	0,045	10,21	3,40	97,35	2,65	49,0	4,20
400	0,038	6,67	2,22	99,57	0,43	41,5	3,22
-400	-	1,30	0,43	100,00	0,00	-	-

Análise granulométrica do produto de 5 minutos de moagem do Quartzzo entre 3,35 e 4,75 mm.

Peso inicial: 316,74 g e 304,75 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 22,19 g e 12,13 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 = 2565,7

m = 2,1415

Produto 1.E Produto 2.E

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	186,97	156,97
10	1,680	54,00	48,38
12	1,410	14,20	13,18
14	1,190	12,70	9,14
16	1,000	16,85	13,87
20	0,840	12,31	8,80
28	0,590	11,53	7,92
35	0,425	11,63	7,91
48	0,297	5,61	2,92
65	0,210	4,84	2,81
100	0,150	3,72	2,10
140	0,106	2,42	1,32
200	0,075	1,98	0,91
270	0,053	1,01	0,64
325	0,045	0,14	0,17
400	0,038	1,30	0,81
-400		1,05	0,31

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	171,97	55,44	55,44	100	3366	4062,9	1	100
10	1,680	51,19	16,50	71,94	44,56	2380	2872,9	0,446	58,65
12	1,410	13,69	4,41	76,35	28,06	1680	2030,0	0,281	34,28
14	1,190	10,92	3,52	79,87	23,65	1410	1545,0	0,236	20,86
16	1,000	15,36	4,95	84,82	20,13	1190	1300,0	0,201	14,92
20	0,840	10,56	3,40	88,23	15,18	1000	1095,0	0,152	10,59
28	0,590	9,73	3,13	91,36	11,77	840	920,0	0,118	7,42
35	0,425	9,77	3,15	94,51	8,64	590	715,0	0,086	4,39
48	0,297	4,27	1,37	95,89	5,49	425	507,5	0,055	2,13
65	0,210	3,83	1,23	97,12	4,11	297	361,0	0,041	1,03
100	0,150	2,91	0,94	98,06	2,88	210	253,5	0,029	0,49
140	0,106	1,87	0,60	98,66	1,94	150	180,0	0,019	0,23
200	0,075	1,45	0,47	99,12	1,34	106	128,0	0,013	0,11
270	0,053	0,83	0,27	99,39	0,88	75	90,5	0,009	0,05
325	0,045	0,16	0,05	99,44	0,61	53	64,0	0,006	0,03
400	0,038	1,06	0,34	99,78	0,56	45	49,0	0,006	0,01
-400		0,68	0,22	100,00	0,22	38	41,5	0,002	0,01

Peso total: 310,21

Análise granulométrica do produto de 15 minutos de moagem do Quartzo entre 3,35 e 4,75 mm.

Peso inicial: 69,16 g e 77,64 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Produto 1. [Produto 2.] Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 22,19 g e 12,13 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 = 1030

m = 1,17

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	x	Passante	R-R
8	2,380	37,79	28,23	8	2,380	33,01	10,75	10,75	89,25	2380	10000	1	100
10	1,680	49,85	34,67	10	1,680	42,26	13,76	24,50	75,50	1680	2872,9	0,893	89,99
12	1,410	21,80	16,66	12	1,410	19,23	6,26	30,76	69,24	1410	2030,0	0,755	78,41
14	1,190	19,59	16,19	14	1,190	17,89	5,82	36,58	63,42	1190	1545,0	0,692	67,17
16	1,000	33,65	29,67	16	1,000	31,66	10,31	46,89	53,11	1000	1300,0	0,634	59,75
20	0,840	28,54	27,93	20	0,840	28,24	9,19	56,08	43,92	840	1095,0	0,531	52,51
28	0,590	26,70	28,98	28	0,590	27,84	9,06	65,14	34,86	590	920,0	0,439	45,52
35	0,425	32,05	36,33	35	0,425	34,19	11,13	76,27	23,73	425	715,0	0,349	36,38
48	0,297	15,74	17,37	48	0,297	16,56	5,39	81,66	18,34	297	507,5	0,237	26,13
65	0,210	14,04	15,87	65	0,210	14,96	4,87	86,53	13,47	210	361,0	0,183	18,39
100	0,150	11,48	13,85	100	0,150	12,67	4,12	90,65	9,35	150	253,5	0,135	12,58
140	0,106	7,50	8,45	140	0,106	7,98	2,60	93,25	6,75	106	180,0	0,093	8,61
200	0,075	4,50	2,50	200	0,075	3,50	1,14	94,39	5,61	75	128,0	0,068	5,86
270	0,053	5,08	9,05	270	0,053	7,07	2,30	96,69	3,31	53	90,5	0,056	3,95
325	0,045	3,06	2,54	325	0,045	2,80	0,91	97,60	2,40	45	64,0	0,033	2,65
400	0,038	4,60	5,52	400	0,038	5,06	1,65	99,25	0,75	38	49,0	0,024	1,95
-400	-	2,47	2,16	-400	-	2,32	0,75	100,00	0,00	-	41,5	0,008	1,60

Peso total: 307,21

Análise granulométrica do produto de 30 minutos de moagem do Quartzo entre 3,35 e 4,75 mm.

Peso inicial: 296,11 g e 287,25 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Produto 1. | Produto 2. | Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 89,57 g e 103,82 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 =

m =

694

1,29

Para Easyplot				
x	Passante	R-R		
10000	1	100		
2872,9	0,980	98,69		
2030,0	0,923	93,72		
1545,0	0,882	85,72		
1300,0	0,836	78,94		
1095,0	0,719	71,30		
920,0	0,606	63,11		
715,0	0,483	51,34		
507,5	0,331	37,05		
361,0	0,262	25,79		
253,5	0,192	17,23		
180,0	0,137	11,45		
128,0	0,101	7,53		
90,5	0,074	4,88		
64,0	0,050	3,15		
49,0	0,032	2,24		
41,5	0,010	1,81		

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)
8	2,380	5,80	1,99	1,99	98,01	2380
10	1,680	16,71	5,74	7,73	92,27	1680
12	1,410	11,85	4,07	11,81	88,19	1410
14	1,190	13,37	4,60	16,40	83,60	1190
16	1,000	34,02	11,69	28,09	71,91	1000
20	0,840	32,96	11,33	39,42	60,58	840
28	0,590	35,67	12,26	51,68	48,32	590
35	0,425	44,16	15,18	66,86	33,14	425
48	0,297	20,33	6,99	73,85	26,15	297
65	0,210	20,24	6,96	80,80	19,20	210
100	0,150	15,94	5,48	86,28	13,72	150
140	0,106	10,60	3,64	89,93	10,07	106
200	0,075	7,73	2,66	92,58	7,42	75
270	0,053	7,09	2,44	95,02	4,98	53
325	0,045	5,14	1,77	96,78	3,22	45
400	0,038	6,50	2,23	99,02	0,98	38
-400	-	2,86	0,98	100,00	0,00	
Peso total:						290,92

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
8	2,380	6,66	4,93
10	1,680	21,11	12,30
12	1,410	13,34	10,35
14	1,190	16,10	10,64
16	1,000	37,02	31,01
20	0,840	34,23	31,68
28	0,590	35,13	36,20
35	0,425	42,44	45,88
48	0,297	19,23	21,43
65	0,210	18,43	22,04
100	0,150	14,74	17,14
140	0,106	9,64	11,55
200	0,075	5,97	9,48
270	0,053	7,12	7,06
325	0,045	6,04	4,24
400	0,038	4,60	8,39
-400	-	3,72	2,00

Análise granulométrica do produto de 60 minutos de moagem do Quartzo entre 3,35 e 4,75 mm.

Peso inicial: 320,71 g e 288,64 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 187,22 g e 172,93 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 = 373

m = 1,29

Para Easypilot			
x	Passante	R-R	
10000	1	100	
2872,9	1,000	99,99	
2030,0	0,998	99,79	
1545,0	0,995	98,69	
1300,0	0,986	96,89	
1095,0	0,959	93,80	
920,0	0,902	89,15	
715,0	0,788	79,90	
507,5	0,592	64,34	
361,0	0,488	48,55	
253,5	0,381	34,37	
180,0	0,261	23,72	
128,0	0,171	16,01	
90,5	0,102	10,55	
64,0	0,050	6,88	
49,0	0,031	4,93	
41,5	0,004	4,00	

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)
8	2,380	0,10	0,00	8	2,380	0,05	0,02	0,02	99,98	2380
10	1,680	0,71	0,50	10	1,680	0,61	0,20	0,22	99,78	1680
12	1,410	1,06	0,82	12	1,410	0,94	0,31	0,52	99,48	1410
14	1,190	3,74	1,64	14	1,190	2,69	0,88	1,41	98,59	1190
16	1,000	8,68	7,49	16	1,000	8,09	2,66	4,07	95,93	1000
20	0,840	19,31	15,79	20	0,840	17,55	5,77	9,84	90,16	840
28	0,590	36,87	32,09	28	0,590	34,48	11,34	21,18	78,82	590
35	0,425	62,45	56,75	35	0,425	59,60	19,61	40,79	59,21	425
48	0,297	32,49	31,08	48	0,297	31,79	10,46	51,25	48,75	297
65	0,210	34,09	30,58	65	0,210	32,34	10,64	61,88	38,12	210
100	0,150	36,14	36,65	100	0,150	36,40	11,97	73,86	26,14	150
140	0,106	23,53	31,31	140	0,106	27,42	9,02	82,88	17,12	106
200	0,075	18,80	23,31	200	0,075	21,06	6,93	89,80	10,20	75
270	0,053	21,27	10,44	270	0,053	15,86	5,22	95,02	4,98	53
325	0,045	5,79	5,66	325	0,045	5,73	1,88	96,90	3,10	45
400	0,038	12,72	3,45	400	0,038	8,09	2,66	99,56	0,44	38
-400		2,31	0,36	-400		1,34	0,44	100,00	0,00	
						303,99				

Peso total:

Análise granulométrica do produto de 120 minutos de moagem do Quartzo entre 3,35 e 4,75 mm.

Peso inicial: 307,72 g e 283,49 g

Tempo de peneiramento: 20 minutos

Primeira série : 8# a 35#, O fundo(-31#) = 228,34 g e 215,27 g

Segunda série : 48# a - 400#

d50 = 292

m = 1,54

Produto 1. Produto 2.

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso (g)	% R.S.	% R.A.	% Passante	Abertura(µm)	Para Easyplot	R-R
									100		x	
8	2,380	0,00	0,00	8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	2380	10000	100
10	1,680	0,00	0,00	10	1,680	0,00	0,00	0,00	100,00	1680	2872,9	100,00
12	1,410	0,00	0,00	12	1,410	0,00	0,00	0,00	100,00	1410	2030,0	100,00
14	1,190	0,00	0,00	14	1,190	0,00	0,00	0,00	100,00	1190	1545,0	99,99
16	1,000	0,73	0,00	16	1,000	0,37	0,12	0,12	99,88	1000	1300,0	99,90
20	0,840	2,50	2,74	20	0,840	2,62	0,90	1,02	98,98	840	1095,0	99,50
28	0,590	13,05	11,28	28	0,590	12,17	4,16	5,18	94,82	590	920,0	98,27
35	0,425	60,46	50,96	35	0,425	55,71	19,05	24,23	75,77	425	715,0	93,62
48	0,297	41,86	39,19	48	0,297	40,53	13,86	38,09	61,91	297	507,5	80,28
65	0,210	48,35	42,07	65	0,210	45,21	15,46	53,55	46,45	210	361,0	61,75
100	0,150	50,09	51,12	100	0,150	50,61	17,31	70,86	29,14	150	253,5	42,74
140	0,106	32,79	23,35	140	0,106	28,07	9,60	80,46	19,54	106	180,0	28,04
200	0,075	30,28	35,73	200	0,075	33,01	11,29	91,75	8,25	75	128,0	17,69
270	0,053	15,91	13,11	270	0,053	14,51	4,96	96,71	3,29	53	90,5	10,79
325	0,045	6,07	6,57	325	0,045	6,32	2,16	98,87	1,13	45	64,0	6,47
400	0,038	1,96	2,88	400	0,038	2,42	0,83	99,70	0,30	38	49,0	4,34
-400	—	0,70	1,07	-400	—	0,89	0,30	100,00	0,00		41,5	3,38

Peso total: 292,41

Produto da moagem de 5 minutos

Material:

960 g calcita (40%)

1440 g quartzo (60%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	30,00	25,40	4,60	36%
10	1,680	30,00	26,11	3,89	31%
12	1,410	30,00	26,14	3,86	30%
14	1,190	29,99	25,66	4,33	34%
16	1,000	29,98	25,39	4,59	36%
20	0,840	30,00	25,15	4,85	38%
28	0,590	29,98	24,75	5,23	41%
35	0,425	30,00	24,43	5,57	44%
48	0,297	29,99	24,22	5,77	46%
65	0,210	29,91	23,44	6,47	51%
100	0,150	29,91	23,11	6,80	54%
140	0,106	29,94	22,70	7,24	57%
200	0,075	29,92	22,14	7,78	61%
270	0,053	29,91	21,92	7,99	63%
325	0,045	5,01	3,59	1,42	68%
400	0,038	5,01	3,58	1,43	69%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 15 minutos

Material:

960 g calcita (40%)

1440 g quartzo (60%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	5,01	4,93	0,08	3%
10	1,680	5,01	4,75	0,26	12%
12	1,410	29,99	28,27	1,72	14%
14	1,190	29,99	27,67	2,32	18%
16	1,000	30,02	27,20	2,82	22%
20	0,840	30,01	26,30	3,71	29%
28	0,590	30,01	25,45	4,56	36%
35	0,425	30,00	24,70	5,30	42%
48	0,297	30,02	24,29	5,73	45%
65	0,210	30,00	23,11	6,89	54%
100	0,150	29,96	22,86	7,10	56%
140	0,106	5,02	3,74	1,28	61%
200	0,075	5,00	3,66	1,34	64%
270	0,053	4,99	3,50	1,49	71%
325	0,045	5,01	3,60	1,41	68%
400	0,038				
-400	-	-	-	-	

Produto da moagem de 30 minutos

Material:

960 g calcita (40%)

1440 g quartzo (60%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380				
10	1,680				
12	1,410	5,00	4,94	0,06	2%
14	1,190	29,97	29,29	0,68	5%
16	1,000	29,99	28,81	1,18	9%
20	0,840	29,98	27,84	2,14	17%
28	0,590	30,01	26,89	3,12	25%
35	0,425	28,98	25,71	3,27	26%
48	0,297	30,01	24,96	5,05	40%
65	0,210	30,00	23,07	6,93	55%
100	0,150	30,00	22,50	7,50	59%
140	0,106	29,95	22,60	7,35	58%
200	0,075	30,00	21,98	8,02	63%
270	0,053	30,00	21,80	8,20	65%
325	0,045	29,97	21,28	8,69	69%
400	0,038	5,01	3,56	1,45	70%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 60 minutos						
Material:						
960 g calcita (40%)						
1440 g quartzo (60%)						
Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita	
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0%	
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0%	
12	1,410	5,02	4,96	0,06	2%	
14	1,190	5,01	4,93	0,08	3%	
16	1,000	30,00	29,69	0,31	2%	
20	0,840	29,96	29,38	0,58	5%	
28	0,590	29,99	28,88	1,11	9%	
35	0,425	30,00	27,39	2,61	21%	
48	0,297	30,00	26,30	3,70	29%	
65	0,210	29,97	23,73	6,24	49%	
100	0,150	29,96	22,52	7,44	59%	
140	0,106	29,99	22,43	7,56	60%	
200	0,075	29,97	22,56	7,41	59%	
270	0,053	29,97	21,45	8,52	67%	
325	0,045	29,94	20,95	8,99	71%	
400	0,038	29,93	20,83	9,10	72%	
-400	-	-	-	-		

Obs.: alguns valores decresceram em vez de crescer apenas neste quadro.

Produto da moagem de 120 minutos

Material:

960 g calcita (40%)

1440 g quartzo (60%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0%
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0%
12	1,410	0,00	0,00	0,00	0%
14	1,190	0,00	0,00	0,00	0%
16	1,000	0,00	0,00	0,00	0%
20	0,840	0,00	0,00	0,00	0%
28	0,590	5,03	5,01	0,02	0,44%
35	0,425	39,28	38,77	0,51	3,98%
48	0,297	38,21	36,69	1,52	11,97%
65	0,210	40,72	34,98	5,74	45,35%
100	0,150	30,02	24,62	5,40	42,66%
140	0,106	30,00	23,59	6,41	50,65%
200	0,075	29,98	22,45	7,53	59,51%
270	0,053	29,97	21,48	8,49	67,11%
325	0,045	29,97	21,13	8,84	69,87%
400	0,038	27,70	19,40	8,30	65,60%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 5 minutos						
Material: 1440 g calcita (60%) 960 g quartzo (40%)						
* Obs.: coloquei 31 g de material, porém considerei como sendo 30 g para calcular o teor à partir da curva de calibração						
** Obs.: Valor estranho						
Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita	
8**	2,380	30,00	22,69	7,31	58%	
10	1,680	30,00	23,91	6,09	48%	
12	1,410	29,98	23,75	6,23	49%	
14	1,190	30,04	23,49	6,55	52%	
16	1,000	30,02	23,12	6,90	55%	
20	0,840	30,00	22,80	7,20	57%	
28	0,590	30,02	22,41	7,61	60%	
35	0,425	30,00	22,08	7,92	63%	
48	0,297	30,00	21,91	8,09	64%	
65	0,210	29,95	21,26	8,69	69%	
100*	0,150	30,95	20,91	10,04	79%	
140	0,106	5,03	3,47	1,56	75%	
200	0,075	5,00	3,45	1,55	74%	
270	0,053	4,99	3,35	1,64	79%	
325	0,045	4,98	3,28	1,70	82%	
400	0,038					
-400						

Produto da moagem de 15 minutos

Material:

1440 g calcita (60%)

960 g quartzo (40%)

* Considerar este valor:

30 g

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380				
10	1,680	5,02	4,58	0,44	21%
12	1,410	5,00	4,35	0,65	31%
14	1,190	5,01	4,21	0,80	38%
16	1,000	30,00	24,24	5,76	46%
20	0,84*	29,99	23,42	6,57	52%
28	0,590		19,41	10,59	84%
35	0,425		22,38	7,62	60%
48	0,297		22,04	7,96	63%
65	0,210		21,06	8,94	71%
100	0,150		20,70	9,30	74%
140	0,106	4,99	3,46	1,53	73%
200	0,075	4,98	3,37	1,61	77%
270	0,053	5,00	3,35	1,65	79%
325	0,045	4,99	3,18	1,81	87%
400	0,038				
-400	-	-	-	-	

Produto da moagem de 30 minutos

Material:

1440 g calcita (60%)

960 g quartzo (40%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380				
10	1,680				
12	1,410	5,02	4,74	0,28	13%
14	1,190	5,02	4,73	0,29	13%
16	1,000	4,99	4,54	0,45	21%
20	0,840	5,01	4,39	0,62	29%
28	0,590	30,00	24,50	5,50	43%
35	0,425	30,02	23,10	6,92	55%
48	0,297	29,99	22,40	7,59	60%
65	0,210	30,00	20,95	9,05	72%
100	0,150	30,00	20,29	9,71	77%
140	0,106	5,00	3,39	1,61	77%
200	0,075	4,98	3,38	1,60	77%
270	0,053	5,00	3,34	1,66	80%
325	0,045	5,00	3,24	1,76	85%
400	0,038				
-400	-	-	-	-	

Produto da moagem de 60 minutos

Material:

1440 g calcita (60%)

960 g quartzo (40%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0%
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0%
12	1,410	0,00	0,00	0,00	0%
14	1,190	0,00	0,00	0,00	0%
16	1,000	4,99	4,95	0,04	1%
20	0,840	29,99	29,48	0,51	4%
28	0,590	29,98	28,00	1,98	16%
35	0,425	30,03	25,53	4,50	36%
48	0,297	30,00	24,05	5,95	47%
65	0,210	30,00	21,32	8,68	69%
100	0,150	29,97	20,35	9,62	76%
140	0,106	29,96	21,75	8,21	65%
200	0,075	29,96	20,09	9,87	78%
270	0,053	29,96	19,97	9,99	79%
325	0,045	5,01	3,23	1,78	85%
400	0,038	5,00	3,23	1,77	85%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 120 minutos

Material:

960 g calcita (60%)

1440 g quartzo (40%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0%
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0%
12	1,410	0,00	0,00	0,00	0%
14	1,190	0,00	0,00	0,00	0%
16	1,000	0,00	0,00	0,00	0%
20	0,840	0,00	0,00	0,00	0%
28	0,590	0,00	0,00	0,00	0%
35	0,425	5,01	4,93	0,08	3%
48	0,297	30,01	28,03	1,98	16%
65	0,210	29,96	23,87	6,09	48%
100	0,150	29,97	22,76	7,21	57%
140	0,106	29,99	21,40	8,59	68%
200	0,075	29,97	20,13	9,84	78%
270	0,053	29,95	19,87	10,08	80%
325	0,045	29,97	19,99	9,98	79%
400	0,038	5,08	3,30	1,78	85%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 5 minutos

Material:

1920 g calcita (80%)

480 g quartzo (20%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	30,00	19,83	10,17	80%
10	1,680	30,00	21,09	8,91	70%
12	1,410	30,04	20,41	9,63	76%
14	1,190	30,01	20,21	9,80	77%
16	1,000	30,01	20,16	9,85	78%
20	0,840	30,00	20,03	9,97	79%
28	0,590	29,99	19,87	10,12	80%
35	0,425	30,01	19,85	10,16	80%
48	0,297	30,00	19,80	10,20	81%
65	0,210	30,00	19,70	10,30	81%
100	0,150	29,96	19,21	10,75	85%
140	0,106	26,66	17,00	9,66	76%
200	0,075	5,00	3,13	1,87	90%
270	0,053	5,03	3,14	1,89	91%
325	0,045	4,99	3,07	1,92	92%
400	0,038	4,10	2,53	1,57	75%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 15 minutos

Material:

1920 g calcita (80%)

480 g quartzo (20%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	5,02	4,12	0,90	43%
10	1,680	30,01	23,62	6,39	50%
12	1,410	23,82	17,95	5,87	46%
14	1,190	29,97	21,97	8,00	63%
16	1,000	29,99	21,47	8,52	67%
20	0,840	29,99	20,73	9,26	73%
28	0,590	30,00	20,23	9,77	77%
35	0,425	30,01	19,83	10,18	80%
48	0,297	29,99	19,64	10,35	82%
65	0,210	29,97	19,35	10,62	84%
100	0,150	29,94	19,29	10,65	84%
140	0,106	29,95	18,84	11,11	88%
200	0,075	29,95	18,39	11,56	91%
270	0,053	22,74	13,94	8,80	70%
325	0,045	5,00	3,01	1,99	96%
400	0,038	4,61	2,82	1,79	86%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 30 minutos

Material:

1920 g calcita (80%)

480 g quartzo (20%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0%
10	1,680	5,01	4,61	0,40	19%
12	1,410	5,01	4,47	0,54	26%
14	1,190	5,02	4,26	0,76	36%
16	1,000	25,60	20,51	5,09	40%
20	0,840	29,98	22,46	7,52	59%
28	0,590	30,00	21,16	8,84	70%
35	0,425	30,00	20,22	9,78	77%
48	0,297	30,00	19,98	10,02	79%
65	0,210	29,96	19,70	10,26	81%
100	0,150	30,00	20,10	9,90	78%
140	0,106	29,94	19,62	10,32	82%
200	0,075	29,98	19,24	10,74	85%
270	0,053	29,97	19,51	10,46	83%
325	0,045	4,97	3,01	1,96	94%
400	0,038	4,96	2,98	1,98	95%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 60 minutos

Material:

1920 g calcita (80%)

480 g quartzo (20%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0%
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0%
12	1,410	0,00	0,00	0,00	0%
14	1,190	0,00	0,00	0,00	0%
16	1,000	0,00	0,00	0,00	0%
20	0,840	0,00	0,00	0,00	0%
28	0,590	4,99	4,63	0,36	17%
35	0,425	30,01	24,35	5,66	45%
48	0,297	30,00	21,82	8,18	65%
65	0,210	29,95	19,36	10,59	84%
100	0,150	29,98	18,76	11,22	89%
140	0,106	29,96	18,78	11,18	88%
200	0,075	29,96	19,72	10,24	81%
270	0,053	30,00	19,58	10,42	82%
325	0,045	5,02	3,04	1,98	95%
400	0,038	5,02	3,04	1,98	95%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 120 minutos

Material:

1920 g calcita (80%)

480 g quartzo (20%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0%
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0%
12	1,410	0,00	0,00	0,00	0%
14	1,190	0,00	0,00	0,00	0%
16	1,000	0,00	0,00	0,00	0%
20	0,840	0,00	0,00	0,00	0%
28	0,590	0,00	0,00	0,00	0%
35	0,425	5,03	4,65	0,38	18%
48	0,297	28,38	24,83	3,55	28%
65	0,210	29,96	23,22	6,74	53%
100	0,150	29,94	20,03	9,91	78%
140	0,106	29,98	19,47	10,51	83%
200	0,075	29,98	18,95	11,03	87%
270	0,053	29,97	18,84	11,13	88%
325	0,045	29,98	18,97	11,01	87%
400	0,038	4,92	3,03	1,89	91%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 5 minutos

Material:

480 g calcita (20%)

1920 g quartzo (80%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8**	2,380	29,99	28,76	1,23	10%
10	1,680	29,98	28,73	1,25	10%
12	1,410	30,01	28,56	1,45	11%
14	1,190	30,06	28,35	1,71	13%
16	1,000	30,01	28,03	1,98	16%
20	0,840	30,02	27,71	2,31	18%
28	0,590	30,06	27,58	2,48	20%
35	0,425	30,03	27,08	2,95	23%
48	0,297	30,04	26,96	3,08	24%
65	0,210	30,01	26,51	3,50	28%
100*	0,150	28,46	24,84	3,62	29%
140	0,106	4,98	4,33	0,65	31%
200	0,075	5,13	4,99	0,14	6%
270	0,053	5,02	4,22	0,80	38%
325	0,045	3,96	3,19	0,77	37%
400	0,038	5,00	4,08	0,92	44%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 15 minutos						
Material:						
480 g calcita (20%)						
1920 g quartzo (80%)						
30 g						
Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita	
8	2,380	5,02	4,94	0,08	3%	
10	1,680	30,00	29,70	0,30	2%	
12	1,410	29,99	29,44	0,55	4%	
14	1,190	30,02	29,36	0,66	5%	
16	1,000	30,00	29,18	0,82	6%	
20	0,84*	30,00	28,65	1,35	11%	
28	0,590	30,02	28,29	1,71	13%	
35	0,425	29,99	27,68	2,32	18%	
48	0,297	30,00	27,29	2,71	21%	
65	0,210	30,03	26,66	3,34	26%	
100	0,150	29,93	25,69	4,31	34%	
140	0,106	30,02	25,34	4,68	37%	
200	0,075	25,79	21,40	4,39	35%	
270	0,053	4,97	4,05	0,92	44%	
325	0,045	4,92	3,91	1,01	48%	
400	0,038	5,00	3,99	1,01	48%	
-400	-	-	-	-		

Produto da moagem de 30 minutos

Material:

480 g calcita (20%)

1920 g quartzo (80%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0%
10	1,680	5,03	4,88	0,15	7%
12	1,410	5,03	4,99	0,04	1%
14	1,190	5,04	5,00	0,04	1%
16	1,000	30,05	29,81	0,24	2%
20	0,840	30,00	29,50	0,50	4%
28	0,590	30,06	29,09	0,97	8%
35	0,425	30,04	28,52	1,52	12%
48	0,297	30,05	28,04	2,01	16%
65	0,210	30,31	27,61	2,70	21%
100	0,150	29,94	26,33	3,61	29%
140	0,106	29,93	25,84	4,09	32%
200	0,075	29,98	25,14	4,84	38%
270	0,053	29,99	24,63	5,36	42%
325	0,045	4,94	3,91	1,03	49%
400	0,038	5,01	4,06	0,95	45%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 60 minutos

Material:

480 g calcita (20%)

1920 g quartzo (80%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0%
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0%
12	1,410	0,00	0,00	0,00	0%
14	1,190	0,00	0,00	0,00	0%
16	1,000	5,03	4,99	0,04	1%
20	0,840	5,03	4,99	0,04	1%
28	0,590	29,98	29,71	0,27	2%
35	0,425	29,98	29,31	0,67	5%
48	0,297	30,03	29,89	0,14	1%
65	0,210	29,99	27,97	2,02	16%
100	0,150	29,96	26,08	3,88	31%
140	0,106	29,97	25,63	4,34	34%
200	0,075	29,99	25,34	4,65	37%
270	0,053	29,97	24,87	5,10	40%
325	0,045	4,98	4,03	0,95	45%
400	0,038	5,01	4,14	0,87	42%
-400	-	-	-	-	-

Produto da moagem de 120 minutos

Material:

480 g calcita (20%)

1920 g quartzo (80%)

Abertura (#)	Abertura (mm)	Peso seco da estufa (g)	Peso calcinado (g)	Perda de massa (g)	Teor calcita
8	2,380	0,00	0,00	0,00	0%
10	1,680	0,00	0,00	0,00	0%
12	1,410	0,00	0,00	0,00	0%
14	1,190	0,00	0,00	0,00	0%
16	1,000	0,00	0,00	0,00	0%
20	0,840	3,32	3,31	0,01	0%
28	0,590	30,05	29,97	0,08	1%
35	0,425	30,09	29,80	0,29	2%
48	0,297	30,09	29,57	0,52	4%
65	0,210	30,12	27,63	2,49	20%
100	0,150	30,10	26,50	3,60	28%
140	0,106	30,05	26,14	3,91	31%
200	0,075	30,03	26,01	4,02	32%
270	0,053	30,02	25,24	4,78	38%
325	0,045	30,19	24,42	5,77	46%
400	0,038	4,99	4,07	0,92	44%
-400	-	-	-	-	-

Função objetivo para 20% Calcita e 80% Quartzo no tempo 0 s a 7200 s

Tempo [s]	x intersecção [µm]	Área	Ea-10*wi	Ea	Eb-10*wi	Eb	F.O.
10	384,25515	0,9730644	0,0002519	0,02519	0,0000881	0,0126864	0,973083338
20	406,15674	0,9706674	0,0005067	0,05067	0,0001764	0,0254016	0,970705436
30	429,05623	0,9680672	0,0007642	0,07642	0,0002649	0,0381456	0,968124483
40	452,91665	0,9652522	0,0010246	0,10246	0,0003535	0,050904	0,965328882
50	477,68038	0,9622111	0,0012877	0,12877	0,0004424	0,0637056	0,962307338
60	503,2663	0,9589338	0,0015536	0,15536	0,0005314	0,0765216	0,959049741
70	529,56743	0,9554116	0,0018222	0,18222	0,0006206	0,0893664	0,955547393
80	556,44912	0,9516373	0,0020935	0,20935	0,00071	0,10224	0,951793095
90	583,74845	0,9476059	0,0023675	0,23675	0,0007996	0,1151424	0,947781846
100	611,27492	0,9433149	0,0026441	0,26441	0,0008893	0,1280592	0,943511135
110	638,81311	0,9387642	0,0029233	0,29233	0,0009792	0,1410048	0,938980867
120	666,12721	0,9339569	0,003205	0,3205	0,0010693	0,1539792	0,93419414
130	692,96777	0,9288987	0,0034893	0,34893	0,0011596	0,1669824	0,929156656
140	719,08013	0,9235985	0,003776	0,3776	0,00125	0,18	0,9238773
150	744,21427	0,9180677	0,0040652	0,40652	0,0013405	0,193032	0,918367476
160	768,13502	0,9123202	0,0043567	0,43567	0,0014312	0,2060928	0,912641081
170	790,63177	0,9063719	0,0046505	0,46505	0,0015221	0,2191824	0,906714016
180	811,52667	0,9002404	0,0049466	0,49466	0,0016131	0,2322864	0,900603873
190	830,68053	0,893944	0,0052449	0,52449	0,0017043	0,2454192	0,894328955
200	847,9959	0,8875019	0,0055454	0,55454	0,0017956	0,2585664	0,887908453
210	863,41738	0,8809332	0,0058479	0,58479	0,001887	0,271728	0,881361459
220	876,92934	0,8742568	0,0061524	0,61524	0,0019786	0,2849184	0,874706879
230	888,55167	0,867491	0,0064588	0,64588	0,0020703	0,2981232	0,867963002
240	898,33428	0,8606533	0,0067671	0,67671	0,0021621	0,3113424	0,861147326
250	906,35105	0,85376	0,0070772	0,70772	0,0022541	0,3245904	0,854276155
260	912,69372	0,8468266	0,0073889	0,73889	0,0023462	0,3378528	0,847364971
270	917,46626	0,8398672	0,0077023	0,77023	0,0024384	0,3511296	0,84042788
280	920,77995	0,832895	0,0080172	0,80172	0,0025307	0,3644208	0,83347807
290	922,74928	0,825922	0,0083335	0,83335	0,0026231	0,3777264	0,826527538
300	923,48867	0,8189591	0,0086511	0,86511	0,0027157	0,3910608	0,819587185
310	923,11004	0,8120164	0,00897	0,897	0,0028083	0,4043952	0,812667098
320	921,72101	0,8051029	0,0092901	0,92901	0,0029011	0,4177584	0,805776284
330	919,42373	0,7982269	0,0096111	0,96111	0,0029939	0,4311216	0,798923016
340	916,31412	0,7913959	0,0099331	0,99331	0,0030869	0,4445136	0,792114812
350	912,4815	0,7846167	0,0102559	1,02559	0,0031799	0,4579056	0,785358448
360	908,00851	0,7778957	0,0105795	1,05795	0,003273	0,471312	0,778660331
370	902,97115	0,7712383	0,0109036	1,09036	0,0033662	0,4847328	0,772025846
380	897,43906	0,7646498	0,0112283	1,12283	0,0034595	0,498168	0,765460299
390	891,47578	0,7581347	0,0115533	1,15533	0,0035529	0,5116176	0,758968174
400	885,13914	0,7516974	0,0118786	1,18786	0,0036463	0,5250672	0,752553864
410	878,48163	0,7453417	0,0122041	1,22041	0,0037398	0,5385312	0,746221171
420	871,55081	0,7390711	0,0125296	1,25296	0,0038334	0,5520096	0,739973585
430	864,38971	0,7328887	0,012855	1,2855	0,003927	0,565488	0,733814194
440	857,03715	0,7267974	0,0131802	1,31802	0,0040207	0,5789808	0,7277459
450	849,52819	0,7207998	0,0135051	1,35051	0,0041144	0,5924736	0,721771292
460	841,89438	0,7148983	0,0138295	1,38295	0,0042082	0,6059808	0,715892765
470	834,16413	0,7090949	0,0141533	1,41533	0,004302	0,619488	0,710112309
480	826,36297	0,7033915	0,0144765	1,44765	0,0043959	0,6330096	0,70443183
490	818,51381	0,6977898	0,0147989	1,47989	0,0044898	0,6465312	0,698853011
500	810,63721	0,6922912	0,0151203	1,51203	0,0045838	0,6600672	0,693377249
510	802,75158	0,686897	0,0154406	1,54406	0,0046778	0,6736032	0,688005832
520	794,87337	0,6816083	0,0157598	1,57598	0,0047718	0,6871392	0,68273986
530	787,01728	0,676426	0,0160777	1,60777	0,0048658	0,7006752	0,677580223
540	779,1964	0,6713509	0,0163942	1,63942	0,0049598	0,7142112	0,672527716
550	771,42239	0,6663837	0,0167091	1,67091	0,0050539	0,7277616	0,667583036
560	763,70556	0,6615249	0,0170224	1,70224	0,005148	0,741312	0,662746676
570	756,05505	0,6567747	0,017334	1,7334	0,005242	0,754848	0,658018824
580	748,47892	0,6521335	0,0176437	1,76437	0,0053361	0,7683984	0,653399884

590	740,98425	0,6476014	0,0179514	1,79514	0,0054302	0,7819488	0,648889944
600	733,5772	0,6431782	0,018257	1,8257	0,0055242	0,7954848	0,644488792
610	726,26316	0,6388641	0,0185604	1,85604	0,0056183	0,8090352	0,640196638
620	719,04676	0,6346586	0,0188616	1,88616	0,0057123	0,8225712	0,636012966
630	711,93198	0,6305616	0,0191604	1,91604	0,0058063	0,8361072	0,631937674
640	704,92219	0,6265725	0,0194566	1,94566	0,0059003	0,8496432	0,627970152
650	698,02021	0,622691	0,0197504	1,97504	0,0059943	0,8631792	0,62411011
660	691,22836	0,6189165	0,0200414	2,00414	0,0060882	0,8767008	0,62035692
670	684,54852	0,6152482	0,0203297	2,03297	0,0061821	0,8902224	0,616709796
680	677,98215	0,6116855	0,0206152	2,06152	0,0062759	0,9037296	0,613168125
690	671,53035	0,6082276	0,0208978	2,08978	0,0063697	0,9172368	0,609731108
700	665,19388	0,6048736	0,0211774	2,11774	0,0064635	0,930744	0,606397842
710	658,97318	0,6016226	0,021454	2,1454	0,0065572	0,9442368	0,603167418
720	652,86845	0,5984735	0,0217275	2,17275	0,0066508	0,9577152	0,600038733
730	646,87962	0,5954254	0,0219977	2,19977	0,0067444	0,9711936	0,597010882
740	641,00639	0,5924772	0,0222648	2,22648	0,0068379	0,9846576	0,594082769
750	635,24829	0,5896278	0,0225285	2,25285	0,0069314	0,9981216	0,591253286
760	629,60465	0,5868758	0,022789	2,2789	0,0070248	1,0115712	0,588521036
770	624,07463	0,5842203	0,023046	2,3046	0,007118	1,024992	0,585885096
780	618,65726	0,5816598	0,0232997	2,32997	0,0072113	1,0384272	0,583343999
790	613,35145	0,579193	0,0235498	2,35498	0,0073044	1,0518336	0,580896407
800	608,15597	0,5768188	0,0237965	2,37965	0,0073974	1,0652256	0,578541238
810	603,06952	0,5745357	0,0240396	2,40396	0,0074903	1,0786032	0,576276982
820	598,09069	0,5723423	0,0242793	2,42793	0,0075832	1,0919808	0,574102255
830	593,218	0,5702372	0,0245153	2,45153	0,0076759	1,1053296	0,57201563
840	588,4499	0,5682191	0,0247477	2,47477	0,0077685	1,118664	0,570015817
850	583,7848	0,5662865	0,0249766	2,49766	0,007861	1,131984	0,568101322
860	579,22103	0,5644379	0,0252018	2,52018	0,0079534	1,1452896	0,566270635
870	574,75692	0,5626719	0,0254235	2,54235	0,0080457	1,1585808	0,564522365
880	570,39071	0,560987	0,0256415	2,56415	0,0081378	1,1718432	0,562854997
890	566,12068	0,5593818	0,0258558	2,58558	0,0082298	1,1850912	0,561267136
900	561,94503	0,5578547	0,0260666	2,60666	0,0083217	1,1983248	0,559757192
910	557,86198	0,5564042	0,0262738	2,62738	0,0084134	1,2115296	0,558323655
920	553,86973	0,5550289	0,0264773	2,64773	0,008505	1,22472	0,556965125
930	549,96647	0,5537272	0,0266773	2,66773	0,0085965	1,237896	0,555680013
940	546,15038	0,5524977	0,0268737	2,68737	0,0086878	1,2510432	0,554466907
950	542,41968	0,5513389	0,0270666	2,70666	0,0087789	1,2641616	0,553324311
960	538,77255	0,5502493	0,027256	2,7256	0,0088699	1,2772656	0,552250733
970	535,20719	0,5492274	0,0274418	2,74418	0,0089607	1,2903408	0,55124466
980	531,72184	0,5482717	0,0276242	2,76242	0,0090513	1,3033872	0,550304604
990	528,31472	0,5473808	0,0278031	2,78031	0,0091418	1,3164192	0,549429165
1000	524,98409	0,5465532	0,0279786	2,79786	0,0092321	1,3294224	0,548616841
1010	521,7282	0,5457874	0,0281507	2,81507	0,0093223	1,3424112	0,547866141
1020	518,54535	0,545082	0,0283194	2,83194	0,0094122	1,3553568	0,547175648
1030	515,43385	0,5444357	0,0284849	2,84849	0,009502	1,368288	0,546544089
1040	512,39202	0,5438469	0,0286471	2,86471	0,0095915	1,381176	0,545969843
1050	509,41823	0,5433143	0,028806	2,8806	0,0096809	1,3940496	0,545451625
1060	506,51086	0,5428365	0,0289618	2,89618	0,0097701	1,4068944	0,544988037
1070	503,66832	0,5424121	0,0291144	2,91144	0,009859	1,419696	0,544577668
1080	500,88904	0,5420398	0,0292638	2,92638	0,0099478	1,4324832	0,544219232
1090	498,17148	0,5417183	0,0294103	2,94103	0,0100364	1,4452416	0,543911436
1100	495,51415	0,5414461	0,0295537	2,95537	0,0101247	1,4579568	0,543652763
1110	492,91555	0,5412221	0,0296941	2,96941	0,0102128	1,4706432	0,543442127
1120	490,37425	0,5410449	0,0298316	2,98316	0,0103007	1,4833008	0,54327813
1130	487,88881	0,5409132	0,0299662	2,99662	0,0103884	1,4959296	0,543159475
1140	485,45786	0,5408259	0,030098	3,0098	0,0104759	1,5085296	0,543085065
1150	483,08002	0,5407816	0,030227	3,0227	0,0105631	1,5210864	0,543053493
1160	480,75397	0,5407792	0,0303533	3,03533	0,0106501	1,5336144	0,543063672
1170	478,47841	0,5408175	0,0304769	3,04769	0,0107368	1,5460992	0,543114395

1180	476,25206	0,5408952	0,0305979	3,05979	0,0108233	1,5585552	0,543204373
1190	474,07368	0,5410113	0,0307162	3,07162	0,0109096	1,5709824	0,543332601
1200	471,94206	0,5411647	0,0308321	3,08321	0,0109956	1,5833664	0,543497988
1210	469,85601	0,5413541	0,0309454	3,09454	0,0110813	1,5957072	0,543699224
1220	467,81438	0,5415785	0,0310563	3,10563	0,0111668	1,6080192	0,543935325
1230	465,81605	0,5418368	0,0311649	3,11649	0,011252	1,620288	0,544205189
1240	463,8599	0,5421281	0,0312711	3,12711	0,011337	1,632528	0,544507919
1250	461,94488	0,5424511	0,031375	3,1375	0,0114217	1,6447248	0,544842212
1260	460,06993	0,542805	0,0314766	3,14766	0,0115062	1,6568928	0,545207276
1270	458,23404	0,5431886	0,0315761	3,15761	0,0115903	1,6690032	0,545601907
1280	456,43622	0,5436012	0,0316734	3,16734	0,0116742	1,6810848	0,546025412
1290	454,67551	0,5440416	0,0317686	3,17686	0,0117578	1,6931232	0,546476592
1300	452,95095	0,5445089	0,0318618	3,18618	0,0118412	1,7051328	0,546954556
1310	451,26165	0,5450023	0,0319529	3,19529	0,0119242	1,7170848	0,547458487
1320	449,60671	0,5455208	0,0320421	3,20421	0,012007	1,729008	0,547987409
1330	447,98526	0,5460635	0,0321294	3,21294	0,0120895	1,740888	0,548540414
1340	446,39647	0,5466296	0,0322148	3,22148	0,0121716	1,7527104	0,549116695
1350	444,8395	0,5472183	0,0322984	3,22984	0,0122535	1,764504	0,549715472
1360	443,31358	0,5478286	0,0323802	3,23802	0,0123351	1,7762544	0,550335737
1370	441,81791	0,5484599	0,0324602	3,24602	0,0124164	1,7879616	0,550976891
1380	440,35175	0,5491112	0,0325386	3,25386	0,0124974	1,7996256	0,551637943
1390	438,91437	0,5497819	0,0326153	3,26153	0,012578	1,811232	0,552318281
1400	437,50506	0,5504711	0,0326904	3,26904	0,0126584	1,8228096	0,553017025
1410	436,12311	0,5511782	0,0327639	3,27639	0,0127384	1,8343296	0,55373356
1420	434,76787	0,5519023	0,0328359	3,28359	0,0128182	1,8458208	0,554467005
1430	433,43867	0,5526429	0,0329063	3,29063	0,0128976	1,8572544	0,555216842
1440	432,13488	0,5533992	0,0329753	3,29753	0,0129767	1,8686448	0,555982287
1450	430,85589	0,5541705	0,0330429	3,30429	0,0130555	1,879992	0,556762641
1460	429,6011	0,5549562	0,0331091	3,31091	0,0131339	1,8912816	0,557557296
1470	428,36992	0,5557556	0,0331739	3,31739	0,0132121	1,9025424	0,558365566
1480	427,16179	0,5565682	0,0332374	3,32374	0,0132899	1,9137456	0,559186943
1490	425,97615	0,5573932	0,0332997	3,32997	0,0133673	1,9248912	0,560020631
1500	424,81249	0,5582302	0,0333606	3,33606	0,0134445	1,936008	0,560866234
1510	423,67027	0,5590785	0,0334204	3,34204	0,0135213	1,9470672	0,561723054
1520	422,54899	0,5599375	0,033479	3,3479	0,0135978	1,9580832	0,562590492
1530	421,44817	0,5608067	0,0335364	3,35364	0,0136739	1,9690416	0,563468041
1540	420,36732	0,5616856	0,0335927	3,35927	0,0137497	1,9799568	0,564355213
1550	419,306	0,5625737	0,0336479	3,36479	0,0138251	1,9908144	0,565251502
1560	418,26374	0,5634703	0,033702	3,3702	0,0139002	2,0016288	0,566156214
1570	417,24012	0,5643751	0,0337551	3,37551	0,013975	2,0124	0,567069055
1580	416,23471	0,5652875	0,0338072	3,38072	0,0140494	2,0231136	0,567989417
1590	415,24709	0,5662071	0,0338582	3,38582	0,0141235	2,033784	0,568916902
1600	414,27688	0,5671333	0,0339084	3,39084	0,0141972	2,0443968	0,569850918
1610	413,32367	0,5680658	0,0339576	3,39576	0,0142706	2,0549664	0,570791163
1620	412,38711	0,5690042	0,0340059	3,40059	0,0143436	2,0654784	0,571737234
1630	411,4668	0,5699479	0,0340533	3,40533	0,0144162	2,0759328	0,572688531
1640	410,56241	0,5708966	0,0340998	3,40998	0,0144885	2,086344	0,573644762
1650	409,67359	0,5718499	0,0341456	3,41456	0,0145605	2,096712	0,574605536
1660	408,8	0,5728073	0,0341905	3,41905	0,014632	2,107008	0,575570329
1670	407,9413	0,5737686	0,0342346	3,42346	0,0147033	2,1172752	0,576538968
1680	407,09719	0,5747332	0,0342779	3,42779	0,0147741	2,1274704	0,57751083
1690	406,26736	0,575701	0,0343205	3,43205	0,0148446	2,1376224	0,578485836
1700	405,4515	0,5766714	0,0343624	3,43624	0,0149147	2,1477168	0,579463378
1710	404,64932	0,5776442	0,0344035	3,44035	0,0149845	2,157768	0,580443259
1720	403,86054	0,5786191	0,034444	3,4444	0,0150539	2,1677616	0,581425181
1730	403,08488	0,5795957	0,0344838	3,44838	0,015123	2,177712	0,582408746
1740	402,32207	0,5805737	0,0345229	3,45229	0,0151916	2,1875904	0,58339364
1750	401,57185	0,5815528	0,0345614	3,45614	0,0152599	2,1974256	0,584379583
1760	400,83396	0,5825328	0,0345993	3,45993	0,0153279	2,2072176	0,585366374

1760	400,83396	0,5825328	0,0345993	3,45993	0,0153279	2,2072176	0,585366374
1770	400,10816	0,5835132	0,0346366	3,46366	0,0153954	2,2169376	0,586353499
1780	399,39421	0,5844939	0,0346732	3,46732	0,0154626	2,2266144	0,587340867
1790	398,69187	0,5854746	0,0347094	3,47094	0,0155294	2,2362336	0,588328187
1800	398,00091	0,586455	0,0347449	3,47449	0,0155959	2,2458096	0,58931515
1810	397,32112	0,5874349	0,03478	3,478	0,0156619	2,2553136	0,590301557
1820	396,65226	0,588414	0,0348145	3,48145	0,0157276	2,2647744	0,591287112
1830	395,99413	0,5893921	0,0348485	3,48485	0,015793	2,274192	0,592271621
1840	395,34653	0,5903689	0,034882	3,4882	0,0158579	2,2835376	0,593254769
1850	394,70926	0,5913443	0,034915	3,4915	0,0159225	2,29284	0,59423647
1860	394,08211	0,592318	0,0349475	3,49475	0,0159867	2,3020848	0,595216417
1870	393,4649	0,5932898	0,0349796	3,49796	0,0160505	2,311272	0,596194416
1880	392,85745	0,5942596	0,0350112	3,50112	0,016114	2,320416	0,597170368
1890	392,25956	0,595227	0,0350424	3,50424	0,0161771	2,3295024	0,598143871
1900	391,67107	0,5961919	0,0350732	3,50732	0,0162398	2,3385312	0,599114826
1910	391,0918	0,5971542	0,0351035	3,51035	0,0163021	2,3475024	0,600083126
1920	390,52159	0,5981137	0,0351335	3,51335	0,016364	2,356416	0,601048583
1930	389,96026	0,5990702	0,035163	3,5163	0,0164256	2,3652864	0,602010993
1940	389,40766	0,6000235	0,0351922	3,51922	0,0164868	2,3740992	0,60297016
1950	388,86364	0,6009734	0,035221	3,5221	0,0165476	2,3828544	0,603925877
1960	388,32804	0,6019199	0,0352495	3,52495	0,0166081	2,3915664	0,604878158
1970	387,8007	0,6028628	0,0352776	3,52776	0,0166681	2,4002064	0,605826783
1980	387,28149	0,6038018	0,0353053	3,53053	0,0167278	2,4088032	0,606771467
1990	386,77027	0,604737	0,0353327	3,53327	0,0167871	2,4173424	0,607712306
2000	386,26689	0,6056682	0,0353598	3,53598	0,0168461	2,4258384	0,608649109
2010	385,77121	0,6065951	0,0353866	3,53866	0,0169046	2,4342624	0,609581561
2020	385,28311	0,6075178	0,0354131	3,54131	0,0169628	2,4426432	0,610509777
2030	384,80245	0,6084361	0,0354392	3,54392	0,0170206	2,4509664	0,611433543
2040	384,32911	0,6093498	0,0354651	3,54651	0,0170781	2,4592464	0,612352678
2050	383,86296	0,6102589	0,0354906	3,54906	0,0171351	2,4674544	0,613267157
2060	383,40389	0,6111633	0,0355159	3,55159	0,0171918	2,4756192	0,614176905
2070	382,95176	0,6120628	0,035541	3,5541	0,0172482	2,4837408	0,61508172
2080	382,50648	0,6129575	0,0355657	3,55657	0,0173041	2,4917904	0,61598168
2090	382,06791	0,6138471	0,0355902	3,55902	0,0173597	2,4997968	0,616876508
2100	381,63595	0,6147316	0,0356144	3,56144	0,0174149	2,5077456	0,617766193
2110	381,21049	0,6156109	0,0356384	3,56384	0,0174697	2,5156368	0,618650638
2120	380,79143	0,6164849	0,0356621	3,56621	0,0175242	2,5234848	0,619529747
2130	380,37865	0,6173536	0,0356856	3,56856	0,0175783	2,5312752	0,620403518
2140	379,97206	0,6182168	0,0357089	3,57089	0,017632	2,539008	0,621271749
2150	379,57156	0,6190746	0,035732	3,5732	0,0176854	2,5466976	0,622134549
2160	379,17704	0,6199268	0,0357548	3,57548	0,0177384	2,5543296	0,622991705
2170	378,7884	0,6207734	0,0357774	3,57774	0,017791	2,561904	0,623843222
2180	378,40556	0,6216143	0,0357998	3,57998	0,0178433	2,5694352	0,624689008
2190	378,02843	0,6224495	0,035822	3,5822	0,0178952	2,5769088	0,625529054
2200	377,6569	0,6232789	0,0358439	3,58439	0,0179467	2,5843248	0,626363257
2210	377,29089	0,6241025	0,0358657	3,58657	0,0179979	2,5916976	0,627191634
2220	376,93031	0,6249202	0,0358873	3,58873	0,0180487	2,5990128	0,628014071
2230	376,57508	0,6257319	0,0359087	3,59087	0,0180991	2,6062704	0,62883047
2240	376,22511	0,6265377	0,0359299	3,59299	0,0181492	2,6134848	0,629640937
2250	375,88032	0,6273375	0,035951	3,5951	0,018199	2,620656	0,630445378
2260	375,54062	0,6281312	0,0359718	3,59718	0,0182483	2,6277552	0,631243668
2270	375,20594	0,6289189	0,0359925	3,59925	0,0182974	2,6348256	0,632035938
2280	374,87619	0,6297004	0,036013	3,6013	0,018346	2,641824	0,632821962
2290	374,55131	0,6304758	0,0360333	3,60333	0,0183943	2,6487792	0,633601855
2300	374,2312	0,6312451	0,0360535	3,60535	0,0184423	2,6556912	0,634375621
2310	373,91581	0,6320081	0,0360735	3,60735	0,0184899	2,6625456	0,635143048
2320	373,60505	0,632765	0,0360934	3,60934	0,0185372	2,6693568	0,635904348
2330	373,29886	0,6335156	0,0361131	3,61131	0,0185841	2,6761104	0,63665931
2340	372,99715	0,63426	0,0361326	3,61326	0,0186306	2,6828064	0,637408033

2350	372,69987	0,6349981	0,036152	3,6152	0,0186768	2,6894592	0,63815043
2360	372,40695	0,6357299	0,0361713	3,61713	0,0187227	2,6960688	0,638886499
2370	372,11831	0,6364555	0,0361904	3,61904	0,0187682	2,7026208	0,63961633
2380	371,83389	0,6371747	0,0362094	3,62094	0,0188134	2,7091296	0,640339735
2390	371,55363	0,6378877	0,0362282	3,62282	0,0188582	2,7155808	0,6410569
2400	371,27746	0,6385943	0,0362469	3,62469	0,0189027	2,7219888	0,641767639
2410	371,00532	0,6392946	0,0362655	3,62655	0,0189469	2,7283536	0,642472052
2420	370,73714	0,6399887	0,0362839	3,62839	0,0189907	2,7346608	0,643170225
2430	370,47287	0,6406764	0,0363022	3,63022	0,0190342	2,7409248	0,643861972
2440	370,21245	0,6413577	0,0363204	3,63204	0,0190773	2,7471312	0,644547286
2450	369,95581	0,6420328	0,0363384	3,63384	0,0191202	2,7533088	0,645226374
2460	369,7029	0,6427016	0,0363564	3,63564	0,0191626	2,7594144	0,645899127
2470	369,45366	0,643364	0,0363742	3,63742	0,0192048	2,7654912	0,646565456
2480	369,20804	0,6440202	0,0363919	3,63919	0,0192466	2,7715104	0,64722555
2490	368,96597	0,64467	0,0364094	3,64094	0,0192881	2,7774864	0,647879213
2500	368,72741	0,6453136	0,0364269	3,64269	0,0193293	2,7834192	0,648526655
2510	368,4923	0,6459509	0,0364442	3,64442	0,0193702	2,7893088	0,649167764
2520	368,26059	0,646582	0,0364615	3,64615	0,0194107	2,7951408	0,649802645
2530	368,03223	0,6472068	0,0364786	3,64786	0,0194509	2,8009296	0,650431195
2540	367,80716	0,6478253	0,0364956	3,64956	0,0194908	2,8066752	0,651053418
2550	367,58534	0,6484377	0,0365125	3,65125	0,0195303	2,8123632	0,651669507
2560	367,36671	0,6490438	0,0365293	3,65293	0,0195696	2,8180224	0,652279276
2570	367,15123	0,6496438	0,036546	3,6546	0,0196085	2,823624	0,652882912
2580	366,93884	0,6502376	0,0365626	3,65626	0,0196472	2,8291968	0,653480328
2590	366,72951	0,6508253	0,0365791	3,65791	0,0196855	2,834712	0,654071611
2600	366,52318	0,6514068	0,0365955	3,65955	0,0197235	2,840184	0,654656667
2610	366,31981	0,6519823	0,0366118	3,66118	0,0197612	2,8456128	0,655235696
2620	366,11935	0,6525517	0,0366279	3,66279	0,0197986	2,8509984	0,655808594
2630	365,92175	0,6531115	0,036644	3,6644	0,0198357	2,8563408	0,65637537
2640	365,72699	0,6536722	0,03666	3,666	0,0198724	2,8616256	0,656936013
2650	365,535	0,6542235	0,036676	3,6676	0,0199089	2,8668816	0,657490741
2660	365,34575	0,6547688	0,0366918	3,66918	0,0199451	2,8720944	0,658039437
2670	365,1592	0,6553081	0,0367075	3,67075	0,019981	2,877264	0,658582107
2680	364,9753	0,6558415	0,0367231	3,67231	0,0200166	2,8823904	0,65911885
2690	364,79401	0,656369	0,0367387	3,67387	0,0200519	2,8874736	0,659649672
2700	364,6153	0,6568907	0,0367541	3,67541	0,0200869	2,8925136	0,660174662
2710	364,43912	0,6574065	0,0367695	3,67695	0,0201216	2,8975104	0,66069373
2720	364,26544	0,6579164	0,0367848	3,67848	0,020156	2,902464	0,661206872
2730	364,09421	0,6584206	0,0367999	3,67999	0,0201901	2,9073744	0,661714282
2740	363,92541	0,6589191	0,0368151	3,68151	0,020224	2,912256	0,662215983
2750	363,75898	0,6594118	0,0368301	3,68301	0,0202575	2,91708	0,662711845
2760	363,5949	0,6598988	0,036845	3,6845	0,0202908	2,9218752	0,663201988
2770	363,43313	0,6603802	0,0368599	3,68599	0,0203238	2,9266272	0,663686509
2780	363,27363	0,660856	0,0368746	3,68746	0,0203565	2,931336	0,664165398
2790	363,11637	0,6613262	0,0368893	3,68893	0,0203889	2,9360016	0,664638666
2800	362,96132	0,6617908	0,0369039	3,69039	0,0204211	2,9406384	0,665106314
2810	362,80843	0,6622499	0,0369185	3,69185	0,020453	2,945232	0,665568441
2820	362,65768	0,6627035	0,0369329	3,69329	0,0204846	2,9497824	0,666025036
2830	362,50904	0,6631517	0,0369473	3,69473	0,020516	2,954304	0,666476217
2840	362,36246	0,6635944	0,0369616	3,69616	0,020547	2,958768	0,666921864
2850	362,21793	0,6640318	0,0369758	3,69758	0,0205778	2,9632032	0,667362192
2860	362,0754	0,6644638	0,0369899	3,69899	0,0206084	2,9676096	0,6677971
2870	361,93485	0,6648906	0,037004	3,7004	0,0206387	2,9719728	0,668226786
2880	361,79625	0,665312	0,037018	3,7018	0,0206687	2,9762928	0,668651046
2890	361,65956	0,6657283	0,0370319	3,70319	0,0206984	2,9805696	0,66907018
2900	361,52475	0,6661393	0,0370457	3,70457	0,0207279	2,9848176	0,669483994
2910	361,39181	0,6665452	0,0370595	3,70595	0,0207572	2,9890368	0,669892693
2920	361,26069	0,666946	0,0370732	3,70732	0,0207862	2,9932128	0,670296266
2930	361,13137	0,6673416	0,0370868	3,70868	0,0208149	2,9973456	0,670694613

2940	361,00383	0,6677323	0,0371003	3,71003	0,0208434	3,0014496	0,67108804
2950	360,87803	0,6681179	0,0371138	3,71138	0,0208716	3,0055104	0,671476345
2960	360,75395	0,6684986	0,0371272	3,71272	0,0208996	3,0095424	0,671859731
2970	360,63155	0,6688744	0,0371405	3,71405	0,0209273	3,0135312	0,672238191
2980	360,51083	0,6692452	0,0371538	3,71538	0,0209548	3,0174912	0,672611636
2990	360,39174	0,6696113	0,037167	3,7167	0,0209821	3,0214224	0,672980361
3000	360,27427	0,6699725	0,0371801	3,71801	0,0210091	3,0253104	0,67334416
3010	360,15839	0,6703289	0,0371931	3,71931	0,0210358	3,0291552	0,673703133
3020	360,04407	0,6706807	0,0372061	3,72061	0,0210624	3,0329856	0,674057498
3030	359,93129	0,6710277	0,037219	3,7219	0,0210887	3,0367728	0,674407036
3040	359,82003	0,6713701	0,0372319	3,72319	0,0211147	3,0405168	0,674751953
3050	359,71026	0,6717079	0,0372446	3,72446	0,0211405	3,044232	0,675092246
3060	359,60197	0,6720411	0,0372573	3,72573	0,0211661	3,0479184	0,675427924
3070	359,49512	0,6723698	0,03727	3,727	0,0211915	3,051576	0,675759088
3080	359,38969	0,672694	0,0372826	3,72826	0,0212166	3,0551904	0,676085725
3090	359,28567	0,6730138	0,0372951	3,72951	0,0212415	3,058776	0,676407943
3100	359,18303	0,6733291	0,0373075	3,73075	0,0212662	3,0623328	0,676725641
3110	359,08175	0,6736401	0,0373199	3,73199	0,0212907	3,0658608	0,677039025
3120	358,98181	0,6739467	0,0373322	3,73322	0,0213149	3,0693456	0,677347983
3130	358,88319	0,6742491	0,0373444	3,73444	0,0213389	3,0728016	0,677652721
3140	358,78587	0,6745472	0,0373566	3,73566	0,0213627	3,0762288	0,677953144
3150	358,68983	0,6748411	0,0373687	3,73687	0,0213863	3,0796272	0,678249349
3160	358,59505	0,6751309	0,0373807	3,73807	0,0214097	3,0829968	0,678541433
3170	358,5015	0,6754165	0,0373927	3,73927	0,0214328	3,0863232	0,678829297
3180	358,40918	0,675698	0,0374046	3,74046	0,0214558	3,0896352	0,679113048
3190	358,31806	0,6759755	0,0374165	3,74165	0,0214785	3,092904	0,679392777
3200	358,22813	0,676249	0,0374282	3,74282	0,021501	3,096144	0,679668482
3210	358,13936	0,6765185	0,03744	3,744	0,0215234	3,0993696	0,679940185
3220	358,05174	0,6767841	0,0374516	3,74516	0,0215455	3,102552	0,680207956
3230	357,96525	0,6770458	0,0374632	3,74632	0,0215674	3,1057056	0,680471813
3240	357,87988	0,6773037	0,0374748	3,74748	0,0215891	3,1088304	0,680731855
3250	357,7956	0,6775577	0,0374862	3,74862	0,0216106	3,1119264	0,680987973
3260	357,71241	0,677808	0,0374976	3,74976	0,0216319	3,1149936	0,681240377
3270	357,63027	0,6780546	0,037509	3,7509	0,021653	3,118032	0,681489066
3280	357,54919	0,6782974	0,0375203	3,75203	0,0216739	3,1210416	0,681733936
3290	357,46914	0,6785367	0,0375315	3,75315	0,0216946	3,1240224	0,681975286
3300	357,39011	0,6787723	0,0375426	3,75426	0,0217152	3,1269888	0,682212924
3310	357,31208	0,6790043	0,0375537	3,75537	0,0217355	3,129912	0,682446941
3320	357,23504	0,6792328	0,0375648	3,75648	0,0217556	3,1328064	0,682677443
3330	357,15897	0,6794578	0,0375757	3,75757	0,0217756	3,1356864	0,682904428
3340	357,08385	0,6796794	0,0375866	3,75866	0,0217953	3,1385232	0,683127992
3350	357,00969	0,6798975	0,0375975	3,75975	0,0218149	3,1413456	0,683348048
3360	356,93645	0,6801123	0,0376083	3,76083	0,0218343	3,1441392	0,683564785
3370	356,86413	0,6803237	0,037619	3,7619	0,0218535	3,146904	0,683778102
3380	356,79271	0,6805318	0,0376297	3,76297	0,0218726	3,1496544	0,683988112
3390	356,72218	0,6807367	0,0376403	3,76403	0,0218914	3,1523616	0,684194896
3400	356,65253	0,6809383	0,0376508	3,76508	0,0219101	3,1550544	0,684398367
3410	356,58375	0,6811367	0,0376613	3,76613	0,0219286	3,1577184	0,684598624
3420	356,51581	0,681332	0,0376717	3,76717	0,0219469	3,1603536	0,684795762
3430	356,44872	0,6815242	0,0376821	3,76821	0,021965	3,16296	0,684989785
3440	356,38245	0,6817133	0,0376924	3,76924	0,021983	3,165552	0,685180696
3450	356,317	0,6818994	0,0377027	3,77027	0,0220008	3,1681152	0,685368593
3460	356,25235	0,6820824	0,0377128	3,77128	0,0220185	3,170664	0,685553372
3470	356,1885	0,6822625	0,037723	3,7723	0,0220359	3,1731696	0,685735235
3480	356,12543	0,6824397	0,037733	3,7733	0,0220532	3,1756608	0,68591418
3490	356,06313	0,682614	0,037743	3,7743	0,0220703	3,1781232	0,686090212
3500	356,00158	0,6827854	0,037753	3,7753	0,0220873	3,1805712	0,686263336
3510	355,94079	0,682954	0,0377629	3,77629	0,0221041	3,1829904	0,68643364
3520	355,88074	0,6831198	0,0377727	3,77727	0,0221207	3,1853808	0,686601125

3530	355,82141	0,6832829	0,0377825	3,77825	0,0221372	3,1877568	0,686765903
3540	355,76281	0,6834432	0,0377922	3,77922	0,0221535	3,190104	0,686927862
3550	355,70491	0,6836009	0,0378019	3,78019	0,0221697	3,1924368	0,687087213
3560	355,64771	0,6837559	0,0378114	3,78114	0,0221857	3,1947408	0,68724384
3570	355,5912	0,6839083	0,037821	3,7821	0,0222015	3,197016	0,687397858
3580	355,53538	0,6840582	0,0378305	3,78305	0,0222172	3,1992768	0,687549363
3590	355,48022	0,6842055	0,0378399	3,78399	0,0222328	3,2015232	0,687698257
3600	355,42572	0,6843503	0,0378492	3,78492	0,0222482	3,2037408	0,68784463
3610	355,37188	0,6844926	0,0378586	3,78586	0,0222634	3,2059296	0,687988495
3620	355,31869	0,6846325	0,0378678	3,78678	0,0222785	3,208104	0,688129942
3630	355,26613	0,68477	0,037877	3,7877	0,0222934	3,2102496	0,688268975
3640	355,2142	0,6849052	0,0378861	3,78861	0,0223082	3,2123808	0,688405695
3650	355,16289	0,6850379	0,0378952	3,78952	0,0223229	3,2144976	0,688539909
3660	355,11219	0,6851684	0,0379042	3,79042	0,0223374	3,2165856	0,688671903
3670	355,0621	0,6852966	0,0379132	3,79132	0,0223517	3,2186448	0,688801582
3680	355,0126	0,6854226	0,0379221	3,79221	0,0223659	3,2206896	0,68892905
3690	354,96369	0,6855464	0,0379309	3,79309	0,02238	3,22272	0,689054305
3700	354,91537	0,685668	0,0379397	3,79397	0,0223939	3,2247216	0,689177346
3710	354,86762	0,6857874	0,0379484	3,79484	0,0224077	3,2267088	0,689298174
3720	354,82044	0,6859048	0,0379571	3,79571	0,0224214	3,2286816	0,689416996
3730	354,77381	0,6860201	0,0379657	3,79657	0,0224349	3,2306256	0,689533698
3740	354,72775	0,6861333	0,0379742	3,79742	0,0224483	3,2325552	0,689648288
3750	354,68223	0,6862445	0,0379827	3,79827	0,0224616	3,2344704	0,68976087
3760	354,63725	0,6863537	0,0379912	3,79912	0,0224747	3,2363568	0,689871438
3770	354,5928	0,686461	0,0379996	3,79996	0,0224877	3,2382288	0,689980094
3780	354,54888	0,6865664	0,0380079	3,80079	0,0225005	3,240072	0,690086831
3790	354,50549	0,6866698	0,0380162	3,80162	0,0225133	3,2419152	0,690191568
3800	354,46261	0,6867714	0,0380244	3,80244	0,0225259	3,2437296	0,690294485
3810	354,42024	0,6868712	0,0380325	3,80325	0,0225383	3,2455152	0,690395583
3820	354,37838	0,6869692	0,0380406	3,80406	0,0225507	3,2473008	0,69049488
3830	354,33701	0,6870654	0,0380487	3,80487	0,0225629	3,2490576	0,690592364
3840	354,29614	0,6871598	0,0380566	3,80566	0,022575	3,2508	0,690688803
3850	354,25575	0,6872526	0,0380646	3,80646	0,0225869	3,2525136	0,690782087
3860	354,21585	0,6873437	0,0380724	3,80724	0,0225988	3,2542272	0,690874434
3870	354,17643	0,6874331	0,0380802	3,80802	0,0226105	3,255912	0,690965066
3880	354,13747	0,6875209	0,038088	3,8088	0,0226221	3,2575824	0,691054091
3890	354,09899	0,6876071	0,0380957	3,80957	0,0226336	3,2592384	0,691141504
3900	354,06096	0,6876917	0,0381033	3,81033	0,022645	3,26088	0,691227305
3910	354,0234	0,6877748	0,0381109	3,81109	0,0226562	3,2624928	0,691311591
3920	353,98628	0,6878563	0,0381185	3,81185	0,0226674	3,2641056	0,691394278
3930	353,94962	0,6879364	0,0381259	3,81259	0,0226784	3,2656896	0,69147554
3940	353,91339	0,688015	0,0381334	3,81334	0,0226893	3,2672592	0,6915553
3950	353,87761	0,6880922	0,0381407	3,81407	0,0227001	3,2688144	0,691633642
3960	353,84226	0,688168	0,038148	3,8148	0,0227107	3,2703408	0,69171057
3970	353,80735	0,6882424	0,0381553	3,81553	0,0227213	3,2718672	0,691786099
3980	353,77286	0,6883155	0,0381624	3,81624	0,0227317	3,2733648	0,691860302
3990	353,73879	0,6883872	0,0381696	3,81696	0,0227421	3,2748624	0,691933111
4000	353,70514	0,6884577	0,0381767	3,81767	0,0227523	3,2763312	0,692004701
4010	353,67191	0,6885269	0,0381837	3,81837	0,0227624	3,2777856	0,692074978
4020	353,63909	0,6885948	0,0381906	3,81906	0,0227725	3,27924	0,69214395
4030	353,60667	0,6886615	0,0381976	3,81976	0,0227824	3,2806656	0,692211713
4040	353,57466	0,688727	0,0382044	3,82044	0,0227922	3,2820768	0,692278258
4050	353,54305	0,6887914	0,0382112	3,82112	0,0228019	3,2834736	0,692343697
4060	353,51183	0,6888546	0,0382179	3,82179	0,0228115	3,284856	0,692407923
4070	353,48101	0,6889167	0,0382246	3,82246	0,022821	3,286224	0,692471042
4080	353,45058	0,6889777	0,0382312	3,82312	0,0228303	3,2875632	0,692533042
4090	353,42054	0,6890376	0,0382378	3,82378	0,0228396	3,2889024	0,692593941
4100	353,39088	0,6890965	0,0382443	3,82443	0,0228488	3,2902272	0,692653829
4110	353,3616	0,6891543	0,0382508	3,82508	0,0228579	3,2915376	0,692712609

4120	353,3327	0,6892112	0,0382572	3,82572	0,0228669	3,2928336	0,692770477
4130	353,30417	0,6892671	0,0382635	3,82635	0,0228758	3,2941152	0,692827333
4140	353,27601	0,689322	0,0382698	3,82698	0,0228846	3,2953824	0,692883181
4150	353,24823	0,689376	0,038276	3,8276	0,0228933	3,2966352	0,692938118
4160	353,22081	0,6894292	0,0382822	3,82822	0,0229019	3,2978736	0,692992247
4170	353,19375	0,6894814	0,0382883	3,82883	0,0229104	3,2990976	0,693045364
4180	353,16706	0,6895328	0,0382944	3,82944	0,0229188	3,3003072	0,693097674
4190	353,14072	0,6895833	0,0383004	3,83004	0,0229271	3,3015024	0,693149071
4200	353,11474	0,6896331	0,0383064	3,83064	0,0229353	3,3026832	0,693199762
4210	353,08911	0,689682	0,0383123	3,83123	0,0229434	3,3038496	0,69324954
4220	353,06384	0,6897302	0,0383181	3,83181	0,0229515	3,305016	0,693298613
4230	353,03891	0,6897777	0,0383239	3,83239	0,0229594	3,3061536	0,693346972
4240	353,01433	0,6898244	0,0383296	3,83296	0,0229673	3,3072912	0,693394526
4250	352,99009	0,6898704	0,0383353	3,83353	0,022975	3,3084	0,693441365
4260	352,96619	0,6899157	0,0383409	3,83409	0,0229827	3,3095088	0,693487499
4270	352,94264	0,6899604	0,0383464	3,83464	0,0229903	3,3106032	0,693533022
4280	352,91942	0,6900045	0,0383519	3,83519	0,0229978	3,3116832	0,693577937
4290	352,89654	0,6900479	0,0383574	3,83574	0,0230052	3,3127488	0,693622144
4300	352,87399	0,6900907	0,0383627	3,83627	0,0230126	3,3138144	0,693665742
4310	352,85178	0,690133	0,0383681	3,83681	0,0230198	3,3148512	0,693708831
4320	352,82989	0,6901747	0,0383733	3,83733	0,023027	3,315888	0,693751309
4330	352,80834	0,6902159	0,0383786	3,83786	0,023034	3,316896	0,693793278
4340	352,78711	0,6902566	0,0383837	3,83837	0,023041	3,317904	0,693834737
4350	352,7662	0,6902968	0,0383888	3,83888	0,0230479	3,3188976	0,693875689
4360	352,74562	0,6903365	0,0383939	3,83939	0,0230548	3,3198912	0,693916141
4370	352,72536	0,6903757	0,0383989	3,83989	0,0230615	3,320856	0,693956073
4380	352,70541	0,6904145	0,0384038	3,84038	0,0230682	3,3218208	0,6939956
4390	352,68579	0,6904529	0,0384087	3,84087	0,0230748	3,3227712	0,694034721
4400	352,66648	0,690491	0,0384135	3,84135	0,0230813	3,3237072	0,694073529
4410	352,64749	0,6905286	0,0384182	3,84182	0,0230877	3,3246288	0,694111824
4420	352,62882	0,6905659	0,0384229	3,84229	0,023094	3,325536	0,694149813
4430	352,61045	0,6906028	0,0384276	3,84276	0,0231003	3,3264432	0,694187402
4440	352,59239	0,6906395	0,0384322	3,84322	0,0231065	3,327336	0,694224778
4450	352,57465	0,6906758	0,0384367	3,84367	0,0231126	3,3282144	0,694261742
4460	352,55721	0,6907119	0,0384412	3,84412	0,0231187	3,3290928	0,694298506
4470	352,54008	0,6907477	0,0384456	3,84456	0,0231246	3,3299424	0,694334951
4480	352,52326	0,6907832	0,03845	3,845	0,0231305	3,330792	0,694371096
4490	352,50674	0,6908185	0,0384543	3,84543	0,0231363	3,3316272	0,694407029
4500	352,49052	0,6908536	0,0384585	3,84585	0,0231421	3,3324624	0,694442756
4510	352,47461	0,6908886	0,0384627	3,84627	0,0231477	3,3332688	0,694478369
4520	352,45899	0,6909233	0,0384668	3,84668	0,0231533	3,3340752	0,694513678
4530	352,44368	0,6909579	0,0384709	3,84709	0,0231588	3,3348672	0,694548879
4540	352,42866	0,6909924	0,0384749	3,84749	0,0231643	3,3356592	0,694583975
4550	352,41394	0,6910267	0,0384789	3,84789	0,0231697	3,3364368	0,694618863
4560	352,39952	0,6910609	0,0384828	3,84828	0,023175	3,3372	0,69465364
4570	352,3854	0,6910951	0,0384867	3,84867	0,0231802	3,3379488	0,694688409
4580	352,37157	0,6911291	0,0384904	3,84904	0,0231854	3,3386976	0,694722969
4590	352,35803	0,6911632	0,0384942	3,84942	0,0231905	3,339432	0,694757626
4600	352,34479	0,6911972	0,0384978	3,84978	0,0231955	3,340152	0,694792166
4610	352,33184	0,6912311	0,0385015	3,85015	0,0232005	3,340872	0,694826611
4620	352,31917	0,6912651	0,038505	3,8505	0,0232054	3,3415776	0,694861139
4630	352,3068	0,6912991	0,0385085	3,85085	0,0232102	3,3422688	0,694895659
4640	352,29472	0,6913331	0,038512	3,8512	0,0232149	3,3429456	0,694930173
4650	352,28293	0,6913671	0,0385153	3,85153	0,0232196	3,3436224	0,694964676
4660	352,27143	0,6914012	0,0385187	3,85187	0,0232242	3,3442848	0,694999277
4670	352,26021	0,6914354	0,0385219	3,85219	0,0232288	3,3449472	0,695033969
4680	352,24928	0,6914697	0,0385251	3,85251	0,0232333	3,3455952	0,695068753
4690	352,23863	0,691504	0,0385283	3,85283	0,0232377	3,3462288	0,695103529
4700	352,22827	0,6915385	0,0385314	3,85314	0,0232421	3,3468624	0,695138501

4710	352,21819	0,6915732	0,0385344	3,85344	0,0232464	3,3474816	0,695173661
4720	352,2084	0,691608	0,0385374	3,85374	0,0232506	3,3480864	0,695208913
4730	352,19889	0,6916429	0,0385403	3,85403	0,0232548	3,3486912	0,695244261
4740	352,18966	0,6916781	0,0385432	3,85432	0,0232589	3,3492816	0,695279901
4750	352,18072	0,6917134	0,038546	3,8546	0,0232629	3,3498576	0,695315629
4760	352,17205	0,6917489	0,0385487	3,85487	0,0232669	3,3504336	0,695351552
4770	352,16366	0,6917847	0,0385514	3,85514	0,0232709	3,3510096	0,695387775
4780	352,15556	0,6918207	0,038554	3,8554	0,0232747	3,3515568	0,695424178
4790	352,14773	0,691857	0,0385566	3,85566	0,0232785	3,352104	0,695460882
4800	352,14018	0,6918936	0,0385591	3,85591	0,0232823	3,3526512	0,695497881
4810	352,13292	0,6919304	0,0385615	3,85615	0,0232859	3,3531696	0,69553506
4820	352,12592	0,6919675	0,0385639	3,85639	0,0232896	3,3537024	0,695572546
4830	352,11921	0,6920049	0,0385663	3,85663	0,0232931	3,3542064	0,695610318
4840	352,11277	0,6920427	0,0385685	3,85685	0,0232966	3,3547104	0,69564848
4850	352,10661	0,6920808	0,0385707	3,85707	0,0233001	3,3552144	0,695686942
4860	352,10072	0,6921192	0,0385729	3,85729	0,0233035	3,355704	0,695725697
4870	352,09511	0,6921581	0,038575	3,8575	0,0233068	3,3561792	0,69576494
4880	352,08977	0,6921973	0,038577	3,8577	0,0233101	3,3566544	0,695804477
4890	352,08471	0,6922369	0,038579	3,8579	0,0233133	3,3571152	0,695844408
4900	352,07992	0,6922769	0,0385809	3,85809	0,0233164	3,3575616	0,695884726
4910	352,0754	0,6923173	0,0385827	3,85827	0,0233195	3,358008	0,695925439
4920	352,07116	0,6923581	0,0385845	3,85845	0,0233226	3,3584544	0,695966552
4930	352,06719	0,6923994	0,0385863	3,85863	0,0233256	3,3588864	0,696008158
4940	352,06349	0,6924412	0,0385879	3,85879	0,0233285	3,359304	0,696050247
4950	352,06006	0,6924834	0,0385895	3,85895	0,0233314	3,3597216	0,696092736
4960	352,0569	0,6925261	0,0385911	3,85911	0,0233342	3,3601248	0,696135717
4970	352,05402	0,6925693	0,0385926	3,85926	0,023337	3,360528	0,696179194
4980	352,0514	0,692613	0,038594	3,8594	0,0233397	3,3609168	0,696223158
4990	352,04905	0,6926573	0,0385954	3,85954	0,0233424	3,3613056	0,696267723
5000	352,04698	0,6927021	0,0385967	3,85967	0,023345	3,36168	0,696312775
5010	352,04517	0,6927474	0,0385979	3,85979	0,0233475	3,36204	0,696358315
5020	352,04363	0,6927933	0,0385991	3,85991	0,02335	3,3624	0,696404455
5030	352,04236	0,6928397	0,0386002	3,86002	0,0233525	3,36276	0,69645109
5040	352,04136	0,6928867	0,0386013	3,86013	0,0233549	3,3631056	0,696498318
5050	352,04062	0,6929344	0,0386023	3,86023	0,0233572	3,3634368	0,696546233
5060	352,04015	0,6929826	0,0386032	3,86032	0,0233595	3,363768	0,696594644
5070	352,03995	0,6930315	0,0386041	3,86041	0,0233617	3,3640848	0,696643747
5080	352,04001	0,693081	0,0386049	3,86049	0,0233639	3,3644016	0,696693446
5090	352,04034	0,6931311	0,0386057	3,86057	0,0233661	3,3647184	0,696743744
5100	352,04094	0,6931819	0,0386064	3,86064	0,0233682	3,3650208	0,69679473
5110	352,0418	0,6932333	0,038607	3,8607	0,0233702	3,3653088	0,696846304
5120	352,04292	0,6932855	0,0386075	3,86075	0,0233722	3,3655968	0,696898673
5130	352,04431	0,6933383	0,038608	3,8608	0,0233741	3,3658704	0,696951635
5140	352,04597	0,6933918	0,0386085	3,86085	0,023376	3,366144	0,697005297
5150	352,04788	0,693446	0,0386089	3,86089	0,0233778	3,3664032	0,697059647
5160	352,05006	0,693501	0,0386092	3,86092	0,0233796	3,3666624	0,697114791
5170	352,05251	0,6935567	0,0386094	3,86094	0,0233814	3,3669216	0,697170631
5180	352,05521	0,6936131	0,0386096	3,86096	0,0233831	3,3671664	0,697227163
5190	352,05818	0,6936703	0,0386097	3,86097	0,0233847	3,3673968	0,697284483
5200	352,06141	0,6937283	0,0386098	3,86098	0,0233863	3,3676272	0,697342604
5210	352,0649	0,693787	0,0386098	3,86098	0,0233878	3,3678432	0,697401412
5220	352,06865	0,6938465	0,0386097	3,86097	0,0233893	3,3680592	0,697461015
5230	352,07266	0,6939068	0,0386096	3,86096	0,0233908	3,3682752	0,697521418
5240	352,07693	0,693968	0,0386094	3,86094	0,0233922	3,3684768	0,697582708
5250	352,08146	0,6940299	0,0386091	3,86091	0,0233935	3,368664	0,697644687
5260	352,08625	0,6940927	0,0386088	3,86088	0,0233948	3,3688512	0,697707566
5270	352,09129	0,6941564	0,0386084	3,86084	0,0233961	3,3690384	0,697771339
5280	352,0966	0,6942208	0,0386079	3,86079	0,0233973	3,3692112	0,697835801
5290	352,10216	0,6942862	0,0386074	3,86074	0,0233985	3,369384	0,697901262

5300	352,10798	0,6943524	0,0386068	3,86068	0,0233996	3,3695424	0,697967511
5310	352,11405	0,6944195	0,0386062	3,86062	0,0234007	3,3697008	0,69803466
5320	352,12038	0,6944875	0,0386055	3,86055	0,0234017	3,3698448	0,698102697
5330	352,12697	0,6945564	0,0386047	3,86047	0,0234027	3,3699888	0,698171629
5340	352,13381	0,6946262	0,0386038	3,86038	0,0234036	3,3701184	0,698241449
5350	352,1409	0,694697	0,0386029	3,86029	0,0234045	3,370248	0,698312269
5360	352,14825	0,6947687	0,038602	3,8602	0,0234053	3,3703632	0,698383982
5370	352,15586	0,6948413	0,0386009	3,86009	0,0234061	3,3704784	0,698456584
5380	352,16371	0,6949149	0,0385998	3,85998	0,0234069	3,3705936	0,698530187
5390	352,17182	0,6949894	0,0385986	3,85986	0,0234076	3,3706944	0,698604677
5400	352,18017	0,6950649	0,0385974	3,85974	0,0234083	3,3707952	0,698680168
5410	352,18878	0,6951415	0,0385961	3,85961	0,0234089	3,3708816	0,698756746
5420	352,19764	0,695219	0,0385947	3,85947	0,0234095	3,370968	0,698834219
5430	352,20675	0,6952975	0,0385932	3,85932	0,02341	3,37104	0,69891268
5440	352,21611	0,695377	0,0385917	3,85917	0,0234105	3,371112	0,698992141
5450	352,22571	0,6954575	0,0385901	3,85901	0,0234109	3,3711696	0,69907259
5460	352,23556	0,6955391	0,0385885	3,85885	0,0234113	3,3712272	0,699154139
5470	352,24566	0,6956217	0,0385867	3,85867	0,0234117	3,3712848	0,699236677
5480	352,25601	0,6957054	0,038585	3,8585	0,023412	3,371328	0,699320314
5490	352,2666	0,6957902	0,0385831	3,85831	0,0234123	3,3713712	0,699405041
5500	352,27743	0,695876	0,0385812	3,85812	0,0234125	3,3714	0,69949076
5510	352,28851	0,6959629	0,0385792	3,85792	0,0234127	3,3714288	0,699577574
5520	352,29983	0,6960508	0,0385771	3,85771	0,0234128	3,3714432	0,699665377
5530	352,31139	0,6961399	0,038575	3,8575	0,0234129	3,3714576	0,699754379
5540	352,32319	0,6962301	0,0385728	3,85728	0,023413	3,371472	0,699844476
5550	352,33524	0,6963214	0,0385705	3,85705	0,023413	3,371472	0,699935661
5560	352,34752	0,6964139	0,0385682	3,85682	0,0234129	3,3714576	0,700028039
5570	352,36004	0,6965075	0,0385657	3,85657	0,0234129	3,3714576	0,700121514
5580	352,3728	0,6966022	0,0385633	3,85633	0,0234128	3,3714432	0,700216087
5590	352,38579	0,6966981	0,0385607	3,85607	0,0234126	3,3714144	0,700311842
5600	352,39902	0,6967951	0,0385581	3,85581	0,0234124	3,3713856	0,700408698
5610	352,41248	0,6968934	0,0385554	3,85554	0,0234122	3,3713568	0,700506848
5620	352,42618	0,6969928	0,0385526	3,85526	0,0234119	3,3713136	0,700606087
5630	352,44011	0,6970934	0,0385498	3,85498	0,0234116	3,3712704	0,700706525
5640	352,45427	0,6971952	0,0385468	3,85468	0,0234112	3,3712128	0,700808146
5650	352,46866	0,6972982	0,0385439	3,85439	0,0234108	3,3711552	0,700910973
5660	352,48328	0,6974025	0,0385408	3,85408	0,0234103	3,3710832	0,701015082
5670	352,49813	0,6975079	0,0385377	3,85377	0,0234098	3,3710112	0,701120291
5680	352,5132	0,6976146	0,0385345	3,85345	0,0234093	3,3709392	0,701226795
5690	352,5285	0,6977226	0,0385312	3,85312	0,0234087	3,3708528	0,701334586
5700	352,54402	0,6978318	0,0385278	3,85278	0,0234081	3,3707664	0,701443573
5710	352,55976	0,6979423	0,0385244	3,85244	0,0234075	3,37068	0,70155386
5720	352,57573	0,698054	0,0385209	3,85209	0,0234068	3,3705792	0,701665335
5730	352,59191	0,698167	0,0385173	3,85173	0,023406	3,370464	0,701778097
5740	352,60832	0,6982814	0,0385137	3,85137	0,0234053	3,3703632	0,701892267
5750	352,62493	0,698397	0,03851	3,851	0,0234045	3,370248	0,702007624
5760	352,64177	0,6985139	0,0385062	3,85062	0,0234036	3,3701184	0,702124269
5770	352,65882	0,6986322	0,0385023	3,85023	0,0234027	3,3699888	0,702242309
5780	352,67608	0,6987518	0,0384983	3,84983	0,0234018	3,3698592	0,702361645
5790	352,69355	0,6988727	0,0384943	3,84943	0,0234008	3,3697152	0,702482273
5800	352,71123	0,6989949	0,0384902	3,84902	0,0233998	3,3695712	0,702604196
5810	352,72912	0,6991186	0,038486	3,8486	0,0233987	3,3694128	0,702727606
5820	352,74721	0,6992435	0,0384818	3,84818	0,0233976	3,3692544	0,702852217
5830	352,76551	0,6993699	0,0384774	3,84774	0,0233965	3,369096	0,702978318
5840	352,78401	0,6994976	0,038473	3,8473	0,0233953	3,3689232	0,703105712
5850	352,80271	0,6996267	0,0384685	3,84685	0,0233941	3,3687504	0,7032345
5860	352,8216	0,6997572	0,038464	3,8464	0,0233928	3,3685632	0,703364682
5870	352,8407	0,6998892	0,0384593	3,84593	0,0233915	3,368376	0,703496353
5880	352,85998	0,7000225	0,0384546	3,84546	0,0233902	3,3681888	0,703629324

5890	352,87946	0,7001572	0,0384498	3,84498	0,0233888	3,3679872	0,703763684
5900	352,89913	0,7002934	0,0384449	3,84449	0,0233874	3,3677856	0,703899538
5910	352,91899	0,7004311	0,0384399	3,84399	0,0233886	3,367584	0,704036887
5920	352,93903	0,7005701	0,0384349	3,84349	0,0233845	3,367368	0,704175529
5930	352,95925	0,7007107	0,0384298	3,84298	0,0233829	3,3671376	0,704315759
5940	352,97966	0,7008527	0,0384246	3,84246	0,0233814	3,3669216	0,704457391
5950	353,00025	0,7009961	0,0384193	3,84193	0,0233797	3,3666768	0,704600403
5960	353,02101	0,7011411	0,0384139	3,84139	0,0233781	3,3664464	0,704745018
5970	353,04194	0,7012875	0,0384085	3,84085	0,0233764	3,3662016	0,704891026
5980	353,06305	0,7014355	0,0384029	3,84029	0,0233747	3,3659568	0,705038623
5990	353,08432	0,701585	0,0383973	3,83973	0,0233729	3,3656976	0,705187714
6000	353,10576	0,7017359	0,0383916	3,83916	0,0233711	3,3654384	0,705338199
6010	353,12737	0,7018884	0,0383859	3,83859	0,0233692	3,3651648	0,705490277
6020	353,14913	0,7020425	0,03838	3,838	0,0233674	3,3649056	0,705643953
6030	353,17105	0,702198	0,038374	3,8374	0,0233654	3,3646176	0,705799009
6040	353,19313	0,7023552	0,038368	3,8368	0,0233635	3,364344	0,705955772
6050	353,21535	0,7025139	0,0383619	3,83619	0,0233615	3,364056	0,706114023
6060	353,23773	0,7026741	0,0383557	3,83557	0,0233594	3,3637536	0,706273762
6070	353,26025	0,702836	0,0383494	3,83494	0,0233573	3,3634512	0,706435196
6080	353,28291	0,7029994	0,038343	3,8343	0,0233552	3,3631488	0,706598124
6090	353,30572	0,7031644	0,0383366	3,83366	0,0233531	3,3628464	0,706762653
6100	353,32865	0,703331	0,03833	3,833	0,0233509	3,3625296	0,706928765
6110	353,35172	0,7034993	0,0383234	3,83234	0,0233486	3,3621984	0,707096569
6120	353,37492	0,7036691	0,0383167	3,83167	0,0233463	3,3618672	0,707265869
6130	353,39825	0,7038406	0,0383099	3,83099	0,023344	3,361536	0,707436863
6140	353,42169	0,7040137	0,038303	3,8303	0,0233417	3,3612048	0,707609452
6150	353,44525	0,7041885	0,038296	3,8296	0,0233393	3,3608592	0,70778373
6160	353,46893	0,7043649	0,0382889	3,82889	0,0233368	3,3604992	0,707959595
6170	353,49271	0,704543	0,0382818	3,82818	0,0233344	3,3601536	0,708137167
6180	353,5166	0,7047228	0,0382745	3,82745	0,0233318	3,3597792	0,708316415
6190	353,54059	0,7049042	0,0382672	3,82672	0,0233293	3,3594192	0,70849727
6200	353,56468	0,7050874	0,0382598	3,82598	0,0233267	3,3590448	0,708679912
6210	353,58887	0,7052722	0,0382522	3,82522	0,0233241	3,3586704	0,708864145
6220	353,61314	0,7054587	0,0382446	3,82446	0,0233214	3,3582816	0,709050071
6230	353,63749	0,705647	0,0382369	3,82369	0,0233187	3,3578928	0,709237791
6240	353,66193	0,7058369	0,0382291	3,82291	0,023316	3,357504	0,709427107
6250	353,68643	0,7060286	0,0382212	3,82212	0,0233132	3,3571008	0,70961821
6260	353,71101	0,7062221	0,0382132	3,82132	0,0233103	3,3566832	0,709811102
6270	353,73566	0,7064173	0,0382051	3,82051	0,0233075	3,35628	0,710005695
6280	353,76036	0,7066142	0,038197	3,8197	0,0233046	3,3558624	0,710201981
6290	353,78512	0,706813	0,0381887	3,81887	0,0233016	3,3554304	0,71040015
6300	353,80993	0,7070135	0,0381803	3,81803	0,0232987	3,3550128	0,710600021
6310	353,83478	0,7072157	0,0381719	3,81719	0,0232956	3,3545664	0,710801578
6320	353,85967	0,7074198	0,0381633	3,81633	0,0232926	3,3541344	0,711005032
6330	353,88459	0,7076257	0,0381547	3,81547	0,0232895	3,353688	0,711210279
6340	353,90954	0,7078334	0,0381459	3,81459	0,0232863	3,3532272	0,711417309
6350	353,93451	0,7080429	0,0381371	3,81371	0,0232832	3,3527808	0,711626145
6360	353,9595	0,7082542	0,0381281	3,81281	0,02328	3,35232	0,711836765
6370	353,9845	0,7084674	0,0381191	3,81191	0,0232767	3,3518448	0,712049277
6380	354,00949	0,7086824	0,0381099	3,81099	0,0232734	3,3513696	0,71226358
6390	354,03449	0,7088993	0,0381007	3,81007	0,0232701	3,3508944	0,712479782
6400	354,05947	0,709118	0,0380913	3,80913	0,0232667	3,3504048	0,712697767
6410	354,08444	0,7093387	0,0380819	3,80819	0,0232633	3,3499152	0,712917753
6420	354,10938	0,7095611	0,0380723	3,80723	0,0232598	3,3494112	0,713139421
6430	354,1343	0,7097855	0,0380627	3,80627	0,0232563	3,3489072	0,713363089
6440	354,15917	0,7100118	0,0380529	3,80529	0,0232528	3,3484032	0,713588647
6450	354,184	0,71024	0,038043	3,8043	0,0232492	3,3478848	0,713816092
6460	354,20877	0,7104701	0,0380331	3,80331	0,0232456	3,3473664	0,714045438
6470	354,23349	0,7107021	0,038023	3,8023	0,023242	3,346848	0,714276674

6480	354,25814	0,7109361	0,0380128	3,80128	0,0232383	3,3463152	0,714509898
6490	354,28271	0,711172	0,0380026	3,80026	0,0232346	3,3457824	0,714745021
6500	354,30719	0,7114099	0,0379922	3,79922	0,0232308	3,3452352	0,714982128
6510	354,33158	0,7116497	0,0379817	3,79817	0,023227	3,344688	0,715221129
6520	354,35587	0,7118915	0,0379711	3,79711	0,0232231	3,3441264	0,715462118
6530	354,38005	0,7121353	0,0379604	3,79604	0,0232192	3,3435648	0,715705102
6540	354,40411	0,7123811	0,0379496	3,79496	0,0232153	3,3430032	0,715950082
6550	354,42804	0,7126288	0,0379386	3,79386	0,0232113	3,3424272	0,716196944
6560	354,45183	0,7128786	0,0379276	3,79276	0,0232073	3,3418512	0,716445906
6570	354,47548	0,7131304	0,0379165	3,79165	0,0232033	3,3412752	0,716696863
6580	354,49897	0,7133842	0,0379052	3,79052	0,0231992	3,3406848	0,716949802
6590	354,52229	0,7136401	0,0378938	3,78938	0,0231951	3,3400944	0,717204837
6600	354,54543	0,713898	0,0378823	3,78823	0,0231909	3,3394896	0,71746186
6610	354,56839	0,7141579	0,0378707	3,78707	0,0231867	3,3388848	0,717720877
6620	354,59114	0,7144199	0,037859	3,7859	0,0231824	3,3382656	0,717981983
6630	354,61369	0,714684	0,0378472	3,78472	0,0231781	3,3376464	0,718245183
6640	354,63601	0,7149502	0,0378353	3,78353	0,0231738	3,3370272	0,718510479
6650	354,6581	0,7152184	0,0378232	3,78232	0,0231694	3,3363936	0,718777757
6660	354,67995	0,7154888	0,037811	3,7811	0,023165	3,33576	0,71904723
6670	354,70155	0,7157612	0,0377987	3,77987	0,0231605	3,335112	0,719318691
6680	354,72287	0,7160358	0,0377863	3,77863	0,023156	3,334464	0,719592347
6690	354,74391	0,7163125	0,0377738	3,77738	0,0231515	3,333816	0,719868098
6700	354,76467	0,7165914	0,0377612	3,77612	0,0231469	3,3331536	0,720146037
6710	354,78511	0,7168724	0,0377484	3,77484	0,0231423	3,3324912	0,720426066
6720	354,80523	0,7171555	0,0377355	3,77355	0,0231376	3,3318144	0,720708182
6730	354,82502	0,7174408	0,0377225	3,77225	0,0231329	3,3311376	0,720992494
6740	354,84447	0,7177283	0,0377093	3,77093	0,0231282	3,3304608	0,721278995
6750	354,86355	0,718018	0,0376961	3,76961	0,0231234	3,3297696	0,72156769
6760	354,88226	0,7183099	0,0376827	3,76827	0,0231186	3,3290784	0,721858574
6770	354,90057	0,7186039	0,0376692	3,76692	0,0231137	3,3283728	0,722151546
6780	354,91848	0,7189002	0,0376555	3,76555	0,0231088	3,3276672	0,722446809
6790	354,93597	0,7191987	0,0376418	3,76418	0,0231038	3,3269472	0,722744264
6800	354,95302	0,7194994	0,0376279	3,76279	0,0230988	3,3262272	0,723043909
6810	354,96961	0,7198024	0,0376139	3,76139	0,0230938	3,3255072	0,723345849
6820	354,98574	0,7201076	0,0375997	3,75997	0,0230887	3,3247728	0,723649971
6830	355,00138	0,7204151	0,0375854	3,75854	0,0230836	3,3240384	0,723956389
6840	355,01651	0,7207249	0,037571	3,7571	0,0230784	3,3232896	0,724265095
6850	355,03112	0,7210369	0,0375565	3,75565	0,0230732	3,3225408	0,724575995
6860	355,04519	0,7213512	0,0375418	3,75418	0,023068	3,321792	0,724889186
6870	355,0587	0,7216679	0,037527	3,7527	0,0230627	3,3210288	0,725204764
6880	355,07163	0,7219868	0,037512	3,7512	0,0230573	3,3202512	0,725522526
6890	355,08397	0,722308	0,037497	3,7497	0,023052	3,319488	0,725842594
6900	355,09568	0,7226316	0,0374817	3,74817	0,0230465	3,318696	0,726165033
6910	355,10676	0,7229575	0,0374664	3,74664	0,0230411	3,3179184	0,726489779
6920	355,11718	0,7232858	0,0374509	3,74509	0,0230356	3,3171264	0,726816908
6930	355,12692	0,7236164	0,0374353	3,74353	0,02303	3,31632	0,727146325
6940	355,13596	0,7239494	0,0374195	3,74195	0,0230244	3,3155136	0,727478132
6950	355,14427	0,7242848	0,0374036	3,74036	0,0230188	3,3147072	0,727812334
6960	355,15184	0,7246225	0,0373875	3,73875	0,0230131	3,3138864	0,728148818
6970	355,15864	0,7249627	0,0373713	3,73713	0,0230073	3,3130512	0,728487791
6980	355,16464	0,7253052	0,0373549	3,73549	0,0230016	3,3122304	0,72882906
6990	355,16982	0,7256502	0,0373385	3,73385	0,0229958	3,3113952	0,729172823
7000	355,17417	0,7259976	0,0373218	3,73218	0,0229899	3,3105456	0,729518963
7010	355,17764	0,7263474	0,037305	3,7305	0,022984	3,309696	0,729867498
7020	355,18022	0,7266997	0,0372881	3,72881	0,022978	3,308832	0,730218521
7030	355,18188	0,7270544	0,037271	3,7271	0,022972	3,307968	0,730571934
7040	355,18259	0,7274116	0,0372538	3,72538	0,022966	3,307104	0,730927842
7050	355,18233	0,7277713	0,0372364	3,72364	0,0229599	3,3062256	0,731286233
7060	355,18106	0,7281334	0,0372188	3,72188	0,0229538	3,3053472	0,731647014

7070	355,17876	0,7284981	0,0372011	3,72011	0,0229476	3,3044544	0,732010382
7080	355,17539	0,7288652	0,0371833	3,71833	0,0229414	3,3035616	0,732376146
7090	355,17093	0,7292349	0,0371653	3,71653	0,0229351	3,3026544	0,732744492
7100	355,16534	0,7296071	0,0371471	3,71471	0,0229288	3,3017472	0,733115329
7110	355,1586	0,7299818	0,0371288	3,71288	0,0229225	3,30084	0,73348866
7120	355,15067	0,730359	0,0371103	3,71103	0,0229161	3,2999184	0,733864474
7130	355,14151	0,7307388	0,0370916	3,70916	0,0229096	3,2989824	0,734242871
7140	355,1311	0,7311212	0,0370728	3,70728	0,0229031	3,2980464	0,734623863
7150	355,1194	0,7315061	0,0370538	3,70538	0,0228966	3,2971104	0,735007345
7160	355,10637	0,7318937	0,0370347	3,70347	0,02289	3,29616	0,735393515
7170	355,09197	0,7322838	0,0370154	3,70154	0,0228834	3,2952096	0,735782175
7180	355,07617	0,7326765	0,0369959	3,69959	0,0228767	3,2942448	0,736173417
7190	355,05893	0,7330718	0,0369762	3,69762	0,0228699	3,2932656	0,736567243
7200	355,04021	0,7334697	0,0369564	3,69564	0,0228632	3,2923008	0,73696367
		$\lambda a =$	0,0005	$\lambda b =$	0,0005		

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)