



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas
Pós-Graduação *Lato Sensu* em Beneficiamento Mineral

EMANUELA REIS BROD

**AMOSTRAGEM EM POLPA: VALIDAÇÃO DO QUARTEADOR DE
POLPA**

OURO PRETO (MG)

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

EMANUELA REIS BROD

AMOSTRAGEM EM POLPA: VALIDAÇÃO DO QUARTEADOR DE POLPA

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito para obtenção do título de Especialista em Beneficiamento Mineral.

Orientador: Prof. Dr. CARLOS ALBERTO PEREIRA

**OURO PRETO (MG)
2010**

*“O distraído nela tropeçou,
o bruto a usou como projétil,
o empreendedor, usando-a construiu,
o campônio, cansado da lida
dela fez assento,
para os meninos foi brinquedo,
Drummond a poetizou,
Davi matou Golias...
Por fim;
o artista concebeu a mais bela escultura.
Em todos os casos,
a diferença não era a pedra
mas o homem.”*

(Anônimo)

AGRADECIMENTOS

Celeste e Pedro Brod, mamãe e papai, minha fortaleza, pelos ensinamentos, incentivos, gargalhadas e pela *luz no fim do túnel*. Vocês iluminam a minha vida e trazem emoção aos meus dias, sem vocês eu nada seria.

Ana Brod, irmã e melhor amiga, ou seria melhor amiga e irmã!!! Cúmplice em todos os momentos, força e carinho, alegria e incentivo, constante presença e parceria.

Fernando e Juliana Brod, por todo suporte e compreensão. O carinho de vocês minimizou dificuldades.

Nádia Perdigão, Eliana Mano e Lígia Figueiredo, grandes amigas, que sempre me orientaram, apoiaram e incentivaram a lutar pelos meus ideais. A amizade e o profissionalismo de vocês marcaram de forma significativa a minha vida.

Ao Kleber Reis, pela idéia e concepção do trabalho e principalmente pelo suporte, apesar de *tantas pedras no caminho*.

Aos amigos Marcos Vinicius Rodrigues, Natália Souza, Joyce Mercês, Jéssica Amorim e Sue Figueiredo por transformarem o almoço em momentos tão agradáveis que o trabalho e o cansaço dos tantos erros/acertos não pesaram tanto.

A Kelly Oliveira, pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho

À Vale, na pessoa da gerente geral Cristina Valadares, pelo investimento neste trabalho de capacitação técnica.

À minha primeira gerente, Patrice Mazzoni, pelo incentivo para começar essa monografia e ao meu gerente atual, Mário Modesto, pelo empurrão para terminá-la. Sem o apoio de vocês, este projeto teria sido muito mais complexo.

Ao Tonimar Oliveira, Wagner Soares e Luiz Diniz pela realização dos ensaios e por acreditarem na *reabilitação* do quarteador de polpa.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Processo, que, direta ou indiretamente, possibilitaram a caminhada dessa experiência, da maior importância para meu crescimento profissional e humano.

Ao Carlos Alberto Pereira - Carlão, orientador competente, atencioso, receptivo e, acima de tudo, um mestre.

Ao Fabiano Gomes Silva, pelo apoio durante todo o curso. Sua contribuição foi fundamental.

RESUMO

A maior parte das usinas de concentração mineral e de hidrometalurgia processa minérios a úmido; logo uma boa amostragem de fluxos de polpa é essencial para garantir a qualidade do processo. A amostragem em polpa é complexa e, muitas vezes, feita de maneira incorreta. Objetiva este trabalho a otimização do quarteador de polpa existente no Laboratório de Processo do Centro de Desenvolvimento Mineral da Vale. Para este estudo, escolheu-se uma amostra de minério de ferro, que pela sua alta densidade, dificulta a formação de uma polpa homogênea. O minério foi preparado em três (3) granulometrias e em duas (2) concentrações de sólidos diferentes. A eficiência e a reprodutibilidade do quarteador de polpa foram testadas e constatadas através de análises granulométrica e química, realizadas nas alíquotas de alimentação e nas doze (12) repartições do quarteador. O uso do quarteador mostrou-se eficaz em polpas com volumes inferiores a trinta (30) litros, validado seu uso com sucesso no lugar do quarteamento realizado manualmente.

Palavras chave : quarteamento em polpa, validação, minério de ferro

ABSTRACT

Most of the plants and mineral concentration of hydrometallurgy process the ore wet, therefore a good sampling of flow of pulp is essential to ensure the quality of the process. Sampling in pulp is complicated and often done incorrectly. The objective of this work to optimize the pulp sampler existing in the Metallurgical Laboratory of Vale's Development Center of Mineral. For this study, a sample of iron ore are choose, which due to its high density makes it difficult to form a homogeneous pulp. The ore was prepared in three sizes and two different percents solid concentrations. The efficiency and repeatability of pulp sampler were tested and verified by size analysis and chemical analysis conducted on the rates of feeding and the twelve departments of sampler. The use of sampler proved effective in pulps with volumes exceeding 30 liters, and so its use has been validated in place of sampling performed manually.

Keywords: Sampling of pulp, Validation and Iron Ore

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1. – Distribuição Normal Padrão.....	3
FIGURA 2.2: Diagrama de blocos genérico de um processo de amostragem...	11
FIGURA 2.3 – No primeiro plano, amostrador idealizado por Osborne para amostragem de fluxos contínuos de polpa e, no segundo plano, amostragem de polpa com fluxo contínuo.....	14
FIGURA 2.4 – Quarteador de polpa utilizado para quarteamento de amostras obtidas em operações piloto e/ou industrial.....	15
FIGURA 2.5 – Partes de um quarteador de polpa.....	16
FIGURA 3.1 – Foto do Quarteador de Polpa do Laboratório de Processo.....	17
FIGURA 3.2 – Fluxograma de britagem.....	19
FIGURA 4.1 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,1 mm com 20% de sólidos.....	34
FIGURA 4.2 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,1 mm com 60% de sólidos.....	36
FIGURA 4.3 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos.....	38
FIGURA 4.4 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos.....	40
FIGURA 4.5 - Distribuição de tamanho – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos.....	42
FIGURA 4.6 - Distribuição de tamanho – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos.....	44
FIGURA 4.7 - Análise química – Elementos menores – Amostra <1,0 mm com 20% de sólidos.....	47
FIGURA 4.8 - Análise química - Elementos maiores – Amostra <1,0 mm com 20% de sólidos.....	47

FIGURA 4.9 - Análise química – Elementos menores – Amostra <1,0 mm com 60% de sólidos.....	49
FIGURA 4.10 - Análise química - Elementos maiores – Amostra <1,0 mm com 60% de sólidos.....	49
FIGURA 4.11 - Análise química – Elementos menores – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos.....	51
FIGURA 4.12 - Análise química - Elementos maiores – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos.....	51
FIGURA 4.13 - Análise química – Elementos menores – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos.....	53
FIGURA 4.14 - Análise química - Elementos maiores – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos.....	53
FIGURA 4.15 - Análise química – Elementos menores – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos.....	55
FIGURA 4.16 - Análise química - Elementos maiores – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos.....	55
FIGURA 4.17 - Análise química – Elementos menores – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos.....	57
FIGURA 4.18 - Análise química - Elementos maiores – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos.....	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - Dados das amostras iniciais.....	20
TABELA 3.2 - Dados do tanque de alimentação.....	20
TABELA 4.1 - Dados iniciais.....	22
TABELA 4.2 - Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra <1 mm com 20% de sólidos.....	23
TABELA 4.3 - Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra <1 mm com 60% de sólidos.....	23
TABELA 4.4 - Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos.....	24
TABELA 4.5 - Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos.....	24
TABELA 4.6 - Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos.....	25
TABELA 4.7 - Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos.....	25
TABELA 4.8 - Concentração de sólidos – Amostra <1 mm com 20% de sólidos.....	26
TABELA 4.9 - Concentração de sólidos – Amostra <1 mm com 60% de sólidos	27
TABELA 4.10 - Concentração de sólidos – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos.....	28
TABELA 4.11 - Concentração de sólidos – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos.....	29
TABELA 4.12 - Concentração de sólidos – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos.....	30

TABELA 4.13 - Concentração de sólidos – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos.....	31
TABELA 4.14 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,1 mm com 20% de sólidos.....	33
TABELA 4.15 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,1 mm com 60% de sólidos.....	35
TABELA 4.16 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos.....	37
TABELA 4.17 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos.....	39
TABELA 4.18 - Distribuição de tamanho – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos.....	41
TABELA 4.19 - Distribuição de tamanho – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos.....	43
TABELA 4.20 - Análise química – Amostra <1,0 mm com 20% de sólidos.....	46
TABELA 4.21 - Análise química – Amostra <1,0 mm com 60% de sólidos.....	48
TABELA 4.22 - Análise química – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos.....	50
TABELA 4.23 - Análise química – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos.....	52
TABELA 4.24 - Análise química – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos.....	54
TABELA 4.25 - Análise química – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos.....	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. Conceitos de Estatística.....	2
2.2. Amostragem.....	6
2.2.1. Conceitos.....	9
2.2.2. Modelos de amostragem.....	11
2.2.2.1. Processo de Amostragem por Incremento.....	11
2.2.2.2. Processo de Quarteamento.....	12
2.2.3. Amostragens em lotes manuseáveis.....	12
2.2.4. Amostragem de Polpas.....	13
2.2.4.1. Quarteamento em polpa.....	14
3. METODOLOGIA.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Concentração de sólidos.....	22
4.2. Análise granulométrica.....	32
4.3. Análise Química.....	45
5. CONCLUSÃO.....	59
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
Anexo 1 – Resultados de análise granulométrica.....	61

1. INTRODUÇÃO

O controle de qualidade, exigência sempre maior em todos os setores, leva a mudança de procedimentos e à compra de equipamentos eficientes e precisos na busca contínua de resultados mais confiáveis. Empresas mineradoras, metalúrgicas e outras, que dependem das análises de amostragem, precisam receber resultados precisos e com acuracidade suficiente para garantir a continuidade de seus trabalhos, a segurança de seus investimentos e, obviamente, uma presença competitiva no mercado global

A amostragem alicerça a avaliação de depósitos minerais (mina e jazidas), o controle de processo em laboratórios, as instalações de plantas e a comercialização de produtos. Uma amostragem mal conduzida pode resultar em grandes prejuízos ou em dados distorcidos, com consequências técnicas imprevisíveis. Isto sem falar nos graves prejuízos econômicos e descrédito no mercado.

Apesar da grande importância, a amostragem muitas vezes é negligenciada e realizada de maneira incorreta e, procedimento grave, os erros embutidos não são levados ao conhecimento das partes interessadas.

O quarteamento manual, ainda muito utilizado no Brasil, não garante a reprodutibilidade e acurácia do ensaio, e uma série de erros sistemáticos (tendenciosos) pode acontecer durante os ensaios. (GRIGORIEFF, *et al*, 2002)

A amostragem manual de polpa ainda é empregada no Laboratório de Processo do Centro de Desenvolvimento Mineral da Vale, apesar de a empresa ter disponível um quarteador automático de polpa. Isto motivou a realização desse trabalho, que busca otimizar e validar os procedimentos de utilização do quarteador de polpa em substituição ao quarteamento manual .

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é uma revisão bibliográfica sobre conceitos de estatística básica, amostragem e especificamente de amostragem em polpa.

2.1. Conceitos de Estatística

Em uma medição experimental repetida um certo número de vezes, os valores registrados das quantidades medidas diferem, quase sempre, uns dos outros. A dispersão de medições sucessivas de uma quantidade x é comumente expressa em termos da variância ou do desvio padrão do conjunto de medidas. Essas quantidades são definidas, e úteis na estimativa da probabilidade de ocorrência de erros aleatórios de intensidade definida nas medidas. (WHATELEY, *et al*, 2006)

A variância da amostra é o desvio ao quadrado médio de n valores medidos de x , em relação à média da amostra \bar{x} :

$$S_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (2.1)$$

Onde a média (\bar{x}) é obtida por

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n} \quad (2.2)$$

O desvio padrão é obtido através da variância:

$$S_n = \sqrt{S_n^2} \quad (2.3)$$

Quanto maior o número de medições, mais confiável fica o valor da variável. A exatidão real do procedimento de medição é indicada pelo valor da variância, calculada a partir de uma quantidade muito grande de dados. Quando o número de pontos experimentais obtidos se tornar infinito, o conjunto infinito é chamado uma

população de valores. Para tal população, a média da população (μ) é definida como (WHATELEY, *et al*, 2006):

$$\mu = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n x}{n} \quad (2.4)$$

e a variância da população σ^2 é definida como:

$$\sigma_n^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n} \quad (2.5)$$

O desvio padrão da população é a raiz quadrada da variância da população.

A média da população é o melhor, ou o mais provável, valor de \mathbf{x} , desde que as variações de \mathbf{x} resultem de efeitos pequenos, aleatórios, independentes e aditivos. Se, entretanto, erros de método e/ou erros não aleatórios forem inerentes às medidas, então a média pode diferir substancialmente do valor verdadeiro de \mathbf{x} . (BOTTER, *et al*, 1996)

Se em um conjunto infinito de dados, as variações de \mathbf{x} forem aleatórias, diz-se que a distribuição de valores de \mathbf{x} em torno da média é uma distribuição normal ou Gaussiana, conforme figura 2.1. (BOTTER, *et al*, 1996)

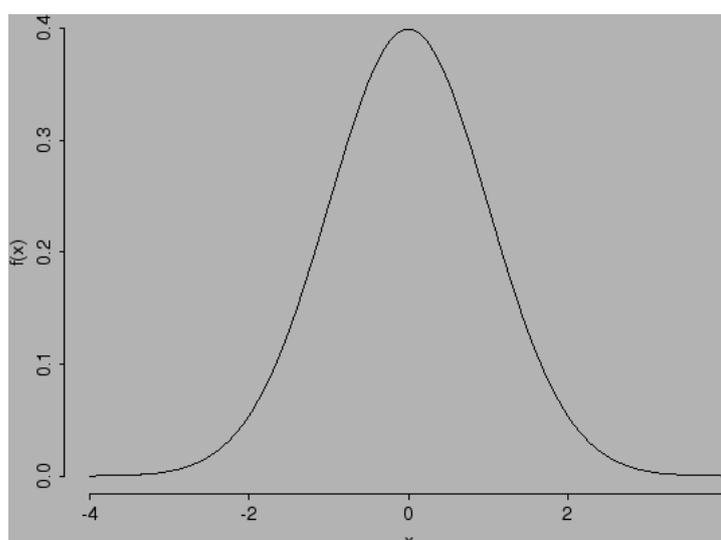


FIGURA 2.1. – Distribuição Normal Padrão
Fonte: BOTTER; PAULA; LEITE; CORDANI, 1996

As distribuições de fenômenos observados assumem frequentemente, uma forma simétrica em torno da média. Uma função desse tipo, Distribuição Normal ou Distribuição de Gauss, aparece descrita pela função (BOTTER, *et al*, 1996):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (2.6)$$

De forma abreviada, se a variável aleatória x apresenta distribuição normal, com média μ e variância S^2 , diz-se, simplesmente (BOTTER, *et al*, 1996):

$$x = N(\mu, S^2) = N(\mu, \sigma^2) \quad (2.7)$$

Quando a variável aleatória x é padronizada, ela passa a ter uma distribuição normal padronizada, que tem média zero e desvio padrão unitário, ou equivalentemente, uma distribuição **N(0,1)**. (BOTTER, *et al*, 1996)

Os valores desta função distribuição são tabelados, e com eles se tem um meio de obter as probabilidades associadas a qualquer variável normal, conhecidos a média e o desvio padrão e a definição de variável aleatória padronizada (**z**) (BOTTER, *et al*, 1996):

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2.8)$$

Erro absoluto (EA) é a diferença entre o valor exato de um número x e o seu valor verdadeiro (normalmente utiliza-se a média como valor verdadeiro).

$$EA = x - \mu \quad (2.9)$$

Conforme as grandezas envolvidas, o erro absoluto (EA) pode não ser muito significativo. Nestes casos, emprega-se o erro relativo (ER) que é o erro absoluto dividido pelo valor aproximado:

$$ER = \frac{EA}{\mu} \quad (2.10)$$

À variação ou dispersão real, determinada a partir do desvio padrão, ou qualquer outra medida de dispersão, denomina-se *dispersão absoluta*. A medida desse efeito é proporcionada pela *dispersão relativa*, definida por:

$$Dispersão.relativa = \frac{Dispersão.absoluta}{média} \quad (2.11)$$

Se a *dispersão absoluta* é o desvio padrão **S** e a média é a aritmética, a *dispersão relativa* é denominada *Coefficiente de Variação ou de Dispersão*. (BOTTER, *et al*, 1996)

$$CV = \frac{S_x}{\mu} \times 100 \quad (2.12)$$

O coeficiente de variação é geralmente expresso em percentagem. O **CV** é independente das unidades adotadas e vantajoso para a comparação de distribuições cujas unidades podem ser diferentes. Uma desvantagem do **CV** é que ele deixa de ser útil quando a média ficar próxima de zero. (BOTTER, *et al*, 1996)

- Baixa dispersão: $CV \leq 15\%$
- Média dispersão: $CV 15-30\%$
- Alta dispersão: $CV \geq 30\%$

Quando se obtém uma amostra aleatória de tamanho **n**, estima-se a média populacional. Pode-se, então, inferir que se uma nova amostra aleatória for realizada, a estimativa obtida será diferente daquela primeira. Daí a conclusão que as médias amostrais estão sujeitas à variação e formam populações de médias amostrais, quando todas as possíveis amostras são retiradas de uma população. (BOTTER, *et al*, 1996)

O **erro padrão da média** define a possível distribuição dos valores médios em torno do estimado; expressa a precisão da média amostral na forma linear e na mesma unidade de medida. (BOTTER, *et al*, 1996)

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2.13)$$

2.2. Amostragem

A importância da amostragem aparece mais do que evidenciada na avaliação de depósitos minerais, no controle de processos e na comercialização de produtos. Por isso, uma amostragem mal conduzida pode levar a prejuízos vultosos ou a distorções de resultados com conseqüências técnicas e econômicas imprevisíveis. Nas indústrias de mineração e metalurgia a amostragem é uma das operações mais complexas e passíveis de produzir erros. (GÓES, *et al*, 2004)

A determinação de uma dada propriedade ou característica de um fluxo só pode ser realizada em uma pequena fração do mesmo, denominada amostra, que represente da melhor forma possível, o fluxo amostrado. Os sistemas particulados são usualmente misturas de partículas de tamanho, forma e composição variados. A obtenção de amostras representativas só é possível com base em critérios estabelecidos. Quando os procedimentos de seleção e coleta das amostras não são bem conduzidos, os resultados de análises, mesmo que realizadas com precisão, não correspondem às características do universo amostrado, e levam a conclusões incorretas ou imprecisas. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

As características específicas de toneladas de um dado material são estimadas a partir de análises realizadas em amostras pequenas, massas da ordem de gramas. A obtenção das amostras é fundamental para minimizar os erros associados às análises, e levar mais precisão aos trabalhos de avaliação de depósitos minerais e controle de processos em laboratórios, unidades piloto, indústrias e comercialização de produtos. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

Nos últimos anos, as técnicas de amostragem na indústria mineral melhoraram muito, porém ainda não receberam a devida valorização; e seguem como uma área muitas vezes negligenciada, o que, quase sempre, conduz a uma coleta de amostras com sérios erros sistemáticos. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

A representatividade de uma amostra pode ser medida através da acuracidade e da reprodutibilidade. A **acuracidade** é a minimização do erro sistemático da amostragem. A **reprodutibilidade** ou precisão é a medida de dispersão dos resultados de qualidade obtidos para um mesmo lote. (GRIGORIEFF, *et al*, 2002)

De acordo com Gy (1998), a média e a variância do erro nunca são estruturalmente nulas. A representatividade de uma amostra ocorre quando a combinação desses dois fatores possui valores menores que o máximo estabelecido entre as partes interessadas, usualmente, o produtor e o consumidor. Segundo esta teoria, ainda há alguns erros de amostragem que não podem ser eliminados: erro fundamental, erro de segregação e grupamento e erro de integração. Como consequência, sempre existirá um erro associado ao resultado de qualidade de um lote.

São muitos os **erros de amostragem** relacionados por Góes (2004):

- Erro total de amostragem (E_a) que é o somatório do erro da amostragem propriamente dita (E_{ap}) e do erro de preparação da amostra primária (E_p), para obtenção da amostra final.

$$E_a = E_{ap} + E_p \quad (2.14)$$

- O erro de amostragem propriamente dita é o somatório de sete erros independentes, resultantes do processo de seleção da amostra primária, e proveniente, principalmente, da variabilidade do material que está sendo amostrado.

$$E_{ap} = E_{a1} + E_{a2} + E_{a3} + E_{a4} + E_{a5} + E_{a6} + E_{a7} \quad (2.15)$$

Onde:

E_{a1} = erro de ponderação, resultante da não uniformidade da densidade ou da vazão do material;

E_{a2} = erro de integração - resultante da heterogeneidade de distribuição das partículas, a longo prazo, no material;

E_{a3} = erro de periodicidade, resultante de eventuais variações periódicas da característica de interesse no material;

E_{a4} = erro fundamental, resultante da heterogeneidade de constituição do material. Depende fundamentalmente da massa da amostra e, em menor

instância, do material amostrado. É o erro que se comete quando a amostragem é realizada em condições ideais;

E_{a5} = erro de segregação, resultante da heterogeneidade de distribuição localizada do material;

E_{a6} = erro de delimitação, resultante da eventual configuração incorreta da delimitação da dimensão dos incrementos;

E_{a7} = erro de extração, resultante da operação de tomada dos incrementos.

- O erro de preparação é o somatório de cinco erros independentes, provenientes das operações de redução de granulometria, homogeneização e quarteamento a que a amostra primária é submetida.

$$E_p = E_{p1} + E_{p2} + E_{p3} + E_{p4} + E_{p5} \quad (2.16)$$

Onde:

E_{p1} = perda de partículas pertencentes à amostra;

E_{p2} = contaminação da amostra por material estranho;

E_{p3} = alteração não intencional da característica de interesse a ser medida na amostra final;

E_{p4} = erros não intencionais do operador (como a mistura de subamostras provenientes de diferentes amostras);

E_{p5} = alteração intencional da característica de interesse a ser medida na amostra final.

Uma das regras básicas da teoria da amostragem não é considerada por muitas Normas Técnicas. Segundo essa regra, qualquer partícula componente do lote deve possuir a mesma probabilidade de ser coletada e pertencer à amostra que servirá para a realização do controle de qualidade. A amostragem que segue esta regra é considerada estatisticamente correta. Assim é possível estimar, para

qualquer resultado de controle de qualidade, uma faixa de erro devida aos fatores relacionados à variabilidade do material particulado. Os tipos de amostragem considerados estatisticamente corretos, desde que seguidos alguns cuidados de dimensionamento e operação, são os executados por helicóides e por amostradores automáticos instalados em transportadores de correia. Todos os outros tipos de amostragem, inclusive a amostragem manual, são considerados incorretos. (GÓES, *et al*, 2004)

Uma vez que os procedimentos de amostragem estão associados a uma série de erros inerentes às características peculiares de cada material e ao processo de obtenção da amostra, a probabilidade de essa amostra representar perfeitamente o universo do qual foi retirada é remota. Assim, as características analisadas em diferentes amostras de um mesmo universo apresentarão uma dada variabilidade que deve ser minimizada, segundo técnicas estatísticas. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

2.2.1. Conceitos

Amostra é uma quantidade representativa do todo que se deseja amostrar. O método de retirada da amostra deve garantir que ela seja representativa deste todo, no que diz respeito à(s) característica(s) de interesse. (GÓES, *et al*, 2004)

Incremento é uma quantidade modular de material retirado do todo que se deseja amostrar, para composição de uma amostra. (GÓES, *et al*, 2004)

Lote é uma quantidade finita de material separada para uma utilização específica. (GÓES, *et al*, 2004)

A **amostra primária ou global** é a quantidade de material resultante da etapa de amostragem propriamente dita. (GÓES, *et al*, 2004)

A **amostra final** é uma quantidade de material, resultante das etapas de preparação da amostra primária, que possui massa e granulometria adequadas para a realização de ensaios (químicos, físicos, mineralógicos etc.). (GÓES, *et al*, 2004)

Amostragem, então, é o conjunto de operações destinado à obtenção de uma amostra representativa de uma dada população ou universo. Uma amostra é representativa quando as propriedades do universo (teor dos diversos elementos, constituintes mineralógicos, massa específica, distribuição granulométrica etc) estimadas com base nessa amostra, inserem uma variabilidade estatisticamente aceitável. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

A amostragem é usualmente realizada em quatro etapas (OLIVEIRA, *et al*, 2007):

1. Elaboração do plano de amostragem – determina a qualidade necessária para a amostragem, definindo o universo, o objetivo e a sequência de operações utilizadas. A escolha do sistema de amostragem depende de diversos fatores, como, por exemplo, o tamanho das partículas, a massa específica, a umidade, entre outros.
2. Obtenção da amostra – consiste na determinação da sequência e do número de coletas das amostras; depende do tipo e da precisão requeridos para a amostragem, das características dos fluxos etc.
3. Preparação da amostra – o conjunto de operações necessárias à adequação da amostra ao método de determinação do parâmetro de qualidade. Dentre essas atividades, podem ser ressaltadas a secagem, a redução de tamanho, a homogeneização, o quarteamento etc.
4. Determinação de um parâmetro de qualidade – inserem-se análises dos parâmetros que irão determinar a qualidade do universo. Dentre eles podem ser citados os teores de diversos elementos, a umidade, a distribuição granulométrica etc.

Para obtenção da amostra final, é necessário dividir a amostra primária em alíquotas de menor massa. A operação realizada com esse objetivo é denominada quarteamento. Essa operação pode ser feita manualmente ou com auxílio de quarteadores mecânicos.

Na figura 2.2, está ilustrado, no diagrama de blocos, um exemplo genérico do processo de amostragem.

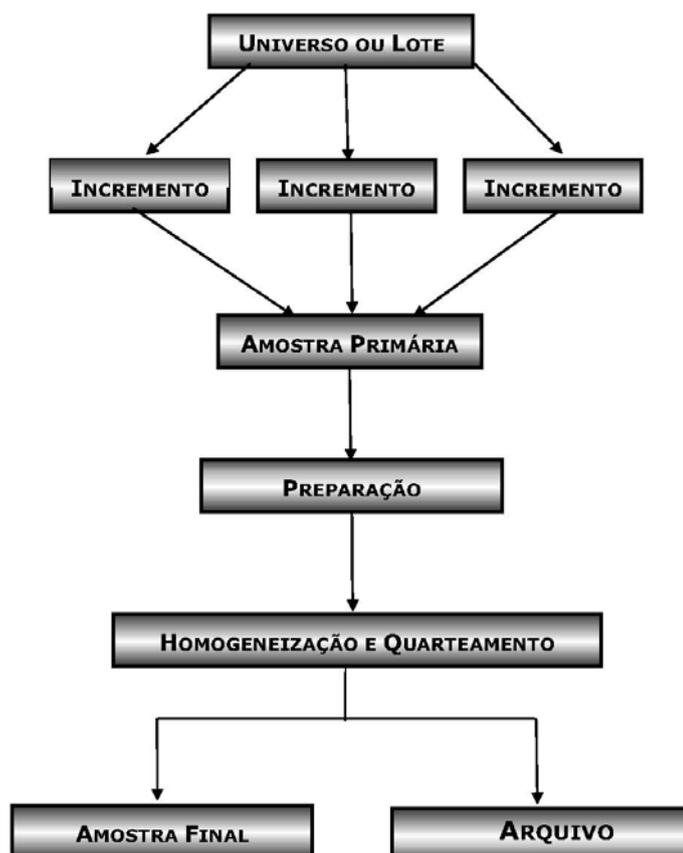


FIGURA 2.2 – Diagrama de blocos genérico de um processo de amostragem em tratamento de minérios.

Fonte: OLIVEIRA; AQUINO, 2007, p.9

2.2.2. Modelos de amostragem

Na maior parte das operações de processamento mineral utiliza-se um processo de seleção pontual - o modelo probabilístico. A amostragem probabilística compreende dois processos: processo de amostragem por incremento e processo de quarteamento. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

2.2.2.1. Processo de Amostragem por Incremento

Amostragem por incremento consiste na coleta de um número tal de incrementos tomados em função de seus tamanhos, formas e disposição no corpo original, e depende dos valores de segregação e da taxa de mudança desses valores com a posição. A amostragem correta por incrementos deve produzir uma curva normal de distribuição. É aplicável a lotes não manuseáveis e a certos lotes manuseáveis.

Etapas necessárias à amostragem: (OLIVEIRA, *et al*, 2007):

- **Integração** – consiste na seleção dos incrementos pontuais, garantia de que tais incrementos representarão o universo dentro do erro estatístico definido.
- **Delimitação de incrementos** - definição do tamanho de cada incremento a ser extraído.
- **Extração dos incrementos** - obtenção dos incrementos.
- **Reunião** - mistura dos incrementos extraídos que compõem a amostra real, representativa do universo com a precisão definida no plano de amostragem.

2.2.2.2. Processo de Quarteamento

O processo de quarteamento se aplica exclusivamente a lotes manuseáveis, e se repetirá até se obter o peso requerido da amostra. Realiza-se em quatro etapas (OLIVEIRA, *et al*, 2007):

- **Delimitação das frações** - divisão geométrica, geração de frações modelo. Esta divisão é feita por aparelhos ou instrumentos de partilha, pode ser realizada de três maneiras diferentes:
 - lote estacionário com instrumento em movimento (cone quarteamento, pazada alternada etc.);
 - lote em movimento com aparelho estacionário (divisor riffles, divisor setorial rotativo);
 - lote e aparelho em movimento (divisor setorial).
- **Separação** - materialização da partilha geométrica; gera as frações reais.
- **Seleção** - escolha das frações reais que serão guardadas como subamostras e,
- **Reunião** - obtenção da amostra real a partir da reunião das subamostras.

2.2.3. Amostragens em lotes manuseáveis

A segregação é um dos principais problemas na obtenção de amostras de material particulado proveniente de fluxos, pilhas, caminhões. Essa segregação ocorre em duas situações (OLIVEIRA, *et al*, 2007):

- tendência do material fino a se concentrar no centro, quando o mesmo é depositado em pilha;
- tendência do material grosso a se concentrar na superfície, mesmo que tenha maior densidade, quando submetido à vibração.

O minério deve estar totalmente seco ou então sob a forma de polpa para uma boa amostragem, visto que a umidade favorece a formação de agregados de partículas finas; induz a erros devido à segregação. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

A amostragem pode ser manual ou automática. Os resultados obtidos com amostragem automática são mais confiáveis que aqueles oriundos da amostragem manual, embora esta, por inúmeras razões, seja mais utilizada em tratamento de minérios. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

As técnicas de amostragem manual podem ser realizadas com materiais em movimento ou estáticos. As amostragens manuais são técnicas pouco recomendadas, pois estão associadas a uma série de pequenos erros, tais como (OLIVEIRA, *et al*, 2007):

- variação no intervalo de tempo de coleta das amostras ou incrementos;
- variação na velocidade de coleta dos incrementos;
- perda de partículas durante a coleta dos incrementos;
- contaminação por material diferente e heterogeneidade do material;
- segregação localizada do material.

Em função dos elevados custos dos amostradores automáticos, a amostragem manual é amplamente utilizada e, assim, os critérios de sua execução devem ser rígidos de modo a permitir a obtenção de amostras com erros estatisticamente aceitáveis. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

2.2.4. Amostragem de Polpas

A maioria das usinas de concentração mineral e de hidrometalurgia processa os minérios a úmido, portanto a amostragem de fluxos de polpa é a mais utilizada

para acompanhamento da qualidade dos fluxos intermediários e finais nos circuitos piloto e industrial. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

A amostragem de polpas, em usinas, pode ser realizada por meio de diversos tipos de amostradores automáticos. Estes amostradores possuem como característica comum o corte de todo o fluxo num determinado intervalo de tempo (Figuras 2.3).

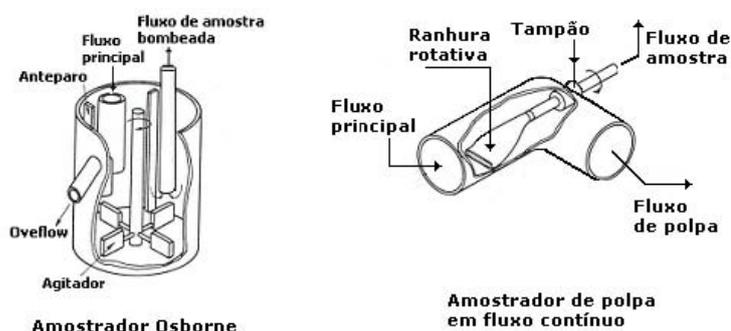


FIGURA 2.3 – No primeiro plano, amostrador idealizado por Osborne para amostragem de fluxos contínuos de polpa e, no segundo plano, amostragem de polpa com fluxo contínuo.

Fonte: OLIVEIRA; AQUINO, 2007 p.19

2.2.4.1. Quarteamento em polpa

Enquanto a coleta de amostras é uma operação de campo, realizada nos lugares onde se encontram as instalações, a operação que se segue à coleta é realizada em lugares apropriados, normalmente laboratórios. Após a coleta das amostras, segue-se a preparação, e as principais técnicas utilizadas são: secagem, fragmentação, homogeneização e quarteamento. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

São necessárias, normalmente, massas de minérios superiores à massa mínima necessária para garantir a representatividade de um dado universo. Assim, a primeira etapa de amostragem consiste no quarteamento da amostra, ainda na forma de polpa. Utilizam-se equipamentos de concepção simples (Figura 2.4) que reduzem, significativamente, o manuseio da amostra. (OLIVEIRA, *et al*, 2007)

O quarteador de polpa (Figuras 2.4 e 2.5) é constituído por duas partes principais: um alimentador e um disco giratório com um número par de recipientes. O alimentador possui um agitador, que mantém o material em movimentação e homogêneo, e uma válvula de descarga para manter a vazão de polpa constante nos recipientes contidos no disco giratório. Cada recipiente constitui uma fração do quarteamento. Caso se deseje maior massa, juntam-se as amostras dos recipientes diametralmente opostos. (GÓES, *et al*, 2004)



FIGURA 2.4 – Quarteador de polpa utilizado para quarteamento de amostras obtidas em operações piloto e/ou industrial.

Fonte: OLIVEIRA; AQUINO, 2007 p.19

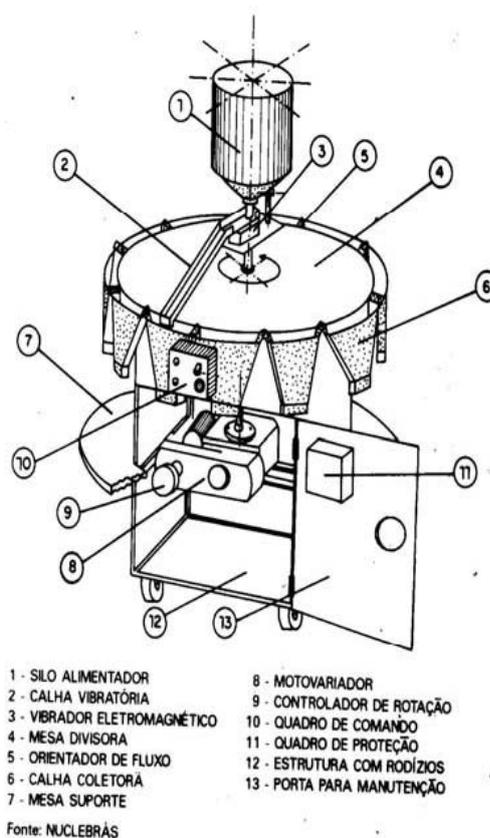


FIGURA 2.5 – Partes de um quarteador de polpa

Fonte: GÓES; LUZ; POSSA, 2004 p.40

Os divisores rotativos devem ser evitados na amostragem de lotes de pequena massa, de produtos úmidos ou de alta viscosidade, de minérios grossos ou de polpas instáveis, sem agitação prévia.

3. METODOLOGIA

O quarteador do Laboratório de Processo do Centro de Desenvolvimento Mineral da Vale é composto, por um alimentador e por um disco giratório com doze recipientes (Figura 3.1). O alimentador possui um agitador que mantém o material em movimento e homogêneo, e uma válvula de descarga para manter a vazão de polpa constante nos recipientes contidos no disco giratório.



FIGURA 3.1 – Foto do Quarteador de Polpa do Laboratório de Processo

Para a otimização e a validação do procedimento de utilização do quarteador de polpa foi escolhida uma amostra de minério de ferro, que por possuir alta

densidade, tem tendência a sedimentar rapidamente e, conseqüentemente, não manter a polpa em agitação homogênea. Desta forma, se o resultado obtido nesse ensaio for positivo, pode-se assumir que o quarteador é eficiente para todos os outros tipos de minério.

De modo a determinar a granulometria e a concentração de sólidos de trabalho ideal do quarteador, adotou-se o teste em três *top size* (< 1mm; < 0,5 mm e P80< 0,075mm) e em duas concentrações de sólidos (20 e 60%) distintas. Para se obter os três *top size*, a amostra foi preparada conforme fluxograma da Figura 3.2. Inicialmente 150 kg da amostra foram peneirados em peneira com malha de 1mm e o retido foi britado em britador cônico com abertura de 4 mm; tal procedimento foi repetido três vezes. O retido no peneiramento da terceira britagem foi britado em britador de rolo com abertura de 0,6 mm.

Uma alíquota de 100 kg foi retirada, sendo peneirada em peneira com malha de 0,5 mm e o retido foi britado em britador de rolo com abertura de 0,6 mm, até se obter todo o produto menor que 0,5 mm. Por fim, uma alíquota de 50 kg foi peneirada em peneira de malha de 0,075mm e moída no setamil até obter um P80< 0,075mm. Ao final, três produtos selecionados: uma alíquota de 50 kg menor que 1mm, uma alíquota de 50 kg menor que 0,5 mm e uma alíquota de 50 kg com P80<0,075mm.

Dos três produtos obtidos retirou-se uma alíquota de cada para análise granulométrica em peneiras nas seguintes malhas: 1; 0,850; 0,600; 0,425; 0,300; 0,212; 0,150; 0,106; 0,075; 0,053 e 0,038mm. Para a alíquota da amostra <0,5 mm o peneiramento não foi realizado nas malhas de 1; 0,850 e 0,600 mm e para a alíquota com P80<0,075 mm o peneiramento não foi realizado nas malhas de 1; 0,850; 0,600; 0,425; 0,300; 0,212; 0,150 e 0,106 mm.

Duas alíquotas foram retiradas da amostra com P80<0,075 mm: uma para determinação da densidade real em picnômetro da marca e modelo *Quantachrome* 1200e e outra para análise química dos seguintes elementos: Fe, SiO₂, P, Al₂O₃, Mn, TiO₂, CaO e MgO.

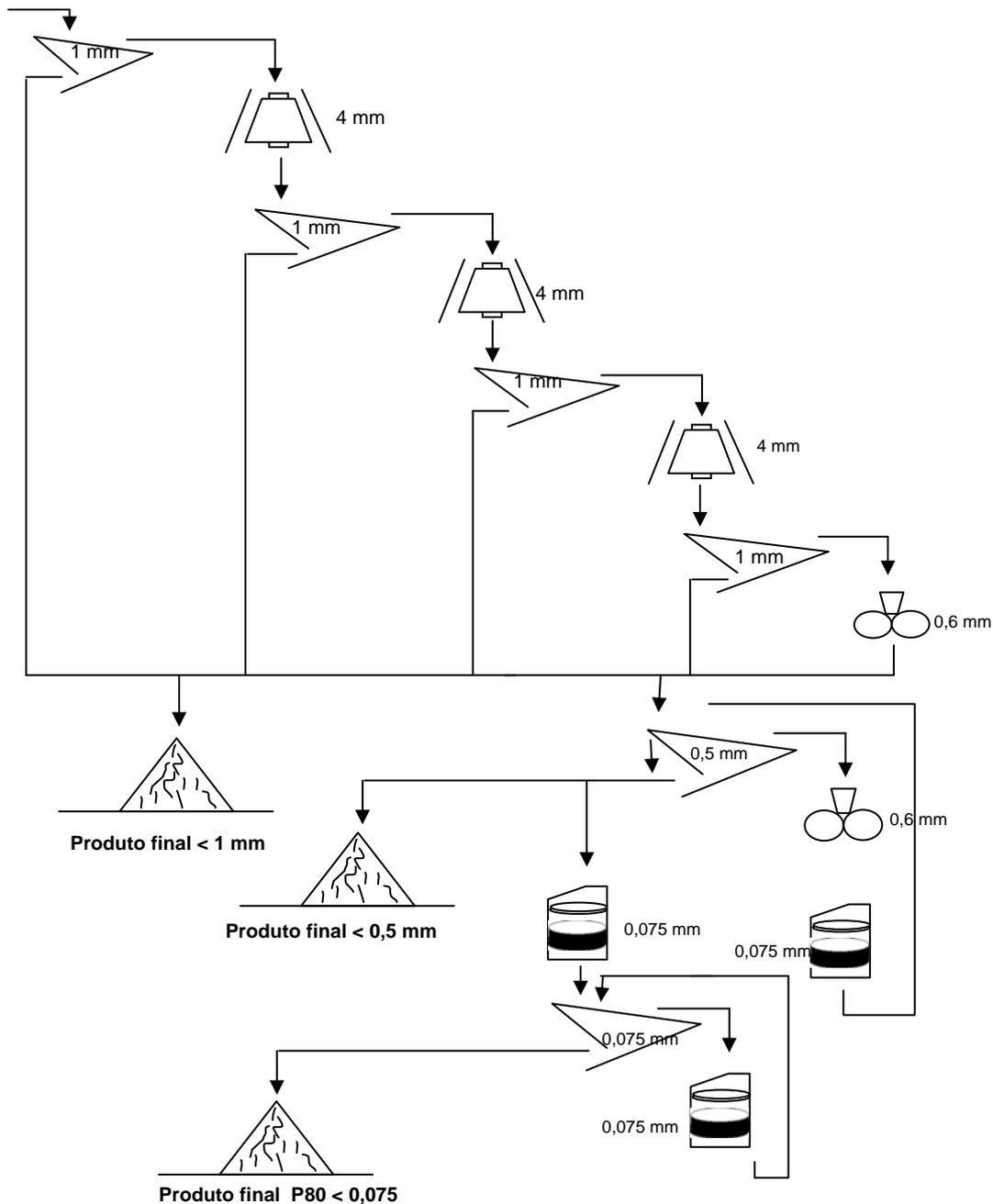


FIGURA 3.2 – Fluxograma de britagem

Para o preparo das polpas com concentração de sólido de 20 e 60% foram quarteados aproximadamente 6 e 28 kg respectivamente de cada *top size*. Essa massa foi calculada com o objetivo de se obter um enchimento de aproximadamente 70% do tanque de alimentação do quarteador de polpa, ou seja, um volume de 27 litros. As quantidades de massa de sólido e massa de água para se obter a polpa com concentração de sólidos de 20 e 60% estão descritas na tabela 3.1.

A tabela 3.2 mostra as características do tanque de alimentação.

TABELA 3.1
Dados das amostras iniciais

<i>Top Size</i> Mm	Concentração de sólidos %	Massa de minério kg	Massa de água kg
1	20	6	24,00
	60	28	18,67
0,5	20	7,17	28,68
	60	27,06	18,04
0,075	20	7,18	28,72
	60	27	18,00

TABELA 3.2
Dados do tanque de alimentação

Tanque de homogenização		
Diâmetro	31,4	cm
Altura de polpa	35,54	cm
Espaço vazio – altura	14,00	cm
Volume Total	27,52	L
Enchimento	71,7	%

A polpa foi então preparada e o quarteador de polpa foi alimentado e ligado. Depois de alguns minutos da polpa em agitação, três alíquotas foram retiradas com auxílio de uma bomba peristáltica no topo, no meio e no fundo do tanque de alimentação, para verificação da homogeneidade da polpa através da concentração de sólidos medidos nos três pontos. Após a verificação da homogeneidade da polpa, o disco giratório com os doze recipientes foi ligado e a válvula de descarga foi aberta de modo a distribuir a polpa nos recipientes até esgotamento total da polpa. Esse procedimento foi repetido para os três *top size* e para as duas concentrações de sólidos.

Após a pesagem dos doze recipientes de cada polpa preparada e amostrada, em cada recipiente foram realizados ensaios de análises granulométricas em peneiras nas seguintes malhas: 1; 0,850; 0,600; 0,425; 0,300; 0,212; 0,150; 0,106; 0,075; 0,053 e 0,038mm, seguindo o mesmo padrão estabelecido para as amostras de alimentação. Após secagem, as amostras foram compostas e a sua concentração de sólidos foi calculada.

As amostras compostas foram pulverizadas e encaminhadas para análise química dos seguintes componentes: Fe, SiO₂, P, Al₂O₃, Mn, TiO₂, CaO e MgO

A comparação dos dados (concentração de sólidos, análise granulométrica e análise química) foi tratada estatisticamente e está apresentada no item Resultados e Discussão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados iniciais das amostras e do preparo da polpa nas duas concentrações de sólidos distintas são apresentados na tabela 4.1.

TABELA 4.1
Dados iniciais

Teste	Massa específica g/cm ³	Massa de sólido kg	Volume de Polpa L	Volume de sólido L	Volume de água L	Massa de polpa kg	Concentração de sólidos %
<1 mm – 20% sólidos		6,52		1,52	26,00	32,52	20,05
<1 mm – 60% sólidos		20,36		4,76	26,34	43,12	55,21
<0,5 mm - 20% sólidos	4,28	6,76	27,52	1,58	25,95	32,70	20,66
<0,5 mm - 60% sólidos		25,85		6,04	21,49	47,33	54,61
<0,075 mm - 20% sólidos		6,79		1,59	25,94	32,73	20,74
<0,075 mm - 60% sólidos		26,91		6,29	21,24	48,15	55,89

4.1. Concentração de sólidos

Com a polpa em agitação no alimentador do quarteador de polpa, verificou-se a homogeneidade da mesma através da medição da concentração de sólidos no topo, no meio e no fundo do tanque alimentador. Os dados das concentrações de sólidos medidos são apresentados na tabela 4.2 a 4.7.

TABELA 4.2
Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra <1 mm com 20% de sólidos

Amostra	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
Topo	336,78	72,34	21,48
Meio	403,59	84,81	21,01
Fundo	336,99	67,85	20,13
		Média	20,88
		Variância	0,47
		Desvio padrão	0,68
		Máximo	21,48
		Mínimo	20,13
		Amplitude	1,35

TABELA 4.3
Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra <1 mm com 60% de sólidos

Amostra	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
Topo	385,40	230,32	59,76
Meio	316,10	190,63	60,31
Fundo	224,39	125,78	56,05
		Média	58,71
		Variância	5,35
		Desvio padrão	2,31
		Máximo	60,31
		Mínimo	56,05
		Amplitude	4,25

TABELA 4.4
Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos

Amostra	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
Topo	288,60	54,66	18,94
Meio	309,73	60,75	19,61
Fundo	371,17	68,74	18,52
		Média	19,02
		Variância	0,30
		Desvio padrão	0,55
		Máximo	19,61
		Mínimo	18,52
		Amplitude	1,09

TABELA 4.5
Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos

Amostra	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
Topo	554,45	325,62	58,73
Meio	548,51	321,74	58,66
Fundo	495,78	289,73	58,44
		Média	58,61
		Variância	0,02
		Desvio padrão	0,15
		Máximo	58,73
		Mínimo	58,44
		Amplitude	0,29

TABELA 4.6
Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos

Amostra	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
Topo	313,66	61,80	19,70
Meio	371,68	68,97	18,56
Fundo	402,01	74,33	18,49
		Média	18,92
		Variância	0,47
		Desvio padrão	0,68
		Máximo	19,70
		Mínimo	18,49
		Amplitude	1,21

TABELA 4.7
Concentração de sólidos no tanque de alimentação – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos

Amostra	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
Topo	382,72	227,37	59,41
Meio	405,87	240,92	59,36
Fundo	341,94	198,80	58,14
		Média	58,97
		Variância	0,52
		Desvio padrão	0,72
		Máximo	59,41
		Mínimo	58,14
		Amplitude	1,27

Verificou-se que a amplitude variou entre 0,29 e 4,25. O valor aceitável de amplitude – sem alteração na qualidade do ensaio - para concentração de sólidos é de 5% e como todas as amostras estão abaixo do limite permitido, considerou-se que a polpa estava homogênea dentro do tanque de alimentação.

Após a verificação da homogeneidade, o quarteamento foi iniciado. Após esgotamento total da polpa nos doze recipientes do quarteador foram realizados

ensaios de análises granulométricas, de análises químicas e de determinação da concentração de sólidos.

Os dados de concentração de sólidos nos dozes recipientes estão apresentados nas tabelas 4.8 a 4.13.

TABELA 4.8
Concentração de sólidos – Amostra <1 mm com 20% de sólidos

Recipiente	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
R1	2804,71	529,62	18,88
R2	2943,95	536,79	18,23
R3	2910,66	566,71	19,47
R4	2870,61	553,21	19,27
R5	3007,96	568,13	18,89
R6	2950,69	546,87	18,53
R7	2871,86	540,99	18,84
R8	2649,47	480,55	18,14
R9	2836,95	521,80	18,39
R10	2916,30	544,68	18,68
R11	2951,55	568,77	19,27
R12	2910,21	560,64	19,26
		Média	18,82
		Variância	0,19
		Desvio padrão	0,44
		Máximo	19,47
		Mínimo	18,14
		Amplitude	1,33

TABELA 4.9
Concentração de sólidos – Amostra <1 mm com 60% de sólidos

Recipiente	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
R1	2807,51	1657,81	59,05
R2	2877,89	1696,08	58,93
R3	2938,84	1697,07	57,75
R4	2953,44	1677,35	56,79
R5	2834,95	1613,36	56,91
R6	2887,30	1699,80	58,87
R7	2835,16	1724,53	60,83
R8	2691,44	1666,21	61,91
R9	2776,48	1761,26	63,43
R10	2814,30	1764,72	62,71
R11	2837,87	1726,86	60,85
R12	2767,97	1670,20	60,34
		Média	59,86
		Variância	4,75
		Desvio padrão	2,18
		Máximo	63,43
		Mínimo	56,79
		Amplitude	6,64

TABELA 4.10
Concentração de sólidos – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos

Recipiente	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
R1	3081,92	552,05	17,91
R2	3151,50	570,72	18,11
R3	3109,70	565,34	18,18
R4	3063,30	571,61	18,66
R5	3087,99	572,18	18,53
R6	3117,07	574,22	18,42
R7	2912,24	540,00	18,54
R8	2919,06	541,18	18,54
R9	3009,96	555,40	18,45
R10	3034,49	565,13	18,62
R11	3072,39	590,59	19,22
R12	3007,99	557,86	18,55
		Média	18,48
		Variância	0,11
		Desvio padrão	0,33
		Máximo	19,22
		Mínimo	17,91
		Amplitude	1,31

TABELA 4.11
Concentração de sólidos – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos

Recipiente	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
R1	3817,07	2140,83	56,09
R2	3938,81	2226,19	56,52
R3	3937,14	2218,99	56,36
R4	3727,95	2085,08	55,93
R5	3848,70	2171,10	56,41
R6	3914,64	2203,17	56,28
R7	3966,19	2236,17	56,38
R8	3690,58	2074,56	56,21
R9	3797,07	2106,99	55,49
R10	3777,82	2105,79	55,74
R11	3944,67	2188,95	55,49
R12	3744,12	2089,51	55,81
		Média	56,06
		Variância	0,13
		Desvio padrão	0,36
		Máximo	56,52
		Mínimo	55,49
		Amplitude	1,03

TABELA 4.12
Concentração de sólidos – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos

Recipiente	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
R1	2836,07	559,23	19,72
R2	2976,80	563,66	18,94
R3	2887,30	589,94	20,43
R4	2801,71	565,37	20,18
R5	2986,85	598,54	20,04
R6	2929,66	572,98	19,56
R7	2939,75	589,54	20,05
R8	2741,42	515,25	18,80
R9	2705,29	508,29	18,79
R10	2801,69	561,55	20,04
R11	2911,09	592,99	20,37
R12	2840,58	569,81	20,06
		Média	19,75
		Variância	0,36
		Desvio padrão	0,60
		Máximo	20,43
		Mínimo	18,79
		Amplitude	1,64

TABELA 4.13
Concentração de sólidos – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos

Recipiente	Massa de Polpa G	Massa seca g	Concentração de Sólidos %
R1	3726,88	2229,14	59,81
R2	3921,23	2330,28	59,43
R3	3838,52	2308,35	60,14
R4	3943,42	2292,28	58,13
R5	3823,29	2260,85	59,13
R6	3873,09	2324,27	60,01
R7	3876,95	2222,28	57,32
R8	3569,52	2133,80	59,78
R9	3712,87	2215,51	59,67
R10	3731,30	2207,89	59,17
R11	3771,48	2204,30	58,45
R12	3662,10	2179,25	59,51
		Média	59,21
		Variância	0,71
		Desvio padrão	0,85
		Máximo	60,14
		Mínimo	57,32
		Amplitude	2,82

Verificou-se que - exceto para amostra com *top size* <1mm e 60% de concentração de sólidos - a amplitude entre os recipientes de todas as amostras ficou dentro do limite estabelecido de 5% e o desvio padrão foi menor do que 1.

A distribuição da polpa nos doze recipientes da amostra com *top size* <1mm e 60% de concentração de sólidos, não se comportou de forma homogênea em termos de concentração de sólidos.

4.2. Análise granulométrica

Os resultados da análise granulométrica em peneiras dos dozes recipientes (R_i , com $i= 1,2, \dots,12$) e da alimentação estão apresentados nas tabelas 4.14 a 4.19 e nas figuras 4.1 a 4.6.

TABELA 4.14
Distribuição de tamanho – Amostra <0,1 mm com 20% de sólidos

Recipiente	Malha (mm) / Passante Acumulado (%)									
	0,850	0,600	0,425	0,300	0,212	0,150	0,106	0,075	0,053	0,038
Alimentação	95,05	90,81	86,29	83,15	77,56	69,80	60,65	49,87	36,85	21,04
R1	97,08	94,03	90,54	87,38	83,89	78,18	65,18	52,99	40,38	22,25
R2	97,26	94,52	91,30	87,97	84,42	79,08	67,72	55,50	42,74	25,80
R3	97,43	94,80	91,75	88,45	84,68	79,54	67,93	55,17	43,39	24,61
R4	97,30	94,17	90,79	87,55	83,87	78,08	67,01	52,74	40,09	24,30
R5	97,43	94,28	90,80	88,21	84,56	78,70	66,79	54,00	37,49	22,17
R6	97,31	94,19	91,07	87,77	84,15	79,34	67,38	54,77	41,94	24,47
R7	97,45	93,93	90,97	87,55	83,94	79,08	67,45	54,41	43,58	24,38
R8	97,75	94,67	91,73	88,43	85,11	80,57	67,80	55,24	44,26	25,21
R9	97,37	94,31	91,11	87,91	84,51	79,81	67,19	53,79	43,56	24,89
R10	97,55	94,30	90,97	87,61	83,92	78,99	66,99	53,83	42,49	24,19
R11	96,97	94,02	91,28	87,81	84,36	79,70	66,61	54,04	42,93	23,70
R12	96,61	93,47	89,63	86,29	82,45	77,69	65,22	53,72	43,14	24,26
Média	97,29	94,22	90,99	87,74	84,16	79,06	66,94	54,18	42,17	24,18
Variância	0,09	0,13	0,31	0,33	0,43	0,66	0,82	0,75	3,75	1,14
Desvio Padrão	0,30	0,35	0,56	0,57	0,66	0,81	0,91	0,87	1,94	1,07
Máximo	97,75	94,80	91,75	88,45	85,11	80,57	67,93	55,50	44,26	25,80
Mínimo	96,61	93,47	89,63	86,29	82,45	77,69	65,18	52,74	37,49	22,17
Amplitude	1,14	1,33	2,12	2,15	2,67	2,87	2,74	2,76	6,77	3,63

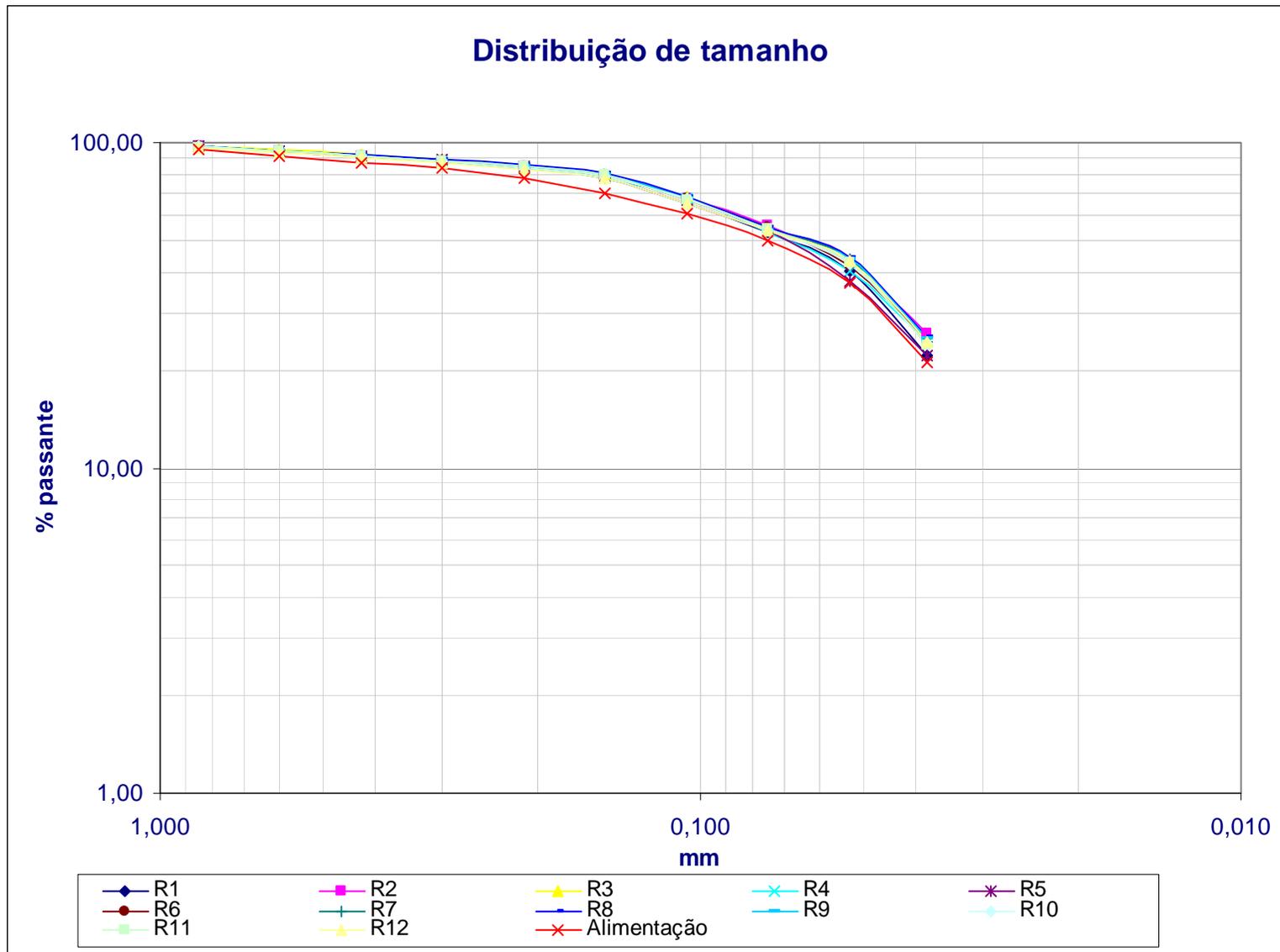


FIGURA 4.1 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,1 mm com 20% de sólidos

TABELA 4.15
Distribuição de tamanho – Amostra <0,1 mm com 60% de sólidos

Recipiente	Malha (mm) / Passante Acumulado (%)									
	0,850	0,600	0,425	0,300	0,212	0,150	0,106	0,075	0,053	0,038
Alimentação	95,05	90,81	86,29	83,15	77,56	69,80	60,65	49,87	36,85	21,04
R1	96,17	93,18	89,86	86,65	82,99	77,75	64,77	50,82	40,93	22,20
R2	95,96	93,06	89,51	86,33	83,03	77,41	61,85	51,46	40,12	22,71
R3	96,24	93,17	89,72	86,76	82,67	77,74	63,77	51,28	39,61	22,70
R4	95,75	90,46	88,02	85,28	81,68	76,22	61,37	49,86	39,28	21,24
R5	96,14	91,59	88,59	85,60	81,80	76,28	62,13	49,29	39,51	20,60
R6	96,30	93,09	89,68	86,60	82,42	76,84	63,37	50,89	39,69	20,88
R7	96,49	93,14	89,86	86,79	83,00	77,49	63,74	51,29	40,09	20,65
R8	95,83	92,90	89,77	86,46	82,81	77,50	64,20	51,88	40,11	21,02
R9	95,85	92,95	89,71	86,48	82,45	76,19	61,87	48,99	38,84	19,68
R10	95,92	92,73	89,41	85,91	82,15	76,22	63,47	50,24	39,99	19,77
R11	96,37	93,05	89,59	86,43	82,38	76,81	63,07	50,26	40,77	21,07
R12	96,41	93,01	90,04	86,67	82,86	76,95	64,34	51,15	40,92	20,86
Média	96,12	92,69	89,48	86,33	82,52	76,95	63,16	50,62	39,99	21,12
Variância	0,06	0,68	0,34	0,23	0,21	0,38	1,23	0,80	0,42	0,98
Desvio Padrão	0,25	0,83	0,59	0,48	0,46	0,62	1,11	0,90	0,65	0,99
Máximo	96,49	93,18	90,04	86,79	83,03	77,75	64,77	51,88	40,93	22,71
Mínimo	95,75	90,46	88,02	85,28	81,68	76,19	61,37	48,99	38,84	19,68
Amplitude	0,74	2,72	2,02	1,51	1,35	1,56	3,39	2,88	2,08	3,03

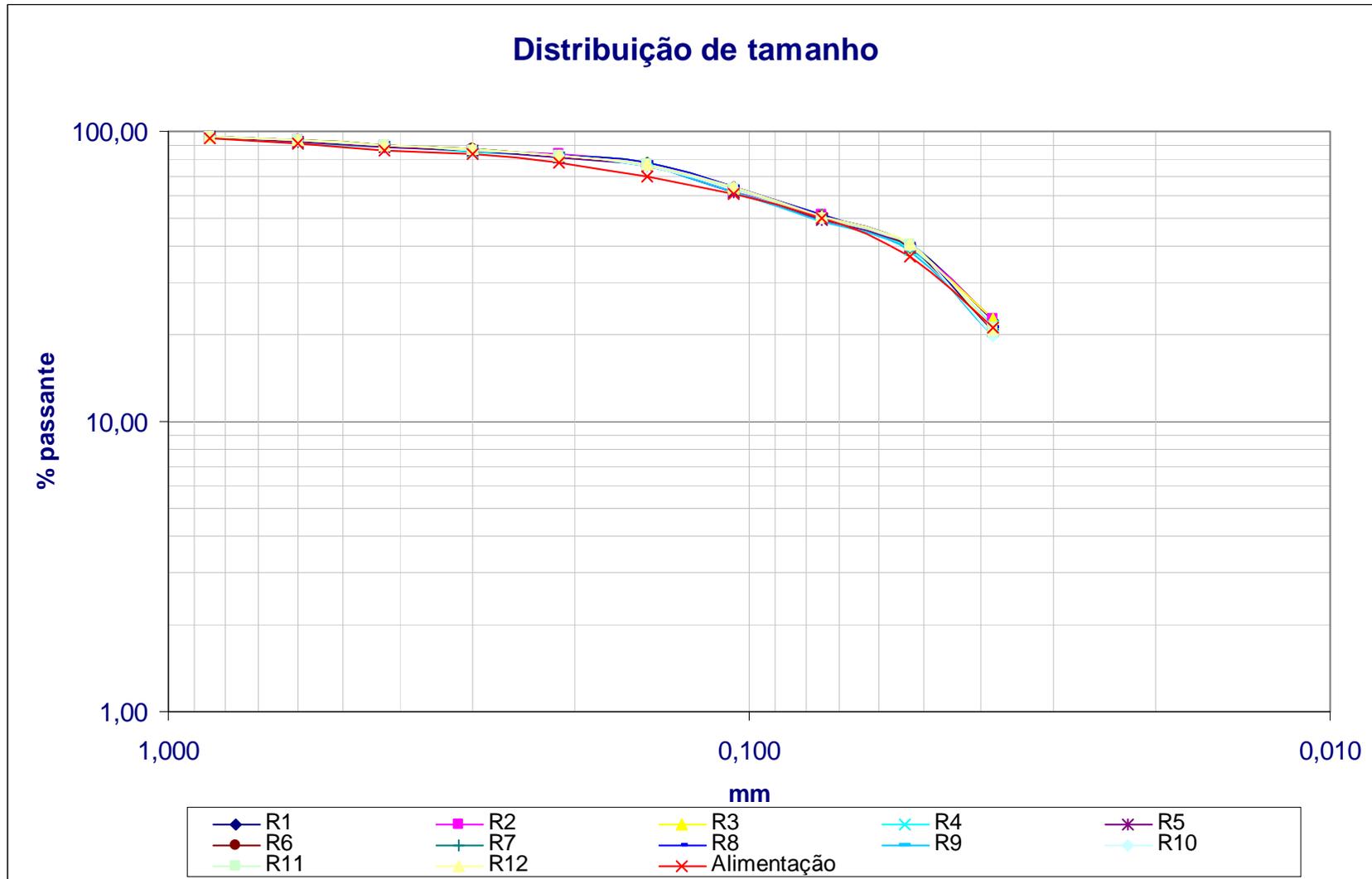


FIGURA 4.2 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,1 mm com 60% de sólidos

TABELA 4.16
Distribuição de tamanho – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos

Recipiente	Malha (mm) / Passante acumulado (%)							
	0,425	0,300	0,212	0,150	0,106	0,075	0,053	0,038
Alimentação	96,35	92,37	85,73	78,62	68,16	55,62	40,21	22,92
R1	97,29	92,98	88,50	81,89	68,24	55,72	44,70	23,59
R2	97,58	93,00	88,74	82,86	69,35	55,56	44,48	23,91
R3	97,22	93,17	88,39	81,28	67,95	54,12	42,13	23,57
R4	97,63	92,91	88,15	81,94	68,13	53,36	41,57	23,29
R5	96,71	92,94	88,81	82,27	68,66	47,98	37,80	23,64
R6	97,44	93,05	88,51	82,11	68,86	56,00	43,85	24,57
R7	97,46	93,15	88,28	81,95	68,75	53,37	43,38	23,96
R8	97,39	93,27	88,32	81,82	68,81	52,79	42,94	23,83
R9	97,81	93,51	89,13	82,03	68,39	54,25	43,26	24,12
R10	97,32	92,99	87,91	81,55	68,41	54,73	42,15	23,22
R11	97,34	92,30	87,50	81,34	68,24	54,25	44,35	25,67
R12	98,03	93,72	89,14	82,61	70,13	56,23	45,96	26,15
Média	97,44	93,08	88,45	81,97	68,66	54,03	43,05	24,13
Variância	0,11	0,12	0,23	0,22	0,36	4,86	4,28	0,83
Desvio Padrão	0,33	0,35	0,48	0,47	0,60	2,20	2,07	0,91
Máximo	98,03	93,72	89,14	82,86	70,13	56,23	45,96	26,15
Mínimo	96,71	92,30	87,50	81,28	67,95	47,98	37,80	23,22
Amplitude	1,32	1,42	1,64	1,58	2,18	8,24	8,16	2,92

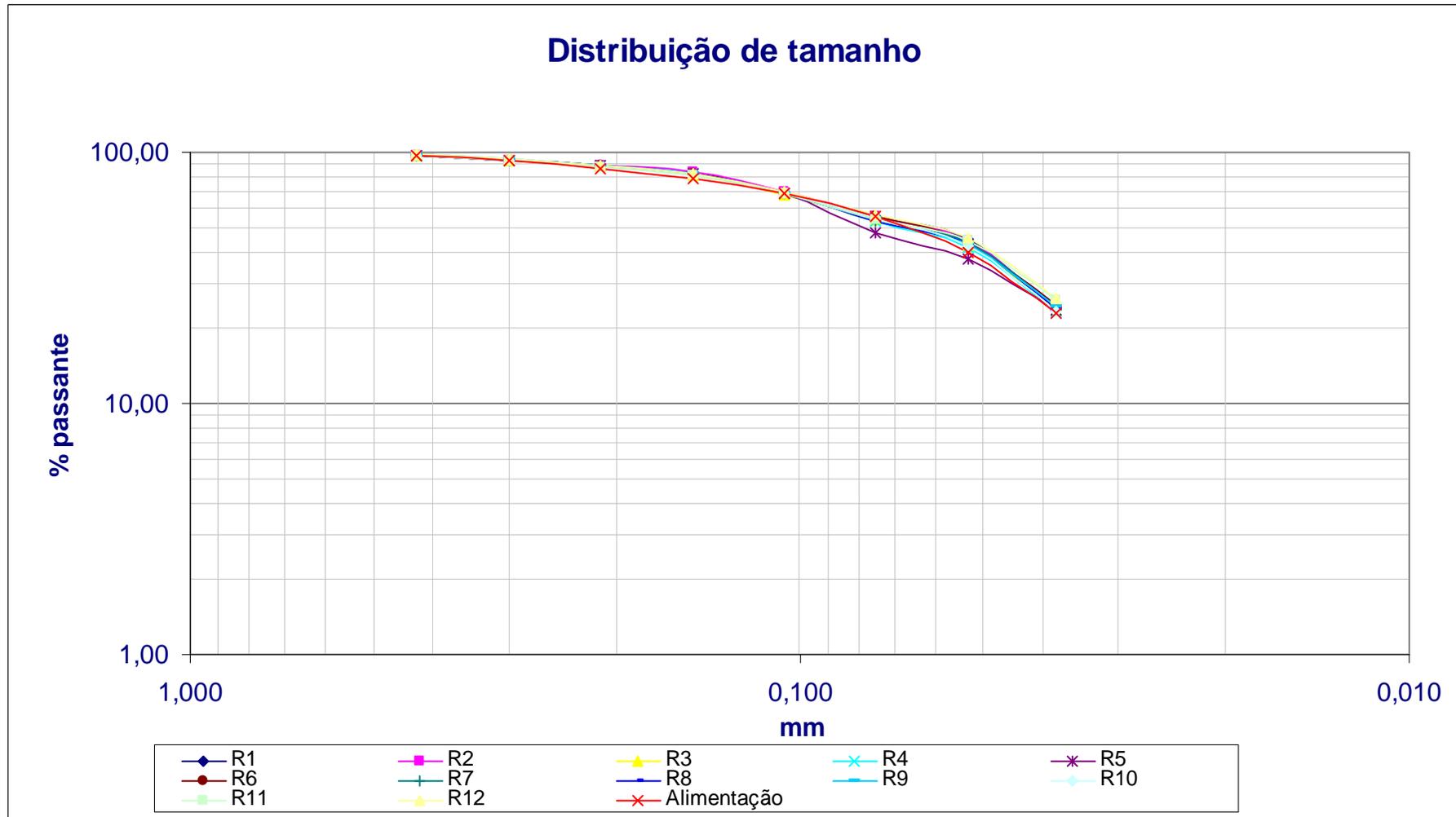


FIGURA 4.3 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos

TABELA 4.17
Distribuição de tamanho – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos

Recipiente	Malha (mm) / Passante acumulado (%)							
	0,425	0,300	0,212	0,150	0,106	0,075	0,053	0,038
Alimentação	96,35	92,37	85,73	78,62	68,16	55,62	40,21	22,92
R1	96,73	93,51	88,12	81,29	67,56	51,75	40,04	23,34
R2	97,07	93,03	88,03	81,06	67,68	52,12	41,36	24,06
R3	97,32	93,42	88,12	81,97	67,17	52,12	41,51	23,82
R4	97,88	92,91	87,72	80,84	66,81	49,68	38,68	22,77
R5	97,52	93,73	88,89	82,60	68,43	53,80	41,88	25,01
R6	97,58	93,07	88,62	82,13	68,78	54,27	43,34	26,30
R7	97,70	93,71	89,04	83,05	68,76	55,13	43,77	25,32
R8	97,82	93,95	89,26	82,93	69,16	52,81	42,75	24,14
R9	96,95	93,04	88,23	80,74	66,77	50,88	41,58	22,95
R10	96,50	93,01	88,05	79,67	67,08	52,42	41,05	22,53
R11	97,71	92,67	88,23	81,48	66,60	52,24	38,96	22,85
R12	97,71	93,22	88,45	80,63	67,09	52,17	37,74	21,67
Média	97,37	93,27	88,40	81,53	67,66	52,45	41,05	23,73
Variância	0,21	0,15	0,22	1,06	0,80	2,13	3,52	1,74
Desvio Padrão	0,46	0,39	0,47	1,03	0,90	1,46	1,88	1,32
Máximo	97,88	93,95	89,26	83,05	69,16	55,13	43,77	26,30
Mínimo	96,50	92,67	87,72	79,67	66,60	49,68	37,74	21,67
Amplitude	1,38	1,28	1,54	3,38	2,56	5,45	6,03	4,63

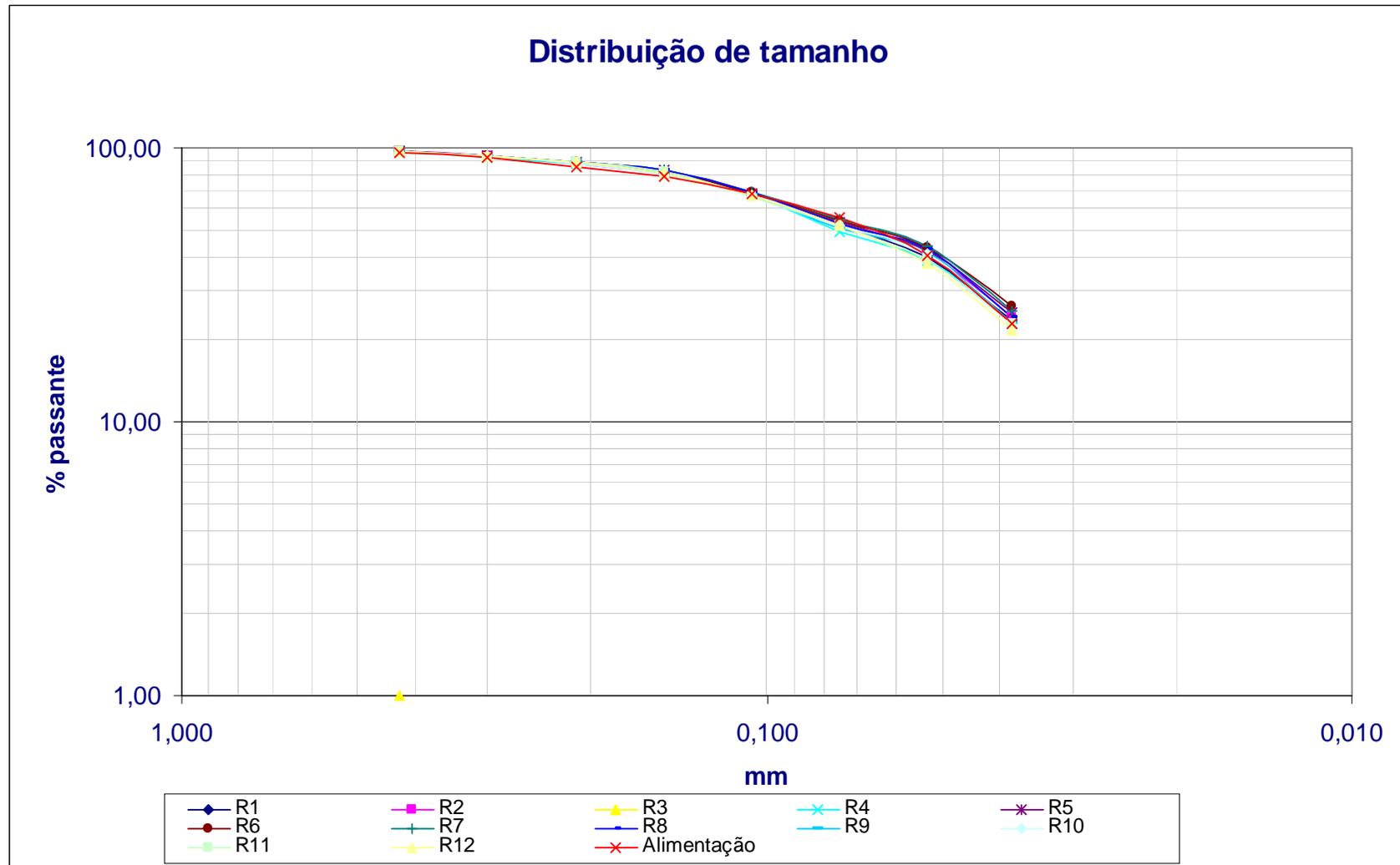


FIGURA 4.4 - Distribuição de tamanho – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos

TABELA 4.18
Distribuição de tamanho – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos

Recipiente	Malha (mm)/ Passante acumulado (%)		
	0,075	0,053	0,038
Alimentação	85,98	74,99	56,47
R1	86,72	78,04	57,53
R2	84,97	74,00	59,32
R3	86,79	77,28	57,13
R4	85,85	76,21	56,06
R5	86,65	78,96	57,98
R6	86,45	78,27	57,29
R7	86,76	77,95	58,55
R8	85,15	74,71	55,18
R9	86,29	76,20	56,66
R10	86,28	77,10	59,10
R11	85,78	75,96	57,86
R12	85,92	75,46	57,30
Média	86,13	76,68	57,50
Variância	0,38	2,30	1,43
Desvio Padrão	0,62	1,52	1,20
Máximo	86,79	78,96	59,32
Mínimo	84,97	74,00	55,18
Amplitude	1,82	4,96	4,15

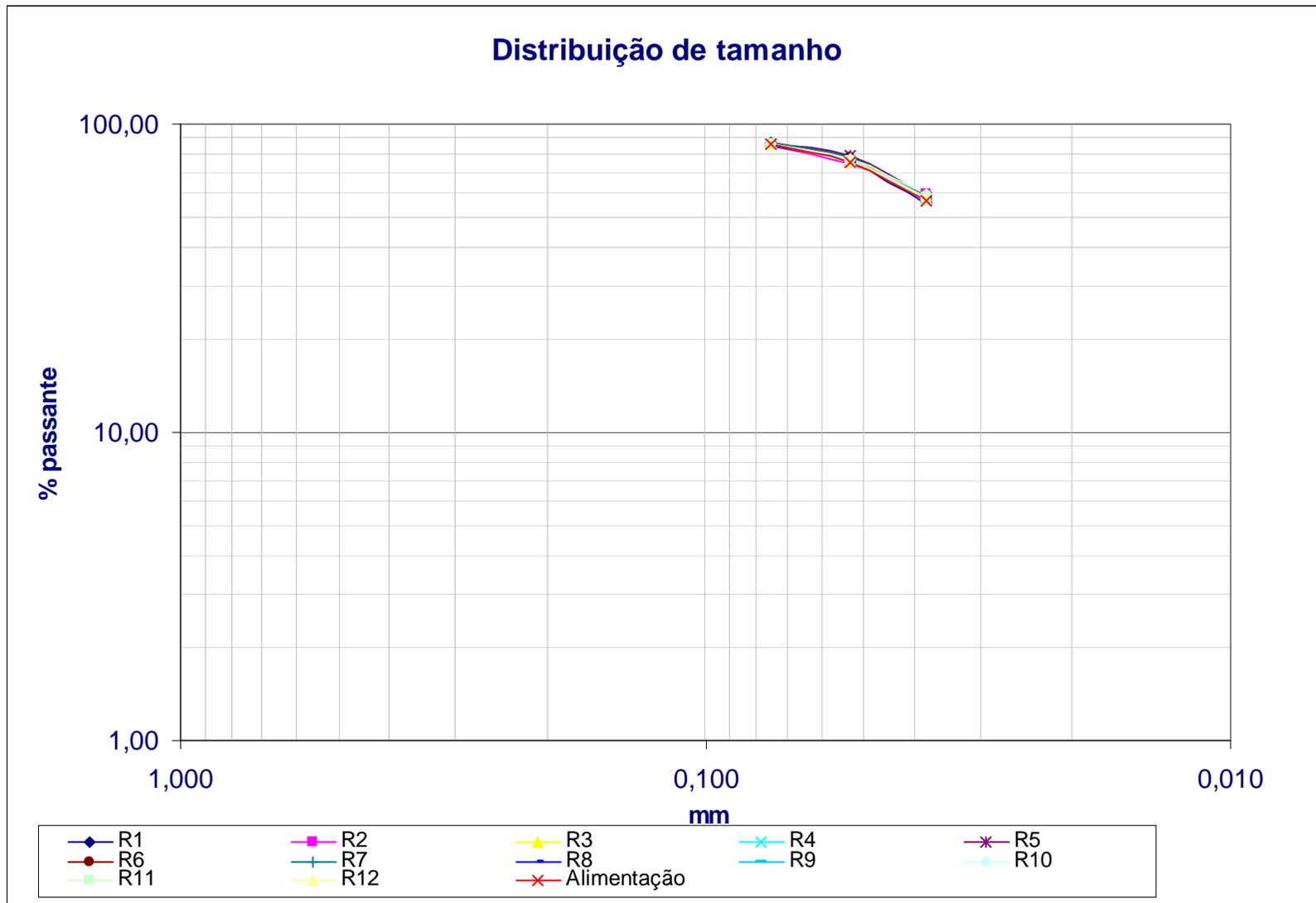


FIGURA 4.5 - Distribuição de tamanho – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos

TABELA 4.19
Distribuição de tamanho – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos

Recipiente	Malha (mm) / Passante acumulado (%)		
	0,075	0,053	0,038
Alimentação	85,98	74,99	56,47
R1	85,94	75,55	59,21
R2	86,43	75,57	58,15
R3	86,40	76,60	57,93
R4	86,21	76,88	58,40
R5	86,08	76,77	58,47
R6	86,16	77,54	58,56
R7	84,96	76,98	56,56
R8	85,78	78,72	60,41
R9	86,86	78,37	59,45
R10	85,93	78,55	58,12
R11	84,92	76,12	56,37
R12	86,68	78,30	58,91
Média	86,03	77,16	58,38
Variância	0,35	1,28	1,27
Desvio Padrão	0,60	1,13	1,13
Máximo	86,86	78,72	60,41
Mínimo	84,92	75,55	56,37
Amplitude	1,93	3,17	4,04

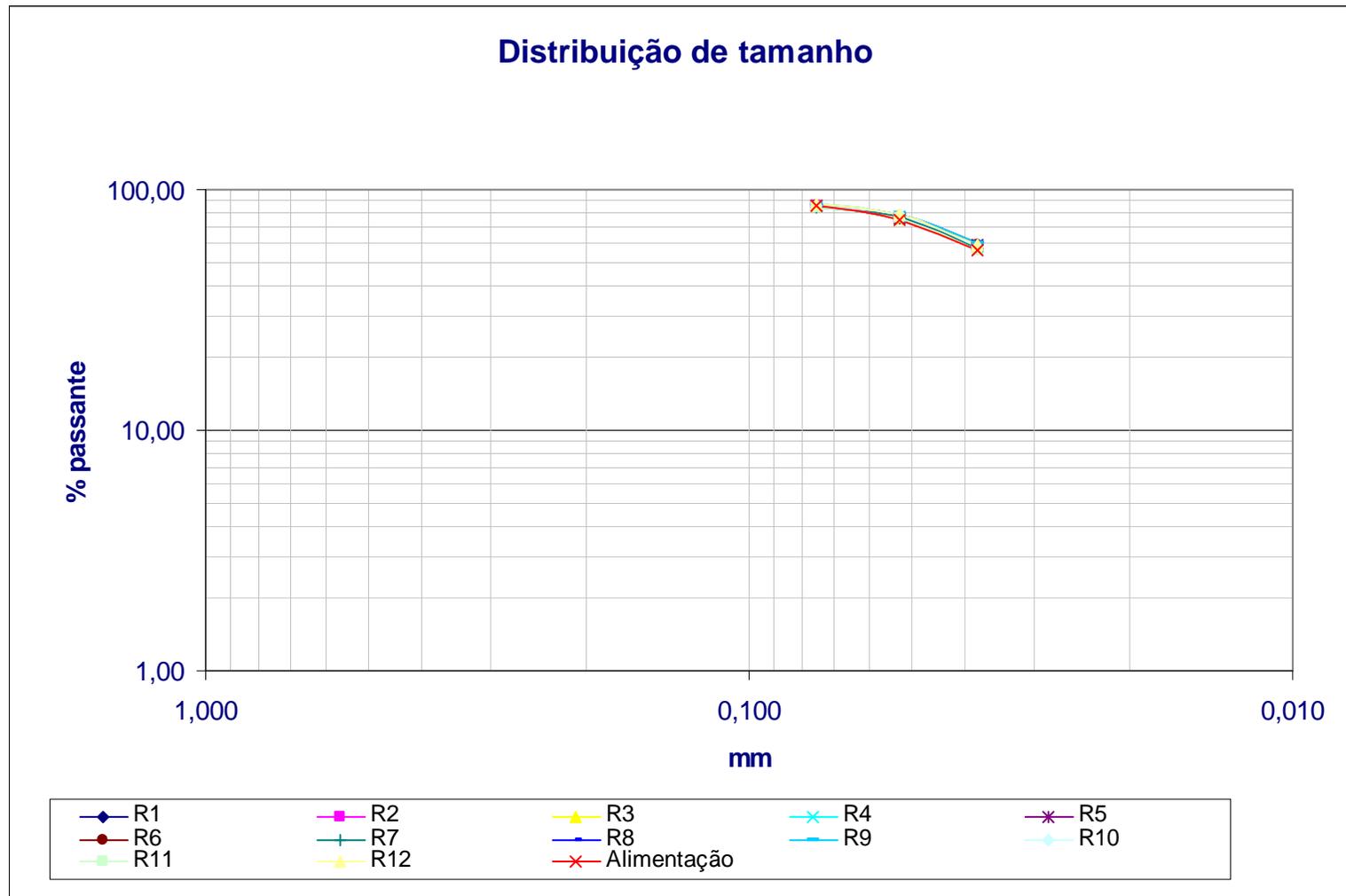


FIGURA 4.6 - Distribuição de tamanho – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos

Os resultados de análise granulométrica demonstraram precisão e acurácia em todas as amostras. Para estes resultados, estabeleceu-se como critério de verificação da qualidade o valor de 1,5 como valor limite do desvio padrão. Para as amostras: <1,0 mm - 60% de sólidos e P80<0,075mm - 20 e 60% de sólidos o limite não foi ultrapassado em nenhuma malha analisada.

Para a amostra <1,0 mm - 20% sólidos o desvio padrão ultrapassou o limite estabelecido na malha de 0,053 mm. Na amostra <0,5 mm – 20% de sólidos as malhas de 0,075 e 0,053 mm ultrapassaram o limite estabelecido, assim como a malha de 0,053 mm da amostra <0,5 mm – 60% de sólidos.

Observou-se que o limite estabelecido apenas foi ultrapassado em duas malhas, sendo duas malhas finas (0,075 e 0,053 mm) e nas amostras com um grande número de malhas no peneiramento. Este erro, provavelmente, está relacionado ao peneiramento das amostras, que pelo fato de ser a úmido e em peneiras de 60 cm, o material mais fino tem a tendência de se aglomerar nas malhas mais finas diminuindo, portanto, a eficiência do mesmo.

O problema observado não pode ser atribuído à eficiência do quarteador, pois caso contrário, o limite seria ultrapassado nas malhas mais grossas: quando a válvula de descarga do quarteador é aberta o material mais grosso sai primeiro, ocasionando um erro amostral nas malhas mais grossas. Portanto como os erros estão associados às malhas mais finas, o quarteador de polpa, em termos de análise granulométrica, é eficiente.

4.3. Análise Química

Os resultados da análise química dos dozes recipientes (R_i , com $i= 1,2, \dots, 12$) e da alimentação estão apresentados nas tabelas 4.20 a 4.25 e nas figuras 4.7 a 4.18.

TABELA 4.20
Análise química – Amostra <1,0 mm com 20% de sólidos

Recipiente	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Fe %	MgO %	Mn %	P ppm	SiO ₂ %	TiO ₂ %
Alimentação	0,189	0,087	44,5	0,043	0,045	< 230	37,1	< 0,014
R1	0,232	0,080	44,2	0,045	0,038	< 230	36,5	< 0,014
R2	0,213	0,097	45,1	0,046	0,038	< 230	35,9	< 0,014
R3	0,199	0,072	44,2	0,041	0,041	< 230	36,9	< 0,014
R4	0,197	0,073	43,8	0,039	0,037	< 230	37,2	< 0,014
R5	0,196	0,068	43,8	0,037	0,038	< 230	37,4	< 0,014
R6	0,206	0,082	44,3	0,042	0,039	< 230	36,6	< 0,014
R7	0,199	0,075	44,4	0,038	0,040	< 230	36,3	< 0,014
R8	0,217	0,081	43,7	0,041	0,038	< 230	37,6	< 0,014
R9	0,193	0,076	44,0	0,037	0,044	< 230	37,2	< 0,014
R10	0,192	0,075	44,0	0,038	0,042	< 230	36,8	< 0,014
R11	0,193	0,077	44,5	0,039	0,037	< 230	37,1	< 0,014
R12	0,197	0,077	44,4	0,039	0,041	< 230	36,2	< 0,014
Média	0,203	0,078	44,20	0,040	0,039	-	36,80	-
Desvio Padrão	0,012	0,007	0,39	0,003	0,002	-	0,51	-
Mínimo	0,192	0,068	43,66	0,037	0,037	-	35,92	-
Máximo	0,232	0,097	45,12	0,046	0,044	-	37,55	-
Amplitude	0,039	0,029	1,46	0,009	0,008	-	1,63	-

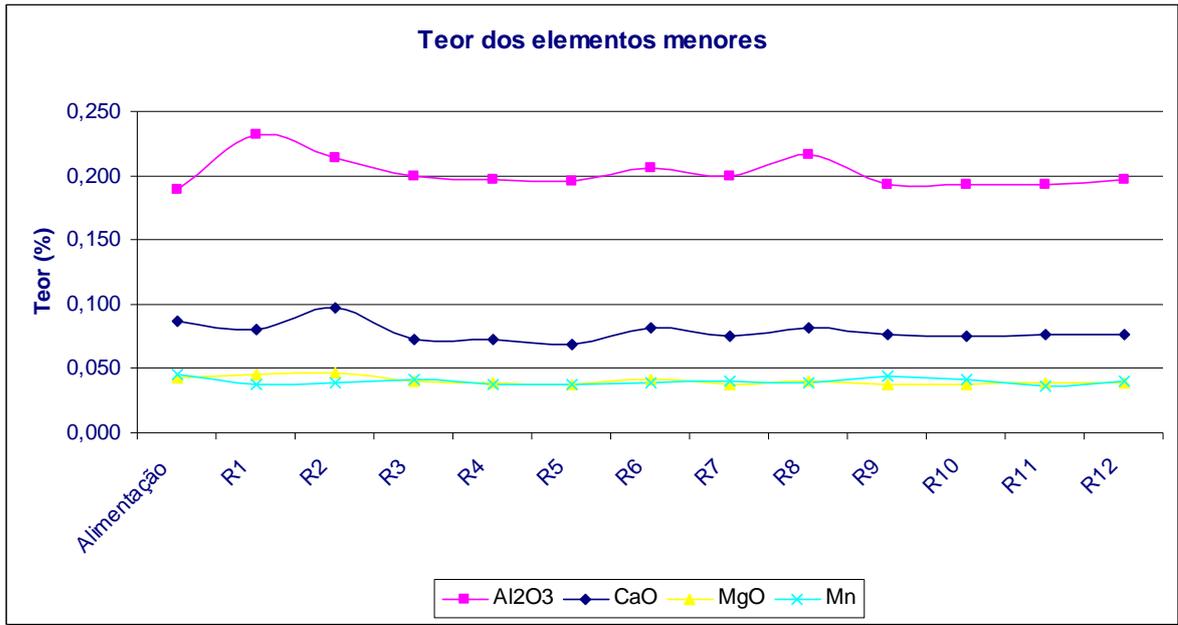


FIGURA 4.7 - Análise química – Elementos menores – Amostra <1,0 mm com 20% de sólidos

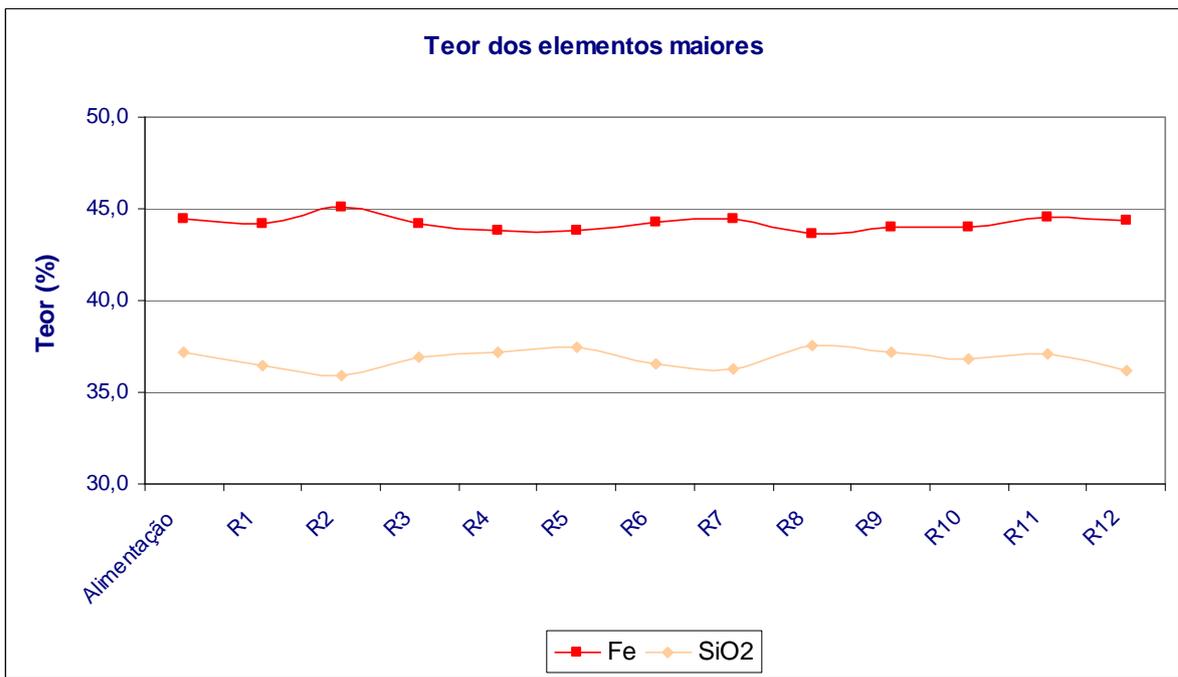


FIGURA 4.8 - Análise química - Elementos maiores – Amostra <1,0 mm com 20% de sólidos

TABELA 4.21
Análise química – Amostra <1,0 mm com 60% de sólidos

Recipiente	Al ₂ O ₃	CaO	Fe	MgO	Mn	P	SiO ₂	TiO ₂
	%	%	%	%	%	ppm	%	%
Alimentação	0,189	0,087	44,5	0,043	0,045	< 230	37,1	< 0,014
R1	0,192	0,080	43,5	0,043	0,036	< 230	37,8	< 0,014
R2	0,186	0,080	44,0	0,039	0,041	< 230	37,1	< 0,014
R3	0,186	0,081	43,7	0,043	0,038	< 230	36,9	< 0,014
R4	0,188	0,079	44,2	0,039	0,043	< 230	36,9	< 0,014
R5	0,207	0,070	44,0	0,037	0,036	< 230	36,7	< 0,014
R6	0,202	0,085	44,1	0,039	0,035	< 230	36,8	< 0,014
R7	0,202	0,082	44,1	0,039	0,036	< 230	37,0	< 0,014
R8	0,198	0,080	44,1	0,038	0,042	< 230	37,5	< 0,014
R9	0,189	0,077	44,1	0,039	0,034	< 230	37,0	< 0,014
R10	0,194	0,085	44,3	0,040	0,037	< 230	36,7	< 0,014
R11	0,196	0,090	44,2	0,039	0,037	< 230	36,5	< 0,014
R12	0,208	0,081	44,1	0,041	0,038	< 230	36,8	< 0,014
Média	0,196	0,081	44,04	0,040	0,038	-	36,98	-
Desvio Padrão	0,008	0,005	0,21	0,002	0,003	-	0,35	-
Mínimo	0,186	0,070	43,54	0,037	0,034	-	36,52	-
Máximo	0,208	0,090	44,31	0,043	0,043	-	37,78	-
Amplitude	0,022	0,020	0,77	0,007	0,008	-	1,27	-

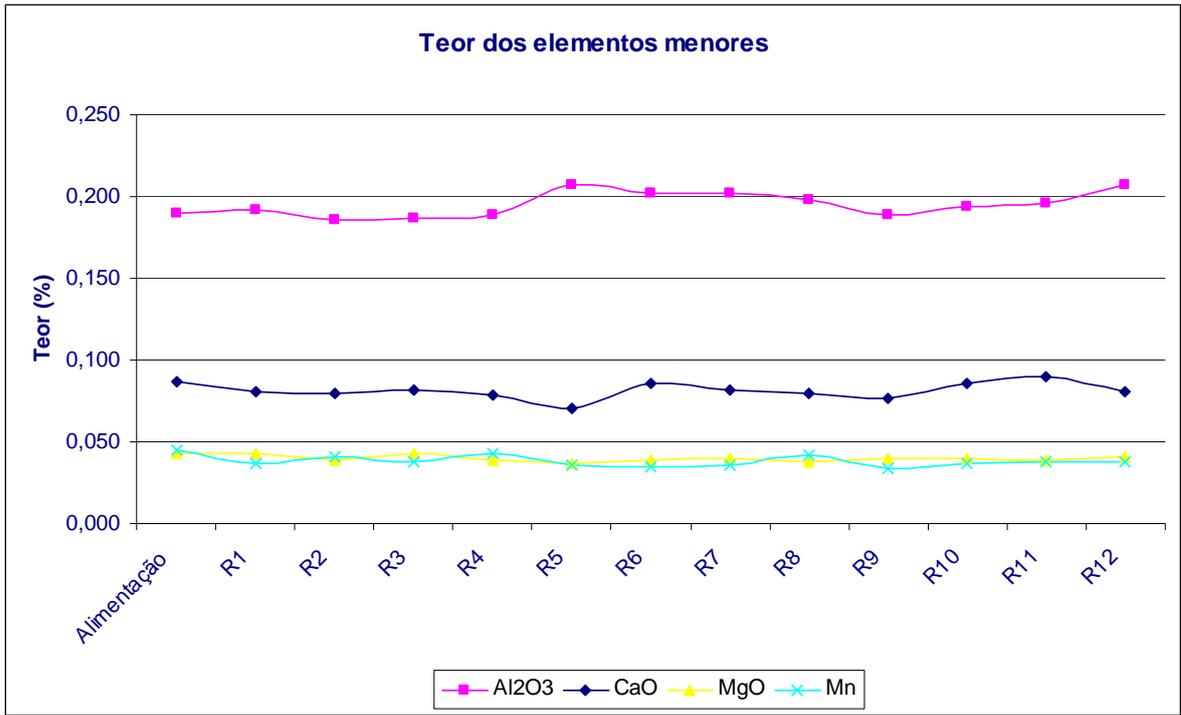


FIGURA 4.9 - Análise química – Elementos menores – Amostra <1,0 mm com 60% de sólidos

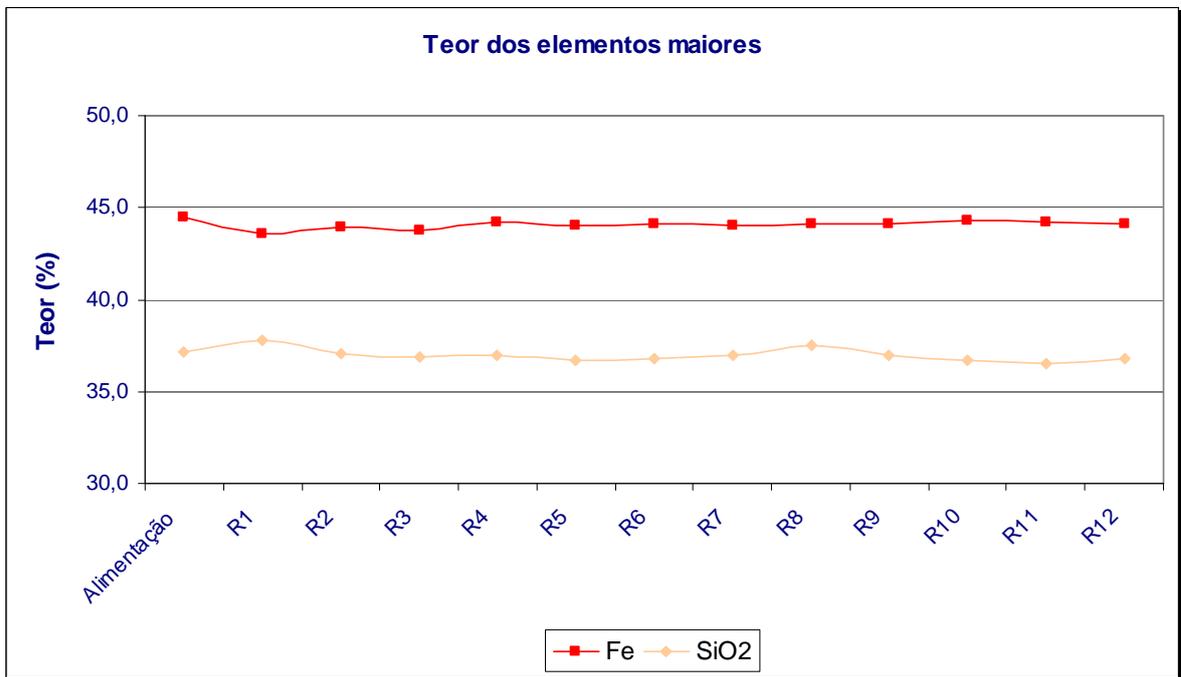


FIGURA 4.10 - Análise química - Elementos maiores – Amostra <1,0 mm com 60% de sólidos

TABELA 4.22
Análise química – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos

Recipiente	Al ₂ O ₃	CaO	Fe	MgO	Mn	P	SiO ₂	TiO ₂
	%	%	%	%	%	ppm	%	%
Alimentação	0,189	0,087	44,5	0,043	0,045	< 230	37,1	< 0,014
R1	0,209	0,084	43,7	0,037	0,043	< 230	36,7	< 0,014
R2	0,203	0,085	43,9	0,039	0,058	< 230	36,2	< 0,014
R3	0,205	0,091	43,6	0,037	0,061	< 230	37,3	< 0,014
R4	0,191	0,085	44,2	0,037	0,049	< 230	37,4	< 0,014
R5	0,193	0,085	44,5	0,036	0,050	< 230	36,9	< 0,014
R6	0,192	0,079	43,7	0,037	0,046	< 230	37,1	< 0,014
R7	0,187	0,080	43,6	0,036	0,039	< 230	37,2	< 0,014
R8	0,190	0,079	43,6	0,037	0,044	< 230	37,3	< 0,014
R9	0,188	0,078	43,8	0,037	0,040	< 230	37,4	< 0,014
R10	0,192	0,081	43,9	0,037	0,043	< 230	37,1	< 0,014
R11	0,206	0,087	44,3	0,039	0,041	< 230	36,5	< 0,014
R12	0,191	0,081	44,2	0,037	0,041	< 230	36,8	< 0,014
Média	0,196	0,083	43,92	0,037	0,046	-	36,99	-
Desvio Padrão	0,008	0,004	0,30	0,001	0,007	-	0,38	-
Mínimo	0,187	0,078	43,61	0,036	0,039	-	36,18	-
Máximo	0,209	0,091	44,47	0,039	0,061	-	37,45	-
Amplitude	0,022	0,013	0,87	0,003	0,022	-	1,27	-

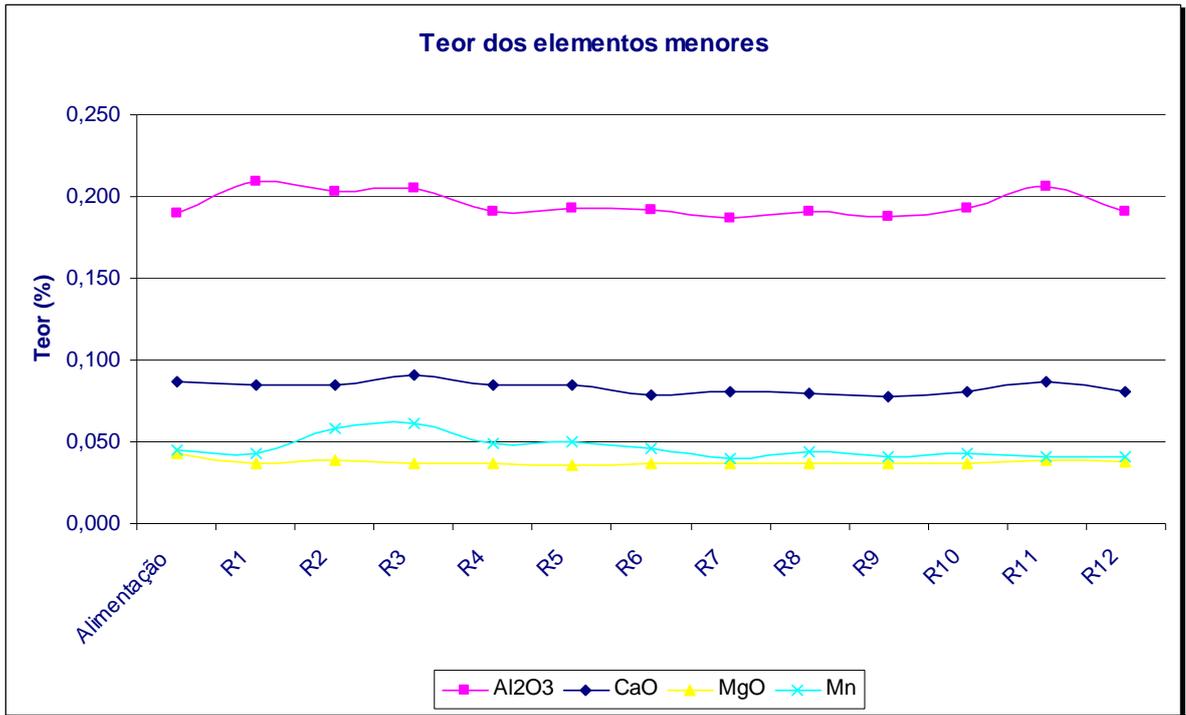


FIGURA 4.11 - Análise química – Elementos menores – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos

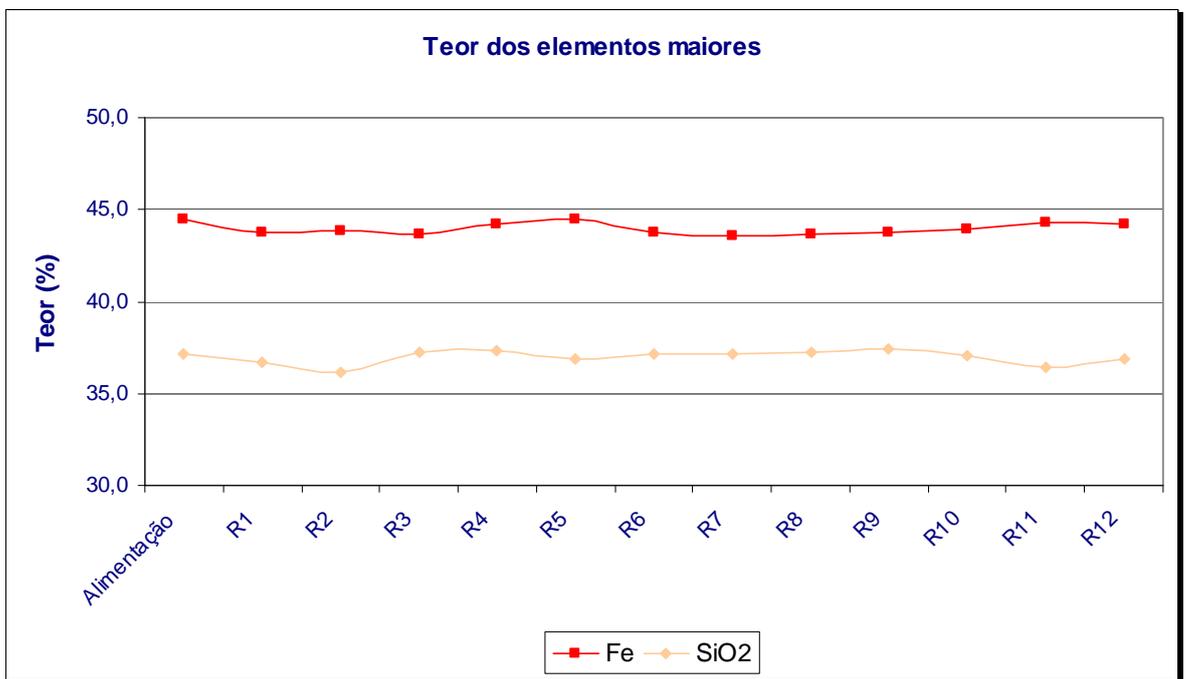


FIGURA 4.12 - Análise química - Elementos maiores – Amostra <0,5 mm com 20% de sólidos

TABELA 4.23
Análise química – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos

Recipiente	Al ₂ O ₃	CaO	Fe	MgO	Mn	P	SiO ₂	TiO ₂
	%	%	%	%	%	ppm	%	%
Alimentação	0,189	0,087	44,5	0,043	0,045	< 230	37,1	< 0,014
R1	0,192	0,083	43,4	0,037	0,039	< 230	37,8	< 0,014
R2	0,191	0,086	43,4	0,037	0,036	< 230	37,6	< 0,014
R3	0,189	0,083	43,5	0,038	0,038	< 230	37,4	< 0,014
R4	0,189	0,083	43,4	0,038	0,036	< 230	37,5	< 0,014
R5	0,186	0,083	43,6	0,038	0,037	< 230	37,4	< 0,014
R6	0,203	0,079	43,7	0,033	0,033	< 230	37,6	< 0,014
R7	0,192	0,070	43,5	0,031	0,031	< 230	37,9	< 0,014
R8	0,204	0,075	43,2	0,035	0,033	< 230	37,9	< 0,014
R9	0,203	0,078	43,6	0,035	0,032	< 230	38,0	< 0,014
R10	0,205	0,077	43,6	0,034	0,033	< 230	37,7	< 0,014
R11	0,207	0,077	43,6	0,034	0,033	< 230	37,8	< 0,014
R12	0,207	0,076	43,5	0,034	0,033	< 230	37,9	< 0,014
Média	0,197	0,079	43,50	0,035	0,035	-	37,70	-
Desvio Padrão	0,008	0,004	0,14	0,002	0,003	-	0,21	-
Mínimo	0,186	0,070	43,18	0,031	0,031	-	37,36	-
Máximo	0,207	0,086	43,73	0,038	0,039	-	37,95	-
Amplitude	0,021	0,016	0,55	0,007	0,007	-	0,60	-

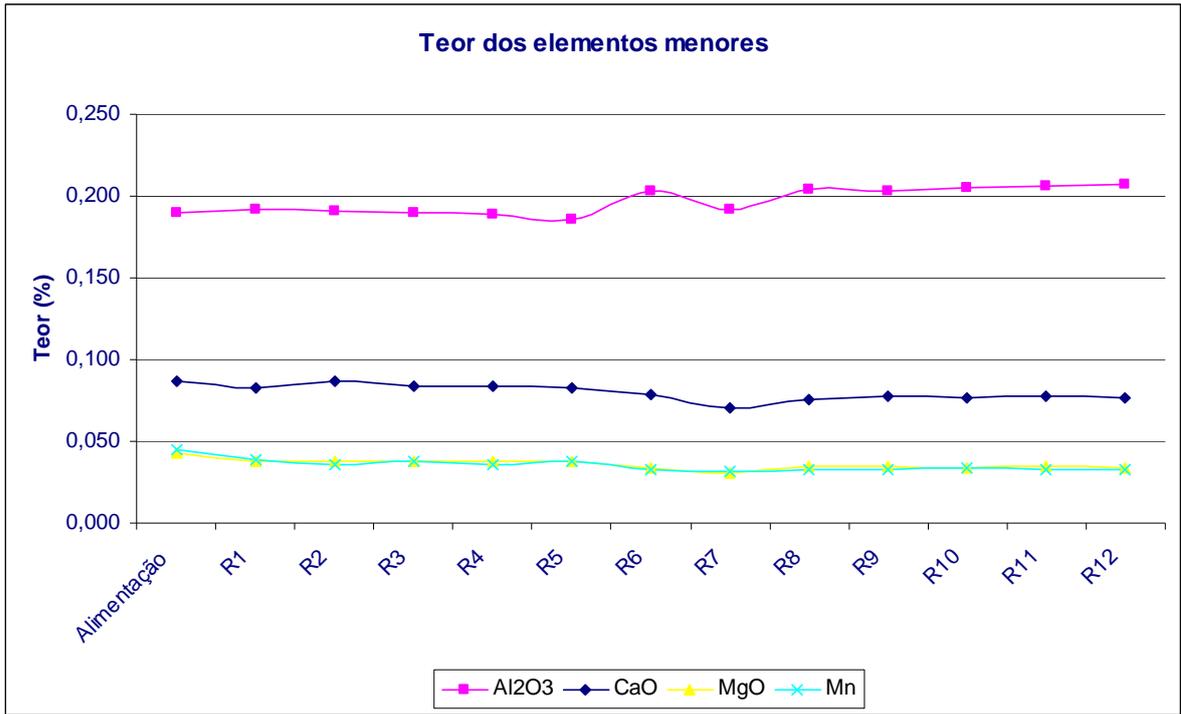


FIGURA 4.13 - Análise química – Elementos menores – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos

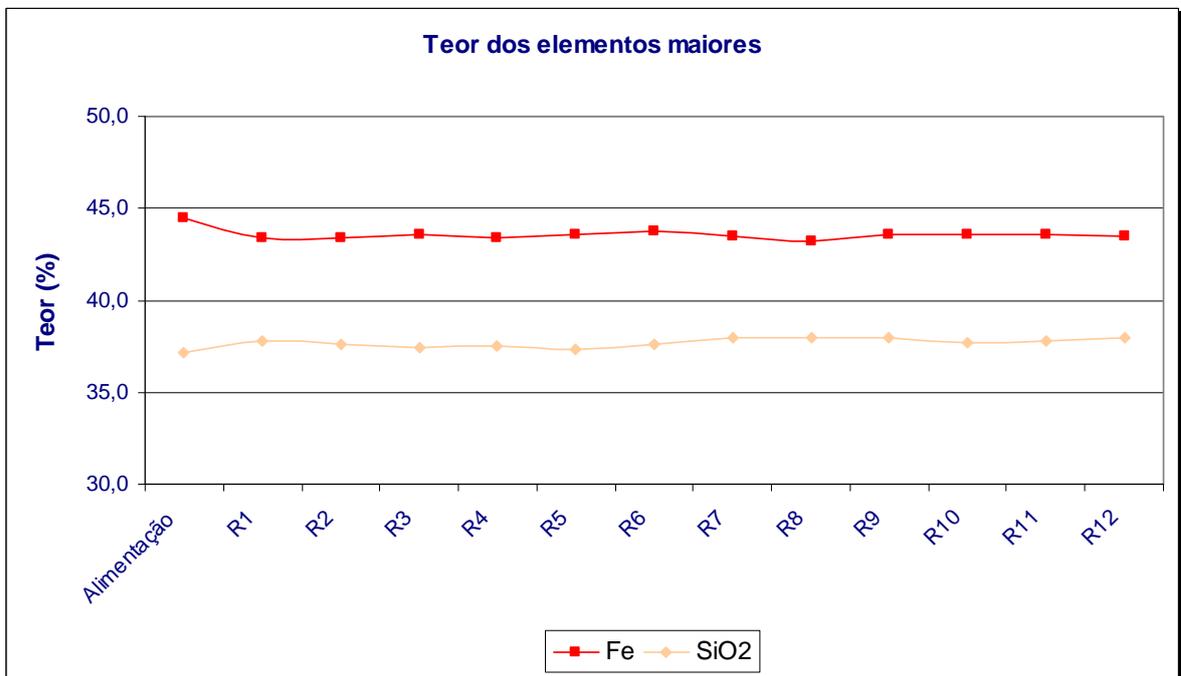


FIGURA 4.14 - Análise química - Elementos maiores – Amostra <0,5 mm com 60% de sólidos

TABELA 4.24
Análise química – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos

Recipiente	Al ₂ O ₃	CaO	Fe	MgO	Mn	P	SiO ₂	TiO ₂
	%	%	%	%	%	ppm	%	%
Alimentação	0,189	0,087	44,5	0,043	0,045	< 230	37,1	< 0,014
R1	0,191	0,082	44,0	0,043	0,041	< 230	36,9	< 0,014
R2	0,191	0,080	44,2	0,042	0,040	< 230	37,1	< 0,014
R3	0,191	0,080	44,7	0,043	0,041	< 230	37,1	< 0,014
R4	0,187	0,081	44,2	0,043	0,041	< 230	36,6	< 0,014
R5	0,193	0,082	44,4	0,043	0,041	< 230	36,9	< 0,014
R6	0,138	0,059	44,9	0,029	0,031	< 230	36,0	< 0,014
R7	0,186	0,077	44,3	0,042	0,041	< 230	37,0	< 0,014
R8	0,179	0,077	44,2	0,040	0,040	< 230	36,9	< 0,014
R9	0,183	0,078	44,5	0,040	0,039	< 230	36,3	< 0,014
R10	0,186	0,079	44,3	0,042	0,041	< 230	36,5	< 0,014
R11	0,185	0,081	44,4	0,042	0,041	< 230	36,4	< 0,014
R12	0,190	0,081	44,7	0,042	0,042	< 230	35,9	< 0,014
Média	0,183	0,078	44,39	0,041	0,040	-	36,64	-
Desvio Padrão	0,015	0,006	0,26	0,004	0,003	-	0,41	-
Mínimo	0,138	0,059	44,01	0,029	0,031	-	35,94	-
Máximo	0,193	0,082	44,91	0,043	0,042	-	37,10	-
Amplitude	0,056	0,023	0,90	0,014	0,011	-	1,16	-

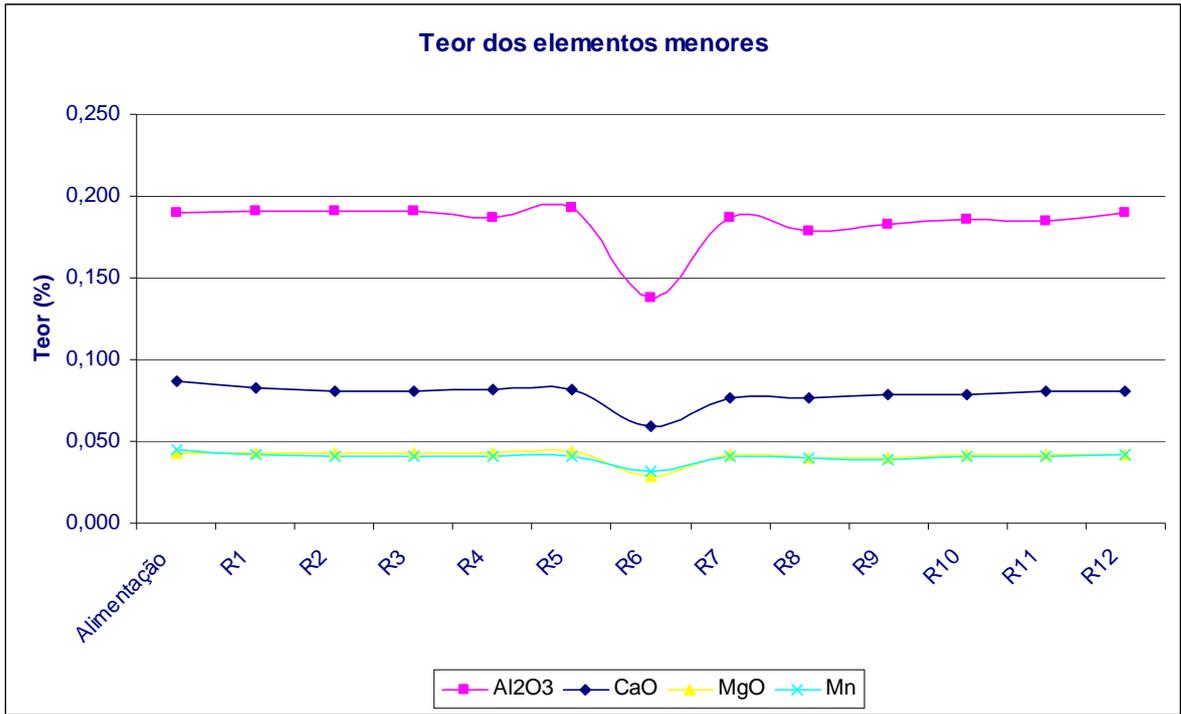


FIGURA 4.15 - Análise química – Elementos menores – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos

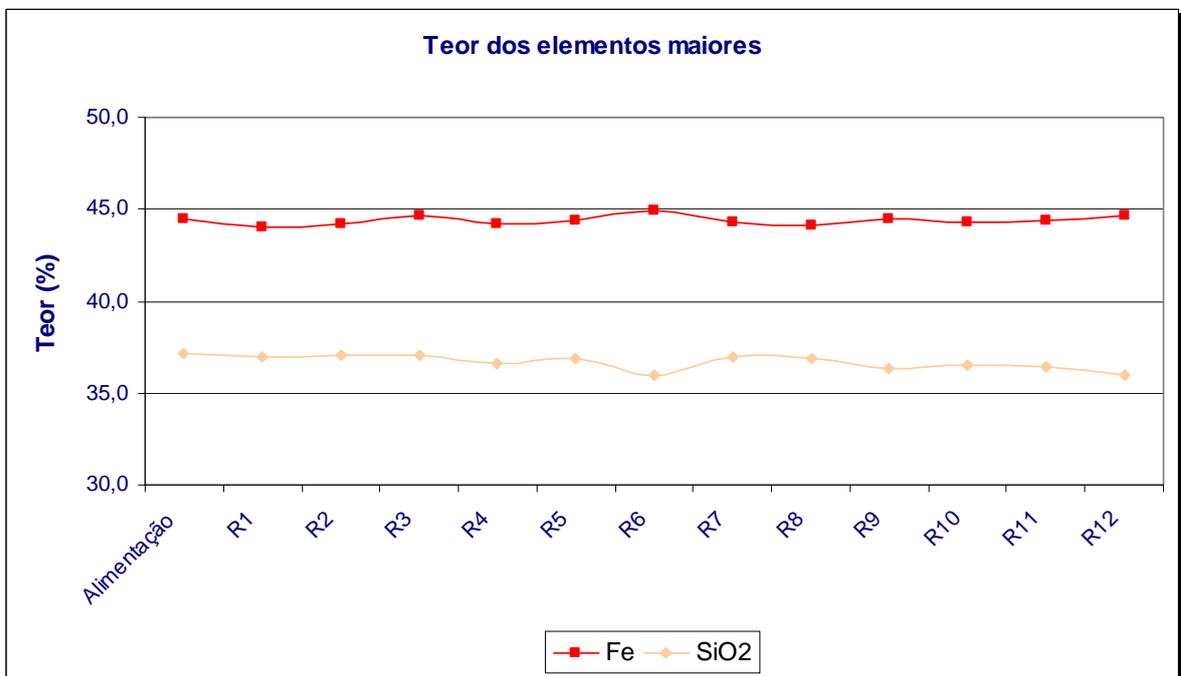


FIGURA 4.16 - Análise química - Elementos maiores – Amostra P80<0,075 mm com 20% de sólidos

TABELA 4.25
Análise química – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos

Recipiente	Al ₂ O ₃	CaO	Fe	MgO	Mn	P	SiO ₂	TiO ₂
	%	%	%	%	%	ppm	%	%
Alimentação	0,189	0,087	44,5	0,043	0,045	< 230	37,1	< 0,014
R1	0,241	0,085	44,1	0,044	0,042	< 230	36,8	< 0,014
R2	0,199	0,082	44,4	0,043	0,042	< 230	36,6	< 0,014
R3	0,197	0,087	44,3	0,044	0,042	< 230	36,5	< 0,014
R4	0,203	0,085	44,2	0,044	0,041	< 230	37,0	< 0,014
R5	0,184	0,084	44,5	0,042	0,040	< 230	36,8	< 0,014
R6	0,191	0,086	44,2	0,043	0,040	< 230	36,7	< 0,014
R7	0,177	0,080	44,6	0,039	0,039	< 230	36,3	< 0,014
R8	0,205	0,088	44,4	0,045	0,043	< 230	36,4	< 0,014
R9	0,190	0,086	44,2	0,044	0,042	< 230	37,1	< 0,014
R10	0,184	0,085	44,3	0,042	0,040	< 230	36,4	< 0,014
R11	0,186	0,076	45,0	0,038	0,037	< 230	36,5	< 0,014
R12	0,203	0,086	44,3	0,043	0,042	< 230	36,6	< 0,014
Média	0,197	0,084	44,38	0,043	0,041	-	36,65	-
Desvio Padrão	0,017	0,003	0,25	0,002	0,001	-	0,25	-
Mínimo	0,177	0,076	44,11	0,038	0,037	-	36,33	-
Máximo	0,241	0,088	45,02	0,045	0,043	-	37,12	-
Amplitude	0,065	0,012	0,91	0,007	0,005	-	0,79	-

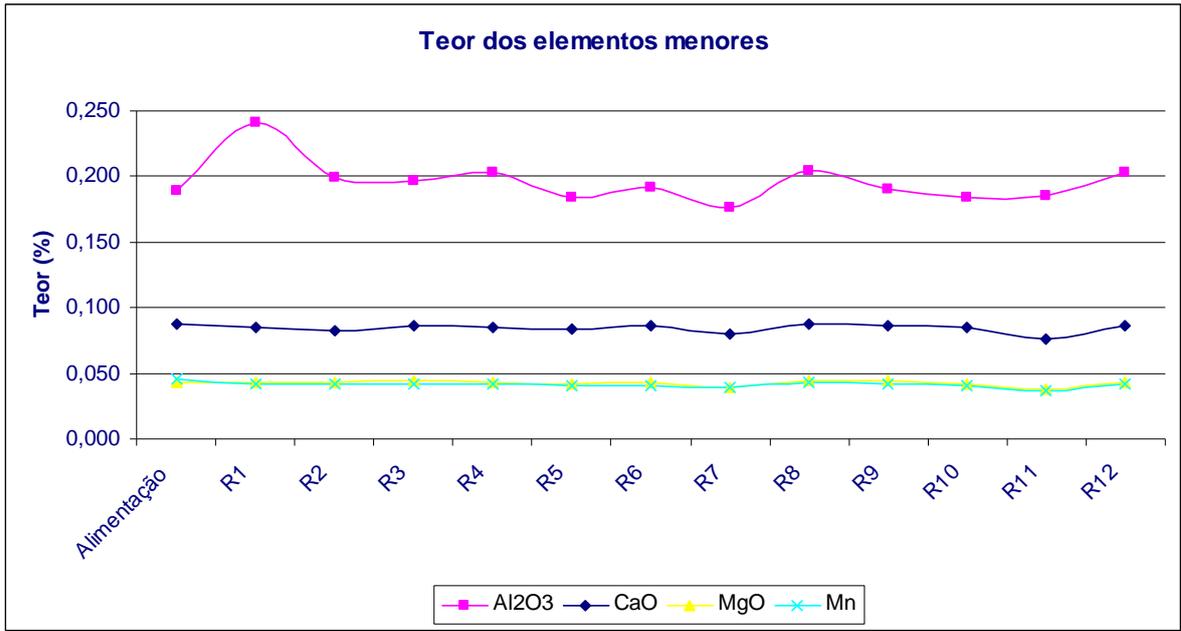


FIGURA 4.17 - Análise química – Elementos menores – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos

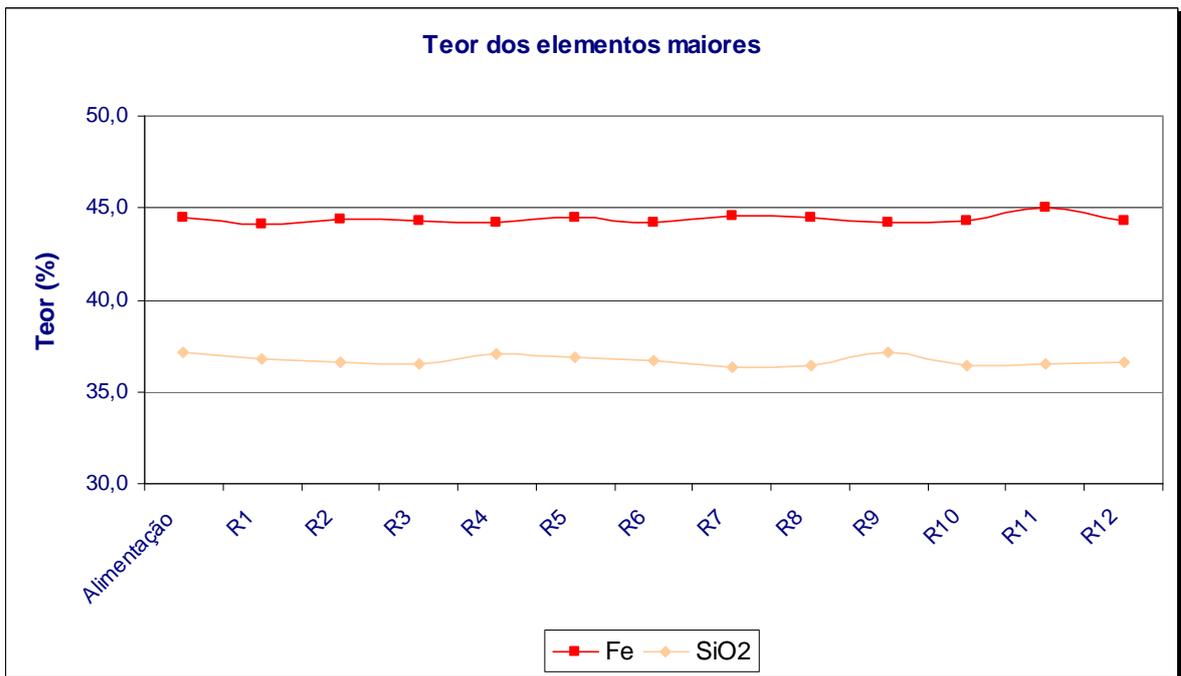


FIGURA 4.18 - Análise química - Elementos maiores – Amostra P80<0,075 mm com 60% de sólidos

Observam-se nas figuras 4.7 a 4.18 que os teores dos elementos analisados não tiveram variação significativa entre os recipientes do quarteador de polpa. Os resultados de análise química, assim como na análise granulométrica, mostraram grande precisão e acurácia em todas as amostras.

Os dados de análise química foram tratados e avaliados em dois grupos: *teor dos elementos menores (<0,5%)* e *teor dos elementos maiores (>10%)*. Para os elementos menores estabeleceu-se o valor de 0,02 como valor limite do desvio padrão e para os elementos maiores o limite estabelecido foi de 0,5. Em todas as amostras o desvio padrão, tanto para o teor dos elementos menores quanto para o teor dos elementos maiores, foi menor do que o limite estabelecido.

Mesmo com todos os resultados abaixo dos limites estabelecidos houve algumas variações: os elementos menores do recipiente 6 da amostra P80<0,075 mm – 20% de sólido apresentaram valores menores que os dos outros recipientes, como pode ser observado na figura 4.15. E na amostra P80<0,075 mm – 60% de sólido, o valor de Al₂O₃ no recipiente 1 apresentou-se ligeiramente superior ao restante das amostras. Essas variações, por não ultrapassarem os limites estabelecidos, não tiveram as suas causas estudadas.

Pela observação e verificação dos resultados de análise química, conclui-se que o quarteador de polpa é um equipamento que permite obter dados com a precisão e a acurácia necessárias ao ensaio.

5. CONCLUSÃO

A precisão da amostragem é variável, dependente da variabilidade existente nas amostras. De acordo com as teorias de amostragem, cada partícula da amostra deve ter a mesma probabilidade de pertencer ao lote amostrado, fato que não ocorre, na maioria das vezes, na amostragem manual.

A amostragem em polpa com uso de um quarteador de polpa automático foi o alvo de estudo deste trabalho. O quarteador de polpa foi avaliado em termos de granulometria, concentração de sólidos e análise química. A partir da análise desses resultados conclui-se que o quarteador de polpa apresenta a precisão e a acurácia necessárias para atender ao controle de qualidade estabelecido no Laboratório de Processo.

Para a realização deste trabalho, as amostragens em polpa do laboratório não foram manuais, mas efetivadas pelo quarteador de polpa. Esta substituição trouxe minimização de erros e, conseqüentemente, maior confiabilidade dos dados gerados durante os ensaios, que dependiam do quarteamento da amostra na forma de polpa.

A mudança de técnica operacional gerou mudanças no Laboratório de Processo, e levou ao uso sistemático de outros quarteadores automáticos, tanto a seco quanto a úmido, para substituição, sempre que possível, dos quarteamentos manuais ainda utilizados no laboratório.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: informação e documentação - trabalhos acadêmicos - apresentação**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: informação e documentação - referências - elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

BOTTER, D.A., PAULA, G.A., LEITE, J.G. e CORDANI, L.K. **Noções de estatística**. São Paulo: IME/USP, 1996.

GRIFORIEFF, Alexandre *et al.* **O problema da amostragem na indústria mineral**. **REM: Ver. Esc. Minas**, Ouro Preto, v.55, n. 3, pp. 229-233, set. 2002

GÓES, Maria Alice C.de *et al.* Amostragem. In: LUZ, Adão Benvindo da *et al* (ed.). **Tratamento de minério**. 4ª edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, 858p.

GY, P.M. **Sampling of particule materials, theory and practice**. Second Revised Edition. Amsterdam: Elsevier, 1982. 431p.

GY, P. M.. **Sampling for analytical purposes**. Chichester: England, John Wiley & Sons Ltd, 1998. 153 p.

OLIVEIRA, Maria Lúcia M. de & AQUINO, José Aury de. Amostragem. In: SAMPAIO, João Alves *et al* (ed.). **Tratamento de minério: Práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2007, 557p.

ANEXO 1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS