



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS E MEIO AMBIENTE

LORENA REIS PEREIRA

**ADEQUAÇÃO DA MALHA DE UMA PENEIRA VIBRATÓRIA
INCLINADA NO CIRCUITO DE BENEFICIAMENTO DE UMA MINA
DE CALCÁRIO.**

Marabá

2014

LORENA REIS PEREIRA

ADEQUAÇÃO DA MALHA DE UMA PENEIRA VIBRATÓRIA
INCLINADA NO CIRCUITO DE BENEFICIAMENTO DE UMA MINA DE
CALCÁRIO.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia de
Minas e Meio Ambiente na Universidade
Federal do Sul e Sudeste do Pará –
UNIFESSPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Minas e Meio
Ambiente.

Orientadora: Prof. Dr. Denilson da Silva
Costa

Marabá

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca II da UNIFESSPA. CAMAR, Marabá, PA

Pereira, Lorena Reis

Adequação da malha de uma peneira vibratória inclinada no circuito de beneficiamento de uma mina de calcário / Lorena Reis Pereira; orientador, Denilson da Silva Costa. — 2014.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Curso de Engenharia de Minas e Meio Ambiente, Marabá, 2014.

1. Calcário - Minas e mineração. 2. Peneiras. 3. Resíduos - Reaproveitamento. I. Costa, Denilson da Silva, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 553.516

LORENA REIS PEREIRA

ADEQUAÇÃO DA MALHA DE UMA PENEIRA VIBRATÓRIA
INCLINADA NO CIRCUITO DE BENEFICIAMENTO DE UMA MINA DE
CALCÁRIO.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia de
Minas e Meio Ambiente na Universidade
Federal do Sul e Sudeste do Pará –
UNIFESSPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Minas e Meio
Ambiente.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. Denilson da Silva Costa
Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Minas
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Manoel Ferreira Nunes
Engenheiro de Minas e Meio Ambiente
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dennin Tomás Quispe Arapa
Mestre em Geologia Econômica
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Marabá

2014

A minha família,
Meu alicerce.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar sempre presente em minha vida, proporcionando além do que mereço, iluminando meus caminhos, me dando saúde, sabedoria e força, tornando possível, assim, a chegada ao fim desta etapa e início de uma nova. À minha mãezinha do céu, que sempre me protege, fazendo com que nunca perca minha fé e esperança.

Aos meus pais, João e Rita, que são as pessoas mais importantes, meu porto seguro, alicerce e meus modelos de vida. Agradeço por todo apoio, esforço, compreensão, por nunca me deixarem desistir e pelo amor incondicional recebido.

Ao meu irmão, José Pereira Neto, por sempre me provar que estará ao meu lado, segurando minha mão, independente de qualquer coisa.

Às minhas tias Maria de Fátima, Aurora, Rosa, Ana (in memoriam), Zulmira, Luiza Carla e Ana Cristina, por sempre me darem amor de mãe.

Aos meus primos e irmãos por toda alegria, carinho e apoio.

Aos meus amigos Aldo Leite, Jéssica Vale e Paula Sanz, por serem minha família de coração e nunca me deixarem sozinha, presentes em todos os momentos. Sem o apoio e alegria de vocês, esta caminhada teria sido muito mais difícil.

Às minhas companheiras eternas, Maryna Pereira, Tayla Figueiredo, Verena Leão e Jéssica Sobral, por fazerem parte desta caminhada desde sempre, até mesmo na creche.

A João Eleutério Júnior, meu eterno guxo, que, apesar da distância, sempre apoiou e me fez feliz.

Aos amigos do “Amizade”, que mesmo por pouco tempo, me deram o prazer e a alegria de estar em suas companhias, amenizando as dificuldades da caminhada.

Aos amigos da turma de 2008 pelos momentos de alegria que proporcionaram.

Ao amigo Vinícius Lima de Araújo que me abriu portas, dando oportunidade de desenvolvimento profissional e, conseqüentemente, de realização deste trabalho.

Ao amigo Gustavo André Silva da Silva por todo suporte e amizade no decorrer desta caminhada.

Aos professores da Universidade do Sul e Sudeste do Pará que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional, ajudando a concluir mais esta etapa.

Ao Grupo J. Demito e à empresa Caltins Calcário Tocantins LTDA, por me proporcionarem a oportunidade de realizar este trabalho e a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para meu crescimento profissional.

“Não há problema que resista ao trabalho.”

RESUMO

Esta pesquisa tem por objetivo analisar material rejeitado na malha do último *deck* de um equipamento de separação por tamanho. Esta perda provoca parada de equipamento e em consequência perda financeira por falta de material na alimentação de seguimentos do processo de produção. O foco deste trabalho é uma peneira vibratória inclinada da marca Piacentini, modelo PVA 1540 de três *decks*, os quais possuem aberturas de 6 polegadas (152,4 mm), 2 polegadas (50,8 mm) e 0,75 polegadas (19,05mm) no primeiro, segundo e terceiro *deck* respectivamente, inclinação de 15° e uma eficiência de 85%. O estudo foi realizado na empresa Caltins Calcário Tocantins LTDA, que tem como principais produtos calcários dolomítico e brita siderúrgica para construção civil. A produção possui circuito de beneficiamento que trabalha com duas linhas de produção, 1 e 2. No desenvolvimento da pesquisa, foi observado na linha 1 o descarte de material que poderia ser reutilizado no processo produtivo e, que sua recuperação poderia auxiliar na solução do problema em análise, melhorando a produção e incrementando ganhos financeiros com a mudança adequada. E que, após a implantação das medidas necessárias os materiais não sejam descartados. Este trabalho enfatiza o estudo de separação por tamanho das partículas. Foram realizados 5 ensaios de peneiramento utilizando 10 kg de amostra em cada um. Do material rejeitado, que gira em torno de 25% de material que é alimentado, encontrou-se uma porcentagem de 37,30% de material reutilizável, que neste caso é brita 1 (granulometria acima de 12,21 milímetros) e brita 0 (granulometria acima de 6,35 milímetros), resultando em uma diminuição de rejeito de 9,33% e um aumento na pilha de material utilizável no processo de mesmo valor. Constatando que, a malha adequada do último *deck* da peneira para que o material seja reaproveitando deverá ser de 0,25 polegadas (6,35 milímetros), sendo esta a malha em que é retida a maior quantidade de material utilizável no processo. Para empresa, além do ganho de 9,33% de material na pilha de alimentação, haverá uma diminuição de 39,58% no custo de transporte de material rejeitado, que custa, no ano de realização deste trabalho (2014), R\$ 0,86 (oitenta e seis centavos) a tonelada.

Palavras chaves: Peneiramento. Rejeito. Calcário. Reaproveitamento.

ABSTRACT

This research aims to analyze rejected material in the mesh of the last deck in a separation by size equipment. This loss causes arrest equipment and result in financial loss for lack of material in the supply segments of the production process. The focus of this work is an inclined vibrating screen Piacentini PVA model 1540 with three decks, which have openings of 6 inches (152,4 mm), 2 inches (50,8 mm) and 0,75 inches (19,05mm) in the first, second and third deck, respectively, have slope of 15 ° and an efficiency of 85%. The study was conducted in Caltins Calcário Tocantins LTDA Company, whose have like main product dolomitic limestone and crushed stone like byproduct. The production has a processing circuit which works with two production lines, 1 and 2. During the development of the survey, was observed in line 1 the disposal of material that could be reused in the production process, and that his recovery could help in solving the problem in analysis, improving production and increasing financial gains with the appropriate change. And that, after the implementation of the measures necessary, materials are not discarded. This work highlights the study of particle size separation. 5 screening assays using 10 kg of each sample were performed. The rejected material, which is around 25% of material is fed, found a percentage of 37.30% reusable material, which in this case is gravel 1 (grain size above 12,21 mm) and gravel 0 (particle size above 6,35 millimeters), resulting in a decrease in tailing of 9.33% and an increase in usable cell material in the process with the same value. Noting that the last of suitable mesh screen deck for reusing the material is expected to be 0.25 inches (6.35 millimeters), which is the mesh where is retained the greatest amount of usable material in the process. For now, besides the gain of 9.33% in the pile of material supply, there will be a decrease of 39.58% in the cost of transport of rejected material, which costs in the year of this work (2014), R\$ 0,86 (eighty-six real cents) per ton.

Key words: Screening. Rejected.Limestone. Reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de classificação em peneira.	16
Figura 2 - Comportamento coletivo das partículas em uma peneira vibratória inclinada.	22
Figura 3 - Curva de capacidade básica para materiais metálicos.	24
Figura 4 - Trajeto de Palmas a Bandeirantes do Tocantins.	29
Figura 5 - Trajeto de Bandeirantes do Tocantins a Indústria Caltins.	30
Figura 6 - Equipamento de perfuração da empresa Caltins.	33
Figura 7 - Compressor de ar que fornece energia a perfuratriz.	34
Figura 8 - Carregamento por escavadeira hidráulica.	34
Figura 9 - Lavra por bancada realizada na mina Corgão.	35
Figura 10 - Peneira Vibratória Inclinada Piacentini modelo PVA 1540.	38
Figura 11 - Peneira Vibratória Inclinada Piacentini modelo PVA 1540 da empresa Caltins.	38
Figura 12 - Amostra coletada de material rejeitado.	40
Figura 13 - Homogeneização da amostra.	40
Figura 14 - Pilha alongada de amostra para realização do quarteamento.	41
Figura 15 - Peneira vibratória inclinada utilizada no experimento.	42
Figura 16 - Resultado das análises do material rejeitado.	45
Figura 17 - Balanço de massas da etapa de peneiramento atual.	46
Figura 18 - Balanço de massas da etapa de peneiramento esperado após mudanças.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equipamentos de classificação por tamanho e suas principais características.....	17
Tabela 2 - Fator de eficiência (E) e Fator de finos (F) para cada eficiência dada.....	25
Tabela 3 - Fator de abertura (B).	25
Tabela 4 - Fator de <i>deck</i> (D).....	26
Tabela 5 - Fator de peneiramento via úmida (W).....	26
Tabela 6 - Características técnicas da peneira Piacentini modelo PVA 1540.....	37
Tabela 7 - Resultados dos ensaios de peneiramento realizados.	43
Tabela 8 - Tratamento estatístico dos dados resultantes dos ensaios de peneiramento.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	SEPARAÇÃO POR TAMANHO: PENEIRAMENTO.....	14
2.1.1	Equipamentos	17
2.1.2	Eficiência do peneiramento	20
2.1.3	Dimensionamento de equipamentos	22
3	APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO	27
3.1	CALCÁRIO DOLOMÍTICO E BRITAS.....	27
3.2	LOCALIZAÇÃO	28
3.3	GEOLOGIA REGIONAL	30
3.4	GEOLOGIA LOCAL	32
3.5	ÁREAS DE EXTRAÇÃO.....	32
3.6	PROCESSO PRODUTIVO.....	32
3.7	MÉTODO DE LAVRA.....	35
3.8	BENEFICIAMENTO.....	36
4	METODOLOGIA	39
4.1	AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO.....	39
4.2	PENEIRAMENTO.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
	ANEXO A.....	53
	ANEXO B.....	54
	ANEXO C.....	55
	ANEXO D.....	56

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo é de suma importância para que se atinja um crescimento na produção da empresa em que foi realizado o trabalho e, conseqüentemente, uma redução nos custos e solução para problemáticas envolvidas.

A Mina Corgão uma mina a céu aberto da empresa Caltins Calcário Tocantins LTDA, que tem como produto principal o calcário dolomítico e como produto secundário brita siderúrgica e para construção civil. Está localizada em Bandeirantes do Tocantins, no estado do Tocantins.

O circuito de beneficiamento do calcário na empresa Caltins engloba britagem primária e secundária, separação por tamanho e moagem, trabalhado com duas linhas de produção, linha 1 e linha 2. Na empresa, o setor de produção controla as paradas realizadas dos equipamentos envolvidos no beneficiamento e um dos principais motivos recorrente é a falta de material na alimentação dos moinhos. Assim, iniciou-se um estudo para encontrar possíveis soluções que possam auxiliar na resolução da devida problemática.

Analisando o processo, notou-se uma perda significativa de material, que pode ser utilizado na produção nos moinhos, no rejeito da primeira peneira da linha 1. Diante disto a empresa está desenvolvendo um projeto de mudança no circuito de beneficiamento no intuito de diminuir a perda de produto. O projeto está dividido em duas fases: na fase I, serão analisadas as etapas de separação por tamanho e britagem secundária, e na etapa II, será analisada a etapa de moagem e realizado o estudo de viabilidade do projeto.

Como parte complementar deste projeto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) visa, de maneira geral, realizar a adequação da malha da peneira vibratória inclinada da marca Piacentini, modelo PVA 1540 de três *decks*, na qual ocorre o descarte de material utilizável no processo produtivo da empresa Caltins. Este TCC pretende, de forma específica: coletar e realizar a análise do material que está sendo rejeitado e, baseado nos resultados, adequar a malha da peneira, para que o material possa ser reaproveitado, e, ainda, identificar quais os ganhos para a produção da empresa com este novo cenário.

O texto foi dividido em capítulos para levar o leitor a um melhor entendimento da sequência dos trabalhos. No primeiro capítulo o texto introdutório pretende inserir o leitor ao assunto e a motivação que gerou o trabalho. No segundo capítulo é realizada uma revisão da bibliografia de modo a resgatar conceitos úteis à compreensão do texto. O terceiro capítulo foi destinado à caracterização do cenário em que se realizou o estudo. No quarto capítulo é

apresentada a metodologia utilizada. O quinto capítulo apresenta os resultados do trabalho e possíveis discussões sobre. Por fim, no sexto capítulo o leitor encontra de maneira resumida as conclusões obtidas com as análises dos dados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SEPARAÇÃO POR TAMANHO: PENEIRAMENTO

Segundo Sampaio e Silva (2007), o peneiramento é um dos métodos mais antigos na área de processamento mineral e, até hoje, é usado com aplicação comprovada numa variedade de indústrias e nas mais diferentes áreas. Na área mineral, o peneiramento pode ser utilizado na separação por tamanho, no desaguamento, na deslamagem, na concentração e em muitas outras combinações dessas aplicações.

Uma das propriedades diferenciadoras que pode ser utilizada como critério de separação de material, é o tamanho da partícula. Entretanto a definição de tamanho para objetos retangulares está associada a um critério de medição, como volume, massa, dimensão, área, de projeção, etc. No caso de objetos irregulares, que representam a maiorias deles, é necessária a adoção de critérios mais adequados como, por exemplo, a passagem ou retenção de partículas em uma abertura geométrica definida (Chaves e Peres, 2003).

O peneiramento pode ser descrito como a operação de separação de um material em duas ou mais classes, segundo os diferentes tamanhos geométricos das partículas, sendo estas apresentadas a um gabarito com abertura fixa e pré-definida. Esta etapa do beneficiamento pode ser executada “a seco” ou “a úmido”.

A etapa de peneiramento, apesar de possuir objetivo comum, a separação por tamanho em uma ou mais frações de uma substância, é diferente da etapa de classificação. O peneiramento considera o tamanho geométrico da partícula, por isso, geralmente, é usado para granulometrias grossas e a classificação leva em consideração a velocidade em que uma partícula atravessa um meio fluido, sendo assim mais usada na separação para granulometria mais fina.

Esta etapa pode ocorrer tanto em escala laboratorial quanto industrial. A industrial tem como finalidade a adequação da granulometria dos produtos (intermediários e/ou finais) do processo, portanto, é muito utilizada para separação de partículas com tamanhos variados, diminuindo a eficiência para partículas muito finas; é usada para o processamento de uma grande variedade de materiais, que vão desde o talco, muito fino, até blocos de rochas grandes com dimensões de 1,8 x 1,8 metros. A realizada em laboratório possui muitas finalidades e uma das mais importantes é a análise granulométrica. A análise granulométrica é realizada para se ter conhecimento da distribuição dos tamanhos existentes em uma amostra mineral.

O peneiramento é dito “a seco” quando é feito com o material na sua umidade natural (que não pode, entretanto, ser muito elevada) e dito “a úmido” ou “via úmida” quando o material é alimentado na forma de uma polpa ou recebe água adicional através de sprays convenientemente dispostos sobre os decks de peneiramento (Chaves, 2002).

O peneiramento consiste essencialmente em processar o material, este perde sua componente vertical de velocidade quando é lançado sobre a caixa de alimentação ou diretamente sobre a superfície de peneiramento, resultando em uma mudança na direção do deslocamento. A camada de material tende a desenvolver um estado fluido devido ao movimento vibratório. Ao final geram-se dois produtos: o material passante, conhecido como *undersize* e o material retido, conhecido como *oversize*. As peneiras têm como principal função adequar e controlar a granulometria do material, ou seja, separar as partículas de tamanhos variados, com a finalidade de melhorar e facilitar o beneficiamento de uma fração granulométrica, funcionando como um dispositivo de passa/não passa.

Quando o material é depositado sobre a superfície de peneiramento ocorrem processos que modificam o comportamento das partículas, o que influencia na eficiência do peneiramento. Os fatores que influem no comportamento das partículas são:

- A área e a forma da superfície de peneiramento;
- O tipo de superfície;
- Inclinação da superfície;
- Umidade do material;
- Forma da partícula, sua natureza física (densidade, dureza, porosidade, friabilidade, ângulo de repouso, higroscopicidade, abrasividade, carga elétrica) e a presença de material argiloso;
- Porcentagem de partículas de dimensões próximas à malha (granulometria da alimentação);
- Fluxo da alimentação e a espessura da camada de material sobre a superfície (estratificação);
- Porcentagem da área aberta, isto é, a relação entre a soma das áreas das aberturas e a área total da superfície (tipo de superfície);
- Ângulo de incidência da alimentação.

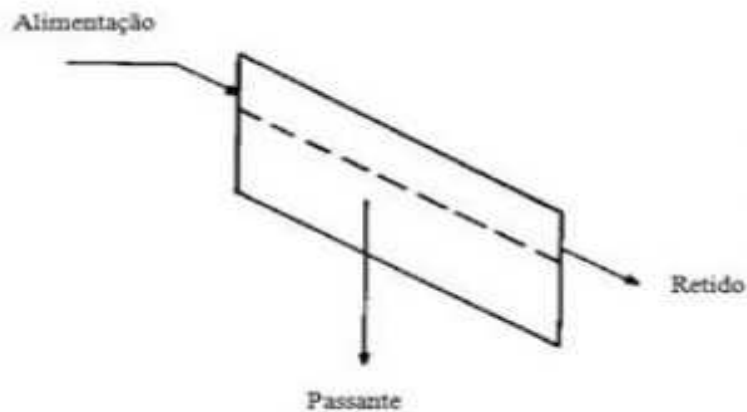


Figura 1 - Processo de classificação em peneira.
Fonte: Autor desconhecido.

As aberturas são identificadas em escala de polegada linear denominada por malha ou *mesh*. A peneira de 35 *mesh* terá 35 aberturas em 1 polegada linear. Na prática emprega-se uma série de aberturas em escala de milímetros e micrômetros. A determinação das faixas de tamanho das partículas, análise granulométrica, é feita por meio de uma série de peneiras. Esta série pode ser definida com a seguinte equação (Brandão, 2007).

$$a_n = a_0 r^n$$

Onde:

a_n = abertura de ordem n

a_0 = abertura de referência ou base de escala ($a_0 = 1\text{mm}$)

r = razão da escala (relação constante entre duas aberturas sucessivas ($r = \sqrt{2} = 1,414$))

Wills e Munn (2005) enumeram uma grande quantidade de objetivos do peneiramento na indústria mineral:

- 1 Separação ou classificação: visa separar as partículas pelo seu tamanho;
- 2 Escalpe: usado para remover as frações mais grossas do material, podendo as mesmas serem britadas ou mesmo removidas do processo;

- 3 Bitolamento: preparar os produtos em tamanhos específicos, onde existem normas que especificam as granulometrias do produto final;
- 4 Recuperação do meio: para lavagem do meio magnético em circuitos que utilizam esta prática;
- 5 Desaguamento: para reduzir a umidade de polpas.

Devido a essa grande variedade de operações de peneiramento, existe diferentes tipos de equipamentos de separação por tamanho que são utilizados na indústria.

2.1.1 Equipamentos

Para a operação de peneiramento podemos utilizar diversos tipos de equipamentos, listados na tabela 1 com suas principais características.

Tabela 1- Equipamentos de classificação por tamanho e suas principais características.

Equipamento de peneiramento	Característica
Grelha fixa	Utilizada para material grosseiro entre 3” (76,2 mm) e 8” (203,2 mm). Composto por barras metálicas, dispostas paralelamente e equidistantes entre si, com espaçamento que varia de acordo com o minério a ser lavrado e as dimensões do britador primário. Normalmente é locada antes do alimentador e britador primário.
Grelha vibratória	Utilizada para separação de partículas entre 2” (50,8 mm) e 6” (152,4 mm). Difere da grelha fixa por apresentar um dispositivo de vibração.
Peneira DSM	Constituída por barras horizontais formando uma superfície curva. Utilizada para polpas entre 0,3 mm e 40 μ m. É eficiente, pois

	aplica forças tangenciais e perpendiculares sobre a polpa.
Peneira rotativa	Conhecida também como trômel, possui peneira cilíndrica e gira em torno de um eixo longitudinal inclinado, com ângulo que varia entre 4° e 10°.
Peneira vibratória horizontal	Possui sistema de vibração que atua paralelamente ao fluxo, transportando o material sobre a superfície de peneiramento em velocidades que variam entre 12 e 18 m/min, realizando sua estratificação e transporte.
Peneira vibratória inclinada	Transportam o material com ângulos entre 15° e 35°, com velocidade maior que a peneira horizontal. O movimento da partícula é circular. A vibração é responsável pelo levantamento da partícula e o transporte é realizado pelo impulso gerado na vibração auxiliado pela força da gravidade.
Peneira vibratória de múltipla inclinação	Conhecida como Peneira Banana, apresenta sua superfície de peneiramento com múltipla inclinação.
Peneira de alta frequência	Possui vibração eletromagnética atuante sobre a superfície de peneiramento.

Fonte: Elaboração própria.

Neste trabalho nos ateremos somente à Peneira Vibratória Inclinada, o equipamento utilizado na realização do estudo.

2.1.1.1 Peneira Vibratória Inclinada

Segundo Chaves e Peres (2003), as peneiras vibratórias são constituídas por um chassi robusto, apoiado em molas, um mecanismo acionador do movimento vibratório e um, dois ou três suportes para as telas (“*decks*”).

O uso deste tipo de peneira alivia a carga dos rebritadores, pois elimina os finos da alimentação, o que resulta em maior capacidade de produção da rebritagem.

Em alguns casos utiliza-se o chamado *deck* de alívio, que também pode ser uma proteção com tela forte e mais grossa; como em casos em que ocorre peneiramento em malha de abertura pequena de frações que contenham partículas de variados tamanhos. Assim, a tela de peneiramento não recebe o impacto, sendo aliviado pela proteção. No final é gerado um único produto, contendo os dois *oversizes*.

As peneiras vibratórias inclinadas trabalham com movimento vibratório circular ou elíptico em um plano vertical. Estes movimentos são caracterizados por impulsos rápidos, de pequena amplitude, de alta frequência (em torno de 600 a 3.600 movimentos por minuto) e são produzidos por mecanismos mecânicos ou elétricos. Possuem inclinações que variam de 15° a 35° e, dependendo desta, realizam o transporte do material com uma velocidade que varia de 18 a 36 m/min.

A partícula se desloca por meio do impulso transmitido pelo movimento vibratório e pela inclinação. O tipo de movimento realizado por esta peneira garante que a partícula consiga se apresentar à tela várias vezes, pois estas são lançadas para cima e para frente, além de fazer com que as partículas com tamanhos maiores se sobressaiam e fiquem por cima das com tamanhos menores, ou seja, resulta na estratificação das partículas sobre a tela.

A direção de rotação no mesmo sentido do movimento das partículas sobre o *deck* facilita o escoamento do *oversize*, dando maior capacidade, mas diminuindo a eficiência do peneiramento. Já a rotação no sentido oposto dificulta o escoamento e aumenta a probabilidade das partículas atravessarem a tela (Chaves e Peres, 2003).

2.1.2 Eficiência do peneiramento

A eficiência do peneiramento é fundamental no processo de classificação por tamanho e, na prática, é análoga à recuperação, enquanto a análise por tamanho de uma determinada peneira é semelhante ao grau de liberação (Bothwell e Mular, 2002).

Basicamente, a eficiência é a qualidade de separação que a peneira fornece. Neste sentido, o objetivo do cálculo de eficiência no peneiramento industrial é avaliar o desempenho da operação levando-se em consideração a separação granulométrica ideal que se deseja, podendo, assim, ser definida como a razão entre a quantidade real de minério que passa na abertura da tela da peneira e a quantidade na alimentação que deveria passar, ambas obtidas por meio de ensaio em laboratório. Em termos percentuais, a eficiência (E) do peneiramento é expressa pela relação abaixo.

$$E = \frac{P}{aA} \cdot 100$$

Onde:

E = eficiência

P = passante (t/h)

A= alimentação (t/h)

a = porcentagem de material menor que a malha da alimentação

No peneiramento industrial a eficiência de peneiramento encontra-se em uma faixa entre 80 e 90%, possuindo eficiência máxima de 95%, cujo fator de eficiência é igual a 1. Neste sentido, compreende-se que não existe, na prática, peneira 100% eficiente.

Algumas partículas não chegam a influenciar no resultado do peneiramento, como as que possuem diâmetro inferior à metade da abertura da tela ($d < 0,5$) e as com diâmetro maior que uma vez e meia a abertura da tela ($d > 1,5$). Entre estas faixas encontram-se as partículas com diâmetro que influem na capacidade das peneiras e na eficiência do peneiramento, onde se tem as partículas com diâmetro maior que metade da abertura da tela e menor que a abertura da tela ($0,5 a < d < a$), que possuem menor chance de passar que as demais partículas menores que a malha; e as partículas com diâmetro maior que a abertura da tela e menor que

uma vez e meia a abertura da tela ($a < d < 1,5$), que são as que mais entopem as telas das peneiras, embora não sejam passantes.

Segundo Chaves e Peres (2003), para que a separação por tamanho ocorra de maneira satisfatória no peneiramento, é importante conhecer o comportamento das partículas sob os pontos de vista coletivos e o individual. O comportamento coletivo das partículas numa peneira exerce três ações independentes e distintas sobre um conjunto de partículas que é alimentada a ela:

- a. Deve transportar as partículas de uma extremidade do *deck* até a outra.
- b. Estratificar o leito de modo que as partículas maiores fiquem por cima e as menores por baixo. Assim, dá a estas a chance de se apresentarem à tela e passarem através dela, o que constitui o
- c. Peneiramento propriamente dito.

A figura 3 representa um corte considerado ideal do leito de partículas sobre o *deck* de uma peneira eficiente. A priori o leito encontra-se desarranjado. Em seguida ocorre a estratificação e as partículas finas começam a atravessar a tela. As partículas retidas seguem o caminho sobre a tela. A parte inferior demonstra a quantidade de material passante ao longo do comprimento do leito. No trecho inicial, a quantidade de material que atravessa é pequena (apenas partículas finas que já estavam por baixo). Esta quantidade aumenta à medida que o leito vai sendo estratificado e depois passa a diminuir, conforme a quantidade de partículas finas no leito sobre a tela diminui. Três situações podem ser identificadas: a situação inicial em que a estratificação ainda está ocorrendo o peneiramento de saturação, quando o leito está totalmente estratificado e o peneiramento de baixa probabilidade, em que as partículas finas remanescentes no leito têm de fazer tentativas repetidas até conseguirem atravessá-la.

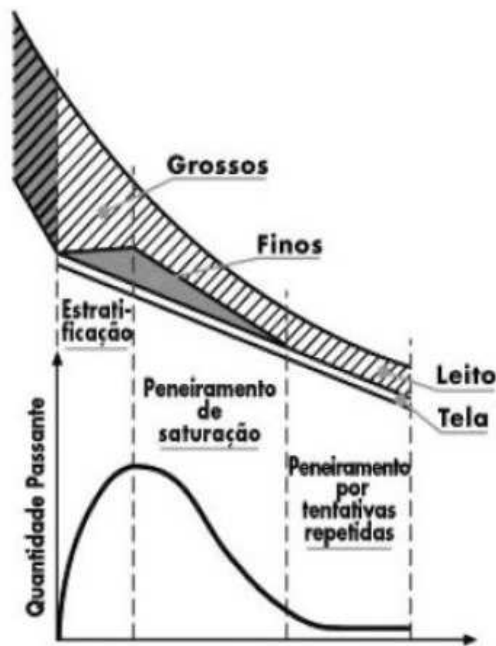


Figura 2 - Comportamento coletivo das partículas em uma peneira vibratória inclinada.
Fonte: Chaves e Peres, 2003.

Uma peneira trabalhando com eficiência inadequada resulta em sérios problemas, como o acarretamento de material fora da faixa granulométrica desejada (caso de peneiras classificadoras finais, trabalhando com baixa eficiência, por exemplo) e o aumento da carga circulante, diminuindo, conseqüentemente, a capacidade real dos britadores e sobrecarregando as correias transportadoras e outros equipamentos auxiliares.

2.1.3 Dimensionamento de equipamentos

A escolha do tamanho e tipo de peneira que melhor se adeque ao processo é de grande importância para que haja uma produção com qualidade, eficiência e não haja custos desnecessários. Esta etapa deve ser realizada de acordo com o tipo de material a ser utilizado ou de acordo com o tipo de trabalho que o equipamento irá realizar.

Pode-se dizer que o dimensionamento de equipamentos constitui-se basicamente do cálculo das dimensões de suas superfícies em função da capacidade, ou seja, da quantidade de material com características e condições determinadas que deve passar pelo equipamento por um tempo determinado (hora). No caso das peneiras, duas condições independentes devem ser atendidas; área da tela e espessura do leito (Carriso e Correia, 2004).

Existem muitos métodos utilizados para dimensionamento de equipamentos de peneiramento e cada um destes pode levar a um resultado diferente. Neste trabalho apresentaremos o método baseado na quantidade de material que passa através da malha 0,0929 m² de uma peneira com abertura específica.

O primeiro cálculo a levar-se em consideração é da área total (A), a qual pode ser representada pela seguinte fórmula:

$$A = \frac{S}{C d F_M}$$

Onde:

S = quantidade de material passante na alimentação que atravessa a peneira por hora (t/h)

C = capacidade básica de peneiramento (t/h x 0,0929m²)

d = peso específico aparente do material alimentado/1602

FM = fatores modificadores

a) Capacidade básica (C)

Os valores de capacidade básica para variadas aberturas são apresentados em curvas, onde cada material possui a sua própria, devido as diferentes propriedades dos mesmos. Desde que os materiais analisados tenham características de peneiramento similares, o valor de C pode ser determinado por uma razão simples de densidades. Na Figura 3 temos o exemplo de curva para materiais metálicos, com densidade aparente de 1602 kg/m³.

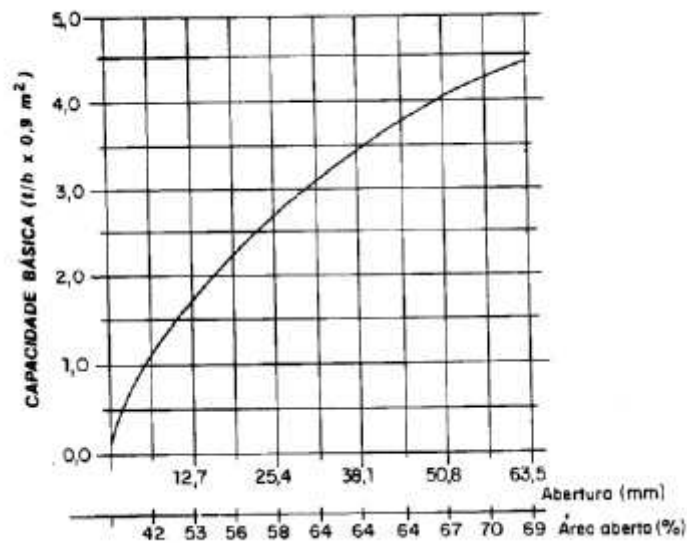


Figura 3- Curva de capacidade básica para materiais metálicos, com densidade aparente de 1602 kg/m³.
Fonte: Carriso e Correia, 2004.

b) Fatores modificadores (FM)

Muitas são as variáveis que afetam o peneiramento e suas inter-relações, entretanto nos ateremos às variáveis que afetam de maneira significativa o dimensionamento de peneiras para minérios, as quais são: Fator de finos (F), Fator de eficiência (E), Fator de abertura (B), Fator de *deck* (D), Fator de área (O) e Fator peneiramento via úmida (W).

O Fator de finos (F) leva em consideração a quantidade de material que possui tamanho menor do que a metade do tamanho da abertura do *deck* na alimentação. Este fator sempre será calculado baseado na alimentação do *deck* em que se deseja calcular.

O Fator de eficiência (E) leva em consideração a razão entre a quantidade de material passante em uma abertura e a quantidade de material que teoricamente deveria passar

Na tabela 2 são apresentados alguns valores do Fator de eficiência (E), juntamente com o Fator de finos (F) para cada eficiência de peneiramento dada. O maior Fator de eficiência considerado é igual a 1,00, pois um peneiramento é considerado ideal quando este possui uma eficiência de 95%.

Tabela 2 - Fator de eficiência (E) e Fator de finos (F) para cada eficiência dada.

Eficiência do Peneiramento (%)	Fator	
	Finos (F)	Eficiência (E)
0	0,44	
10	0,55	
20	0,70	
30	0,80	
40	1,00	
50	1,20	
60	1,40	
70	1,80	2,25
80	2,20	1,75
85	2,50	1,50
90	3,00	1,25
95	3,75	1,00

Fonte: Carriso e Carreira, 2004.

O Fator de abertura (B) contrabalança a convergência de partículas ficarem retidas na superfície de peneiramento devido ao tipo de abertura nesta usado. Os valores deste fator são apresentados na tabela 3.

Tabela 3- Fator de abertura (B).

Tipos de abertura	Razão (r) Comprimento/largura	Fator B
Quadradas e retangulares	$r < 2$	1,0
Retangulares	$2 < r < 4$	1,2
Retangulares	$4 < r < 25$	1,2
Barras paralelas	$r > 25$	1,4*
*paralelo ao fluxo **perpendicular ao fluxo		

Fonte: Carriso e Carreira, 2004.

O Fator de *deck* (D) considera a estratificação que ocorre nos *decks*, a qual diminui a área da superfície de peneiramento. Na tabela 4 são apresentados os valores deste fator para peneiras de até três *decks*.

Tabela 4- Fator de *deck* (D).

Deck	Fator
1º	1,00
2º	0,90
3º	0,80

Fonte: Carriso e Carreira, 2004.

O Fator de área (O) considera a abertura da peneira e a área da superfície aberta. Quando se trabalha com uma área de superfície aberta (indicada no gráfico de capacidade básica logo abaixo dos tamanhos das aberturas) diferente do padrão apresentado no gráfico de capacidade básica, é necessário introduzir um fator de correção. Este fator pode ser calculado pela razão entre a área da superfície aberta usada em relação à área da superfície considerada padrão. Por exemplo, se for usado para uma separação em 2,54 cm um *deck* com 36% de superfície aberta, o fator será 0,62 (36/58).

O Fator de peneiramento via úmida (W) leva em consideração a quantidade de água, na forma pulverizada, utilizado no peneiramento, quando este ocorre via úmida. Utilizando este método de pulverização, o peneiramento só se torna vantajoso quando empregada a quantidade correta de água e isto varia de acordo com a abertura da superfície de peneiramento. Segundo Mular e Bhappu (1980), o volume de água recomendado é de 18,92 a 31,53 m³/s para 0,765 m³ de material alimentado. A Tabela 5 apresenta os valores dos fatores de acordo com as aberturas.

Tabela 5- Fator de peneiramento via úmida (W).

Abertura quadrada	W
1/32" ou menor	1,25
1/16"	3,00
1/8" a 3/16"	3,50
5/16"	3,00
3/8"	2,50
1/2"	1,75
3/4"	1,35
1"	1,25
> 2"	1,00

Fonte: Carriso e Correira, 2004.

3 APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO

A Caltins – Calcário Tocantins LTDA faz parte do Grupo J. Demito e é uma indústria de calcário dolomítico e britas de construção civil e siderúrgica em Bandeirantes do Tocantins, sendo que o ROM é extraído de uma mina localizada na Fazenda Corgão. A capacidade da planta de beneficiamento é de 1,4 milhões de t/ano. Fundada em 1999, a operação da Caltins na mina Corgão teve início em julho de 2000, com uma vida útil prevista de 32 anos. Possui uma relação estéril/minério de 1/2,32 (0,4310).

3.1 CALCÁRIO DOLOMÍTICO E BRITAS

A Caltins tem como principal produto o calcário dolomítico, considerado um dos mais completos corretivos naturais pela sua composição Físico/Química. Entretanto, além do calcário dolomítico, oferece brita siderúrgica e brita para construção civil – brita 0, brita 1 e pó de brita. O produto final na empresa (calcário pó) possui uma composição granulométrica de em média: 4% de retido na peneira de 20 *mesh* (0,85 mm), 13% de retido na peneira de 50 *mesh* (0,297 mm) e 83% de passante na peneira de 50 *mesh* (0,297 mm). As britas possuem em média as seguintes dimensões: brita siderúrgica possui em média de 19 a 25 mm; a brita 1 possui em média acima de 12,22 e até 18 mm e a brita 0 possui em média de 4,5 mm a 9,5mm. O ROM (*Run Of Mine*) possui uma densidade de 2,8 g/cm³ e o material processado possui uma densidade de 1,6 g/cm³.

O principal constituinte mineralógico do calcário é a calcita (carbonato de cálcio – CaCO₃), podendo conter menores quantidades de carbonato de magnésio, sílica, argila e outros minerais. O calcário dolomítico é constituído, basicamente, pelo mineral dolomita (CaCO₃.MgCO₃), ou seja, de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio. A diferença entre este tipo de calcário, o calcário calcítico e o calcário magnesiano se dá na sua composição: quando apresenta acima de 12% de óxido de magnésio (MgO), menos de 5% de óxido de magnésio (MgO) e de 5-12% de óxido de magnésio(MgO), respectivamente.

Os dados geológicos e controle de qualidade na empresa Caltins, apontam que a litologia do calcário obtido na extração da Mina Corgão é basicamente de dolomítico, possuindo, em média, os seguintes teores: Óxido de Cálcio (CaO) = 30,65%; Óxido de

magnésio (MgO) = 18,05%, com Poder de Neutralização (PN) = 98,97%, Reatividade = 95,03% e Poder relativo de neutralização total (PRNT) = 94,05%. Apesar de possuir uma grande variedade de usos, o calcário extraído na Mina Corgão é usado principalmente na indústria agrária, como corretivo de solo.

O Poder de neutralização indica a quantidade de ácido que o material corretivo é capaz de neutralizar, o que depende da sua natureza química e grau de pureza. A Reatividade indica a velocidade de ação do corretivo agrícola no solo, ou seja, é a rapidez com que corrige a acidez e esta depende: das condições de solo e de clima, pois quanto maiores forem a acidez do solo, a temperatura e a umidade, maior é a reatividade, razão porque nas regiões tropicais os corretivos são mais reativos do que nas regiões temperadas e frias; da natureza química, pois as bases fortes são mais reativas do que as bases fracas; e da granulometria, pois quanto mais fino for o corretivo, maior é a reatividade. O poder relativo de neutralização total de um corretivo depende de sua natureza química considerada no cálculo do PN e de sua granulometria, a qual afeta a taxa de reatividade. Pela legislação atual, o calcário não pode ser comercializado com PRNT menor do que 45%.

O calcário é encontrado extensivamente em todos os continentes, e é extraído de pedreiras, de depósitos que variam em idade, desde o Pré-Cambriano até o Holoceno. Esses depósitos são geralmente formados pelas conchas e pelos esqueletos de microrganismos aquáticos, comprimidos sob pressão para formar as rochas sedimentares que chamamos calcário. O calcário representa aproximadamente 15% de todas as rochas sedimentares. Há também os depósitos de calcário precipitado diretamente de águas com elevados teores de sais minerais. As reservas de calcário, ou rochas carbonatadas, são praticamente intermináveis, porém a sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos de 10% das reservas de carbonatos lavradas em todo mundo (Freas, Hayden e Pyor, 2006).

3.2 LOCALIZAÇÃO

Partindo-se de Palmas, capital do estado, sentido Miracema do Tocantins através da TO-050, até a cidade de Miranorte, toma-se a rodovia BR-153 (Belém- Brasília) no rumo norte, até o entroncamento com a rodovia TO-230, que fica a aproximadamente 25 km ao norte da cidade de Colinas. Desta segue-se pela Rodovia TO-230 em direção a Bandeirantes



Figura 5 - Trajeto de Bandeirantes do Tocantins a Indústria Caltins.
Fonte: Google Earth, 2014.

3.3 GEOLOGIA REGIONAL

Na sequência, são discutidos os traços gerais da Geologia Regional em que se insere a Mina Corgão e a Indústria Caltins Calcário Tocantins LTDA, exibidos no Anexo A.

A Província Tocantins (Hasui *et al.*, 1984) situa-se na porção central do Brasil, sendo constituída predominantemente por faixas móveis proterozóicas, amalgamadas por vezes com pequenos núcleos de terrenos mais antigos (Paleoproterozóico a Arqueano), cuja estruturação final se deu em torno de 550-500 Ma (Brito Neves *et al.*, 1999). Tal Província situa-se entre dois grandes blocos cratônicos que são o Cráton Amazônico e o Cráton do São Francisco e por essa razão desperta grande interesse com relação à tectônica global, como pelo envolvimento de traços oceânicos de reconhecido potencial metalogenético. O mapa geológico da porção setentrional da Província Tocantins está exibido no Anexo B.

A Faixa Araguaia corresponde à ramificação norte do Sistema Orogênico Tocantins. As outras ramificações deste sistema são representadas pela Faixa Brasília e sua porção mais meridional (terrenos Socorro-Guaxupé e Anápolis-Andrelândia), além da Faixa Paraguai (Brito Neves *et al.*, 1999). Estes autores admitem um intervalo de vida de 230 Ma para o Sistema Orogênico Tocantins e uma sequência evolutiva semelhante ao Sistema Hymalaiano.

Em sua porção setentrional a Província Tocantins é constituída exclusivamente por terrenos da Faixa Araguaia, caracterizada como uma faixa móvel, proveniente da formação

inicial de uma bacia tipo hemi-grabén, com posterior fechamento e estruturação termo-tectônica durante o Brasiliano, separando o Cráton do São Francisco, a leste, do Cráton Amazônico, a oeste. O limite oriental e ocidental da Faixa Araguaia é feito respectivamente com a Bacia do Parnaíba e com a porção sudeste do Cráton Amazônico.

O arcabouço estrutural da Faixa Araguaia é dividido em dois domínios (Fonseca *et al.*, 2005), onde o domínio interno (porção leste) envolve os terrenos atribuídos ao embasamento, tais como granulitos e gnaisses expostos em estruturas antiformais de duplo caimento, a exemplo das antiformas de Xambioá, Lontra, Grota Rica, Cantão, Cocalândia e Colméia, além de corpos granitóides e rochas supracrustais do Grupo Estrondo. O domínio externo (porção oeste) é representado pelas rochas de baixo grau metamórfico do Grupo Tocantins.

O Grupo Tocantins (neoproterozóico) é caracterizado por ardósias, metassiltitos, metarcóseos, metagrauvas e quartzitos com corpos máfico - ultramáficos embutidos na sequência (Fm. Couto Magalhães), tais como os corpos ofiolíticos do Quatipuru e Serra do Tapa; e clorita xistos, quartzo-clorita xistos e sericita-clorita xistos, tendo ainda corpos de metabasito (Fm. Pequizeiro). Trouw *et al.* (1976) descreveram a Formação Tucuruí, nas proximidades da cidade de mesmo nome, como um pacote composto predominantemente, por metagrauvas e derrames basálticos fazendo parte do Grupo Tocantins, mas separada das demais formações por falha de empurrão.

A Cobertura sedimentar Terciário-Quaternária Detrito-Laterítica, é representada por acumulações de rochas laterizadas, contendo fragmentos provenientes das mais diversas unidades litoestratigráficas, com predominância quartzosa e sua origem está relacionada aos processos de pediplanização. A presença de rochas laterizadas com fragmentos rudáceos, também localmente laterizados, evidenciam a existência, durante a época de formação, de clima com duas estações de período seco prolongado e chuvas torrenciais.

Os corpos ultramáficos do oeste do Tocantins se localizam principalmente na região entre os municípios de Couto Magalhães, Colméia, Araguacema e Arapoema.

As rochas encaixantes são predominantemente filitos e ardósias e mais raramente clorita-sericita xistos.

3.4 GEOLOGIA LOCAL

A geologia local da área da mina Corgão e da indústria Caltins, exibida no Anexo C, está posicionada sobre sedimentos da Formação Rio das Barreiras, sobretudo por calcário, arenitos e conglomerados. Localmente são evidenciadas características também da formação Xambioá que é composta por muscovita-biotita-quartzo-xistos e calci-biotita-quartzo-xistos feldspáticos, localmente graníferos e grafitosos, com lentes de anfibolitos (Carta Geológica CPRM- Folha Araguaína – 1994).

3.5 ÁREAS DE EXTRAÇÃO

As áreas de extração e licenciamento da pedreira Caltins estão sob processo de nº 864.037, de 2002, junto ao DNPM. O empreendimento encontra-se na fase de concessão de lavra. A área de influência direta do empreendimento se restringirá a 50% da área total licenciada (25,00 hectares), sendo que o processo de beneficiamento (indústria) e estocagem se encontra implantados em área de 3,00 hectares e a jazida ocupando 6,00 hectares, totalizando 9,00 hectares.

3.6 PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo na empresa é constituído das seguintes etapas: decapeamento, perfuração, desmonte por explosivos, carregamento e transporte, britagem (primária e secundária), separação por tamanho e moagem.

A empresa visa o aproveitamento econômico de maciços rochosos, por meio de desmonte de rochas e posterior beneficiamento, obtendo-se brita e calcário dolomítico dentro de padrões granulométricos comercializáveis.

As estradas e acessos foram construídos de acordo com as necessidades, visando à minimização de distância dos transportes. Os acessos têm largura de 13 metros e

inclinação máxima de 13°, para que haja uma melhor eficiência na etapa de transporte e para que não haja penalidades para os equipamentos da mina.

No decapeamento é retirada a camada de terra depositada sobre a rocha propriamente dita. Este trabalho é realizado após análise técnica das condições da área de lavra. Para a remoção do solo argiloso são utilizados equipamentos terceirizados face à sazonalidade da operação em função de chuvas. Como o período de remoção tem que ser na seca, coincide também, na época de produção e com isto o investimento de equipamentos seria muito grande o que gera ociosidade no período das chuvas, assim a terceirização se torna viável.

A perfuração realizada objetiva a preparação da rocha para receber o explosivo e o acondicionar no seu interior. Para que este procedimento aconteça utilizam-se carretas de perfuração pneumáticas montadas sobre esteiras com sistema próprio de locomoção. A energia para o funcionamento do equipamento de perfuração é fornecida pelo compressor de ar. O diâmetro habitual da broca dos equipamentos de perfuração é de 3 polegadas e a profundidade varia de acordo com a disposição do material na determinada bancada, tendo como variação mais comum de 10 a 15 metros. Como o material é predominantemente fraturado, geralmente, são utilizadas, na perfuração, as inclinações de 10°, 15°, 20°, 25° e 30°.



Figura 6- Equipamento de perfuração da empresa Caltins.
Fonte: arquivo pessoal, 2014.



Figura 7- Compressor de ar que fornece energia a perfuratriz.
Fonte: arquivo pessoal, 2014.

O carregamento do material desmontado nas frentes de lavra é realizado por escavadeiras de porte médio e o transporte até o alimentador do britador primário, por caminhões rodoviários terceirizados. Há uma separação de todo material acima de 100 cm para que seja reduzido posteriormente com rompedor hidráulico montado em escavadeira.



Figura 8- Carregamento por escavadeira hidráulica.
Fonte: arquivo pessoal, 2014.

3.7 MÉTODO DE LAVRA

Em função das características geológicas das jazidas minerais e da topografia local, a lavra é realizada a céu aberto pelo método de lavra por bancadas descendentes. O ângulo de talude no desmonte é em média de 10 a 15° e as bermas operacionais variam de 15 a 20 metros. Depois de encerrado toda extração, será feito a remoção final de cada banco, deixando as bermas com 5 metros (*pit final*). Como a mina é negativa a drenagem é forçada com estação de bombeamento.



Figura 9- Lavra por bancada realizada na mina Corgão.
Fonte: arquivo pessoal, 2014.

Ajustes necessários nos parâmetros geométricos de lavra são feitos quando necessários, com o intuito de melhorar a estabilidade e segurança da cava ao longo da operação, sempre realizando os devidos monitoramentos.

O calcário extraído abastece a planta industrial da Caltins, localizada a 1400 metros da área de extração. A produção média anual prevista para este ano é de 750 mil toneladas de corretivo agrícola. Considerando-se uma recuperação de 79%, o *Run of Mine* (ROM) será de aproximadamente 937.505 toneladas.

3.8 BENEFICIAMENTO

Na empresa Caltins trabalha-se com duas linhas de produção e uma linha de britagem móvel, as quais estão expostas no Anexo D. Neste trabalho nos ateremos somente às especificidades e detalhes da linha de produção 1, pois é a que contém a problemática envolvida no estudo.

A linha 1 contempla a britagem primária (Alimentador Vibratório marca Piacentini modelo AV 90400 + Britador de mandíbulas marca Piacentini modelo BM 10080, este com abertura de 7" (177,8 mm)), no qual se objetiva a redução no tamanho dos blocos procedentes da mina. Nesta etapa a rocha é descarregada numa câmara em forma de cunha, entre uma chapa fixa e outra móvel. A britagem é uma operação contínua, com as mandíbulas gerando tamanhos adequados na passagem por entre as chapas. Em seguida o produto britado é transportado através de correia transportadora até uma Peneira vibratória inclinada marca Piacentini modelo PVA 1540 de 3 *decks*, a qual possui malhas com aberturas de 6" (152,4 mm), 2" (50,8 mm) e $\frac{3}{4}$ " (19,05 mm), respectivamente e, assim, o material é separado de acordo com o tamanho das partículas que o compõe. Após essa etapa, o passante, que neste caso é o rejeito, é transportado através de correia transportadora até uma pilha lateral, para depois ser descartado. O retido da peneira segue por correia transportadora até a pilha pulmão que alimenta o britador secundário Cone marca Piacentini modelo BC 1300, o qual possui uma abertura de 2" (50,8 mm). O material após ser rebritado é transportado por correia transportadora até uma Peneira vibratória inclinada marca Piacentini modelo PVA 1545 de 4 *decks*, que possui malhas com aberturas de 2" (50,8 mm), $\frac{3}{4}$ " (19,05 mm) e $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm), onde a segunda malha é de um *deck* de alívio. O material retido retorna para o britador secundário e o passante segue para a pilha pulmão que alimenta os moinhos. O circuito de moagem é alimentado com material das duas linhas de produção e este é composto de três torres: a torre 1 é composta de 6 moinhos da marca Piacentini modelo MM 7275 e as torres 2 e 3 são composta de 4 moinhos cada da marca Tenamaq modelo MTN 1200D. A torre 1 é alimentada, com o auxílio de uma calha dosadora, diretamente pela pilha pulmão de material rebritado e as torres 2 e 3 são alimentadas com auxílio de silos que, por sua vez, são alimentados, com auxílio de uma calha dosadora, por material rebritado da pilha, o qual é transportado através de correia transportadora. Após a moagem o material passa por um

umidificador que injeta cerca de 12% de umidade e segue via correia transportadora para o pátio de estocagem.

O objeto de estudo deste trabalho é a primeira peneira vibratória inclinada locada na linha 1, da marca Piacentini, modelo PVA 1540 de três *decks*, os quais possuem aberturas de 6 polegadas (152,4 mm), 2 polegadas (50,8 mm) e 0,75 polegadas (19,05mm) no primeiro, segundo e terceiro *deck* respectivamente, inclinação de 15° e uma eficiência de 85%. Suas características técnicas encontram-se em evidência na tabela 6.

Tabela 6- Características técnicas da peneira Piacentini modelo PVA 1540.

PENEIRAS VIBRATÓRIAS								
Modelos	Nº de Decks	Pesos (kg)			Força Dinâmica (ton)		Motor (IV pólos)	Rotação (rpm)
		Conjunto das laterais	Conjunto das laterais + Base	Equipamento completo	Parada	Trabalho		
PVA 1030	2	1355	1700	2270	1,9	0,3	5	1000
	3	1515	2280	3000			5	
	4	1670	2520	3300			7,5	
PVA 1230	2	1150	1950	2570	2,8	0,4	7,5	950
	3	2490	3490	4460			7,5	
	4	2920	3920	4910			10	
PVA 1235	2	2350	3070	4010	3,2	0,6	10	820
	3	2480	3620	4620			10	
	4	2890	4050	5060			12,5	
PVA 1540	2	2530	3700	4790			12,5	
	3	2885	4360	5550	4,2	0,8	12,5	800
	4	3390	4950	6290			15	
PVA 1545	2	3380	4790	5900	6,2	1,0	15	800
	3	3830	5450	6700			15	
	4	4345	6210	7600			20	
PVA 2050	2	5025	7560	8920	9,3	1,5	20	800
	3	6125	8600	11080			20	
	4	7325	8950	12800			25	

Fonte: Manual Técnico Peneiras Vibratórias Piacentini, 2006.



Figura 10 - Peneira Vibratória Inclínada Piacentini modelo PVA 1540.
Fonte: Manual Técnico Peneiras Vibratórias Piacentini, 2006.



Figura 11- Peneira Vibratória Inclínada Piacentini modelo PVA 1540 da empresa Caltins.
Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

4 METODOLOGIA

O presente estudo utilizou a metodologia de acordo com as necessidades para elaboração de uma pesquisa com a maior credibilidade possível, assim buscou-se em autores renomados a melhor compreensão atendendo aos objetivos e as questões que delinearam a pesquisa. Através de um estudo experimental, visando à busca descritiva da experiência vivida, sem detrimento de princípios e/ou teorias predeterminadas, a presente pesquisa tem como finalidade, apresentar de maneira clara os resultados do estudo.

Para obtenção dos dados (instrumentos) foi realizado amostragem, preparação das amostras e peneiramento.

Nesse contexto, vale lembrar que os resultados que serão demonstrados primam pela obediência do caráter científico como forma de garantir fidedignidade à pesquisa realizada.

4.1 AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO

Para a realização das análises foram coletados 55 kg de amostra de rejeito da peneira vibratória inclinada da empresa Caltins. A coleta foi realizada em cinco dias diferentes no mês de maio, sendo coletado em média 11 kg por dia, segundo recomendações de Oliveira e Aquino (2007), sendo manual em correia transportadora, mais especificamente na extremidade final desta. Este procedimento foi realizado por considerar o que diz Gil (2010), sobre amostragem estratificada.

A amostragem estratificada caracteriza-se pela seleção de uma amostra de cada subgrupo do universo da pesquisa. Podendo ser de mesmo tamanho ou proporcional. De mesmo tamanho, seleciona-se de cada grupo uma amostra aleatória que seja proporcional à extensão do grupo determinado por alguma propriedade tida como relevante (Gil, 2010, p.110).

Nesse estudo, consideramos como subgrupo os carregamentos efetuados e que provocava a parada do maquinário. A amostra de 55 kg se relaciona com o subgrupo considerado (carregamento).



Figura 12- Amostra coletada de material rejeitado.
Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Os trabalhos foram realizados nas instalações da Mini Usina e no laboratório de tratamento de minérios da UNIFESSPA. Inicialmente foi realizada a homogeneização em uma pilha cônica, para se obter uma uniformidade das amostras. Em seguida foi realizado o quarteamento da amostra em pilha alongada para a coleta de 5 amostras de 10 kg cada e em seguida foi realizado a análise granulométrica a seco.

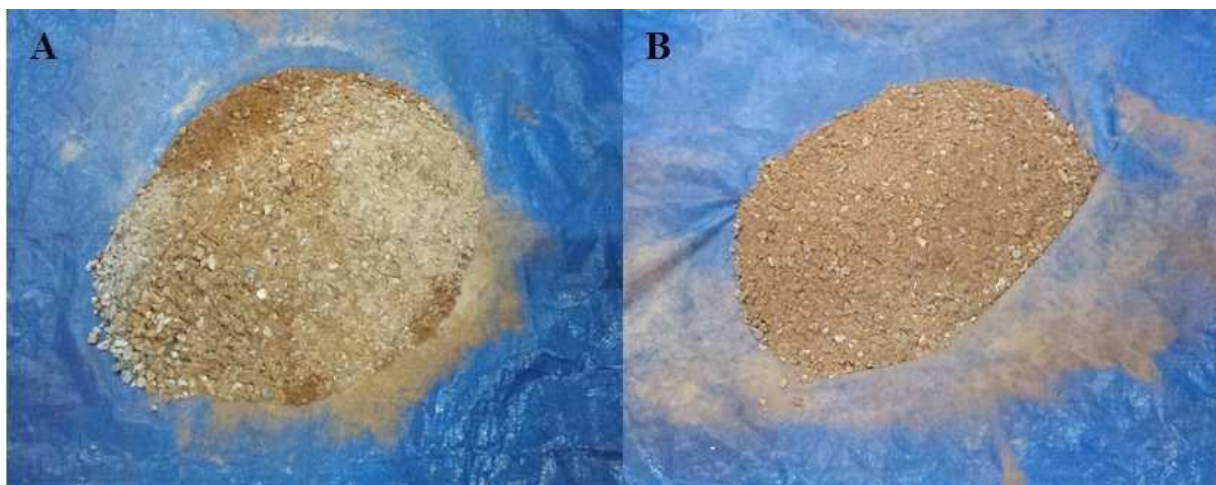


Figura 13- Homogeneização da amostra. A imagem A exibe a pilha de amostra antes da homogeneização. A imagem B exibe a pilha de amostra após a homogeneização.
Fonte: Arquivo pessoal, 2014.



Figura 14- Pilha alongada de amostra para realização do quarteamento.
Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

4.2 PENEIRAMENTO

Os ensaios de peneiramento foram realizados com 5 amostras de 10 kg cada, com densidade de $1,6 \text{ g/cm}^3$. Utilizou-se uma peneira inclinada vibratória de 3 decks da marca Engendrar modelo PV-03 de três *decks*, com telas de aberturas de 12,21 mm, 6,35 mm e 3,25 mm no primeiro, segundo e terceiro *deck*, respectivamente. Cada retido nas malhas, além do fundo, foi coletado e pesado individualmente.



Figura 15- Peneira vibratória inclinada utilizada no experimento.
Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Após os ensaios práticos de peneiramento, separação e pesagem de todo o material, os dados obtidos foram organizados e tratados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos ensaios de peneiramento, utilizando 10 kg de amostra por vez e levando-se em conta que o material retido na malha de 12,21 mm é Brita 1 e o material retido na malha de 6,35 mm é Brita 0, obtiveram-se os resultados expostos na tabela 7, tabela 8 e no gráfico exposto na figura 16.

Tabela 7- Resultados dos ensaios de peneiramento realizados.

Amostra	Retido na malha de 12,21 mm (kg)	Retido na malha de 6,35 mm (kg)	Retido na malha de 3,25 mm (kg)	Passante na malha de 3,25 mm (kg)
1	1,97	1,85	2,34	3,79
2	1,73	1,98	2,50	3,83
3	2,01	1,84	2,35	3,82
4	1,72	1,86	2,43	3,98
5	1,90	1,78	2,42	3,93
Média	1,87	1,86	2,40	3,87

Fonte: Elaboração própria.

A tabela 7 expõe os resultados de 5 ensaios de peneiramento da amostra do rejeito estudado. Obteve-se uma média de: 1,87 kg de material retido na abertura 12,21 mm, já na abertura de 6,35 mm 1,86 kg, assim como, 2,40 kg de material na abertura 3,25 mm, por fim 3,87 kg de material no fundo, com granulometria menor que 3,25 mm.

Tabela 8—Análise granulométrica do material peneirado.

Abertura (mm)	Abertura (in)	Retido (kg)	% Retido	% Retido acumulado	% Passante	% Passante acumulado
12,21	0,48"	1,87	18,70	18,70	81,30	81,30
6,35	0,25"	1,86	18,60	37,30	81,40	62,70
3,25	0,13"	2,40	24,00	61,30	76,00	38,70
Fundo	>0,13"	3,87	38,70	100	61,30	0

Fonte: Elaboração própria.

A tabela 8 expõe a análise do peneiramento realizado utilizando-se as médias da tabela 7. Tem-se 18,70% de material com granulometria acima de 12,21 mm (Brita 1), 18,60% de material com granulometria acima de 6,35 mm (Brita 0) e 62,70% de material com granulometria abaixo de 6,35 mm, que não é utilizado no circuito. Pode-se afirmar que 81,30% do material usado no experimento, passaram na malha de 12,21 mm, 62,70% passaram na malha de 6,35 mm e 38,70% passaram na malha de 3,25 mm.

Segundo as análises, 37,30% do material que é descartado podem ser reutilizados no processo, pois esta é a porcentagem de material retido acumulado na malha de 6,35 mm.

Fundamentado nas informações das tabelas 7 e 8, temos o gráfico exibido na figura 16, no qual o eixo das abscissas exibe as aberturas da peneira e o eixo das ordenadas consiste na porcentagem de material passante acumulado. Pode-se observar um coeficiente de determinação linear (R^2) igual a 0,971, resultado de uma associação linear positiva.

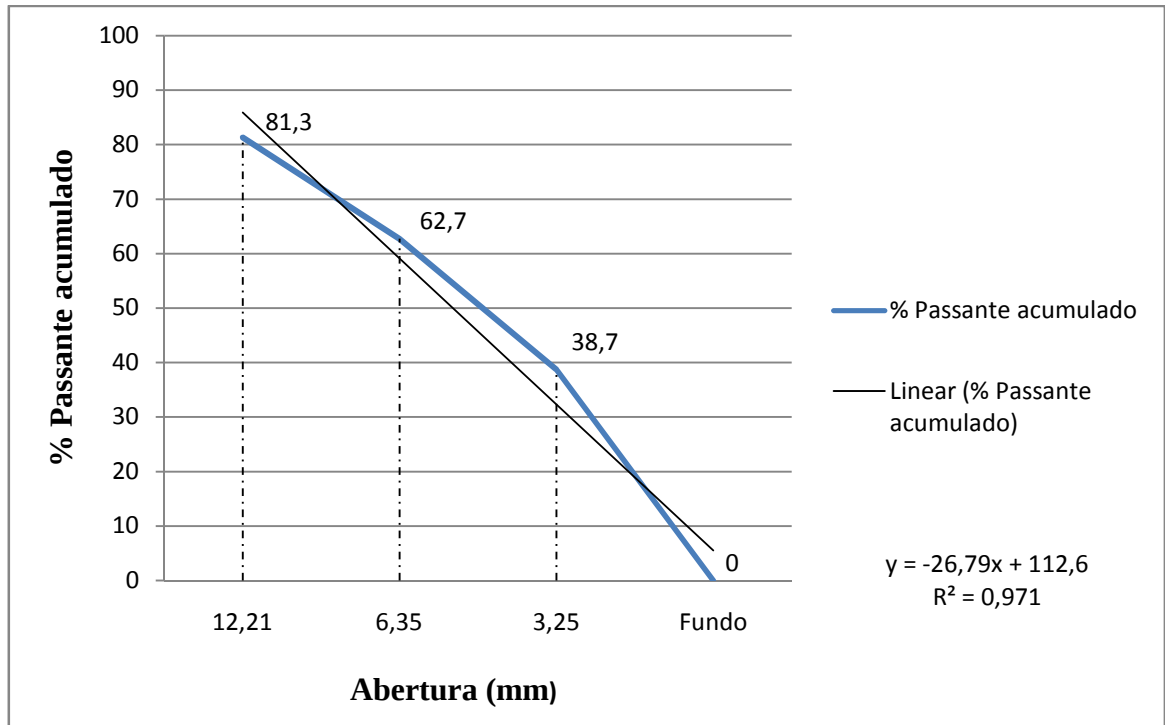


Figura 16- Resultado das análises do material rejeitado.
 Fonte: Elaboração própria.

Sendo a malha de 6,35 mm a que retém uma quantidade significativa de material que pode ser utilizado no circuito, a malha do último *deck* da peneira vibratória inclinada em questão, a qual no momento é de 0,75 polegadas (19,05 mm), deve ser modificada por uma de 0,25 polegadas (6,35 mm), para que se obtenha sucesso na recuperação de material descartado.

Foram coletados valores de referência na produtividade dos equipamentos, medidos pelo setor de controle da produção na empresa locais da pesquisa, no primeiro trimestre de 2014.

Na coleta obteve-se uma média de alimentação na primeira peneira da linha 1 de 493,64t/h e 123,41t/h de material rejeitado. Clarificando o raciocínio de que dos 100% do material alimentado 25% desse material é rejeitado e 75% nutre a pilha de alimentação do britador secundário, exibi-se o fluxograma na figura 17.

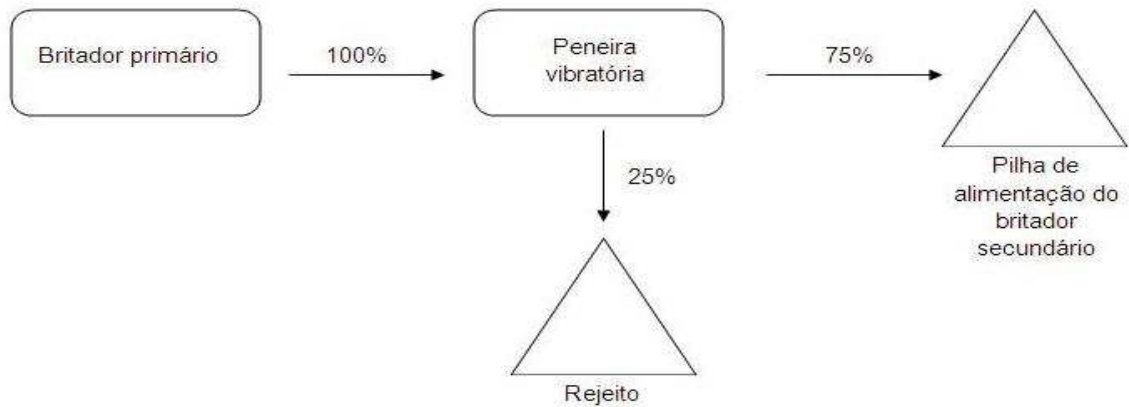


Figura 17- Balanço de massas da etapa de peneiramento atual.
Fonte: Elaboração própria.

Tendo como referência de estudo, a produção média de rejeito de 123,41t/h e a adequação da malha do último *deck* da peneira em epígrafe, resulta em 46,03 t de material que serão utilizadas e 77,38t serão rejeitadas. Utilizando-se porcentagem para quantificar as afirmações acima, teremos que 15,67% do material em referência será rejeito e 84,33% é material que será incorporado a pilha de alimentação do britador secundário, demonstrado no fluxograma exibido na figura 18.

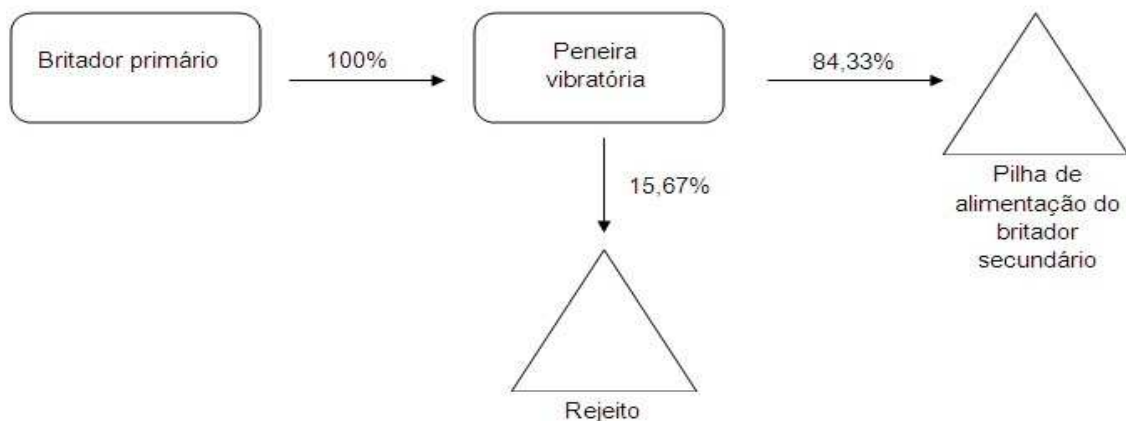


Figura 18- Balanço de massas da etapa de peneiramento esperado após mudanças.
Fonte: Elaboração própria.

Pode-se afirmar que após a mudança na malha da peneira de 0,75 polegadas para 0,25 polegadas, haverá um aumento de 9,33% de material que nutre a pilha de alimentação do

britador secundário, assim como uma diminuição de mesmo valor, na quantidade de material rejeitado.

Levando em consideração que o planejamento da empresa no ano de 2014 é para 943.000 toneladas de ROM, serão produzidas, tendo uma recuperação atual de 75%, 235.750 toneladas de rejeito. Com a nova configuração da peneira teremos uma recuperação de 84,33%, o que resultará em 147.768,50 toneladas de rejeito, ou seja, reduzindo em 37,32% de material não utilizável no processo produtivo.

Em consequência da redução produzida pelas ações implementadas, os custos de transporte também serão reduzidos em virtude do aumento de material útil. Evitando um desperdício financeiro da ordem de R\$75.664,09, considerando o planejamento do ano de 2014 em que a quantidade estimada de rejeito produzido será de 147.768,50 toneladas e que no ano vigente de realização deste trabalho (2014) o preço por tonelada transportada de material rejeitado é R\$0,86.

6 CONCLUSÃO

De acordo com o estudo apresentado, colaborou-se para a melhora da eficiência produtiva da Peneira Vibratória inclinada marca Piacentini, modelo PVA 1540 de três *decks*, localizada na empresa Caltins Calcário Tocantins LTDA.

Ficou demonstrado na pesquisa que 37,30% de material rejeitado pode ser reaproveitado no circuito, sendo neste 18,70% de material com granulometria acima de 12,21 mm (Brita 1) e 18,60% de material com granulometria acima de 6,35 mm (Brita 0).

A peneira em questão, possui atualmente aberturas de 6 polegadas (152,4 mm) no primeiro *deck*, 2 polegadas (101,6 mm) no segundo *deck* e 0,75 polegadas (19,06 mm) no último *deck*. Para que seja possível a recuperação do material que está sendo descartado, o último *deck* da peneira deverá ter sua malha substituída por uma malha de 0,25 polegadas (6,35 mm), pois esta é uma configuração onde há a maior retenção de partículas que podem ser aproveitadas.

Realizando a mudança na malha do último *deck* da peneira, obter-se-á um aumento significativo para a empresa Caltins de 9,33% de material na pilha de alimentação do britador secundário. Além disto, haverá uma redução na produção de rejeito e, portanto uma redução de 37,32% nos custos de transporte deste material, considerando-se o planejamento anual da empresa de 935.000 de ROM.

A pesquisa apresenta relevância, pois, considerando as mudanças a serem realizadas no circuito de beneficiamento, ficou esclarecido que a adequação da malha da peneira produz economia de matéria prima e financeira, dotando a empresa de maior capacidade econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.A. Corretivos de acidez dos solos: Características e interpretações técnicas. In: ANDA – Associação Nacional Para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, São Paulo – SP. Boletim técnico No. 6, 1992. Disponível em: <http://www.dvp24.iciag.ufu.br/new/dvp24/Apostilas/Corretivos%20%20Alcarde%20Anda%2004.pdf>, acessado em 04 de junho de 2014.

BOTHWELL, M. A., MULAR, A. L. COARSE SCREENING IN: MULAR, L. A., HALBE, D. N., BARRATT, D. J. (Ed.). Mineral Processing Plant Desing, Praticce and Control Proceedings. Littleton, Colorado, USA: SME, 2002, p.894-915.

BRANDÃO, P.R.G.; CANÇADO, R.Z.L.; SANTOS, L.D.; VASCONCELOS, O.R. Caracterização Mineralógica e Tecnológica. In: ARAUJO, A.C.; VALADÃO, G.E.S. Introdução ao Tratamento de Minérios. 1 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. cap.3. p.27-60.

BRITO NEVES, B.B., CAMPOS NETO, M.C. & FUCK, R.A. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano- Pan African Cycle and orogenic collage.

Carta Geológica CPRM- Folha Araguaína – 1994. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/araguaina/araguaina_ctgeologica.pdf, acessado em 28 de abril de 2014.

CHAVES, A. P.; PERES, A. E. C. Teoria e prática do tratamento de minérios: britagem, peneiramento e moagem. 2. ed. São Paulo: Signus, 2003. v. 3

CARRISO, R.C.C. e CORREIRA, J.C.G. Classificação e peneiramento. In: Luz, A. B., Sampaio, J. A. e Almeida, S. L. M. (Ed.) Tratamento de minérios. 4ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

CORREIA, J. C. G. Peneiramento e Classificação. In: LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. (Ed.). Tratamento de Minérios. 5 ed., cap. 6. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

FONSECA, M. A.; DARDENNE, M. A; UHLEIN, A. Faixa Brasília, setor Setentrional: estilos estruturais e arcabouço tectônico. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 267-278, 1995.

FREAS, R. C., HAYDEN, J. S., PRYOR JR., C. A., 2006. Limestone and Dolomite, in Industrial Minerals and Rocks, 7th Ed., Society for Mining, Metallurgy and Exploration.

GALERY, R. Separação por Tamanho. In: VALADÃO, G. E. S.; ARAUJO, A. C. (Org.). Introdução ao Tratamento de Minérios. Belo Horizonte: Editora UFGM, cap. 4, 2007.

GIL, ANTÔNIO CARLOS. Como elaborar projeto de pesquisa - 5.ed. - São Paulo: Atlas, 2010.

HASUI Y., COSTA J. B. S., ABREU F. A. M. 1984. Província Tocantins - Setor setentrional. In: FF M de Almeida; Y Hasui. (Org.). O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo: EditoraEdgardBlucher.

KENYEN, V. P. Screening. In: HARTMAN, H. L *et al.* SME Mining Engineering Handbook. 2 ed., v. 2. Cap. 25. Littleton: SME Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1992.

MULAR, A.L., BHAPPU, R.B. Mineral processing plant design, 2nd: Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Ed. New York, 190. p. 340-36. 1980.

OLIVEIRA, M.L.M., AQUINO, J.A., 2007. CT2007-051-00: Amostragem, in: Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais Parte I – Introdução, Cap. 1, p.03.

SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M., 2005. CT2005-132-00: Calcário e Dolomito – Capítulo 15. Disponível em <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-13200.pdf>, acessado em 06 de maio de 2014.

SAMPAIO, J.A., SILVA, F.A.N.G., 2007. Ct2007-053-00: Análise Granulométrica por peneiramento – Capítulo 3, in: Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais Parte II – Classificação, Cap. 3, p.55.

SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M., 2009. Calcário e Dolomito – Capítulo 16, In: Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações, Ed. Adão Benvindo da Luz e Fernando A. Freitas Lins. Disponível em <http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/16-agrominerais-calcariodolomito.pdf>, acessado em 15 de maio de 2014.

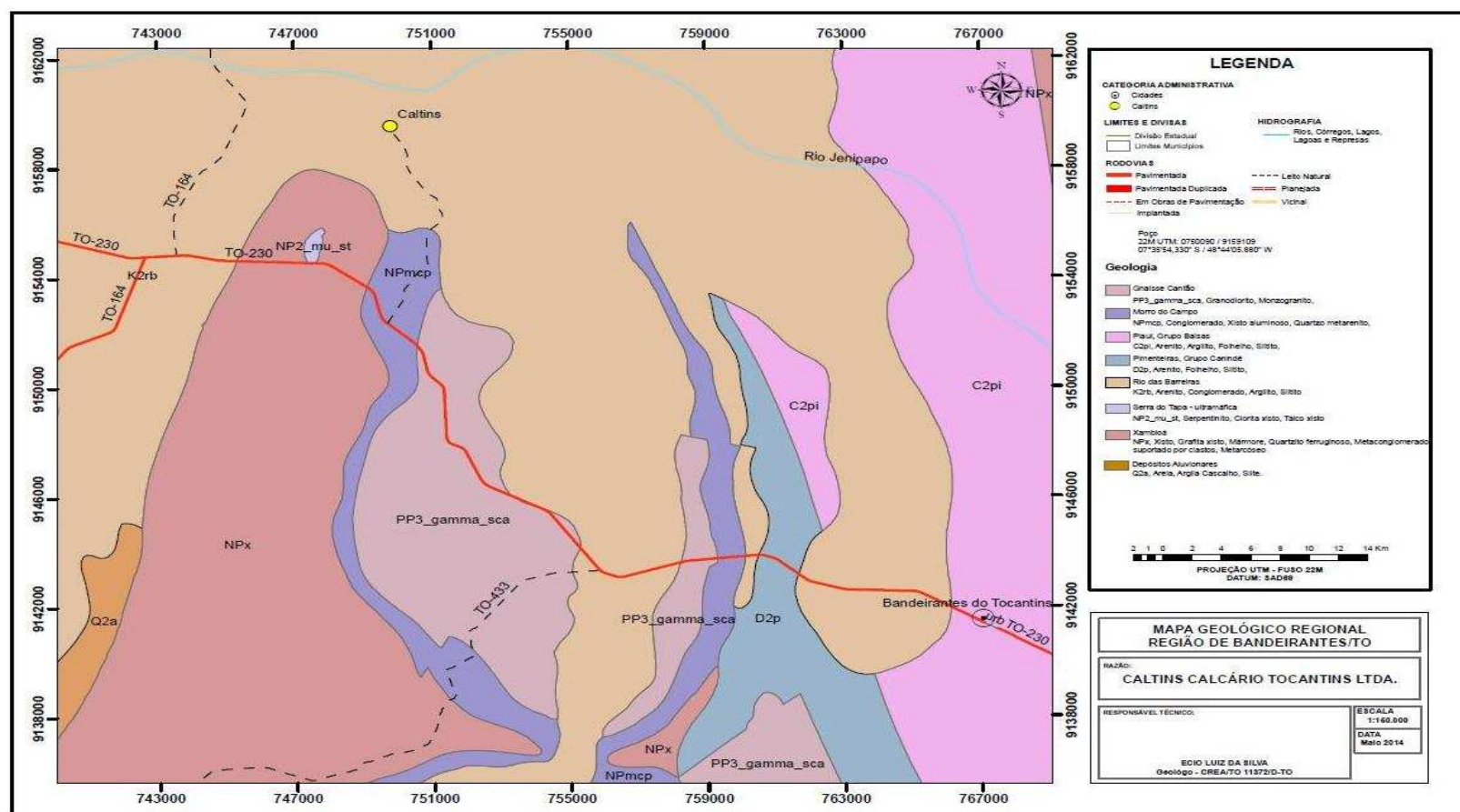
TROUW, R.A.J.; VAZ, L.F., SLONGO, T.T.; NAKASATO, N. 1976. Geologia da região de Tucuruí, Baixo Tocantins, Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Ouro Preto, Anais, p.20-31.

VALADÃO, G.E.S., ARAÚJO, A.C. Introdução ao Tratamento de Minérios. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.

WILLS, B.A. and NAPIER-MUNN, T.J. Wills' Mineral Processing Technology: an introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. 7th ed. Amsterdam: Elsevier Science and Technology Books, 2005, 444p.

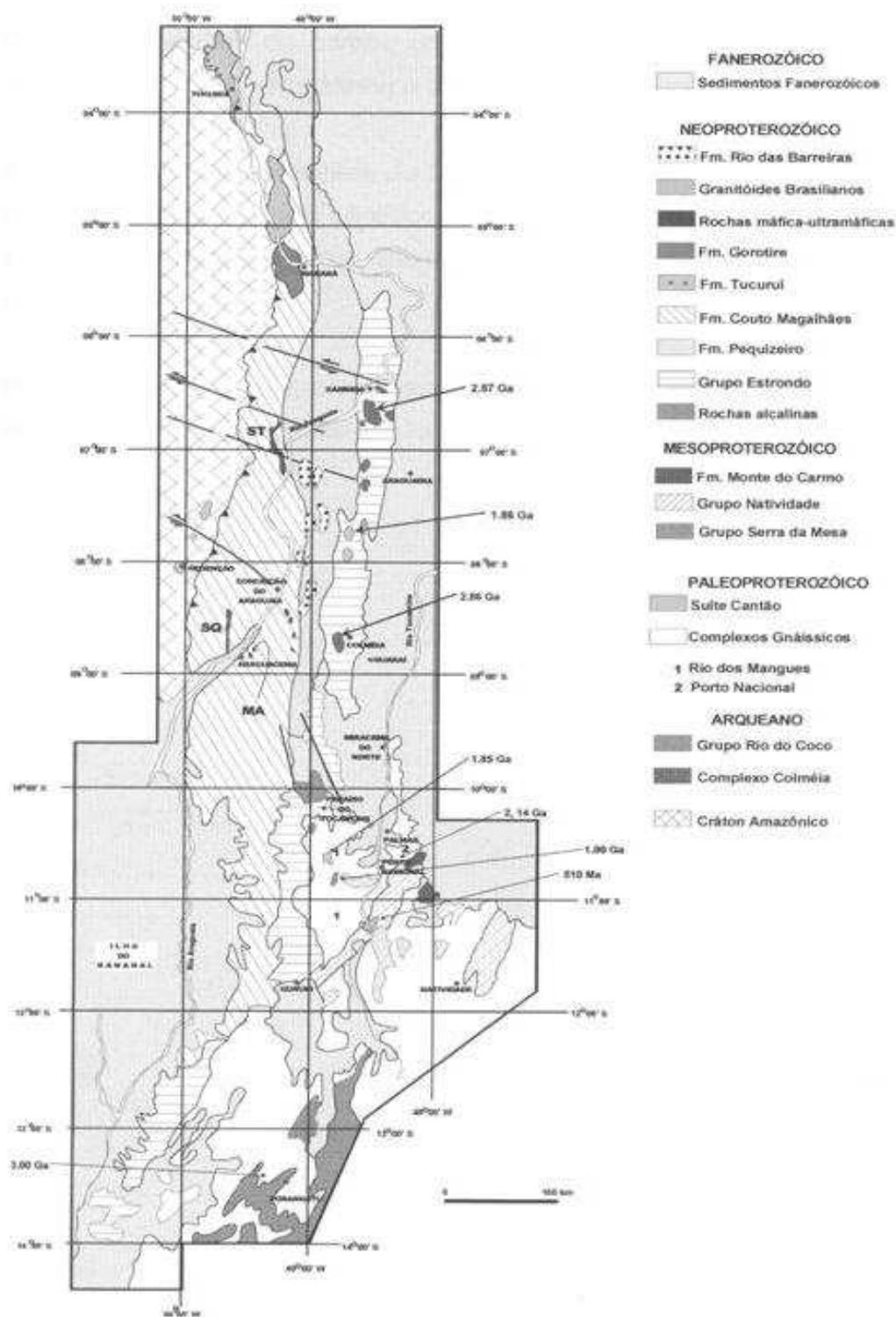
ANEXOS

ANEXO A

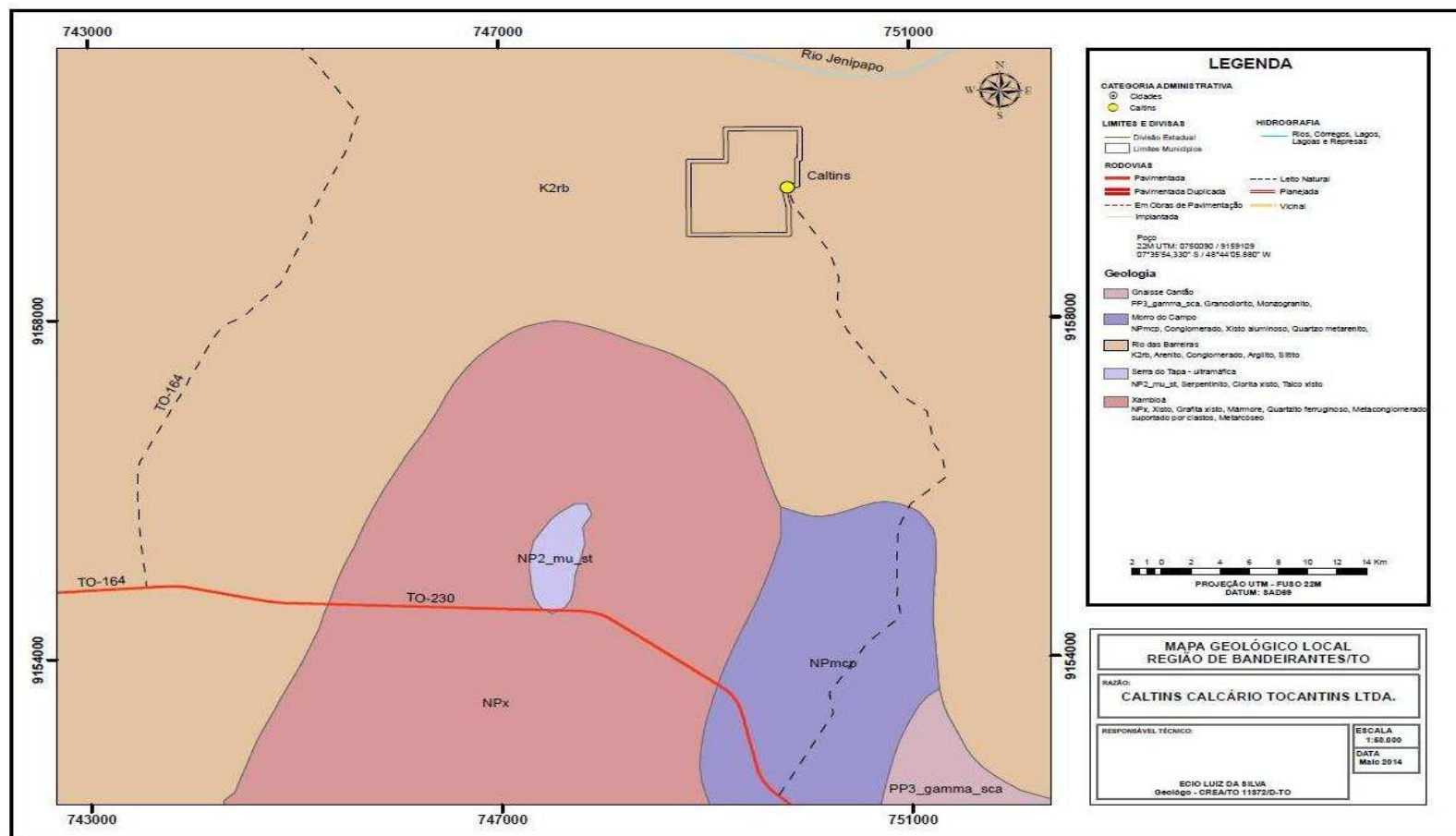


Mapa geológico regional da região de Bandeirantes do Tocantins - To.
Fonte: Arquivo Caltins, 2014.

ANEXO B

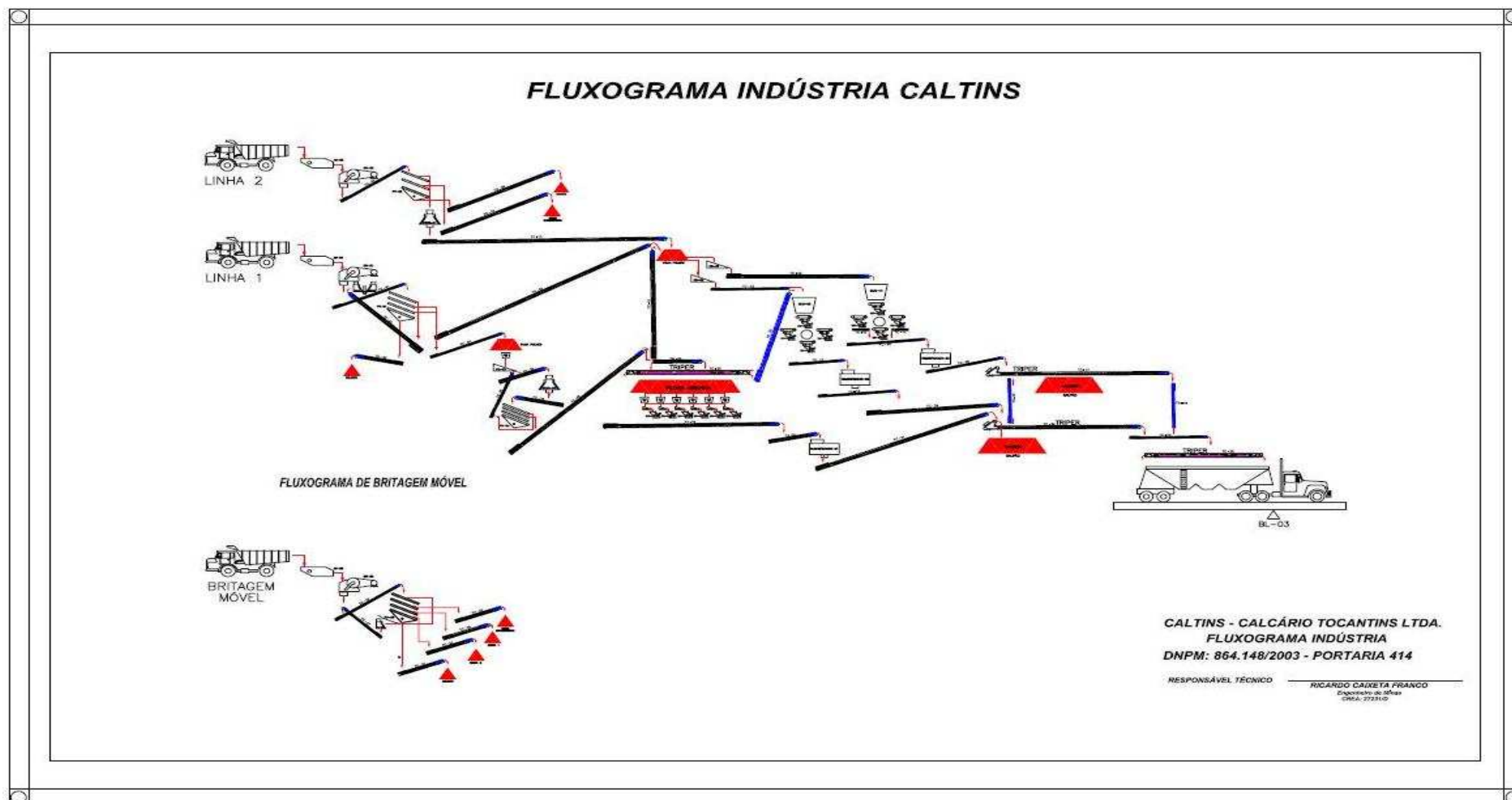


ANEXO C



Mapa geológico local da região de Bandeirantes do Tocantins - TO.
Fonte: Arquivo Caltins, 2014.

ANEXO D



Fluxograma do beneficiamento de calcário dolomítico da empresa Caltins.
Fonte: Arquivo Caltins, 2014.