



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

**Projecto de Instalação de processamento de Material
Feldspático. Caso de Estudo: Argemela**

João Manuel Ferreira de Sousa

(página propositadamente em branco)



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Projecto de Instalação de Processamento de Material Feldspático. Caso de Estudo: Argemela

João Manuel Ferreira de Sousa

1090920

*Projecto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Prof. Doutor José Augusto Fernandes, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé
Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor José António Ganilho Lopes Velho
Professor Associado com Agregação, Universidade de Aveiro

Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Sílvia Vieira Pinto Alves da Costa Spínola
Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

A tese de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG)** foi defendida em prova pública, pelo Licenciado **João Manuel Ferreira de Sousa**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 13 de Novembro de 2014 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **15 (quinze) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta.

A Direcção do MEGG|ISEP

Agradecimentos

São devidos agradecimentos na realização deste trabalho às seguintes pessoas:

Ao Professor José Augusto Fernandes, pelo apoio, sábia ajuda e disponibilidade, não apenas durante este trabalho, mas durante a minha caminhada nestes cinco anos de estudo.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e aos seus Professores pela formação que me deram, pela exigência e pelo gosto com que transmitem o conhecimento.

Ao meu colega Rogério Pinheiro do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção pela ajuda nos trabalhos de laboratório, pela responsabilidade demonstrada e a disponibilidade para ajudar o próximo.

Ao meu colega João Meirinhos, que se tornou o meu parceiro de estudo desde o início, e que mais uma vez me deu apoio neste trabalho.

A todos os alunos que me acompanharam nestes cinco anos, pela entajada, métodos de estudo e boa disposição, que foram decisivos para que todos caminhássemos firmemente até aqui.

Aos meus colegas de trabalho pela sua paciência, disponibilidade, proatividade e boa disposição.

Aos meus amigos mais chegados, nomeadamente ao Carlos Novais, Filipe Pinheiro, João Caseiro, e Ricardo Portela por me acompanharem desde sempre, por serem excelentes exemplos e por representarem a figura do irmão que não tenho.

À minha companheira, Diana Martins, e à sua filha Lara Marujo, que em todos os momentos senti do meu lado. Agradeço o apoio, a partilha, a compreensão e o incentivo para o desenvolvimento deste projeto.

Aos meus pais, pela educação que me deram, pelos valores que me transmitiram e por sempre estarem presentes em todos os momentos da minha vida.

A todos aqueles que se cruzaram comigo e que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para a minha formação cívica e académica.

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Feldspatos, Aplito, Argemela, Cerâmica, Vidro

Resumo

Feldspato é o nome dado a uma importante família de minerais, do grupo dos tectossilicatos, que compõem o material rochoso de mais de 60% da crosta terrestre.

Estes minerais são constituintes essenciais da maior parte das rochas cristalinas e a sua importância é tal que o seu estudo constitui um capítulo fundamental da petrografia.

Dada a sua grande incidência na crosta terrestre, os feldspatos ocorrem em diversos cenários geológicos, desde os depósitos pegmatitos, aos aplitos, granitos, sienitos nefelínicos e ainda areias feldspáticas. As suas características químicas, físicas e mineralógicas fazem com que este grupo de minerais esteja presente nas mais diversificadas indústrias, tais como a vidreira, cerâmica, tintas, borrachas, plásticos, abrasivos ligeiros, eléctrodos de soldadura, entre outros.

Em Portugal, as principais unidades produtoras de feldspatos encontram-se distribuídas pelo Norte e Centro do país, mais concretamente pelos distritos de Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Porto, Viseu e Guarda. Novos estudos geológicos acompanhados de prospeções, nomeadamente na região do maciço central, têm sido efetuados com vista à descoberta de novos depósitos com potencial para exploração deste importante mineral.

O depósito aplitico da Argemela, no concelho do Fundão apresenta-se como um depósito cujas dimensões e qualidade apresentadas indicam a possibilidade de exploração.

Nesse sentido, o presente trabalho consiste em analisar e caracterizar os materiais presentes na quele depósito mineral, tendo em vista a respectiva aplicação industrial, e posteriormente propor uma instalação de processamento do material para que o mesmo seja comercializado.

Também será objeto deste trabalho a análise da viabilidade económica do projeto, mais concretamente fazendo a previsão do investimento inicial de modo a somar os custos de produção correntes e avaliar o retorno com base na comercialização do material no modo "Ex Works".

(página propositadamente em branco)

Keywords

Feldspar, Aplite, Argemela, Ceramic, Glass.

Abstract

Feldspar is the name given to an important family of minerals, in the tectosilicates group, which are part of the rocks that are more than 60% of the earth's crust.

These are essential constituents of the most crystalline rocks, and its importance is such that their study is a crucial chapter of petrography.

Given its high incidence in the earth's crust, feldspar may occur in various geological scenarios, such as pegmatitic deposits, aplitic, granitic, nepheline syenite and feldspathic sands. Their chemical, physical and mineralogical characteristics make these group of minerals applicable in very different industries, such as glass, ceramics, paints, rubbers, plastics, soft abrasives, electrodes, among others.

In Portugal, the main producers of feldspar are based in the north and the center of the country, more specifically in the Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Porto, Viseu and Guarda districts. In addition, new geological studies are being done, with underground exploration, particularly in the region of the central highlands like Serra da Estrela, in order to detect new deposits with the potential for exploitation of this important mineral.

The Argemela's deposit, in Fundão's county appears to have the dimensions and mineralogical characteristics needed to a potential exploitation.

Therefore, this work consists in the analysis and characterization of the deposit material in view of its industrial application and project a mineral processing flowsheet in order to obtain a marketable final product.

It will also be part of this work the economic viability, analysis, specifically predicting the initial investment costs to add it to the production costs and to be able to predict the payback period with the material sales, in "Ex Works" mode.

(página propositadamente em branco)

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	- 11 -
1.1. Natureza e âmbito do projeto	- 13 -
1.2. Objetivos	- 13 -
1.3. Metodologia.....	- 13 -
1.4. Estrutura	- 14 -
2. MINERALOGIA e GÊNESE	- 15 -
2.1. Características minerais	- 17 -
2.2. Ocorrência.....	- 19 -
2.2.1. Depósitos do tipo pegmatito.....	- 19 -
2.2.2. Depósitos do tipo aplito	- 20 -
2.2.3. Depósitos do tipo alasquito.....	- 20 -
2.2.4. Depósitos do tipo granito	- 21 -
2.2.5. Depósitos do tipo sienito nefelínico	- 21 -
2.3. Estrutura	- 21 -
2.4. Tipos de feldspatos	- 22 -
2.4.1. Feldspatos alcalinos.....	- 23 -
2.5. Propriedades térmicas	- 25 -
2.6. Solubilidade em água.....	- 26 -
3. APLICAÇÕES TRADICIONAIS DOS MATERIAIS FELDSPÁTICOS.....	- 27 -
3.1. Aplicações tradicionais.....	- 29 -
3.2. Especificações para as diferentes aplicações.....	- 32 -
3.3. Mercados/Produção/Importação/Exportação.....	- 36 -
4. ESTADO DA ARTE (PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS FELDPÁTICOS)	- 43 -
4.1. Redução de calibre.....	- 45 -
4.2. Separação magnética	- 47 -
4.3. Flutuação	- 49 -
4.3.1. Coletores	- 51 -
4.3.2. Espumantes	- 52 -
4.3.3. Depressores	- 52 -
4.3.4. Controladores de pH	- 52 -
4.4. Redução de humidade	- 52 -
5. CASO DE ESTUDO – DEPÓSITO APLÍTICO DA ARGEMELA	- 55 -
5.1. Localização geográfica	- 57 -
5.2. Enquadramento geológico.....	- 58 -
5.3. Caracterização do material	- 62 -
5.3.1. Amostragem superficial e campanha de sondagens	- 62 -
5.3.2. Análise macroscópica	- 63 -
5.3.3. Análise petrográfica.....	- 63 -
5.3.4. Análise química.....	- 66 -

6.	PROPOSTA DE PROJECTO DE PROCESSAMENTO (DIAGRAMA, EQUIPAMENTOS, DIMENSIONAMENTO) ..-	67 -
6.1.	Descrição do processamento do material	69 -
6.2.	Instalação de tratamento	70 -
6.2.1.	Diagrama de fluxo	70 -
6.2.2.	Fragmentação	73 -
6.3.	Fragmentador primário	73 -
6.4.	Fragmentador secundário	75 -
6.5.	Fragmentador terciário	78 -
6.5.1.	Moagem	80 -
6.6.	Stockagem Intermédia.....	82 -
6.7.	Classificação.....	84 -
6.8.	Transporte	92 -
6.9.	Separadores Magnéticos	100 -
6.10.	Armazenamento	102 -
6.11.	Alimentadores	103 -
6.12.	Potência Elétrica	104 -
7.	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA.....	109 -
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	117 -
9.	BIBLIOGRAFIA.....	121 -
10.	ANEXOS	127 -

Índice de Anexos

Anexo I – Características do Britador de maxilas Serie C
AnexoII - Características do Britador de cónico serie HP
AnexoII - Características do moinho de rolro HRC 800
Anexo IV – Dimensionamento do primeiro crivo. Tabelas.
Anexo V – Características do peneiro M
Anexo VI – Dimensionamento do segundo crivo. Tabelas
Anexo VII – Dimensionamento do terceiro crivo. Tabelas
Anexo VIII – Características do alimentador vibratório MV
Abeo IX – Características da calha vivratória Linha CV
Anexo X – Características do separador magnético de tambor
Anexo XI – Características do Separador magnético de Carrocel
Anexo XII – Alçados da instalação de processamento.
Anexo XIII – Folha de cálculo da Análise da Viabilidade económica

Índice de Figuras

Figura 1 - Estrutura dos feldspatos em diferentes perspectivas, mostrando as cadeias duplas de anéis tetraédricos relacionados pelo plano de simetria (fonte: http://ppegeo.igc.usp.br/img/revistas/guspsd/v1/01f5b.gif , 2014).....	- 18 -
Figura 2 - Representação do pegmatito de Alto de Quixaba, Seridó - Brasil, com demonstração da sua estrutura e zonamento mineral. (Adaptado de: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0001-37652005000400011&script=sci_arttext , 2005).....	- 19 -
Figura 3 - Representação de corte geológico principal de Lord Hill Pegmatite, Stoneham, Maine – USA (Adaptado de: http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/arc/melordpeg.htm , 2004).	- 20 -
Figura 4 - Perfil geológico do complexo intrusivo da Mendanha, Rio Janeiro, com evidência de um depósito nefelínico intrusivo (http://turmalina.igc.usp.br/img/revistas/anigeo/v35n2/a09fig04.jpg , 2013)....	- 21 -
Figura 5 - Esquerda: Soluções sólidas de feldspatos. Direita: evolução estrutural dos feldspatos potássicos em função da temperatura e do arrefecimento (Vlach, 2002).	- 23 -
Figura 6 - Diagramas de temperatura e composição. Esquerda: feldspatos alcalinos. Direita: Plagioclases (Vlach, 2002).....	- 24 -
Figura 7 – Evolução do consumo de feldspatos nos Estados Unidos da América (Adaptado de: U.S.Geological Survey,2005).....	- 29 -
Figura 8 - Exploração de Feldspatos – Distribuição da produção mundial (Adaptado de: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/2005feldspar.PNG , 2011).	- 36 -
Figura 9 - Produção de feldspatos em Portugal(Adaptado de: http://www.indexmundi.com/minerals/?country=pt&product=feldspar&graph=production , 2014)	- 39 -
Figura 10 - Evolução da produção mundial de feldspatos (U.S.Geological Survey, 2014).	- 40 -
Figura 11 - Evolução das cotações dos feldspatos a nível mundial (U.S. Geological Survey, 2014).	- 41 -
Figura 12 - Britador de maxilas (http://terrasource.com/uploads/equipment/63/pic_jaw_crushers_1.jpg , 2014).....	- 46 -
Figura 13 - Britador giratório (http://www.excelfoundry.com/wp-content/uploads/2012/07/gyratory-xs-full.png , 2012).	- 47 -
Figura 14 - Moinho de bolas (http://www.flsmidth.com/~media/Images/Product-SubSection%20Pages/Grinding/Mills/BallMills.ashx?h=310&w=475 , 2012).	- 47 -
Figura 15 - Separador magnético de baixa intensidade e via húmida (http://met-souvelabs/wp-content/uploads/2012/12/fig20.jpg , 2012).	- 48 -
Figura 16 - Separador magnético de alta intensidade (http://eriez.com/resources/images/products/8109-02.jpg , 2014).....	- 48 -
Figura 17 - Célula de flutuação (Adaptado de: http://www.chinafote.com/pro/p21.html , 2014).	- 50 -
Figura 18 - Instalação com beneficiamento por flutuação - células de flutuação (http://www.mining-technology.com/contractor_images/4056/images/138941/large/BQR-Flotation-Cells.jpg , 2014).	- 51 -
Figura 19 - Esquema de um Forno de secagem rotativo de (Adaptado de: http://img.dytrade.com/cdimg/1435804/20687649/0/1303110348/Rotary dryer.jpg , 2014).....	- 53 -
Figura 20 - Exemplo de um equipamento de secagem por leito fluidizado (Adaptado de: http://solidswiki.com/images/c/cd/Open_circuit_fluid_bed_cooler.gif , 2014).	- 53 -
Figura 21 - Localização geográfica do Cabeço da Argemela (Google Earth ,2014).....	- 57 -
Figura 22 - local do Cabeço da Argemela, trecho da carta militar portuguesa nr. 245 à escala de 1/22000. ...	- 58 -
Figura 23 - Distribuição dos granitóides sitectónicos e postectónicos tardios do centro e norte de portugal continental (Azevedo et al,2005).	- 59 -
Figura 24 - Localização do depósito mineral do Cabeço da Argemela (extrato da carta geológica de Portugal, à escala de 1/50 000).	- 60 -
Figura 25 - Imagem do Cabeço da Argemela.....	- 61 -
Figura 26 - Percolação da água em meios poroso e fissurado (http://www.lneg.pt/download/3060/fig.jpg , 2014).....	- 61 -
Figura 27 - Imagem do depósito a explorar, com a marcação das sondagens de prospeção (Fernandes,2006).	- 62 -
Figura 28 - Imagem de um bloco do aplito do Cabeço da Argemela.....	- 65 -
Figura 29 - Equipamento para análise química de amostras (LGMC/ISEP).	- 66 -

Figura 30 - Diagrama pictural da instalação de beneficiamento do material.	71 -
Figura 31 – Diagrama de operações a instalação de beneficiamento do material.	72 -
Figura 32 - Britador de mandíbulas Nordberg - Série C – (http://www.metso.com , 2014).....	74 -
Figura 33 - Características dos britadores de mandíbulas da Nordberg - Serie C - as características do equipamento selecionado estão assinaladas a vermelho.(http://www.metso.com , 2014).....	74 -
Figura 34 - Curva granulométrica dos produtos à saída do equipamento. a curva do equipamento selecionado é a curva de 70mm (http://www.metso.com , 2014).....	75 -
Figura 35 - Britador cónico Série HP (http://www.metso.com ,2014).....	76 -
Figura 36 - Características da câmara do britador HP100 (http://www.metso.com , 2014).	77 -
Figura 37 - Curvas granulométricas do Britador HP100 (http://www.metso.com , 2014).	77 -
Figura 38 - Britador Cónico Serie HP (http://www.metso.com , 2014).	78 -
Figura 39 - Características da câmara do britador selecionado (http://www.metso.com , 2014).	79 -
Figura 40 - Curvas granulometricas do equipamento HP400 - a curva granulométrica mais proxima da real é a de 6mm (http://www.metso.com , 2014).....	79 -
Figura 41 - Moinho de Rolos Metso HRC 800 (http://www.metso.com , 2014).....	80 -
Figura 42 - Curva granulométrica do moinho de rolos Metso HRC 800 (http://www.metso.com , 2014)...	81 -
Figura 43 - Dados técnicos do moinho de rolos Metso HRC 800 (http://www.metso.com , 2014).	82 -
Figura 44 – Representação das quantidades de material na alimentação do crivo, bem com as quantidades de passados e retidos no peneiro de 30mm.	85 -
Figura 45 - Características das peneiras vibratórias inclinadas (http://www.metso.com ,2014).	87 -
Figura 46 - Esquema da quantidade de material na alimentação do segundo crivo, assim como as quantidades de passados e retidos no peneiro de 2mm.	88 -
Figura 47 - Características dos peneiros XH. O peneiro selecionado está indicado a vermelho.	89 -
Figura 48 - Esquema da quantidade de material na alimentação do segundo crivo, assim como as quantidades de passados e retidos no peneiro de 1mm.	90 -
Figura 49 - Características dos crivos ML80. O modelo selecionado está assinalado a vermelho.....	92 -
Figura 50 - Separador Magnético de baixa intensidade (http://www.eriez.com , 2014).	100 -
Figura 52 - Características do equipamento selecionado (http://www.eriez.com , 2014).....	101 -
Figura 52 - Separador Magnético de alta intensidade (http://www.metso.com , 2014).	102 -
Figura 53 - Alimentador Vibratório MV (http://www.metso.com , 2014).....	103 -
Figura 54 - Calha Vibratória CV (http://www.metso.com , 2014).....	104 -
Figura 55 - Avaliação do negócio dos feldspatos nos primeiros 7 anos de actividade.	116 -

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Composições químicas teóricas dos feldspatos no seu estado puro.....	- 17 -
Tabela 2 - Variação da composição da plagioclase (Kyonka <i>et al</i> , 2007).....	- 25 -
Tabela 3 - Comparação de diversas fontes de alumina para as indústrias da Cerâmica e do Vidro (Harben, 2002).....	- 31 -
Tabela 4 - Quantidade de feldspatos presentes em diferentes tipos de cerâmica (Ariffin, 2003).....	- 32 -
Tabela 5 - Características dos feldspatos para os diversos sectores da indústria cerâmica (Bhavan, 2007). -	34 -
Tabela 6 - Especificações de feldspatos usados como carga (Harben, 2002).....	- 35 -
Tabela 7 - Especificações comerciais de feldspatos para vidro e porcelana (Redeker, 1977).....	- 35 -
Tabela 8 - Análise de feldspatos para cerâmica sanitária (Luz <i>et al</i> , 2005).	- 36 -
Tabela 9 - Reservas e produções mundiais de feldspatos (U.S. Geological Survey, 2008).....	- 38 -
Tabela 10 - Variação da produção de feldspatos em Portugal (Adaptado de: http://www.indexmundi.com/minerals/?country=pt&product=feldspar&graph=production , 2014).	- 39 -
Tabela 11 - Resultado das análises químicas às amostras recolhidas (Fernandes, 2006).	- 64 -
Tabela 12 - Composição mineralógica média do cabeço da Argemela (Fernandes, 2006).	- 65 -
Tabela 13 - Análise química de uma amostra de material recolhido.	- 66 -
Tabela 14 - Tabela de características do crivo 1, para cálculo da área de crivagem.	- 86 -
Tabela 15 - Tabela de características do crivo 1, para cálculo da largura de crivagem.....	- 87 -
Tabela 16 - Dimensões crivo 1.....	- 87 -
Tabela 17 - Características do crivo 2, para cálculo da área de crivagem.	- 88 -
Tabela 18 - Tabela de características do crivo 2, para cálculo da largura de crivagem.....	- 89 -
Tabela 19 - Dimensões crivo 2.....	- 89 -
Tabela 20 - Tabela de características do crivo 3, para cálculo da área de crivagem.	- 90 -
Tabela 21 - Tabela de características do crivo 3, para cálculo da largura de crivagem.....	- 91 -
Tabela 22 - Dimensões crivo 3.....	- 91 -
Tabela 23 - Lista das telas transportadoras presentes na instalação.	- 93 -
Tabela 24 - Dimensionamento de telas transportadoras - seleção de largura de tela (Manual de Aridos, 1994).....	- 93 -
Tabela 25 - Dimensionamento de telas transportadoras. Seleção da velocidade da tela (Manual de Aridos, 1994).....	- 94 -
Tabela 26 - Dimensionamento de telas transportadoras – Seleção de ângulos repouso e carga (Manual de Aridos, 1994).	- 94 -
Tabela 27 - Dimensionamento de telas transportadoras – Seleção da dDimensão "X" (Manual de Aridos, 1994).....	- 95 -
Tabela 28 - Dimensionamento de telas transportadoras - Capacidade da tela para 1m/s e 1t/m ² (Manual de Aridos, 1994).	- 95 -
Tabela 29 - Dimensionamento de telas transportadoras - Potência para mover correia em vazio (Manual de Aridos, 1994).	- 97 -
Tabela 30 - Dimensionamento de telas transportadoras - Potência para mover a rocha (Manual de Aridos, 1994).....	- 97 -
Tabela 31 - Dimensionamento de telas transportadoras. Potência para elevar o material (Manual de Aridos, 1994).....	- 98 -
Tabela 32 - Características das telas transportadoras presentes na instalação.....	- 99 -
Tabela 33 - Cálculo de potência total da instalação. Lista de motores dos equipamentos.....	- 105 -
Tabela 34 - Custo dos equipamentos.	- 111 -
Tabela 35 - Custo dos equipamentos de perfuração e transporte de material	- 112 -
Tabela 36 - Custo dos escritórios, armazéns e oficinas.	- 112 -
Tabela 37 - Custo dos investimentos em montagens e equipamento auxiliar.....	- 112 -
Tabela 38 - Tabela do custo do Investimento.	- 113 -
Tabela 39 - Custo da energia.	- 113 -
Tabela 40 - Custos com a mão-de-obra.....	- 114 -
Tabela 41 - Custos mensais de produção da Instalação.	- 115 -

Índice de equações

Equação 1 – Valor unitário tonelada	- 40 -
Equação 2 – Volume do material para stock	- 82 -
Equação 3 – Volume do silo	- 83 -
Equação 4 – Área de crivagem	- 85 -
Equação 5 – Largura do crivo	- 86 -
Equação 6 – Capacidade da tela transportadora	- 95 -
Equação 7 – Velocidade final da tela transportadora	- 96 -
Equação 8 – Potência total da instalação	- 97 -
Equação 9 – Potência para moviementar a tela na horizontal	- 97 -
Equação 10 – Potência eléctrica total – 1º critério	- 106 -
Equação 11 – Potência eléctrica total – 2º critério	- 106 -
Equação 12 – Potência eléctrica total – 3º critério	- 107 -
Equação 13 – Custo de manutenção	- 114 -
Equação 14 – Custo de produção de uma tonelada	- 115 -

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AERO 801** – Sulfonato de petróleo anionico;
- AERO 825** - Sulfonato de petróleo anionico;
- CA44 T200** – Feldspato sódico ideal para agente fluxo e granulometria inferior a 200 mesh;
- CA57 T200** – Feldspato sódico ideal para porcelanas;
- CM77 T200** - Feldspato sódico/potássico com balanço de sódio e potássio ideal para uso como fluxo e vitrificador, e granulometria inferior a 200 mesh;
- C-6** – Feldspato sódico;
- C-20** - Feldspato sódico ideal para indústria do vidro;
- EABF** – feldspato potássico e sódico de alta qualidade usado com fluxo na cerâmica;
- EUROFEL** - Associação Europeia de Produtores de Feldspato;
- FT 200** – Feldspato sódico com granulometria inferior a 200 mesh;
- F-20** – Feldspato de alta qualidade usado como fluxo na industria cerâmica;
- G-40** – Feldspato de grandes quantidades de potássio e granulometria inferior a 200 mesh;
- G-200** - Feldspato potássico;
- ISEP** – Instituto Superior de Engenharia do Porto;
- K-200** – Feldspato potássico com granulometria inferior a 200 mesh.
- LGMC** – Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção;
- MIBC** – Espumante altamente selectivo (Carbinol Isibutil Metilico);
- MINSAPAR3** – Feldspato potássico grosseiro;
- MINSAPAR4** - Feldspato potássico de granulometria média;
- MINSAPAR7** - Feldspato potássico de granulometria fina;
- MINSAPAR25**- Feldspato potássico de granulometria inferior a 250 mesh;
- NC-4** – feldspato sódico/cálcico e potássico de alta qualidade e granulometria inferior a 170 mesh. Ideal para cerâmicas;
- PCE** – Cone piezométrico equivalente;

1. INTRODUÇÃO

1.1. Natureza e âmbito do projeto

Este trabalho surge no âmbito da unidade curricular de Dissertação/Projeto do 2º ano de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, segundo o modelo de Bolonha do Instituto Superior de engenharia – Instituto Politécnico do Porto.

1.2. Objetivos

O objetivo primordial do presente trabalho consiste numa proposta de instalação de processamento de materiais feldspáticos, a partir do material presente no depósito da Argemela (Fundão), tendo como ponto de partida a bibliografia existente, a constituição mineralógica e química daquela formação aplítica, assim como, a respectiva caracterização, dado tratar-se de uma fonte potencial de produção de materiais feldspáticos, de modo a obter um ou mais produtos para comercialização. Como tal, estão traçados os seguintes objetivos:

- 1) Recolha de informação geológico-geotécnica com base na cartografia existente;
- 2) Execução de análises químicas;
- 3) Caracterização física e química da massa mineral;
- 4) Dimensionamento de um diagrama de tratamento, função da massa mineral caracterizada.

1.3. Metodologia

Para atingir os objetivos anteriormente descritos será utilizada a seguinte metodologia:

- 1) Pesquisa bibliográfica – cuja intenção será o levantamento da informação mais relevante sobre a zona em estudo, o material e os demais processos de beneficiamento do recurso geológico;
- 2) Análise de amostras para posterior análise petrográfica e química, nas instalações do LGMC – ISEP;
- 3) Tratamento e interpretação dos dados, mais concretamente na caracterização da massa mineral;
- 4) Dimensionamento do diagrama de tratamento, função da composição mineralógica e química do material;
- 5) Elaboração do estudo de viabilidade económica do projeto;
- 6) Redação do documento final (Dissertação/Projeto/Tese).

1.4. Estrutura

Adicionalmente ao capítulo introdutório, mais cinco capítulos se apresentarão no presente projeto, entre eles:

- 1) Mineralogia e Génese - ao longo do deste capítulo são abordados temas tais como, a origem e formação dos feldspatos, as suas características gerais, assim como as especificações para as diferentes aplicações. Serão ainda abordados aspetos relacionados com a sua respetiva comercialização e usos mais comuns;
- 2) Estado da arte - Os mais variados tratamentos a promover aos materiais feldspáticos serão alvo de uma descrição neste capítulo. Os diferentes métodos de beneficiamento aplicados ao material feldspático, em função das características dos depósitos. Os custos de produção também serão debatidos neste ponto;
- 3) Caso estudo - Argemela - Em síntese, será apresentada a informação desde um plano macroscópico até às características mais detalhadas do depósito em estudo, assim como a informação que define a massa mineral a explorar;
- 4) Proposta de projeto de processamento - Com base nos dados recolhidos e compilados será dimensionada uma instalação para o beneficiamento do recurso geológico, a descrição do diagrama de processamento, assim como a enumeração e descrição dos equipamentos considerados na beneficiação da massa mineral, finalizando com a obtenção de um ou mais lotes comercializáveis;
- 5) Estudo viabilidade económica - O presente capítulo aborda a questão financeira do projeto. Serão verificados os custos de investimento, produção e comercialização com o objetivo de verificar se a exploração é sustentada economicamente;
- 6) Conclusões - Neste capítulo serão debatidos os temas propostos anteriormente, assim como as considerações finais do presente projeto;
- 7) Bibliografia.

2. MINERALOGIA e GÉNESE

2.1. Características minerais

Os feldspatos, cuja denominação tem origem no alemão *feld* (campo) e *spath* (pedra), referem-se ao grupo de minerais mais abundante na crosta terrestre (cerca de 60%) e tecnicamente são considerados aluminossilicatos de sódio, cálcio, potássio e bário. Regra geral, são considerados como soluções sólidas de feldspatos sódicos, feldspatos potássicos e feldspatos cálcicos ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, KAlSi_3O_8 e $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ respetivamente), no entanto, no seu estado natural os depósitos são constituídos por feldspatos sódicos e potássicos ou feldspatos sódico e cálcico. Em teoria, as composições químicas destes três grandes grupos no seu estado puro são diferentes (Tabela 1) (Kyonka *et al*, 2007).

Tabela 1 - Composições químicas teóricas dos feldspatos no seu estado puro

(Kyonka *et al*, 2007).

	K_2O	Na_2O	CaO	Al_2O_3	SiO_2
Feldspato Potássico ($K_2OAl_2O_36SiO_2$)	16,9%	-----	-----	18,3%	64,8%
Feldspato Sódico ($Na_2OAl_2O_36SiO_2$)	-----	11,8%	-----	19,4%	68,8%
Feldspato Cálcico ($CaOAl_2O_32SiO_2$)	-----	-----	20,2%	36,6%	43,2%

Os feldspatos são minerais pertencentes à família dos tectosilicatos, que perfazem quase três quartos da crosta terrestre. Os tectosilicatos são minerais formados por uma estrutura tridimensional de tetraedros de SiO_4 ligados, onde todos os seus iões de oxigénio de cada tetraedro são compartilhados pelos seus vizinhos (Ariffin, 2003).

A Figura 1 apresenta estrutura dos feldspatos em diferentes perspetivas, mostrando as cadeias duplas de aneis tetraedricos relacionados pelo plano de simetria.

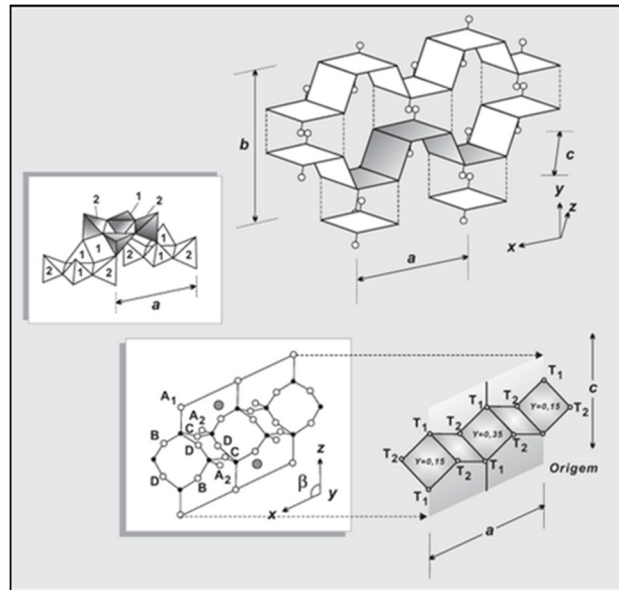


Figura 1 - Estrutura dos feldspatos em diferentes perspectivas, mostrando as cadeias duplas de anéis tetraedricos relacionados pelo plano de simetria (fonte: <http://ppegeo.igc.usp.br/img/revistas/guspsd/v1/01f5b.gif>, 2014).

Este grupo de minerais mineral, cuja cor é maioritariamente branca, assim como o seu traço, exibem aspeto ótico translúcido a transparente e brilho não metálico a vítreo, apresentam um peso específico de 2,5 a 2,8 g/cm³ assim como dureza superior ao vidro - 6 a 6,5 na escala de Mohs. Cristalizam em sistemas monoclinico a triclinico e apresentam hábito prismático ou compacto com clivagem perfeita em duas direções, sempre com ortogonalidade. Estas são características únicas e que os diferenciam dos diferentes minerais (Freitas *et al*, 2010).

Ainda de acordo com os mesmos autores, sendo os tectossilicados mais importantes e diversificados, ocorrem como minerais essenciais em todas as rochas ígneas, não ultramáficas, e a proporção relativa entre as séries alcalina e a plagioclase é a base para a classificação destas rochas.

São ainda comuns em algumas rochas sedimentares, nomeadamente na presença em sedimentos arenosos, sob a forma de grãos detríticos e/ou autógenos, e ainda com importância secundária em sedimentos pelíticos e carbonáticos.

No que às rochas metamórficas diz respeito, estão também presentes em grandes quantidades, nomeadamente nos gnaisses e xistos, sendo o seu principal constituinte, assim como em rochas geradas por metamorfismo termal, regional e dinâmico, fornecendo também grandes informações acerca da maturidade e sobre as condições de metamorfismo, respectivamente (Freitas *et al*, 2010).

2.2. Ocorrência

Apesar da sua abundância na crosta terrestre, podendo ocorrer de maneira variada, em diferentes ambientes geológicos, apenas um pequeno número de depósitos é apropriado para exploração.

De acordo com a *Eurofel - Association of European Feldspar Producers* – os principais depósitos no mundo para exploração são:

2.2.1. Depósitos do tipo pegmatito

Os pegmatitos são considerados a principal fonte de minerais feldspáticos devido aos seus grandes cristais, pureza e abundância. São corpos rochosos de composição granítica compostos por minerais de grande dimensão de quartzo, feldspato e micas e cristalizam nos últimos estágios de intrusão e arrefecimento do magma. Os fluidos magmáticos ricos em água arrefecem tão lentamente que os cristais gerados tomam dimensões fora do normal. O tamanho dos minerais pode variar dos 3 aos 50 centímetros e por vezes atingir dimensões de 3 metros. Os depósitos pegmatíticos podem variar desde os pequenos filões com centímetros de espessura até grandes corpos tabulares com dezenas de metros de espessura e centenas de profundidades (Ariffin, 2003).

Na Figura 2 está representada a estrutura de um corpo pegmatítico e o respectivo zonamento mineral.

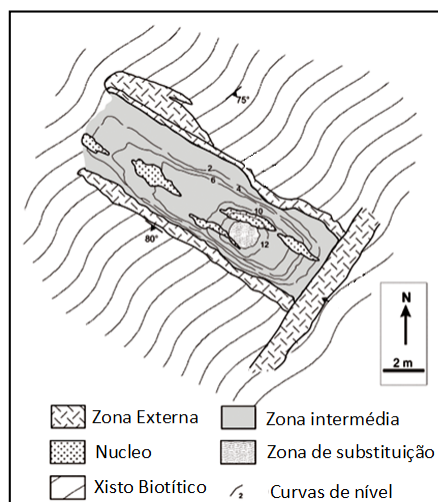


Figura 2 - Representação do pegmatito de Alto de Quixaba, Seridó - Brasil, com demonstração da sua estrutura e zonamento mineral. (Adaptado de: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0001-37652005000400011&script=sci_arttext, 2005).

2.2.2. Depósitos do tipo aplito

Os aplitos são corpos rochosos de composição granítica, mas cuja composição pode variar de um gabro a granito. É um termo textural que se refere a rochas ígneas, intrusiva de granulometria fina a muito fina e coloração clara, por vezes cinza ou rosa. Os minerais que normalmente formam o aplitos são o quartzo e os feldspatos alcalinos cuja cristalização se efetuou de forma rápida culminando com grão equidimensionais e faces pobremente desenvolvidas (Ariffin, 2003).

A Figura 3 apresenta um corte geológico de um pegmatito com intrusões apliticas.

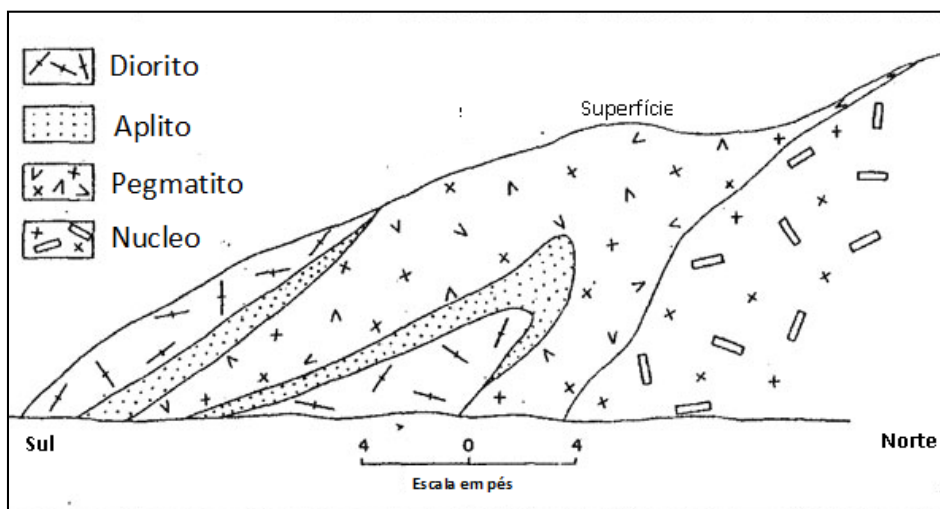


Figura 3 - Representação de corte geológico principal de Lord Hill Pegmatite, Stoneham, Maine – USA (Adaptado de: http://www.minsocam.org/msa/collectors_corner/arc/melordpeg.htm, 2004).

2.2.3. Depósitos do tipo alasquito

O alasquito é considerado um pegmatito granítico de granulometria média a grosseira, composta por quartzo, feldspato e moscovite e cujo corpo rochoso pode atingir elevadas dimensões, em diâmetro. É a principal fonte de produção de feldspatos nos Estados Unidos da América, nomeadamente na Carolina do Norte, e a sua composição ronda os 25% de quartzo, 40% ortoclase, 20% microclina e 15% moscovite, podendo conter ainda pequenas quantidades de biotite, apatite e pirite (Ariffin, 2003).

2.2.4. Depósitos do tipo granito

São depósitos constituídos por quartzo, feldspato e mica. Os feldspatos são os minerais formadores de rochas, nomeadamente de rochas ígneas ácidas, como o granito. Embora este possa conter 50% a 70% de feldspatos alcalinos, raramente é explorado pelo seu conteúdo feldspático mas sim pelo seu conteúdo geral. Na verdade, poucos são os exemplos de feldspatos obtidos do granito (Ariffin, 2003).

2.2.5. Depósitos do tipo sienito nefelínico

Os sienitos nefelínicos são rochas ígneas alcalinas, sem quartzo, constituídas de feldspatos (microclina e albite). Feldspatóides (nefelina, sodalite), dolomite, monazite/zirconite e ainda minerais com teores de ferro. Os teores de feldspatos nestes depósitos são bastante altos, rondando os 90% na maioria dois casos (Vlach, 2002).

A Figura 4 apresenta dois cortes geológicos de uma intrusão sienito-nefelínica num maciço.

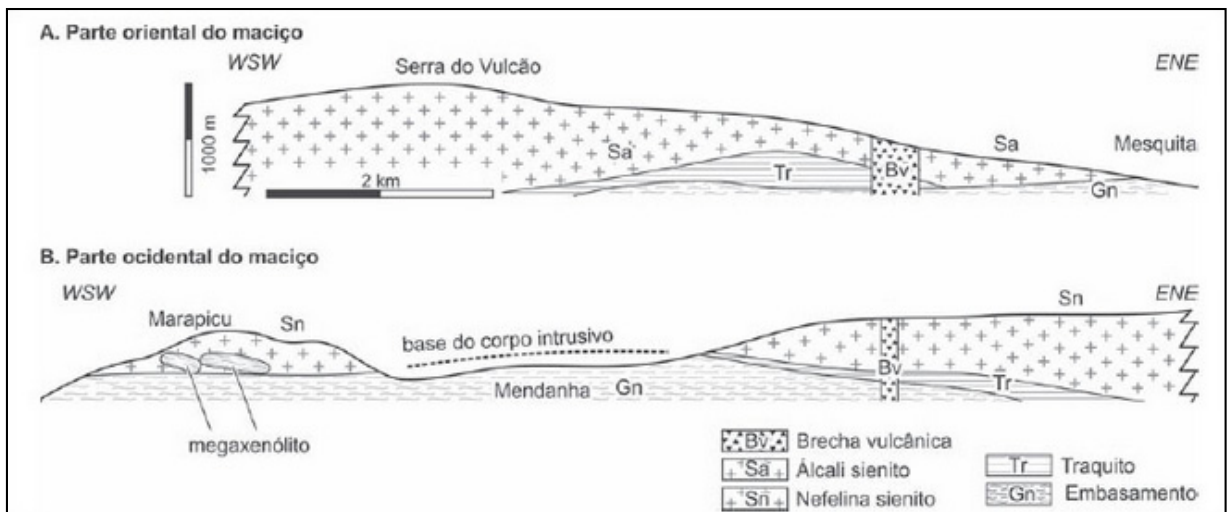


Figura 4 - Perfil geológico do complexo intrusivo da Mendanha, Rio Janeiro, com com evidência de um depósito nefelínico intrusivo (<http://turmalina.igc.usp.br/img/revistas/anigeo/v35n2/a09fig04.jpg>, 2013).

2.3. Estrutura

Apesar de quimicamente simples, o grupo dos feldspatos apresenta complexidades estruturais bem marcadas. Como tal, para a caracterização dos diferentes minerais deste grupo é imperativo

a análise do estado estrutural, assim como de eventuais microestruturas presentes, que se relacionam às temperaturas, à cinética do ambiente de cristalização e às características de arrefecimento e interação com soluções presentes no sistema após a cristalização.

Assim, e de uma forma geral, os feldspatos podem ser divididos quanto à sua estrutura, nomeadamente (Vlach, 2002):

- 1) Feldspatos homogéneos - com estrutura desordenada, com simetria mono ou triclinica (com os átomos de Si e Al aleatoriamente distribuídos nas posições tetraédricas, variando no tipo de feldspato), estáveis a altas temperaturas, logo, comuns nas rochas vulcânicas e subvulcânicas;
- 2) Feldspatos com estrutura ordenada, com simetria triclinica (os átomos de Al e Si concentrados em determinadas posições, com energia reticular menor), formados geralmente por duas, ou mais fases desmisturadas, variando os teores de K, Na e Ca, observáveis em escalas macro, micro ou submicroscópica, estáveis a temperaturas inferiores e, como tal, comuns em rochas de ambiente plutónico;
- 3) Feldspatos com graus intermédios de ordenamento.

2.4. Tipos de feldspatos

Na classificação das rochas ígneas da internacional Union Geological Sciences (IUGS, 1991), os feldspatos são divididos em dois grupos, os feldspatos alcalinos e os feldspatos plagioclásios. Os feldspatos alcalinos incluem a ortoclase, a microclina, a sanidina, anortoclásico e os de duas fases misturadas entre si, as pertitas. Já os plagioclásios incluem membros da série de solução sólida albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \equiv \text{Ab}$) – anortite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \equiv \text{An}$). De referir, no entanto, que a albite é um feldspato alcalino, assim como uma plagióclase.

A distinção entre os tipos de feldspatos assenta na composição química e nas densidades dos mesmos, enquanto que o valor habitual de densidade para um feldspato alcalino rico em potássio é 2,56, nos plagioclásios é maior, ronda os 2,62 para a albite (Freitas *et al*, 2010).

Outro parâmetro de distinção, embora não absoluto, são os grãos da albite, nos plagioclásios, que se manifesta por linhas paralelas em certas superfícies de clivagem, enquanto que os grãos de feldspatos alcalinos não apresentam essa característica. Os índices de refração lamelar são inferiores nos feldspatos alcalinos.

2.4.1. Feldspatos alcalinos

Os feldspatos alcalinos são feldspatos cujos catiões presentes são essencialmente metais alcalinos. Apresentam proporções de alumina - silício de 1:3 e (sódio + potássio) - alumina de 1:1. A entrada de algum Ca (cálcio), assim como algum Sr (estrôncio) ou Ba (bário), é facilitada pelo aumento da temperatura. A cada átomo de Ca, Sr ou Ba que é adicionado à estrutura, deve haver a substituição de um átomo de Si por Al para que seja mantida a neutralidade elétrica na estrutura (Vlach, 2002).

A Figura 5 apresenta a formação dos feldspatos em função da temperatura e da velocidade de arrefecimento.

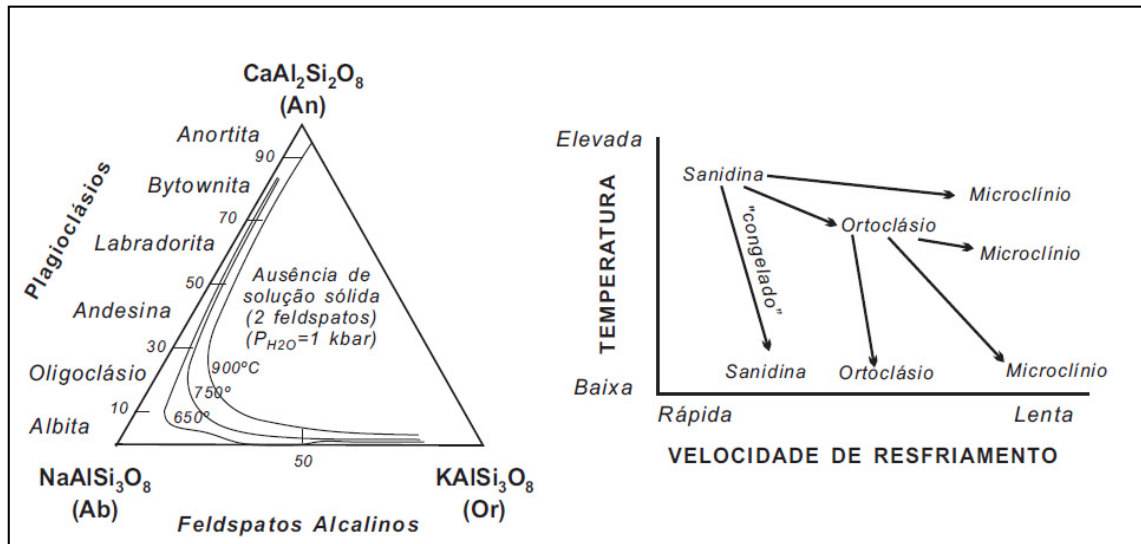


Figura 5 - Esquerda: Soluções sólidas de feldspatos. Direita: evolução estrutural dos feldspatos potássicos em função da temperatura e do arrefecimento (Vlach, 2002).

A Figura 6 apresenta as diferentes composições dos feldspatos alcalinos e das plagioclases em função da temperatura.

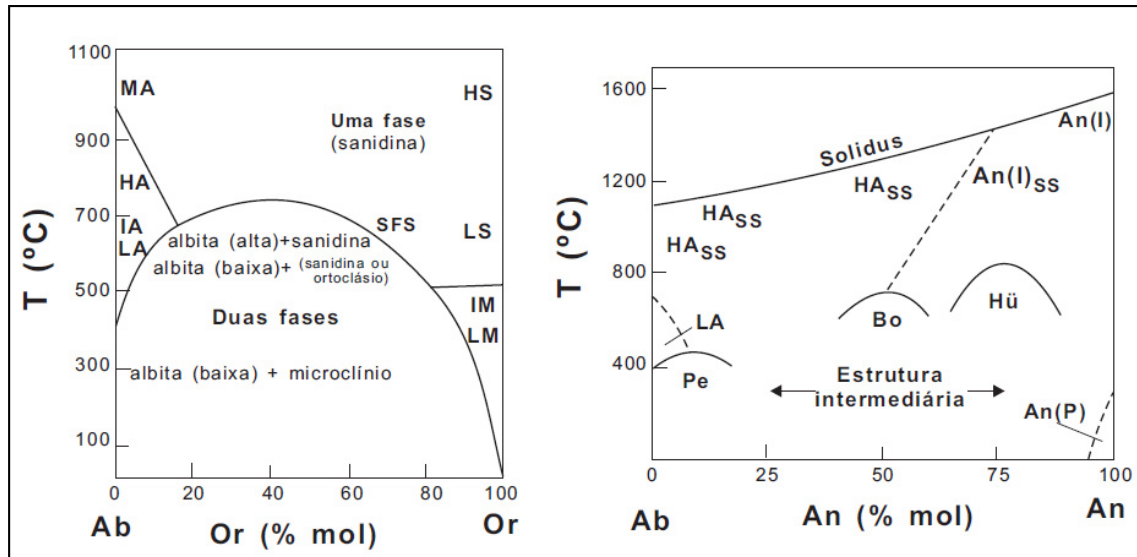


Figura 6 - Diagramas de temperatura e composição. Esquerda: feldspatos alcalinos. Direita: Plagioclases (Vlach, 2002).

Os feldspatos alcalinos podem ser divididos em:

- **Feldspatos potássicos** (com quantidades menores de Ca e Na). Incluem os polimorfos sanidina (fase de simetria monoclinica), ortoclase (simetria monoclinica) e microclina (que inclui o microclínio máximo e microclínios intermédios, todos triclinicos). Estes polimorfos são relacionados entre si através de transformações polimórficas de ordem desordem, tal como já se referiu relativamente à estrutura dos feldspatos. De forma genérica, a sanidina, a ortoclase e a microclina correspondem a polimorfos estáveis sob condições de temperaturas relativamente altas, médias/altas e médias;
- **Feldspatos sódicos** (com quantidades menores de Ca e K). Incluem dois polimorfos principais, ambos triclinicos (Vlach, 2002).

Os plagioclásios são constituídos pelos feldspatos constituídos por cálcio e sódio, com quantidades variadas de potássio em função da temperatura, assim como estrôncio e bário. Apresentam proporções de alumina-silício variáveis de 1:3 a 1:1 e compreendem:

- **Anortite** (sem Na ou K, Al:Si = 2:2, Ca:Al = 1:2) apresenta distribuição ordenada dos átomos de Al e Si que se alternam regularmente em estrutura triclinica;
- **Albite** (Si:Al = 3:1, Na:Al = 1:1);
- As séries das plagioclases (com quantidades menores de K). Formam solução solida contínua entre a albite e a anortite em temperaturas moderadas altas.

A Tabela 21 apresenta as diferentes composições das plagioclases, conhecida como a série das plagioclases, onde indica o rácio da mistura entre albite e anortite.

Tabela 2 - Variação da composição da plagioclase (Kyonka *et al*, 2007).

Plagioclase	Composição (%)	
Albite	Anortite - 0 a 10	Albite - 100 a 90
Oligoclase	Anortite - 10 a 30	Albite - 90 a 70
Andesina	Anortite - 30 a 50	Albite - 70 a 50
Labradorite	Anortite - 50 a 70	Albite - 50 a 30
Bitauinite	Anortite - 70 a 90	Albite - 30 a 10
Anortite	Anortite - 90 a 100	Albite - 10 a 100

Os feldspatóides são tectossilicatos com composição química semelhante à dos feldspatos, mas que no entanto apresentam deficientes quantidades de sílica (Si). As estruturas dos feldspatóides são também mais abertas, com cavidades maiores entre as unidades tetraédricas fundamentais $[(Si,Al)O_4]$ (Vlach, 2002).

Os minerais mais comuns entre os feldspatóides compreendem o grupo da nefelina, de forma mínima genérica $(Na)AlSiO_4$, que inclui a nefelina $[Na_3(Na,K)[AlSiO_4]_4]$ e a kaliophilite $[K(AlSiO_4)]$. Estes minerais apresentam estrutura hexagonal com densidades entre 2,56 e 2,67 g/cm³.

2.5. Propriedades térmicas

As características de fusão dos feldspatos foram determinadas para os materiais puros assim como para misturas. Importa referir que as temperaturas de fusão dos feldspatos são extremamente difíceis de aferir, na medida em que o processo é deveras lento. A fusão inicia-se na superfície dos cristais e a sua lentidão é tal, que é possível que alguns cristais se possam manter sem fusão durante bastante tempo, mesmo com temperaturas acima do ponto de fusão. Este mesmo ponto de fusão é considerado como a temperatura a que o cristal e o fluido de fusão coexistem em equilíbrio, e é determinada avaliando a temperatura acima da qual os cristais apresentam tendência para se fundir, assim como a temperatura abaixo da qual os cristais tendem a crescer. Como este processo é extremamente difícil de avaliar, os pontos de fusão dos diferentes feldspatos são classificados segundo intervalos (Kyonka *et al*, 2007).

O feldspato sódico, anortite, tende a fundir-se num fluido bastante viscoso à temperatura de 1118 (± 3)^oC. No entanto, e de acordo com o diagrama de equilíbrio do sistema $Na_2O - Al_2O_3 - SiO_2$, uma mistura de feldspato sódico puro e sílica têm um ponto de fusão mínimo 1062 (± 3)^oC, mistura com percentagens de 68,5% de feldspato sódico e 31,5% de sílica. Contudo, se na mistura

se encontrar uma pequena quantidade de alumina passa a apresentar um ponto de fusão de 1050 (± 10)°C.

No caso dos feldspatos potássicos, o seu ponto de fusão considerado é 1150 (± 20)°C formando cristais de leucite ($K_2O Al_2O_3 SiO_2$) e um fluido viscoso de 12% K_2O , 13,5% de Al_2O_3 , e 74% de SiO_2 . No feldspato potássico existe um intervalo longo de temperaturas sob as quais a leucite e o fluido coexistem em equilíbrio, até que a 1530°C a leucite desaparece (Kyonka *et al*, 2007).

É importante lembrar que estes intervalos de temperaturas de fusão com compostos em equilíbrio são calculados para feldspatos puros. No entanto, para feldspatos de uso comercial, com a presença de impurezas nos materiais estes pontos de fusão são alterados.

Como anteriormente descrito, o ponto de fusão de equilíbrio dos feldspatos é atingido muito lentamente devido à sua elevada viscosidade. Esta viscosidade é a base para avaliar o comportamento térmico dos feldspatos na indústria cerâmica. É prática geral caracterizar este comportamento em termos de fusibilidade e deformação plástica do feldspato quando aquecido a uma determinada temperatura. Quando a deformação do cone do feldspato é comparada com a deformação padrão do cone pirométrico aquecido à mesma temperatura, a fusibilidade é expressa em cones pirométricos equivalentes (PCE).

A temperaturas equivalentes, a viscosidade do feldspato sódico é menor do que a viscosidade do feldspato potássico, e a mistura destes feldspatos alcalinos perfaz valores intermédios. De acordo com os intervalos PCE, os feldspatos típicos na indústria cerâmica são:

- Cone 4-5 (1165-1180 °C) para feldspatos ricos em sódio e com ponto de fusão mais baixo;
- Cone 5-8 (1180-1225 °C) para feldspatos alcalino com pontos de fusão intermédios;
- Cone 8-10 (1225-1260 °C) para feldspatos ricos em potássio cujos pontos de fusão são os mais elevados.

2.6. Solubilidade em água

Juntamente com as propriedades térmicas, a solubilidade em água dos feldspatos tem também interesse para os fins comerciais, nomeadamente na indústria cerâmica. Embora não seja possível concluir qual dos feldspatos – potássico ou sódico – é mais solúvel em água, é garantido que quando pequenas frações de feldspatos são adicionadas e se decompõem na água e a alcalinidade é extraída aos feldspatos, aumentado o ph da solução (Kyonka *et al*, 2007).

3. APLICAÇÕES TRADICIONAIS DOS MATERIAIS FELDSPÁTICOS

3.1. Aplicações tradicionais

Os feldspatos, nomeadamente os que se encontram entre a Albite e a Ortoclase, classificados como os da série alcalina, representam o mineral mais abundante nas rochas ígneas - cuja percentagem na generalidade supera os 50% - e são em grande escala usados na produção de agregados para posterior composição em betão, massas betuminosas e ainda em rocha ornamental. No entanto, o uso do granito nos agregados e como rocha ornamental nada tem que ver com o feldspato em si, mas com as qualidades do material rochoso na sua globalidade que apresenta características únicas para os fins pretendidos. Contudo, a sua massiva produção, mesmo que indirectamente, não deve ser ignorada.

Na Figura 7 é possível observar a evolução do consumo de feldspatos em relação aos diferentes sectores.

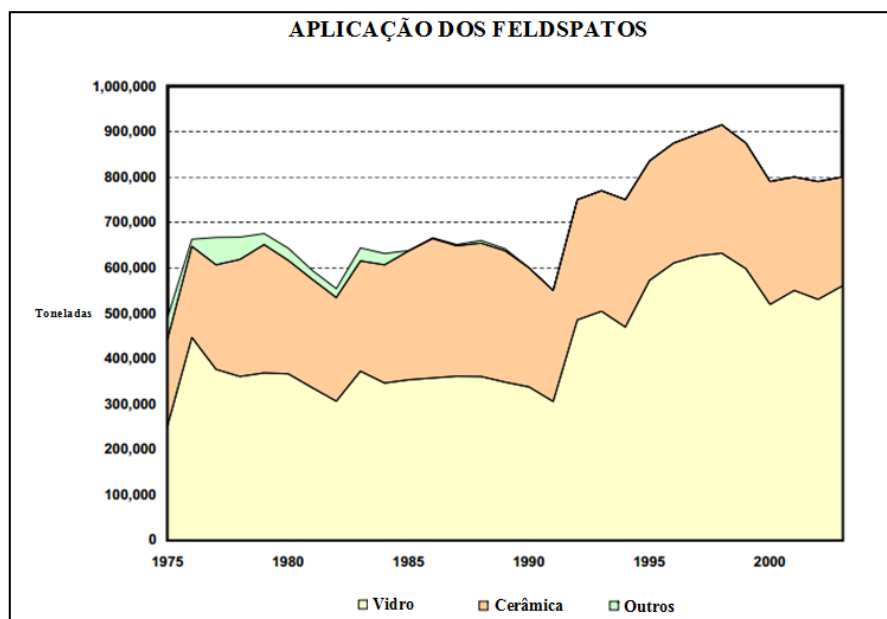


Figura 7 – Evolução do consumo de feldspatos nos Estados Unidos da América (Adaptado de: U.S.Geological Survey,2005).

No entanto, são inúmeras as aplicações deste mineral, nas suas mais variadas formas mineralógicas, desde o uso na indústria do vidro, no fabrico de cerâmicas, produção de tintas, plásticos, borrachas, abrasivos, etc.

Vidro:

A produção de vidro é complexa e engloba um enorme leque de materiais em diferentes composições. Estes materiais podem ser classificados em três grupos : os materiais de formação do vidro, os materiais de fluxo e ainda os materiais estabilizadores.

Os óxidos de sódio, potássio e cálcio, Na_2O , K_2O e CaO , são considerados óxidos alcalinos na medida em que quando adicionados à água elevam o pH, funcionando como agentes de fluxo. Os agentes de fluxo, quando submetidos a temperaturas elevadas, possuem uma estrutura molecular bastante activa, envolvendo e combinando-se com estruturas moleculares de outros materiais mais duros e, provocando desse modo a dissolução das suas superfícies moleculares. Assim, vão expondo a estrutura molecular interior voltando a dissolvê-la até que todos os cristais se dissolvam. Em síntese, estes agentes vão induzir um ponto de fusão a temperaturas inferiores à natureza dos restantes materiais, reduzindo assim o custo em energia, e como consequência baixando os custos de produção (Freitas *et al*, 2010).

Os agentes estabilizadores são os óxidos de alumínio (Al_2O_3) que existem em duas distintas formas, nomeadamente, nas argilas e em corpos porcelânicos. Quando quimicamente combinado na sua forma molecular com os restantes constituintes feldspáticos, funcionam com estabilizadores fazendo parte da fusão que fará o vidro, isto porque os átomos de alumínio unem-se ao silício através de um átomo de oxigénio partilhado integrando-se assim na matriz amorfa do silício, e nunca afetando a transparência do vidro (www.ima-europe.eu, 2014).

Não obstante, os óxidos de alumínio são ainda adicionados à argila como constituinte sob a forma de caulinite que devido aos agentes de fluxo também se dissolve. Por outro lado, o subproduto remanescente após a fusão da caulinite é um precipitado de óxido de alumínio puro, designado de alumina. Os cristais de alumina não se fundem (são partículas refractárias) dispersando-se no fluido e reduzindo assim a tendência do vidro para desvitrificar e melhorando a respetiva resistência e durabilidade (www.ima-europe.eu, 2014).

Por fim, os formadores do vidro, como a sílica (SiO_2) que, como a alumina, também existe em duas distintas formas na argila e nos corpos porcelânicos. Quando quimicamente combinadas com os agentes de fluxo e o óxido de alumínio, assim como no feldspato, a sílica existe como um componente molecular no amorfo fluido vítreo derretido. Não obstante, também existe como cristais de quartzo que não se fundem e que se dispersam no fluido fazendo assim parte da subestrutura refractária que suporta a argila e os corpos porcelânicos (www.ima-europe.eu, 2014).

Na Tabela 3 é possível comparar as diferentes fontes de alumina utilizadas na produção de vidro e de cerâmicos:

Tabela 3 - Comparação de diversas fontes de alumina para as indústrias da Cerâmica e do Vidro (Harben, 2002).

	<i>Sienito Nefelínico (%)</i>	<i>Feldspato sódico (%)</i>	<i>Feldspato Potássico (%)</i>	<i>Aplito com baixo teor de ferro (%)</i>	<i>Escória de calumita (%)</i>
SiO ₂	61,4	67,54	67,04	63,71	38,8
Al ₂ O ₃	22,74	19,25	18,02	21,89	10,5
Fe ₂ O ₃	0,06	0,06	0,04	0,09	0,3
CaO	0,7	1,94	0,38	0,48	38,5
MgO	-	-	-	-	1,4
K ₂ O	4,95	4,05	12,1	2,37	0,5
Na ₂ O	9,54	6,96	2,12	5,6	0,4
P.F.	0,6	0,13	0,3	0,21	1,1
Outros	0,01	0,07	-	5,65	8,5

Cerâmica:

Contrariamente ao vidro, que é fundido numa massa homogénea para depois ser produzido, os corpos cerâmicos são concebidos primeiramente através da mistura, numa pasta, das matérias-primas e posteriormente é-lhes conferida a forma final antes de os elevar a temperaturas superiores a 1000°C (Glover *et al*, 2012).

Na sua generalidade, os geomateriais usados na indústria cerâmica são argilas assim como matérias de natureza mais dura que conferem propriedades de fluxo.

Nas argilas estão incluídos minerais argilosos cauliniticos-ilíticos com propriedades plásticas que dependem da sua estrutura mineralógica e da distribuição dos tamanhos dos grãos no corpo mineral. No caso dos geomateriais mais duros, são considerados os feldspatos e os feldspatóides presentes, nos pegmatitos e ainda, o quartzo. As principais características destes geomateriais são a baixa percentagem de óxidos como o F₂O₃ e o TiO₂, óxidos estes que contaminam os corpos alterando as suas colorações.

O feldspato adicionado às pastas cerâmicas contribui para a formação da face vitrificada aos aluminossilicatos expostos às elevadíssimas temperaturas. As quantidades de feldspato usadas neste processo estão relacionadas com a densidade da peça a produzir e são medidas através da quantidade de água absorvida pelo produto final. Regra geral, uma peça de porcelana absorve menos de 1% de água, enquanto cerâmicas semivitrificadas absorvem cerca de 20%. Quanto mais elevada se verificar a percentagem de feldspatos, menor é a percentagem de água absorvida e maior será a qualidade e resistência da cerâmica.

Na Tabela 4, é possível observar as quantidades de feldspato presentes nos diferentes tipos de cerâmica.

Tabela 4 - Quantidade de feldspatos presentes em diferentes tipos de cerâmica (Ariffin, 2003).

<i>PRODUTOS CERÂMICOS</i>	<i>FELDSPATO (%)</i>
Porcelana elétrica	25 - 35
Cerâmica para piso	50 - 60
Louças sanitárias	30 - 60
Tijolo, barro	15 - 35
Porcelana química	15 - 30

A presença de feldspatos potássicos nos corpos cerâmicos apresenta um efeito refratário superior quando comparado com o feldspato sódico, em iguais quantidades. Embora os feldspatos potássicos iniciem a sua fusão a temperaturas inferiores que os sódicos, quando a fusão se inicia, a formação de cristais de leucite causa um fluxo mais vagaroso e viscoso (Freitas e Argentin, 2010).

O sienito nefelínico com composições baixas de sílica e composições altas de sódio e alumina tem um poder de fluxo e retração diferente consoante o seu grau. Os graus mais refinados apresentam os valores mais elevados e são usados em porcelanas elétricas e nos utensílios de cerâmica. Os graus menos refinados, e usados no fabrico de vidro, e apresentam os pontos de fusão mais baixos (Obstler, 2001).

3.2. Especificações para as diferentes aplicações

Tal como já foi referido, os feldspatos são aplicados na indústria essencialmente pelo seu teor em alumina e alcális.

O termo feldspato engloba um variado leque de materiais e, de modo uniformizar o padrão de classificação em toda a união europeia, a Eurofel e os respectivos membros definiram as características dos produtos feldspáticos.

Assim, os produtos feldspáticos são silicatos de alumínio com:

- Percentagem superior a 58% de SiO_2 ;
- Percentagem de alcális ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) superior a 2%;
- Percentagem de alumina (Al_2O_3) superior a 13%;
- Perda ao rubro inferior a 3%.

As especificações solicitadas pela indústria variam consoante os fins a dar aos materiais. Não obstante, muitos dos depósitos, e em particular as explorações são definidos e direcionados, em função das características do próprio material e dos produtos a comercializar. Assim, produtos mais nobres serão alvo de indústrias que os solicitem, de modo a não direcionar material de qualidade superior, com custos de exploração e processamento superiores, para indústrias que não solicitem tal nobreza de material.

A granulometria dos materiais definidos para fins industriais, regra geral, é bastante fina, sempre inferior a 1mm. Em alguns países, nomeadamente a Índia, referem que os produtos comercializáveis devem respeitar os seguintes critérios (valores em massa) (Bhavan, 2007):

- Máximo de 5% de material retido no peneiro 500 microm; e
- Mínimo de 80% de material passante no peneiro 500 microm e retido no peneiro 150 microm;
- Máximo de 10% de material passante no peneiro 150 microm.

Em termos de humidade, pode existir acordo entre o fornecedor e o cliente, no entanto, é normal os produtos não excederem valores de humidade superiores a 2 %, em massa. No que concerne à densidade, valores entre 2,5 e 2,7 são considerados os valores padrão pela indústria. Existem ainda indústrias que exigem limites à presença de sódio nos produtos comercializados (Bhavan, 2007).

A fusibilidade é uma das características fulcrais destes materiais, e como tal, é importante balizar os diferentes pontos para cada finalidade. Assim, são considerados intervalos de pontos de fusão, catalogando-os como cones pirométricos equivalentes (PCE).

Os diferentes intervalos de PCE, que contêm diferentes quantidades de feldspatos potássicos ou sódicos são os seguintes:

- Feldspatos potássicos para vidro – PCE cone 8 a 10 (1225°C a 1260°C);
- Feldspatos potássicos para porcelana – PCE cone 5 a 10 (1180°C a 1260°C);
- Feldspatos sódicos para cerâmica – PCE cone 1 a 5 (1110°C a 1180°C).

A sua composição química é bastante importante, senão a mais importante de todas, pois está na base do material pretendido. O material além da composição química pretendida pelo cliente, deve respeitar os critérios indicados na **Tabela 64**.

Tabela 5 - Características dos feldspatos para os diversos sectores da indústria cerâmica (Bhavan, 2007).

Característica	Feldspato potássico para vidro	Feldspato potássico para cerâmica	Feldspato potássico para porcelana	Feldspato sódico para cerâmica
<u>Perda na ignição, % em massa, MAX</u>	0,6	0,6	0,8	1,0
<u>Sílica (SiO₂), % em massa, MAX</u>	67	67	68	68
<u>Alumina (Al₂O₃), % em massa</u>	17 - 20	17 - 21	17 - 21	19 - 22
<u>Razão de Sílica para Alumina</u>	3,4 - 3,6	3,4 - 3,6	3,5 - 3,8	-
<u>Óxidos de Ferro (Fe₂O₃), % em massa, MAX</u>	0,20	0,35	0,50	0,20
<u>Óxidos de cálcio e Magnésio (CaO + MgO), % em massa, MAX</u>	0,75	1	1	4,5
<u>Alcális (como K₂O), % em massa, MIN</u>	10,0	0,9	7,0	-
<u>Alcális (como K₂O), % em massa, MAX</u>	-	-	-	3,0
<u>Alcális (como Na₂O), % em massa, MAX</u>	4,0	4,0	6,0	-
<u>Alcális (como Na₂O), % em massa, MIN</u>	-	-	-	8,0

As Tabelas 6, 7 e 8 evidenciam as diferentes especificações dos materiais feldspáticos pelas distintas indústrias, assim como as características dos materiais para as mesmas.

Tabela 6 - Especificações de feldspatos usados como carga (Harben, 2002).

	Minspar 3	Minspar 4	Minspar 25	Minspar 7
Brilho	89,6	91,4	91,5	92,2
Densidade aparente				
não compactado	0,7	0,64	0,64	0,61
compactado	1,12	0,96	0,96	0,88
Humidade (%)	0,1	0,1	0,1	0,1
PH	8,7	9,3	9,3	0,3
Absorção de óleo (rub out)	16-17	19 - 19	19 - 20	21 - 23
ASTM D-282-31				
% Em peso passante em:				
74 µm	99,6	100	100	100
44 µm	96	99,95	100	100
30 µm	87	94	99	100
20 µm	72	88	96	100
10 µm	41	60	70	90
5 µm	19	30	35	55
Tamanho médio (µm)	12	8	7	4,8
Área Sup. Específica (m ² /g)	0,8 - 0,9	1,0 - 1,2	1,2 - 1,4	1,5 - 1,6

Tabela 7 - Especificações comerciais de feldspatos para vidro e porcelana (Redeker, 1977).

Produtos	Vidro F-20	Vidro C-20	Vidro G-40	Vidro Aplito	Porcelana NC-4	Porcelana C-6	Porcelana G-200	Porcelana K-200
Análise química (%)								
SiO₂	68,2	68,9	67,7	63,1	68,15	68,7	67	67,1
Al₂O₃	22	18,75	18,5	22	19	18,5	18,3	18,3
Fe₂O₃	0,1	0,07	0,1	0,1	0,067	0,07	0,08	0,07
CaO	5,6	1,85	0,9	5,6	1,6	0,09	1,02	0,36
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-
K₂O	3	3,85	4,1	3	4	4,1	10,5	10,1
Na₂O	6	7,15	7	6	7	7,2	2,85	3,8
P.F.	0,2	0,13	0,25	0,2	0,1	0,25	0,2	0,26

Tabela 8 - Análise de feldspatos para cerâmica sanitária (Luz *et al*, 2005).

Nome do produto	CA44 T200	CA57 T200	CM77 T200	FT200	EA2 BF	SPSB
SiO₂	74 %	66 %	67 %	74,3 %	74 %	73 %
Al₂O₃	15 %	20 %	19 %	14,5 %	15,5 %	16,6 %
Fe₂O₃	0,4 %	0,55 %	0,36 %	0,35 %	0,4 %	0,34 %
TiO₂	0,2 %	0,25 %	0,23 %	0,2 %	0,05 %	0,15 %
Na₂O	4,5 %	5,7 %	7,25 %	5,5 %	4 %	7,2 %
K₂O	4,5 %	6,8 %	4,1 %	2,8 %	5 %	1,3 %
CaO	0,4 %	0,55 %	0,6 %	0,5 %	0,2 %	0,8 %
MgO	0,25%	0,4 %	0,5 %	0,1 %	0,05 %	0,1 %

3.3. Mercados/Produção/Importação/Exportação

Como os feldspatos são o grupo de minerais mais amplamente distribuídos na crosta terrestre, pois possuem espécies que se cristalizam a diferentes temperaturas, estão presentes em todos os continentes assim como no substrato marinho. Na Figura 8 é possível observar a distribuição mundial dos produtores de feldspatos.

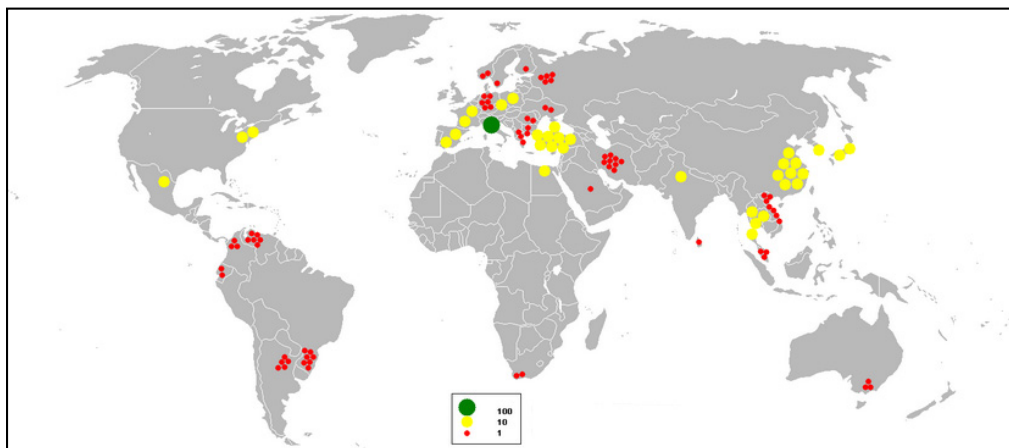


Figura 8 - Exploração de Feldspatos – Distribuição da produção mundial (Adaptado de: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/2005feldspar.PNG>, 2011).

Conhecidas que são as reservas em mais de 70 países, a produção de feldspatos é, nos dias que correm, efetuada em mais de 50 países que suportam essencialmente as indústrias cerâmicas internas, não suportando a sua produção na exportação, com a exceção do maior produtor que assenta a sua produção, quase na sua totalidade, na exportação (Potter, 2005).

Curiosamente os países cujas reservas conhecidas são das mais elevadas são, no entanto, os que menos produzem este grupo de minerais atualmente.

No topo da lista dos produtores encontram-se a Turquia e a Itália com produções superiores a cinco milhões de toneladas anuais, mais concretamente 6 000 000 e 5 400 000 toneladas, respectivamente.

Como referido anteriormente, a Turquia exporta grande parte da sua produção. Anualmente são exportados cerca de 4,6 milhões de toneladas, contrariamente à importação que ronda as 46 mil toneladas, especialmente oriundas da Índia. A sua produção é feita no sudoeste do país e é direcionada para as indústrias cerâmicas que estão espalhadas pela Europa (Potter, 2005).

Ainda de acordo com o mesmo autor, em Itália, mais de 90 % da sua produção é absorvida pela indústria cerâmica e ainda importa cerca de 2,5 milhões de toneladas/ano que provêm essencialmente da Turquia. Esta grande procura interna por parte da indústria teve um pequeno decréscimo no final da primeira década do séc. XXI, em virtude da crise económica internacional. Não obstante, os seus valores de produção anual são impressionantes. Uma pequena percentagem da sua produção – cerca de 325 mil toneladas é ainda exportada.

Na Tabela 8 é possível observar onde localizam os maiores produtores de feldspatos, assim como os detentores das maiores reservas.

Em Portugal, a produção de feldspatos para cerâmicas e vidros está dependente de outros sectores, nomeadamente o da construção civil, na medida em que se apresentam como as principais vias para escoar as produções. O desfasamento entre a qualidade dos materiais nacionais e os internacionais foi evidente e daí resultava o facto de cerca de 25% dos materiais usados nas indústrias fossem importados. Depois de grande esforço por parte produtores de feldspatos, essa diferença de qualidade veio sendo aos poucos anulada, diminuindo assim os valores de importação para valores quase nulos.

Tabela 9 - Reservas e produções mundiais de feldspatos (U.S. Geological Survey, 2008).

<i>Reservas e Produção Mundial (10³ ton)</i>				
	Produção			Reservas
	2010	2011	2012	
Portugal	325	315	305	11000
Alemanha	150	218	220	-
Argentina	215	215	200	-
Arábia Saudita	500	50	50	-
África do Sul	95	95	100	-
Brasil	115	115	115	-
Bulgária	80	80	80	-
China	2100	2100	2200	-
Colômbia	85	85	NA	-
Egipto	355	406	400	5000
Espanha	550	590	600	-
Estados Unidos América	670	650	630	-
França	650	650	650	-
Índia	400	420	410	38000
Irão	500	500	500	-
Itália	4700	4700	4700	-
Japão	650	650	600	-
Malásia	360	400	400	-
México	399	382	380	-
Polónia	450	450	450	10600
Republica Checa	388	407	420	28000
República da Coreia	600	500	500	-
Tailândia	600	600	600	-
Turquia	5000	6000	4000	-
Venezuela	200	200	250	-
Outros	450	580	750	-

Após a tendência de crescimento verificada ao longo das últimas décadas, a produção de feldspatos sofreu um revés no final de 2009, em virtude da crise económica e financeira internacional, que afetou a banca e o crédito, diminuindo o acesso ao crédito e como tal a procura na habitação, levando à falência de muitas construtoras e baixando significativamente o volume de produção das indústrias relacionadas. A indústria vidreira e cerâmica não foi exceção à regra e sentiu também as dificuldades da contração económica portuguesa. Como resultado, novas intenções para igualar a qualidade dos produtos externos de modo a tornar os produtos nacionais mais competitivos a nível internacional.

Atualmente, o resultado também de alguns sinais de recuperação económica, a retoma das produções tem seguido um aumento sustentado e dá sinais de continuação do crescimento antes

prespectivado. No ano de 2012 a produção de feldspatos, como indica a Figura 9, atingiu as 312 mil toneladas, o pior registo dos últimos seis anos.



Figura 9 - Produção de feldspatos em Portugal (Adaptado de: <http://www.indexmundi.com/minerals/?country=pt&product=feldspar&graph=production>, 2014)

A Tabela 11 apresenta a variação anual da produção de feldspatos em Portugal entre 2003 e 2008.

Tabela 10 - Variação da produção de feldspatos em Portugal (Adaptado de: <http://www.indexmundi.com/minerals/?country=pt&product=feldspar&graph=production>, 2014).

Ano	Produção (t)	% variação
2003	126116	NA
2004	98262	-22,09%
2005	133344	35,70%
2006	257570	93,16%
2007	371952	44,41%
2008	372000	0,01%

Os preços praticados na comercialização deste grupo de minerais vão variando em função da sua aplicação, granulometria, qualidade, volume de compra, origem e tipo de material. Como tal, as cotações servem apenas como orientação geral.

De acordo com as Tabelas 10 e 11 é possível verificar a crescente evolução dos preços deste grupo de minerais, nomeadamente a partir do século XXI. À exceção do período referente à crise económica mundial, cuja instabilidade também afetou o comércio e a produção de bens

relacionados com estes materiais, as cotações mostram novamente a tendência de crescimento expectável e em 2012 a tonelada cifrava-se nos 89 dólares (valor unitário definido como valor de uma tonelada de aparente consumo de feldspato, e calculado através da Equação 1.

$$\text{ValorUnitário} = \frac{\text{ValorTotal.Produção} + \text{ValorTotal Importação} - \text{ValorTotalExportação}}{\text{ConsumoAparente}}$$

Equação 1

A Figura 10 apresenta a evolução das produções mundiais de feldspatos desde a década de 70 até ao ano de 2011.

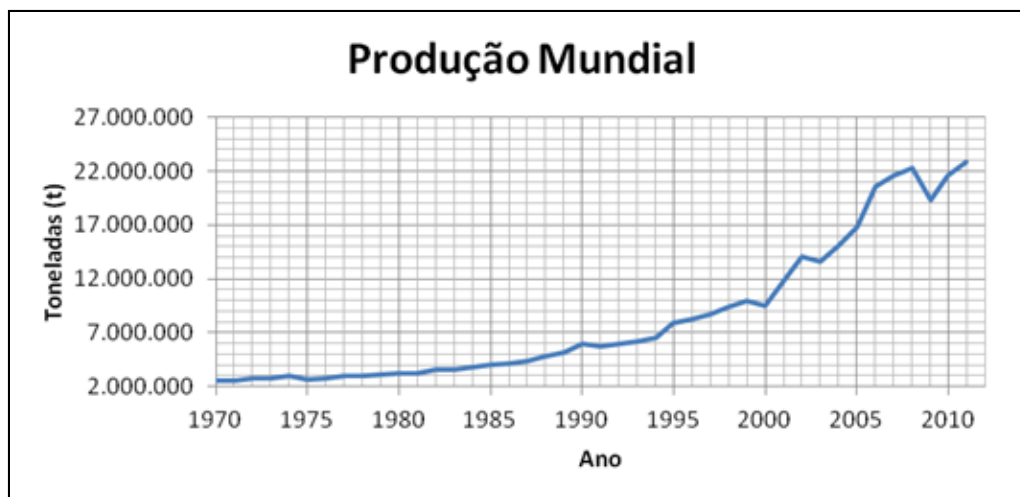


Figura 10 - Evolução da produção mundial de feldspatos (U.S.Geological Survey, 2014).

A Figura 11 apresenta a evolução das cotações internacionais dos feldspatos desde a década de 70 até ao ano de 2011, verificando-se um pico no ano de 2010, antes de crise económica mundial.

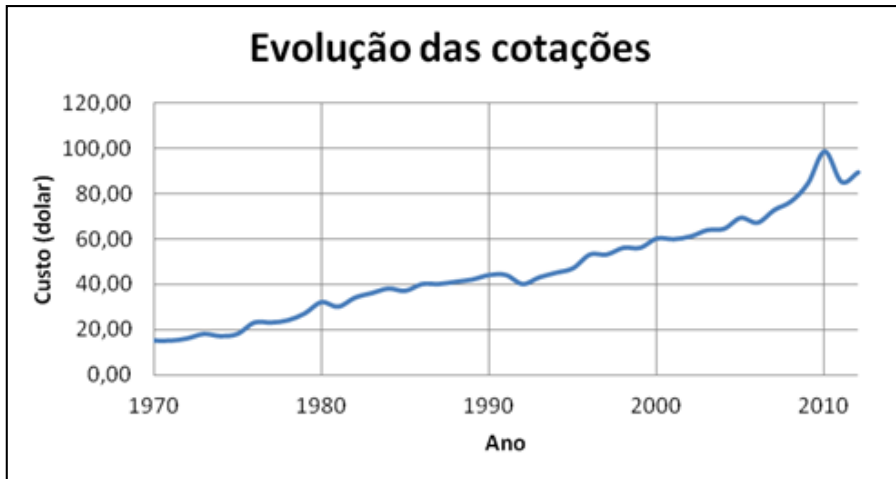


Figura 11 - Evolução das cotações dos feldspatos a nível mundial (U.S. Geological Survey, 2014).

4. ESTADO DA ARTE (PROCESSAMENTO DOS MATERIAIS FELDPÁTICOS)

Os minerais de ferro e titânio existentes na composição mineralógica dos feldspatos são entendidos como impurezas devido às suas propriedades. A presença de impurezas deste tipo altera a cor das pastas fornecidas e também a dos produtos a produzir, e como tal, são industrialmente controladas e eliminadas as percentagens superiores a 0,5% de Fe_2O_3 e TiO_2 nos feldspatos comercializáveis.

Os minerais que possuem estas características mineralógicas são o rútilo a mica, a granada, a hematite, a hornblenda, a turmalina, a biotite e a moscovite. Nos casos em que as percentagens destes minerais é superior ao especificado as qualidades dos produtos produzidos, nomeadamente do vidro e da cerâmica, desce proporcionalmente, assim como as alterações ao nível da cor (Hacifazlioglu et al, 2011).

Assim, nas produções mundiais de feldspatos, o respetivo beneficiamento reside na eliminação, ou redução considerável destas impurezas. Em termos de custo, a separação magnética apresenta-se como a solução mais viável para a redução percentual destes minerais, assim como o processo mais simples.

No entanto, a flutuação é usada preferencialmente devido às propriedades mineralógicas dos produtos. Embora todos os minerais apresentem suscetibilidades magnéticas para a separação, os minerais de titânio apresentam susceptibilidades inferiores. Não obstante, os separadores magnéticos apresentam consideráveis condições de trabalho até uma determinada granulometria, a partir da qual a sua eficácia baixa consideravelmente, ao contrário da flutuação. Atualmente, embora sendo um processo com custos superiores, a flutuação apresenta-se como o método de eliminação de impurezas, mais eficaz e que permite obter concentrados de elevada pureza, pelo que é o usado por todo o mundo (Redeker, 1981).

Existem ainda outros métodos, neste caso químicos e ainda biológicos para a eliminação das impurezas. Nos métodos químicos o feldspato é lixiviado por ácidos orgânicos e inorgânicos e nos meios biológicos os reagentes químicos são substituídos por micro-organismos (Anandita et al, 2010).

4.1. Redução de calibre

A redução do calibre das partículas, obtida através da operação de fragmentação ou cominuição, é uma técnica fundamental e comum a todos os processos e beneficiamento de matérias-primas minerais. O minério deve ser fragmentado até atingir o grau de libertação dos minerais nele contidos, ou seja, a redução de calibre deve acontecer até à granulometria em que todos os minerais se libertem uns dos outros, ou no mínimo que se libertem dos minerais indesejáveis. Por

vezes a redução de calibre funciona apenas para atingir as especificações granulométricas exigidas pelo mercado para a comercialização, como por exemplo, o granito e o calcário que são fragmentados para a produção de diferentes lotes de agregados para a produção de misturas betuminosas e betão .

A redução de calibre nunca é realizada numa só etapa porque os tempos de residência das partículas nos equipamentos seriam de tal modo superiores que não só seriam fragmentadas além do necessário como o desgaste do próprio equipamento seria francamente mais elevado. Assim, é normal existirem entre duas a três etapas de fragmentação. As etapas iniciais de fragmentação, até se atingirem calibres da ordem de 1 ou 2mm são consideradas de britagem e granulação, e quando atingem granulometrias inferiores ao milímetro são consideradas de moagem. Os circuitos de fragmentação podem incluir apenas estágios de britagem e estágios de britagem associados à moagem, dependendo das características dos materiais e dos fins pretendidos.

Assim como existem diferentes estágios de redução de calibre, existem diferentes equipamentos, todos adaptados para os diferentes estágios. Desde os britadores de maxilas, britadores giratórios aos moinhos de martelos, rolos, barras e bolas, entre outros. Nas Figuras 12, 13 e 14 estão representadas as imagens de alguns equipamentos de fragmentação.

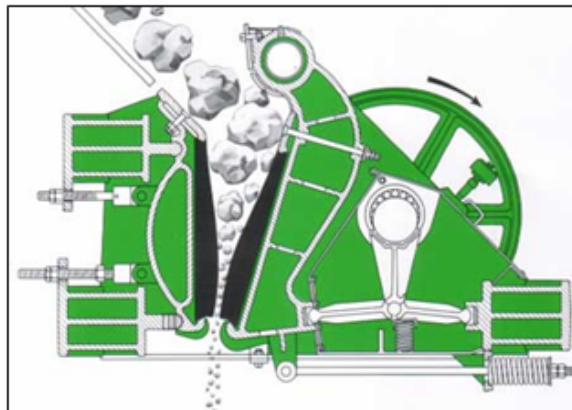


Figura 12 - Britador de maxilas (http://terrasource.com/uploads/equipment/63/pic_jaw_crushers_1.jpg, 2014).

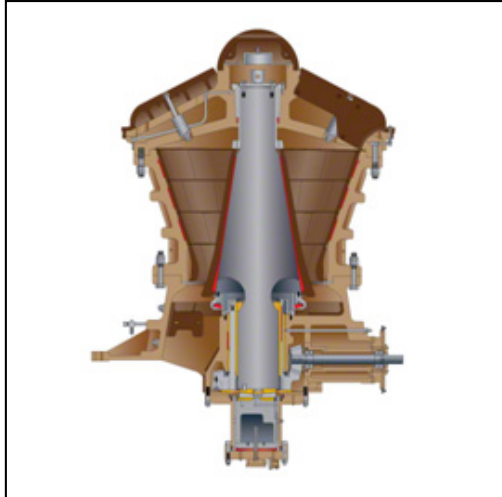


Figura 13 - Britador giratório (<http://www.excelfoundry.com/wp-content/uploads/2012/07/gyratory-xs-full.png>, 2012).

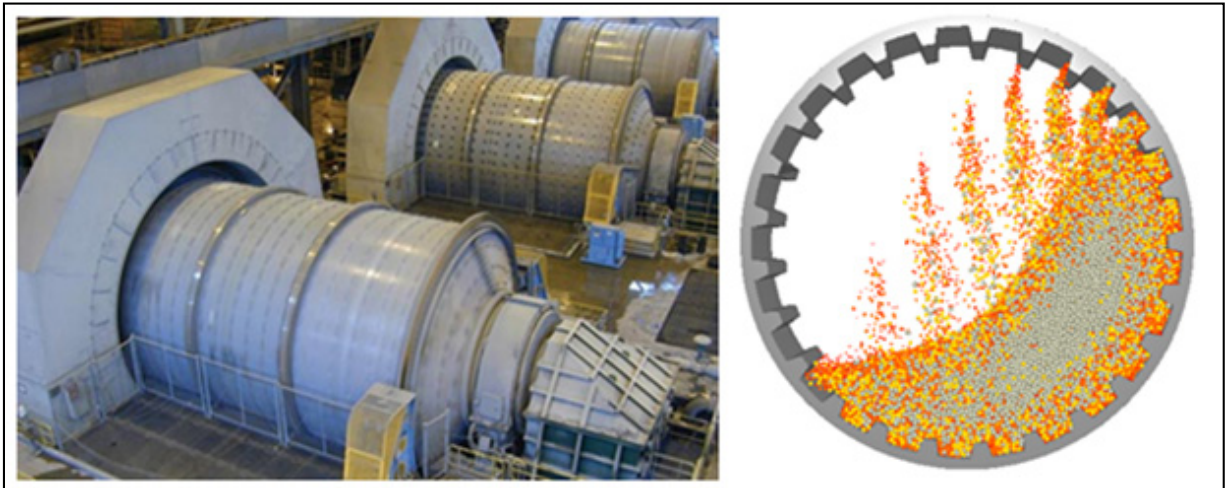


Figura 14 - Moinho de bolas (<http://www.flsmidth.com/~media/Images/Product-SubSection%20Pages/Grinding/Mills/BallMills.ashx?h=310&w=475>, 2012).

4.2. Separação magnética

A susceptibilidade magnética de um material é considerada como a propriedade que determina a respetiva resposta quando influenciada por um campo magnético. Os materiais podem apresentar uma de duas respostas, ou são atraídos pelo campo magnético e são considerados de ferromagnéticos (altamente atraídos) e paramagnéticos (fracamente atraídos), ou são repelidos e são denominados de diamagnéticos (Svoboda, 2004).

A separação magnética pode ser efetuada por via seca e por via húmida. Normalmente a via seca é executada em granulometrias mais grosseiras enquanto a via húmida em granulometrias mais

finas, no entanto, os métodos por via húmida são mais comuns e normalmente associados a processos vindos de estágios de flutuação (Svoboda, 2004).

A Figura 17 apresenta um equipamento de separação magnética de baixa intensidade e preparado para trabalhar com polpas.

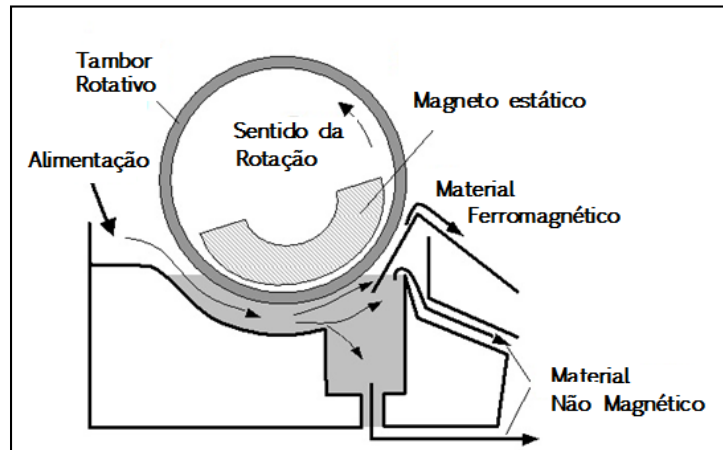


Figura 15 - Separador magnético de baixa intensidade e via húmida (<http://met-solvelabs/wp-content/uploads/2012/12/fig20.jpg>, 2012).

A separação magnética também pode ser executada por baixa ou alta intensidade. Os equipamentos de baixa intensidade usam campos magnéticos entre os 1 000 e os 3000 Gauss e esta técnica é usada para captar e separar, de modo simples, altamente eficaz e com custos baixos, minerais de altas susceptibilidades magnéticas. Por sua vez, os equipamentos de alta intensidade usam campos magnéticos até 20 000 Gauss e são usados para separar minerais com susceptibilidades magnéticas baixas a muito baixas, como a hematite.

A Figura 18 apresenta um equipamento de separação magnética de alta intensidade, com funcionamento do tipo carrocel.



Figura 16 - Separador magnético de alta intensidade (<http://eriez.com/resources/images/products/8109-02.jpg>, 2014).

A separação magnética é efetuada em três fases, cada uma delas podem envolver vários tambores de modo a aumentar a eficácia da separação. A cada fase que é superada a separação envolve partículas mais finas pois as granulometrias superiores foram removidas anteriormente. Numa primeira fase são analisadas as partículas de maior calibre, cerca de 1 mm e as percentagens de rejeição rondam os 40%. A segunda fase que trabalha com calibres a rondar os 480 mesh e apresenta percentagens de rejeição de 10% a 15%. Por fim, a terceira e última fase trata as partículas inferiores a 100 mesh e apresenta rejeições de 5% muito devido às altas concentrações já apresentadas na alimentação.

4.3. Flutuação

A flutuação é provavelmente, o método de beneficiamento mineral mais usado a nível mundial. É um processo segundo o qual os minerais são separados entre si, segundo propriedades distintas que os fazem flutuar ou afundar num fluido.

É possível obter resultados de beneficiamento superiores a outros métodos, especialmente altas recuperações, no entanto, é um método que requer bastante minúcia e compreensão das características químicas dos materiais a separar assim como do processo de beneficiamento em si. Pequenas alterações durante o processo são a causa de grandes perdas de matéria-prima (Redeker, 1981).

O processo de fragmentação é essencial para uma boa eficiência da flutuação na medida em que é necessário atingir o grau de libertação do mineral para que este se possa separar dos restantes. Quando atinge uma determinada granulometria, determinada previamente em testes de laboratório, o material assim obtido é misturado à água de modo a produzir uma polpa que será dirigida às células ou colunas de flutuação.

Como foi dito anteriormente, a separação por flutuação acontece porque um determinado mineral, dentro de uma solução aquosa, tem tendência a flutuar e em sentido inverso os restantes afundam-se. Esta característica não se deve apenas aos pesos específicos dos materiais e do fluido, uma vez que limitariam bastante este valioso processo. Na verdade, as diferentes matérias tomam sentidos distintos devido às suas capacidades hidrófobas ou hidrófilas que lhes são naturais ou podem ser induzidas (Pita, 2000).

Na Figura 15 é possível verificar o princípio de funcionamento de uma célula de flutuação.

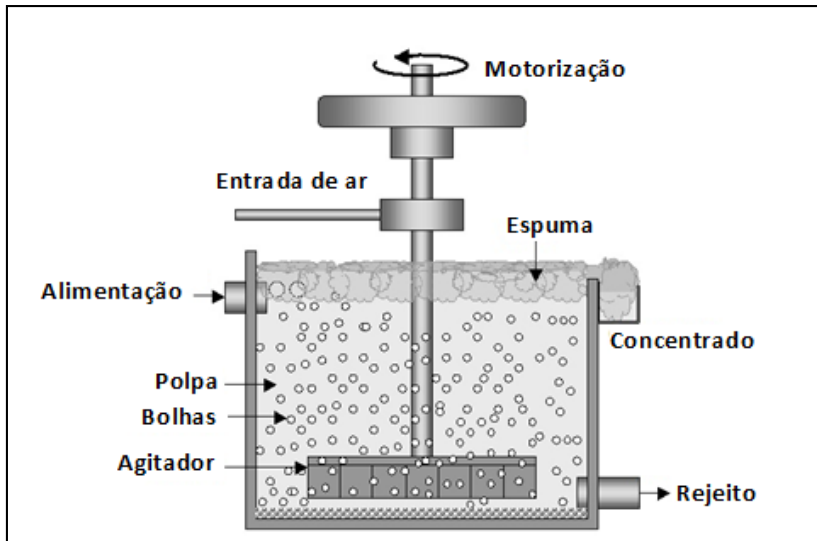


Figura 17 - Célula de flutuação (Adaptado de: <http://www.chinafote.com/pro/p21.html>, 2014).

Uma vez atingido o grau de libertação através da redução de calibre obtida ao longo das operações de fragmentação, o processo inicia-se com a adição de água, formando uma polpa (cerca de 50% a 60% de sólidos), e conhecendo as características dos elementos presentes na mesma, são adicionados reagentes químicos, nomeadamente os reagentes coletores e depressores, que juntamente com a formação de bolhas de ar dão início ao processo de separação dos materiais. Os coletores são reagentes químicos que conferem aos materiais, cuja flutuação é pretendida, características hidrófobas (repelentes à água) fazendo com que os mesmos adiram às bolhas de ar que são introduzidas através da agitação, assim como dos reagentes próprios para o efeito (Mitchel et al, 1997). Alguns materiais já apresentam as características hidrófobas e não necessitam dos coletores, aderindo facilmente às bolhas de ar que as transporta para a superfície. No entanto, os materiais podem ter características tão idênticas que seja necessário forçar a depressão ou dispersão das substâncias a separar, fundamentalmente à custa da adição de reagentes químicos que lhes confirmam propriedades hidrófilas. Estes reagentes químicos são denominados de depressores (Mitchel et al, 1997).

Após a mistura dos reagentes químicos na polpa, a mesma é introduzida nos estágios de flutuação onde ocorre a separação pretendida. O número de estágios depende da eficácia dos mesmos, podendo existir vários bancos de células de flutuação. Os materiais recolhidos no fundo das células, podem ser reintroduzidos (à exceção dos primeiros estágios) no circuito de modo a aumentar a eficácia da separação. Após esse processo são transportados para espessadores, aumentando a respetiva percentagem de sólidos, assim como são retirados os reagentes químicos utilizados no processo de separação, os quais podem ser reutilizados no processo ou conduzidos a um sistema de eliminação, quando já não possuem qualidade (Mitchel et al, 1997).

Na Figura 16 é possível verificar uma instalação de processamento mineral com beneficiamento por flutuação



Figura 18 - Instalação com beneficiamento por flutuação - células de flutuação (http://www.mining-technology.com/contractor_images/4056/images/138941/large/BQR-Flotation-Cells.jpg, 2014).

Numa exploração típica de um pegmatito com quartzo, feldspato e mica a matriz rochosa é fragmentada até atingir o grau de libertação, geralmente de calibre 20 mesh. Após a obtenção do grau de libertação, é elaborada uma polpa que em média tem uma percentagem de sólidos de 30 %, a qual é submetida a três estágios de flutuação para remoção das micas, minerais de ferro e do quartzo, respectivamente. Os coletores usados para a separação das micas são sulfonatos de petróleo como o Aero 801 e 825 adicionados com doses de 200g/t e com espumantes de MIBC, adicionados em duas doses de 30g/t (Mitchel et al, 1997).

Ainda de acordo com os mesmos autores, para a separação do quartzo é corrente a flutuação num circuito cujo meio é ácido, com pH 2, através de reguladores como HF e H₂SO₄ em doses de 2000g/t e com coletores catiónicos adicionados em doses entre 1500g/t e 1800g/t.

Entre os reagentes químicos introduzidos no processo de flutuação, com o intuito de aumentar a eficácia do mesmo, podemos distinguir:

4.3.1. Coletores

Coletores são reagentes químicos que adsorvem às superfícies dos minerais envolvendo-os e proporcionando-lhes propriedades hidrófobas (repelentes à água). Esta característica facilita a aderência do mineral às bolhas de ar formadas sendo transportado para a superfície. Diferentes

reagentes químicos são utilizados como colectores, nomeadamente os óleos, os xantatos, os ditiofosfatos, os sulfunatos de petróleo e aminas gordas.

4.3.2. Espumantes

Espumantes são químicos que fomentam a criação de bolhas de ar e que ao mesmo tempo permitem a estabilização do processo. As bolhas de ar que são criadas devem mover-se livremente na polpa para se poderem agarrar aos minerais a separar. Os espumantes são agentes tensoativos, normalmente surfatantes orgânicos, que aumentam a estabilidade da espuma mineralizada facilitando a dispersão do ar na polpa.

4.3.3. Depressores

Depressores são químicos que inibem a flutuação de certos minerais. São usados para aumentar a eficácia da separação na medida em que forçam um de dois minerais propensos a flutuar na polpa.

4.3.4. Controladores de pH

Controladores de pH são igualmente importantes para a regulação do processo de flutuação, porque a adsorção dos coletores é altamente sensível ao pH.

4.4. Redução de humidade

A redução de humidade está associada a vários tipos de beneficiamento de minerais industriais cujas especificações de comercialização padronizam valores de humidade para os mesmos.

No caso dos minerais industriais em geral, e dos feldspatos em particular, este processo desenrola um papel importante no diagrama do processo industrial. Exigências de teores de humidade inferiores a 3% são normais nas indústrias onde são aplicados.

Os fornos rotativos são, regra geral, na produção dos feldspatos os mais aplicados pela simplicidade e versatilidade de processos embora exija maiores espaços para implementação. Os secadores rotativos são armações cilíndricas ligeiramente inclinadas suportadas por dois anéis de rolamentos que se movimentam num conjunto de roletes. Este tipo de fornos são aplicados em diversas indústrias, nos mais variados tipos de material com diferentes composições e calibres. No

processo são usados içadores montados numa armação para produzir uma cascata de partículas que caem numa corrente de gás quente. A elevação mecânica permite que os secadores rotativos sejam usados para secar o material (Figura 19).

Pelo contrário, com menos espaço e maior rapidez de processo os secadores de leito fluidizado são também usados no processo. Através do fenómeno de fluidização, o material passa a comportar-se como um fluido, com o gás a passar com velocidade correta pelo leito. Este processo gera um contacto perfeito entre sólidos e gás resultando numa alta transferência de calor e rápida redução dos teores de humidade (Figura 20).

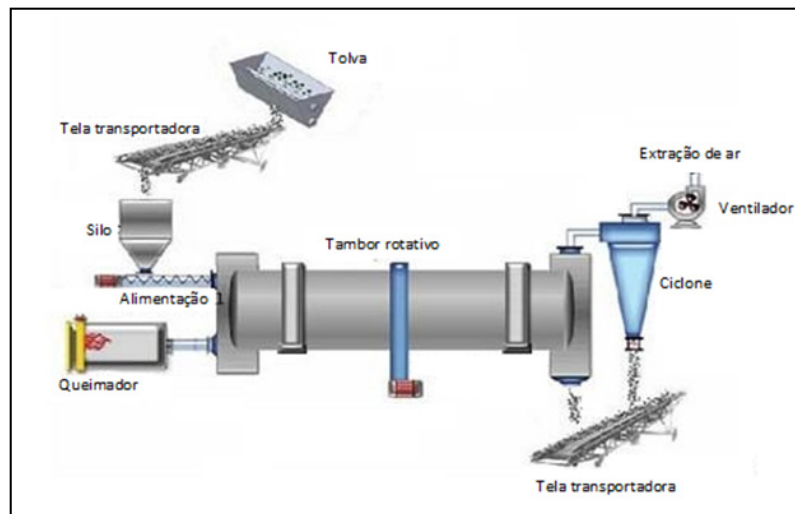


Figura 19 - Esquema de um Forno de secagem rotativo de (Adaptado de: <http://img.dytrade.com/cdimg/1435804/20687649/0/1303110348/Rotary dryer.jpg>, 2014).

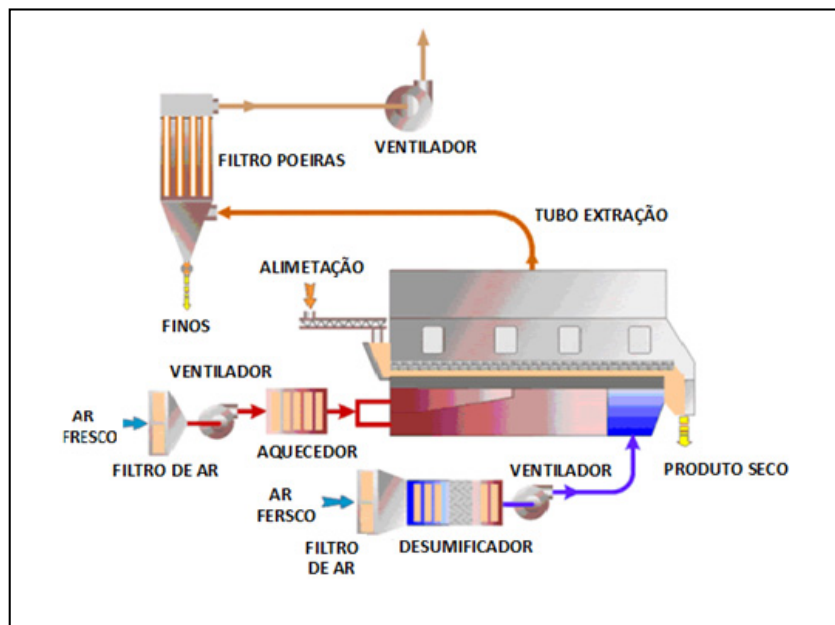


Figura 20 - Exemplo de um equipamento de secagem por leito fluidizado (Adaptado de: <http://solidswiki.com/images/c/cd/Open circuit fluid bed cooler.gif>, 2014).

5. CASO DE ESTUDO – DEPÓSITO APLÍTICO DA ARGEMELA

O presente trabalho, como foi referido anteriormente, incide os seus objetivos no estudo de um depósito mineral de génese aplítica, denominado de Cabeço da Argemela. O estudo das características físicas, químicas e mineralógicas do depósito servirão de base para o dimensionamento de uma instalação para tratamento da matéria-prima de modo a formar um produto feldspático comercializável para as indústrias do vidro e da cerâmica.

5.1. Localização geográfica

O Cabeço da Argemela está situado no interior centro de Portugal Continental (sub-região da Beira Interior Sul – correspondente à NUT III com a mesma designação), mais concretamente na Serra do Gomes, a norte da povoação de Lavacolhos, freguesia do concelho do Fundão, e nos limites da freguesia do Barco, concelho da Covilhã, sudeste da Serra da Estrela (Figura 21).

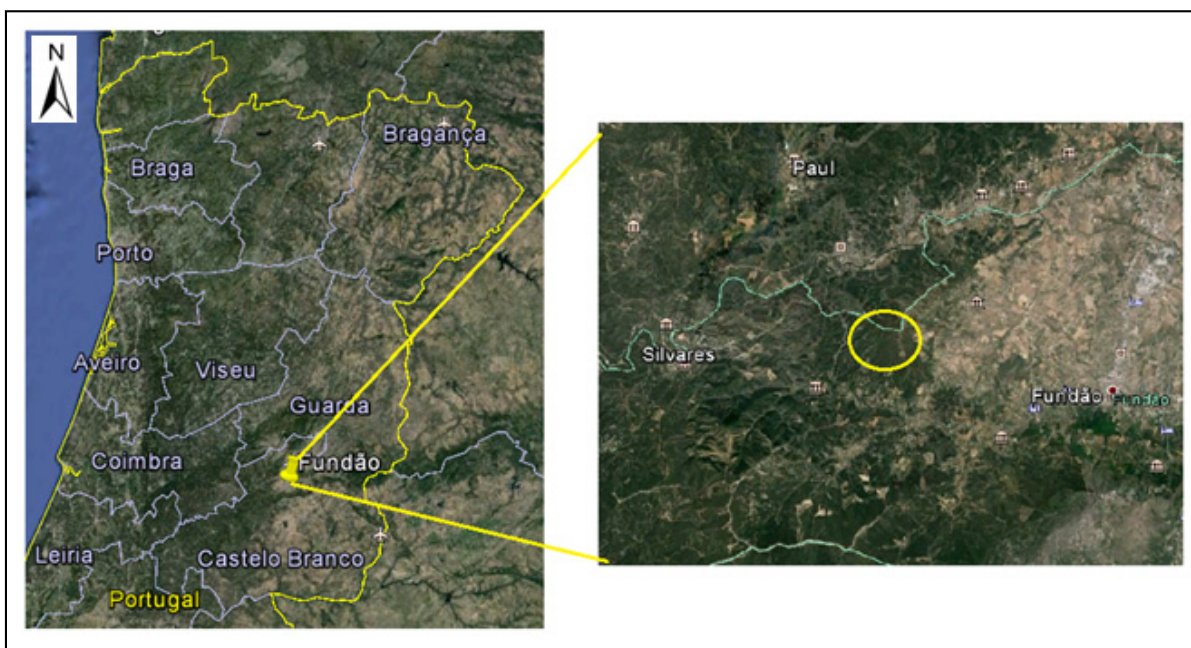


Figura 21 - Localização geográfica do Cabeço da Argemela (Google Earth ,2014).

Do ponto de vista morfológico, trata-se de uma região com relevo bastante acidentado e com mudanças bruscas de declive, em conformidade com a periferia, nomeadamente o Maciço Central do Continente Português, a Serra da Malcata a norte e ainda a Serra da Gardunha a sudoeste. Num plano mais específico trata-se de uma elevação de forma cónica cuja altimetria varia entre os 400 metros, junto ao rio Zêzere, os 750 metros de altitude precisamente no Cabeço da Argemela, fazendo parte da denominada Serra do Gomes onde se verifica a cota mais alta, 799

metros (Figura 22). Em termos de drenagem, a zona do Cabeço da Argemela pertence à bacia e sub bacia do rio Zêzere, com sentido ENE – WSW, para onde drena as suas águas.



Figura 22 - local do Cabeço da Argemela, trecho da carta militar portuguesa nr. 245 à escala de 1/22000.

Ao nível das acessibilidades, os acessos diretos são feitos pelas estradas nacionais 343 e 238, a norte e a sul, respectivamente, servindo de ligação à autoestrada A23 que por sua vez comunica diretamente com a A1, a sul, e por intermédio da A25, a norte do país, assim como a ligação a Espanha. Assim, asseguram-se as rápidas comunicações a todo o país, nomeadamente às metrópoles.

5.2. Enquadramento geológico

A região está enquadrada na região centro ibérica do maciço Hespérico, que compreende as rochas mais antigas, metamórficas e grandes manchas de xistos e grauvaques (Figura 23).

O maciço antigo é formado essencialmente por três grandes famílias litológicas que são, respetivamente: o Complexo Xisto-Grauváquico, ante Ordovício, composto essencialmente por alternância de filitos, metagrauvaques e quartzitos, os quartzitos de idade Ordovícica e os

granitóides Hercínios pós-tectónicos. Estas litologias de carácter mais ácido e o Complexo Xisto-Grauváquico constituem as unidades mais representativas do local em estudo (Ribeiro et al, 2011).

Toda a região considerada foi afetada por metamorfismo orogénico, tendo resultado na actual configuração apresentada pelas formações do Complexo Xisto-Grauváquico. Segundo Teixeira (1981), são definidos dois períodos principais de deformação. O primeiro, Anti-Hercínico levou à formação de dobras largas com eixos orientados segundo NNE e ENE, e o segundo, de idade Hercínica definiu o desenvolvimento de clivagem xistenta de plano axial, sub vertical e com orientação predominante segundo NW-SE. Relativamente ao local em estudo, este é influenciado por uma falha regional com sentido NE – SW (Figura 23).

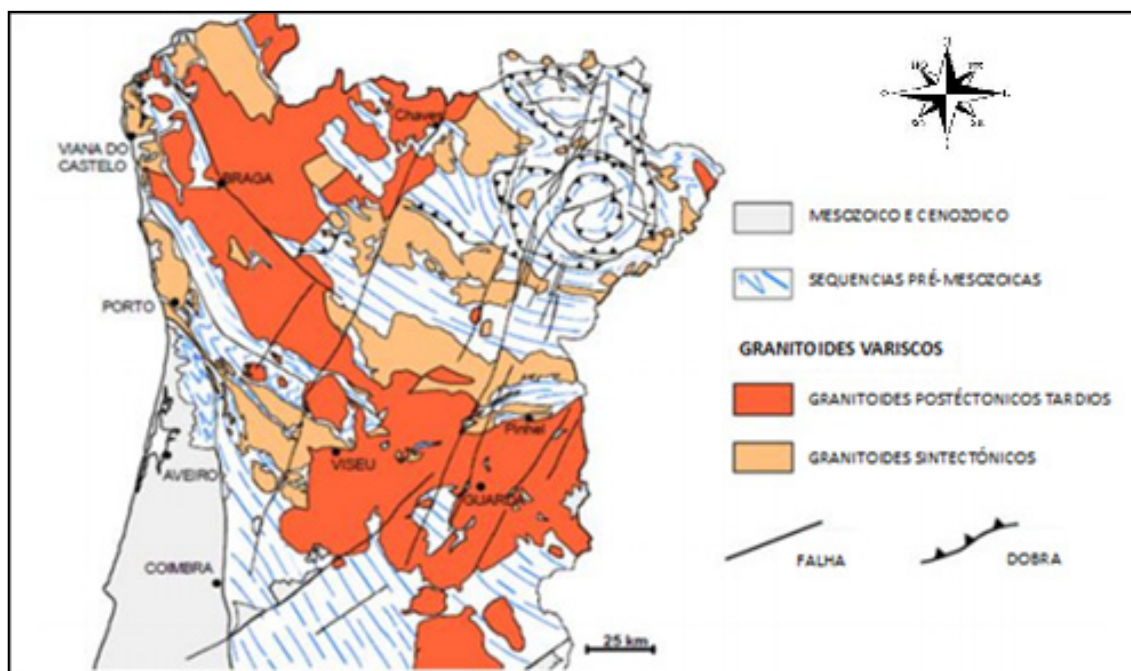


Figura 23 - Distribuição dos granitóides sintectónicos e postectónicos tardios do centro e norte de Portugal continental (Azevedo et al, 2005).

A Figura 24 apresenta um extracto da carta geológica de Portugal com a localização do depósito mineral.



Figura 24 - Localização do depósito mineral do Cabeço da Argemela (extrato da carta geológica de Portugal, à escala de 1/50 000).

A Figura 25 apresenta uma imagem do Cabeço da Argemela, noemadamente do lado NE do depósito.



Figura 25 - Imagem do Cabeço da Argemela.

Toda esta vasta área se insere no designado Maciço Antigo, uma das quatro unidades hidrogeológicas e a que ocupa maior extensão em Portugal. Nesta unidade a percolação da água acontece com menor intensidade do que nas restantes unidades.

Na região, podem considerar-se duas situações distintas no que respeita à percolação subterrânea da água:

- 1) Formações porosas – depósitos arcósico-argilosos, cascalheiras e aluviões;
- 2) Formações fissuradas – rochas compactas cuja reação aos movimentos de génese orogénica resultaram na formação de diaclases e fissuras, adquirindo alguma, mas reduzida, permeabilidade.

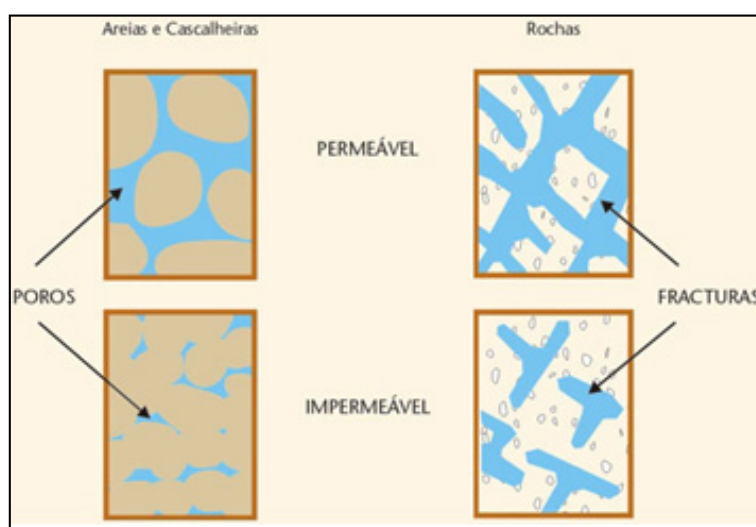


Figura 26 - Percolação da água em meios poroso e fissurado (<http://www.lneg.pt/download/3060/fig.jpg>, 2014).

De salientar que a atividade hídrica é baixa em virtude da permeabilidade também ser fraca, sendo que a permeabilidade varia em função da fissuração – mais fissuras, logo mais permeabilidade. No entanto, a presença de argilas como recheio das fissuras anula praticamente a percolação da água nas mesmas.

5.3. Caracterização do material

5.3.1. Amostragem superficial e campanha de sondagens

Para uma primeira caracterização do depósito, foi efetuada uma recolha superficial de amostras do microgranito. A qual consistiu na recolha de 16 amostras, obtidas numa malha quadrada de 30 metros de lado e ao longo de todo o afloramento, que fazem parte de uma primeira recolha de informação realizada no local para identificar as características primárias do depósito (Fernandes, 2006).

De seguida, e de acordo com as características geomorfológicas do depósito, que apontam para uma direção de ataque para extração do material na sua exploração inicial, foi definido o local onde se efetuaram seis furos verticais de sondagem com o objetivo de conhecer o depósito em profundidade (Figura 27).

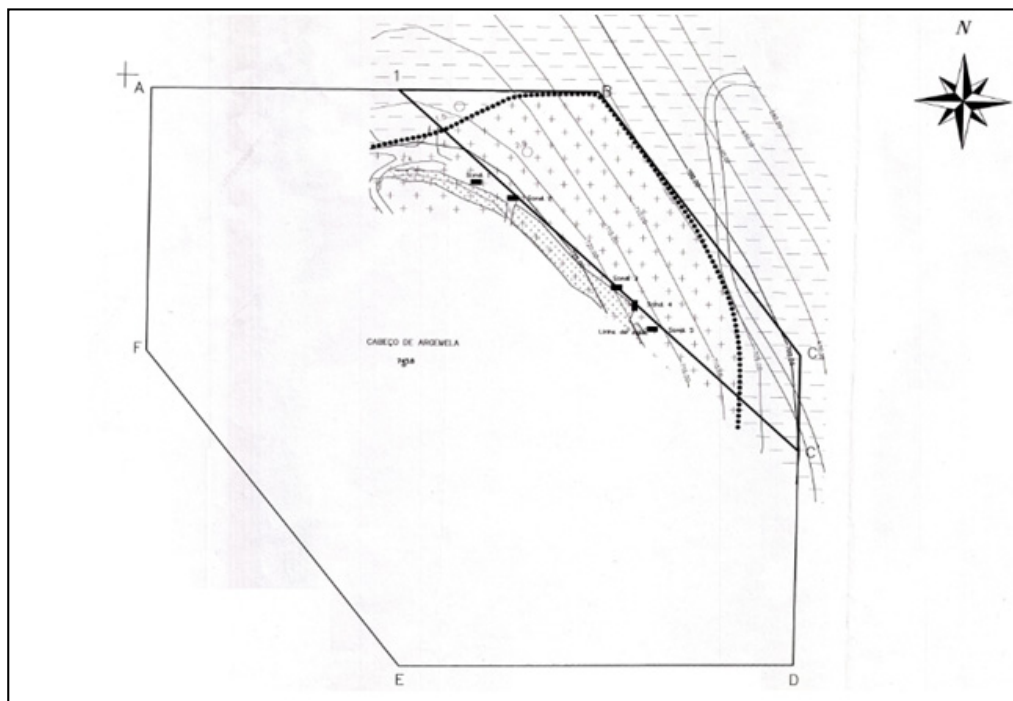


Figura 27 - Imagem do depósito a explorar, com a marcação das sondagens de prospeção (Fernandes,2006).

Estes furos verticais, realizados com espaçamentos entre 20 e 30 metros, foram acompanhados de recolhas de amostras às cotas de 700 metros. Assim, e na sua totalidade foram realizados 228 metros de perfuração, através de uma sonda de perfuração de martelo de fundo de furo com diâmetros de 5,5" e 6,5". As amostras recolhidas do material desagregado à boca do furo seguiram para análises laboratoriais, a fim de se verificar a qualidade do depósito em profundidade.

5.3.2. Análise macroscópica

Em resultado da campanha de sondagens realizadas foram definidas três famílias de diaclases no depósito, entre elas duas sub-verticais com direções N30oW e N80oE respetivamente, e espaçamentos de F1 a F3. No que respeita à família de diaclases sub horizontal, esta apresenta espaçamentos médios de 1 metro (F2).

Neiva et al (2010), afirma que *“macroscopicamente o depósito em estudo incorporando o conjunto sintectónico tardio “tardi D3” (ca. 310-305 Ma) apresenta-se como um granodiorito/microgranito biotítico de grão médio moderadamente peraluminoso e afinidade alumino-potássico resultante da cristalização de magmas gerados por fusão parcial de materiais metagrauacoides e/ou meta-ígneos félsicos”*.

O material apresenta uma excelente homogeneidade e regularidade na sua formação à exceção de algumas alterações numa zona limite do contanto com o maciço encaixante, assim como a NE do afloramento. É possível conferir a constância do material até à cota de 700 metros, ainda segundo os mesmos autores.

5.3.3. Análise petrográfica

Como resultado da malha de amostragem, anteriormente referida, foram efetuadas algumas análises químicas ao material recolhido. Os resultados das análises químicas e mineralógicas estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 11 - Resultado das análises químicas às amostras recolhidas (Fernandes, 2006).

Ref. Da Amostra	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	CaO (%)	P ₂ O ₅ (%)	TiO ₂ (%)
A1	68,60	18,12	0,37	2,99	5,55	0,28	1,48	<0,4
A2	67,50	18,95	0,22	2,79	5,11	0,11	1,27	<0,4
A3	68,60	18,16	0,23	2,82	5,48	0,41	1,51	<0,4
A4	66,90	19,08	0,19	3,01	5,98	0,07	1,57	<0,4
A5	68,80	17,99	1,01	3,53	4,29	0,14	0,98	<0,4
A6	69,70	18,01	0,24	2,25	5,87	0,11	1,67	<0,4
A7	65,80	19,36	0,23	2,79	5,62	0,21	2,34	<0,4
A8	68,70	18,07	0,24	2,64	5,53	0,08	1,64	<0,4
A9	68,60	18,47	0,32	2,28	5,81	0,11	1,63	<0,4
A10	68,50	18,65	0,38	2,33	5,92	0,08	1,43	<0,4
A11	68,60	18,31	0,26	2,54	5,85	0,17	1,62	<0,4
A12	69,60	17,32	0,69	3,01	4,65	0,13	1,57	<0,4
A13	70,50	18,86	0,87	3,08	4,2	0,07	1,13	<0,4
A14	68,30	18,27	0,25	2,71	5,98	0,09	1,59	<0,4
A15	70,30	17,09	0,31	2,85	3,95	0,87	1,31	<0,4
A16	69,20	17,97	0,50	3,17	4,68	0,09	1,72	<0,4
Ref. Da Amostra	Feld Na	Feld K	Quartzo	Caulinite	Eq.Biotite23	Feld Ca	Apatite	Ilmenite
A1	46,91	15,42	23,79	5,03	0,96	0,00	3,51	<0,08
A2	43,19	14,41	26,54	7,14	0,57	0,00	3,01	<0,08
A3	46,32	14,57	24,96	5,19	0,61	0,00	3,57	<0,08
A4	50,54	15,85	21,55	4,17	0,24	0,00	3,71	<0,08
A5	36,26	18,01	31,72	5,21	2,32	0,00	2,32	<0,08
A6	49,61	11,31	27,94	3,69	0,37	0,00	3,95	<0,08
A7	47,51	14,51	23,59	4,91	0,34	0,00	5,54	<0,08
A8	46,74	13,61	27,57	4,18	0,37	0,00	3,88	<0,08
A9	49,02	11,39	27,29	4,35	0,57	0,00	3,86	<0,08
A10	50,04	11,62	26,19	4,37	0,73	0,00	3,36	<0,08
A11	49,44	11,51	27,42	4,23	0,42	0,00	3,83	<0,08
A12	43,11	15,19	27,63	5,67	0,36	0,00	3,71	<0,08
A13	45,47	21,38	20,59	5,67	0,31	0,00	2,67	<0,08
A14	50,37	14,01	24,23	3,71	0,39	0,00	3,76	<0,08
A15	33,39	14,77	35,26	5,74	0,53	0,00	3,11	<0,08
A16	49,44	15,36	23,41	5,42	0,29	0,00	4,07	<0,08

Assim, efectuadas pode constatar-se que o depósito apresenta uma tonalidade branca (Figura 28), é homogéneo e rico em feldspato sódico, com teores que variam entre os 33% e os 50%. O feldspato sódico ocorre sempre com percentagens superiores às do feldspato potássico presente, cujos teores rondam entre 11% e 21%, ou seja, a relação entre feldspato sódico/feldspato potássico é da ordem de 2:1.



Figura 28 - Imagem de um bloco do aplito do Cabeço da Argemela.

No que concerne ao quartzo, a sua percentagem é também inferior ao feldspato sódico, com teores de 20% a 30%. O fator mais relevante das análises efetuadas resulta do facto de os teores em F2O3 se apresentarem bastante baixos, entre 0,2% e 0,5%, sendo bastante raros teores mais elevados. Na realidade apenas uma amostra, A5, supera a unidade percentual (1,01%) situando-se no local mais a nordeste do depósito. Estas ligeiras alterações devem-se à fracturação e percolação de água nas mesmas, arrastando argilas com os teores de ferro acima identificados. Não obstante, a percolação de água nas fracturas do depósito origina também a caulinitização do mesmo, geralmente em bolsas onde o cruzamento das diferentes famílias de diaclases se intersectam (Fernandes, 2006).

Assim a composição mineralógica média do depósito a explorar está exposta na Tabela 12:

Tabela 12 - Composição mineralógica média do cabeço da Argemela (Fernandes, 2006).

<i>Feldspato sodico</i>	<i>46,08%</i>
<i>Feldspato potássico</i>	<i>15,56%</i>
<i>Quartzo</i>	<i>24,67%</i>
<i>Caulinite</i>	<i>4,86%</i>
<i>Equivalente Biotite</i>	<i>0,55%</i>
<i>Feldspato Cálcico</i>	<i>0,00%</i>
<i>Apatite</i>	<i>3,39%</i>
<i>Outros</i>	<i>4,65%</i>

5.3.4. Análise química

Para confrontar os dados obtidos nas análises químicas das amostras recolhidas nas sondagens, procedeu-se à execução de uma análise química nas instalações do Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC) (Figura 29) de uma amostra recolhida no local definido para início da exploração, isto é, a Nordeste do depósito.



Figura 29 - Equipamento para análise química de amostras (LGMC/ISEP).

A Tabela 13 apresenta o resultado da análise química efetuada à amostra.

Tabela 13 - Análise química de uma amostra de material recolhido.

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	P_2O_5	TiO_2
77,27%	15,52%	0,36%	4,12%	0,40%	0,54%	1,76%	0,03%

Da análise química efetuada resultaram duas dificuldades que se refletiram nos resultados acima explanados. Desde logo a dificuldade que o equipamento apresenta, pela falta de hélio, em definir em concreto a percentagem de silício na amostra, bem como isolar as substâncias mineralógicas menos representativas.

Assim, e como os resultados não apresentam o rigor necessário para a continuação da análise. Todo o dimensionamento que será feito de seguida assentará apenas nas análises químicas recolhidas na bibliografia.

6. PROPOSTA DE PROJECTO DE PROCESSAMENTO (DIAGRAMA, EQUIPAMENTOS, DIMENSIONAMENTO)

6.1. Descrição do processamento do material

O processo de exploração de um volume de material tão extenso acompanha a prática comum de exploração das matérias-primas minerais a céu aberto. A exploração far-se-á em primeira instância em flanco de encosta, seguindo o método de desmonte em bancada de modo a aproveitar as características naturais do terreno que favorecem o escoamento da água que se depositem no local. Numa segunda fase, a exploração será abordada em corta, ou seja, em profundidade, até à exploração da totalidade do valor de 1 000 000 de toneladas previstas.

A produção prevista, em função dos volumes normalmente produzidos neste tipo de atividade, é de 100 t/h. Quando a este valor se concluem as eficiências de produção, cerca de 90%, e os 22 dias uteis de trabalho mensal a produção anual prevista é de 190000 toneladas. Assim, a duração da exploração estimada é de 6 anos.

A exploração do maciço, condicionada pelas características morfológicas do terreno, será abordada segundo a direção NE – SW por forma de aproveitar de melhor forma a compartimentação do mesmo, tirando partido da fracturação, que se pretende que favoreça o desmonte. O desmonte será iniciado nos patamares superiores de modo a libertar os patamares inferiores, que serão alvo dos desmontes seguintes. Por razões de segurança admitiu-se alturas de bancadas de 6 metros com bermas de 5 metros.

A definição do desmonte do maciço não será objeto de definição do presente trabalho. No entanto, a mesma deverá ser abordada segundo os mais criteriosos métodos de segurança, entre os quais a escolha dos explosivos de última geração, e dos detonadores não elétricos.

O estudo das características geomecânicas do maciço, com incidência na enumeração das famílias de diaclases mais evidentes e que definam o bloco unitário devem ser preponderantes para a definição do tipo e do método de desmonte mais adequado para o efeito, potenciando a fragmentação, fulcral para a redução de custos no processamento do material a jusante, e minimizando os ruídos e os impactes ambientais de forma indireta.

Para a execução dos valores previstos anteriormente, será necessário executar dois desmontes, de 2 300 m³ cada, por semana. Cada desmonte deverá ter uma geometria de 6 x 31 x 12, altura, largura e comprimento, respetivamente. Para indicação da qualidade do desmonte, um dos parâmetros observados é sempre a carga específica, que indica indiretamente se o mesmo é feito de forma correta, económica e segura. Valores em desmonte a céu aberto rondam os 0,4 Kg/m³ desmontado.

Assim que o material é desmontado é iniciado o processo de carregamento e transporte para a instalação de processamento. A escolha dos equipamentos também não será objeto do presente

trabalho, no entanto, a análise de parâmetros como a constância da alimentação na central, assim como a segurança devem ser considerados como determinantes na escolha de equipamentos para a função pretendida.

6.2. Instalação de tratamento

A instalação de processamento ficará instalada ligeiramente afastada da exploração. A instalação será localizada numa plataforma plana que se encontra a 250 metros de distância, a oeste do local da exploração. A decisão do afastamento do local de beneficiamento em relação à frente de desmonte deve-se ao facto de do ponto de vista topográfico, este local apresentar menor variação, quando comparado com outros nas imediações. Assim, e beneficiando ainda do aterro dos materiais provenientes da cobertura vegetal do local de desmonte, a central será instalada num local com a mesma cota, potenciando a rapidez da instalação dos equipamentos, reduzindo ainda os custos.

A instalação de uma cobertura, ou seja, de uma estrutura de proteção da instalação traz benefícios para o produto que não será afetado com incrementos de humidade, para além da que o produto apresenta naturalmente.

Assim a proteção contra intempéries será colocada protegendo toda a fase de processamento do material.

6.2.1. Diagrama de fluxo

A Figura 30 apresenta o diagrama pictural da instalação de beneficiamento do feldspato, o qual consiste em 3 estágios de fragmentação, um estágio de moagem, separação magnética de baixa e alta intensidade e stockagem final.

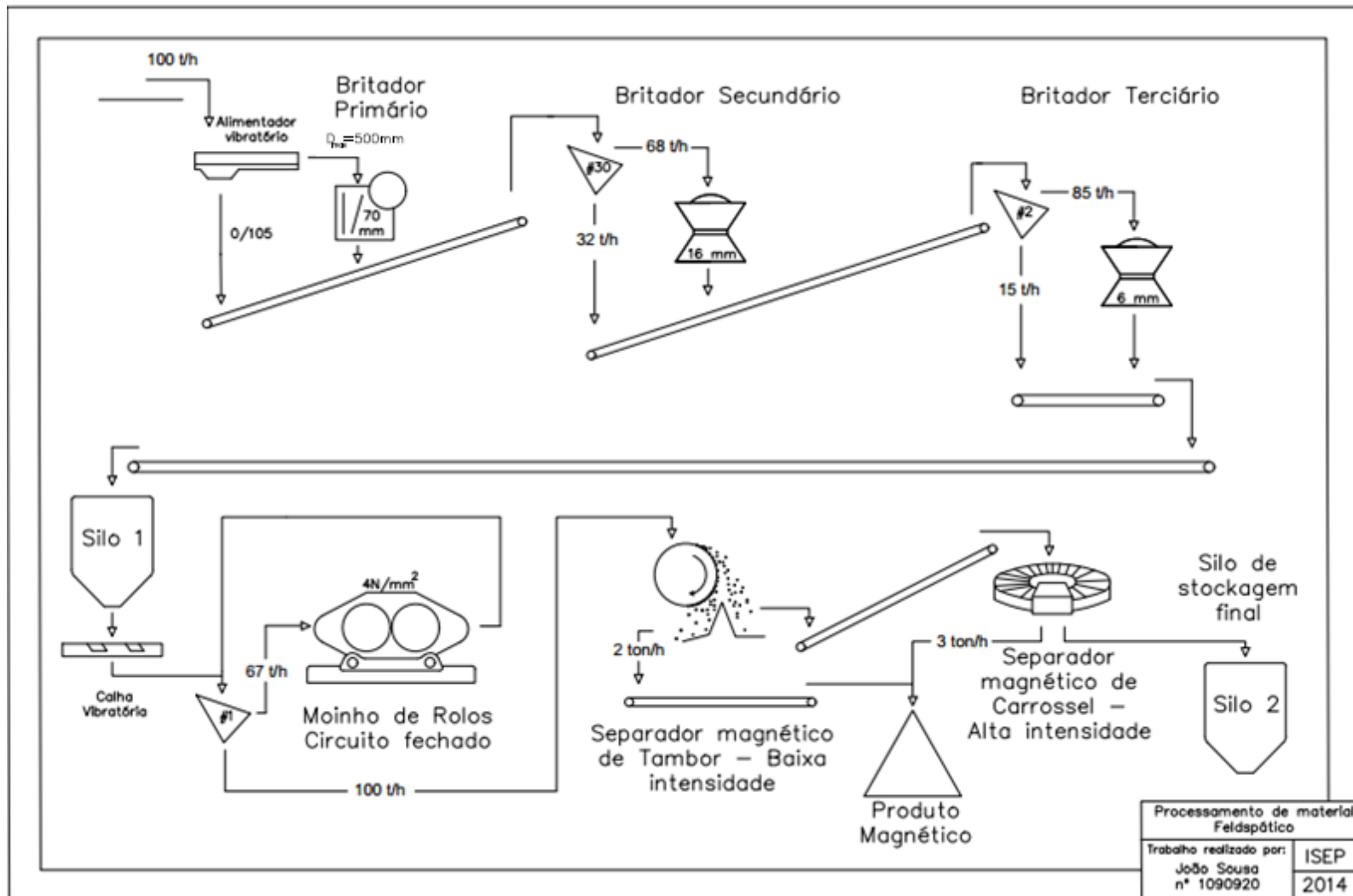


Figura 30 - Diagrama pictorial da instalação de beneficiamento do material.

Fluxograma do ciclo do material em processamento

A Figura 31 apresenta o fluxograma da instalação de beneficiamento do material.

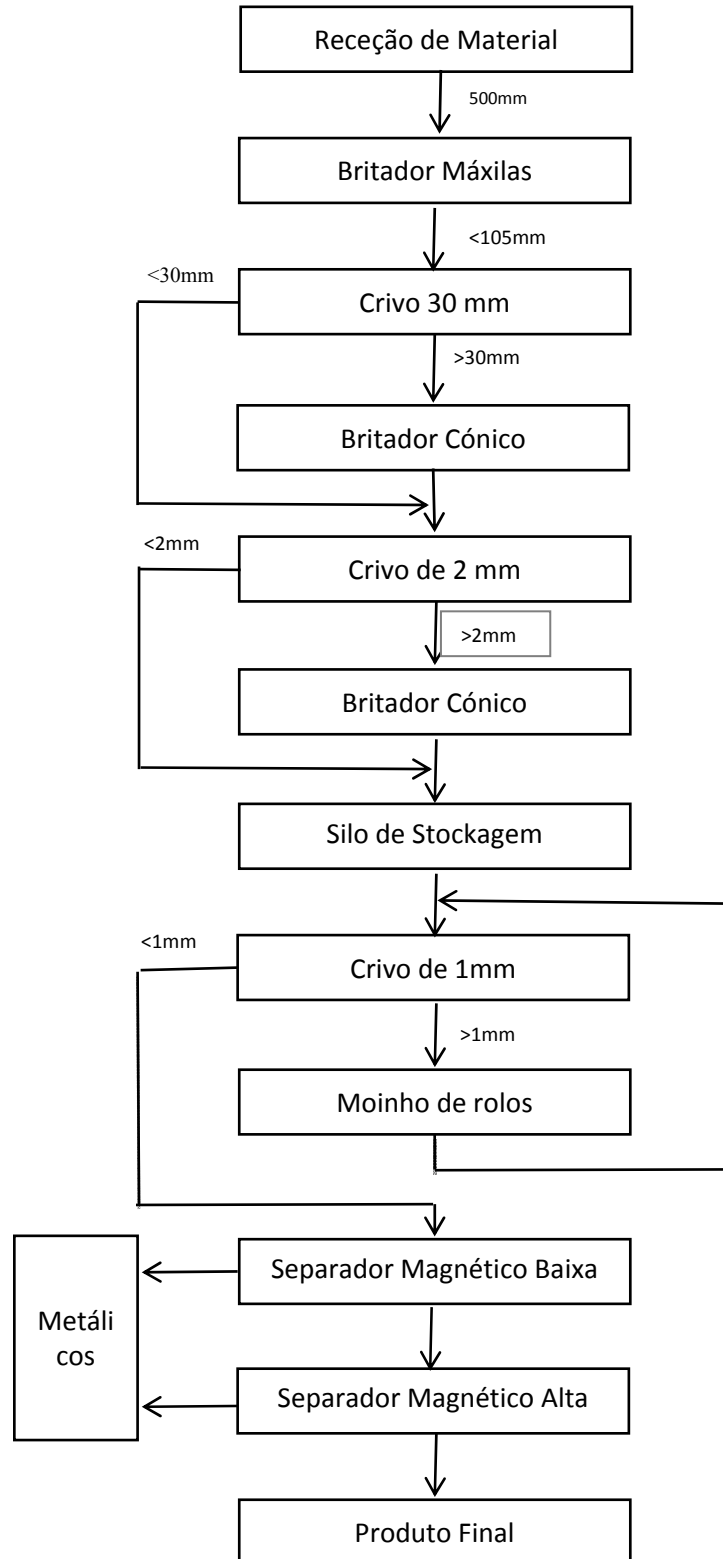


Figura 31 – Diagrama de operações a instalação de beneficiamento do material.

6.2.2. Fragmentação

A redução de calibre no processo de tratamento de uma matéria-prima mineral é um dos parâmetros mais importantes do processo. Sem atingir o calibre necessário, tanto para venda como para obtenção dos graus de libertação, compromete-se o processamento logo à partida, condicionando tanto o produto final como os custos inerentes ao referido processo.

No que concerne ao aplito estudado, cujo bloco unitário ronda os 800 mm, é necessário, numa primeira fase, assegurar o diâmetro de 500 mm (material a fornecer ao fragmentador primário), através da aplicação de um diagrama de fogo dimensionado com esse objectivo. Em seguida, será ainda necessário uma redução para calibres, os quais deverão ser inferiores a 1mm, para que seja possível a separação de todos os materiais contaminantes suscetíveis de inviabilizar a respetiva comercialização.

Para a obtenção dos valores de granulometria inferiores a 1 mm será necessário passar o material por três estágios de redução de calibre, aliás, como é habitual neste tipo de instalações.

A redução gradual da granulometria traz benefícios, na medida em que fatores de redução inferiores em cada estágio significam tempos de residência menores em cada equipamento, uma menor produção de finos com coeficientes de forma indesejáveis, e menores custos de manutenção dos equipamentos. Pelo contrário, um custo inicial superior ao nível do investimento em três equipamentos, em vez de dois, significa um custo acrescido numa primeira instância, mas acabará por ser absorvido pelas produções com menor número de paragens imprevistas para manutenção, assim como um produto final mais valorizável.

6.3. Fragmentador primário

O fragmentador primário apresenta-se como o primeiro estágio de redução do calibre do material que chega da frente de desmonte. Este material, cujas dimensões não superam os 500 milímetros é transportado por um alimentador para o britador de maxilas com um caudal de 100 t/h.

Para a execução desta primeira fase de fragmentação, o equipamento selecionado foi o britador de mandíbulas Nordberg Serie C 80, da empresa Metso (Figura 32). Este equipamento oferece as condições ideais para a britagem do material em questão, na medida em que apresentam maior excentricidade, e velocidade adequada, inercia do volante e elevada potência de britagem para rendimentos bastante aceitáveis.

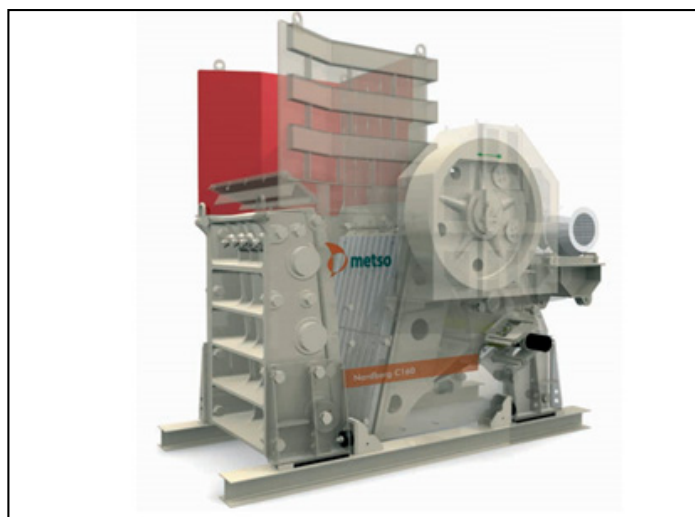


Figura 32 - Britador de mandíbulas Nordberg - Série C – (<http://www.metso.com>, 2014).

Para este caso não será necessário utilizar outro tipo de mandíbulas que não as do tipo Standard, uma vez que este material não apresenta dureza e clivagem que assim o exijam.

Este equipamento está ajustado para possuir uma abertura, na posição fechada, de 70 milímetros possuindo assim capacidade para caudais entre as 95 e as 135 toneladas horárias. Com a curva de 70 mm o material, que à entrada terá dimensões que rondam os 500 milímetros, sairá com calibres inferiores a 105 milímetros (Figura 33). Os fatores de redução serão da ordem de 5:1.

Capacidades e especificações técnicas												
	C80	C100	C96	C106	C116	C3054	C120	C125	C140	C145	C160	C200
Comprimento da abertura de alimentação, mm	800	1000	930	1060	1150	1375	1200	1250	1400	1400	1600	2000
Profundidade da abertura de alimentação, mm	510	760	580	700	800	760	870	950	1070	1100	1200	1500
Posição kW	75	110	90	110	132	160	160	160	200	200	250	400
Velocidade (rpm)	350	260	330	280	260	260	230	220	220	220	220	200
Tamanho da partícula, mm												
Abertura na posição fechada, mm	20											
0-30	20											
0-35	25											
0-45	30											
0-60	40	55 - 75										
0-75	50	65 - 95										
0-90	60	80 - 110	105 - 135									
0-105	70	95 - 135	125 - 175	125 - 155	150 - 185	165 - 205	210 - 270	175 - 240				
0-120	80	110 - 150	145 - 200	140 - 180	165 - 215	180 - 235	240 - 300	195 - 270				
0-135	90	125 - 175	160 - 220	160 - 200	190 - 235	205 - 255	260 - 330	210 - 305				
0-150	100	140 - 190	180 - 250	175 - 225	205 - 265	225 - 285	285 - 365	235 - 325	245 - 335			
0-185	125	175 - 245	220 - 310	220 - 280	255 - 325	270 - 345	345 - 435	285 - 395	295 - 405	325 - 445	335 - 465	
0-225	150	210 - 290	265 - 365	265 - 335	305 - 385	320 - 405	405 - 515	340 - 475	345 - 475	380 - 530	395 - 545	430 - 610
0-260	175	245 - 335	310 - 430	310 - 390	355 - 450	370 - 465	465 - 595	385 - 540	395 - 545	435 - 605	455 - 625	495 - 695
0-300	200		355 - 490		395 - 500	410 - 520	530 - 670		445 - 615	495 - 685	510 - 710	560 - 790
0-340	225								495 - 685	550 - 760	570 - 790	625 - 880
0-375	250								545 - 755	610 - 840	630 - 870	685 - 965
0-410	275										690 - 950	745 - 1055
0-450	300											815 - 1145
												1015 - 1435

Figura 33 - Características dos britadores de mandíbulas da Nordberg - Serie C - as características do equipamento seleccionado estão assinaladas a vermelho. (<http://www.metso.com>, 2014).

Na Figura 34 é possível verificar as curvas granulométricas dos diferentes ajustes no britador de maxilas. A curva características do equipamento selecionado é a curva de 70 mm.

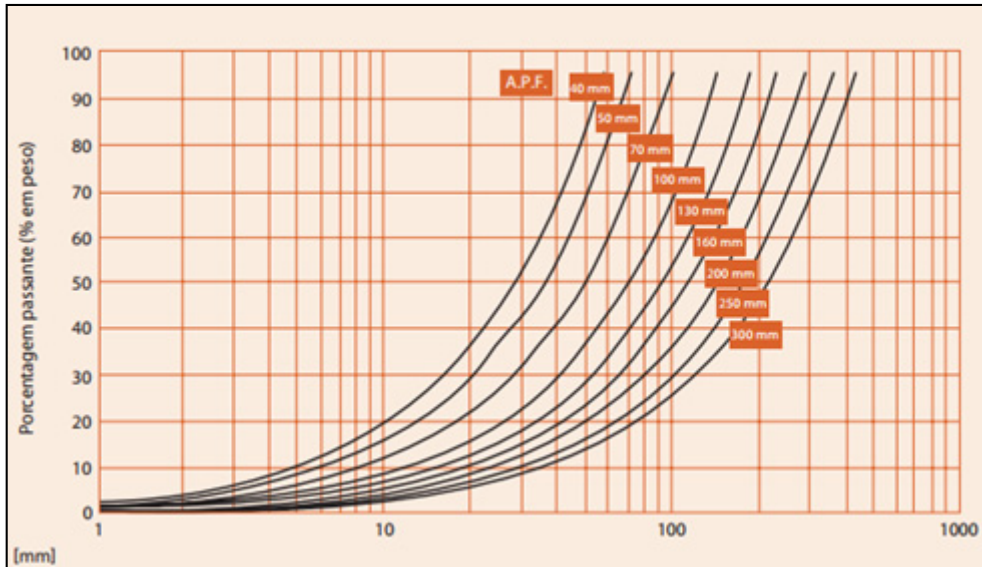


Figura 34 - Curva granulométrica dos produtos à saída do equipamento. a curva do equipamento selecionado é a curva de 70mm (<http://www.metso.com>, 2014).

A escolha por características com capacidades para caudais superiores deve-se ao facto de, caso seja necessário atualizar os mesmos devido a aumentos de produção, o equipamento possa estar apto para responder de forma eficaz às necessidades.

A curva de 70 milímetros apresenta uma redução de calibre que favorece a segunda fase de britagem na medida em que apresenta já percentagens consideráveis de material passado no crivo de 30 milímetros. Esta percentagem de material, na ordem dos 35%, pode ser classificada antes da segunda fase de britagem de modo a evitar tal estágio, pois apresenta as características corretas para seguir diretamente para a terceira fase de britagem, pelo que ficará deste modo assegurada a capacidade nominal do equipamento selecionado.

6.4. Fragmentador secundário

Para o segundo estágio de fragmentação, o equipamento selecionado é o britador cónico da Nordberg HP100. Este equipamento terá a função de preparar granulometricamente o material para a terceiro e última fase de redução de calibre. A escolha de um equipamento do tipo cónico deve-se ao facto de este tipo de equipamentos permitir, com dimensões inferiores, maiores capacidades permitindo que os materiais apresentem uma maior cubicidade em relação aos produtos obtidos por outros equipamentos (Figura 35).



Figura 35 - Britador cónico Série HP (<http://www.metso.com>,2014).

Dado que o material, à entrada do britador cónico, se encontra com granulometria inferior a 105 milímetros, importa seleccionar um equipamento com capacidade para aceitar esse calibre e que seja ao mesmo tempo capaz de o preparar para que seja passível de admissão no equipamento de britagem seguinte. Para tal, fatores de redução de 4:1 ou mesmo de 5:1 serão os mais eficazes para este trabalho.

Outro parâmetro importante prende-se com a alimentação do mesmo. Embora a instalação se prepare para trabalhar com capacidades de 100 toneladas horárias, o presente equipamento não necessita de estar preparado para estas mesmas capacidades. Na verdade, como o material passou previamente por um estágio de britagem cujas curvas granulométricas são conhecidas, nomeadamente as percentagens de material passado no crivo de malha 30 mm, é possível passar o material por um estágio de seleção geométrica afim de separar parte do mesmo que já apresenta características para o estágio de britagem seguinte.

Assim, separando o material de calibre inferior a 30 mm, que representa trinta pontos percentuais da curva, é possível prever que o equipamento necessita de ter capacidade para 70 toneladas por hora.

A Figura 36 apresenta as diferentes capacidades de ajuste dos fragmentadores HP, consoante as câmaras seleccionadas.



Seleção de Câmara do Britador					
Modelo	Câmara	Standard		Cabeça curta	
		Ajuste mínimo «A» ⁽¹⁾	Abertura de alimentação «B» ⁽²⁾	Ajuste mínimo «A» ⁽¹⁾	Abertura de alimentação «B» ⁽²⁾
HP100	Extra Fino			6 mm	14 mm
	Fino			9 mm	74 mm
	Médio			9 mm	72 mm
	Grosso			13 mm	100 mm
	Extra grosso			17 mm	141 mm
HP200	Extra Fino			6 mm	10 mm
	Fino	13 mm	95 mm	5 mm	23 mm
	Médio	17 mm	125 mm	6 mm	54 mm
	Grosso	19 mm	185 mm	10 mm	76 mm
HP300	Extra Fino			6 mm	25 mm
	Fino	13 mm	107 mm	6 mm	22 mm
	Médio	17 mm	150 mm	8 mm	53 mm
	Grosso	19 mm	211 mm	10 mm	77 mm
	Extra grosso	25 mm	233 mm		

Figura 36 - Características da câmara do britador HP100 (<http://www.metso.com>, 2014).

Para dar resposta a todos estes pormenores, o equipamento selecionado possuirá uma câmara de cabeça curta com capacidade para materiais com dimensões até até 141 mm e com um ajuste à saída de 17 mm – câmara extra grossa. Com capacidades entre as 70 e as 90 toneladas horárias consegue fazer face à produção prevista.

Na Figura 37, embora não apresente a curva granulométrica referente ao ajuste de 17 milímetros, é possível verificar a granulometria que o material a processar neste equipamento apresentará.

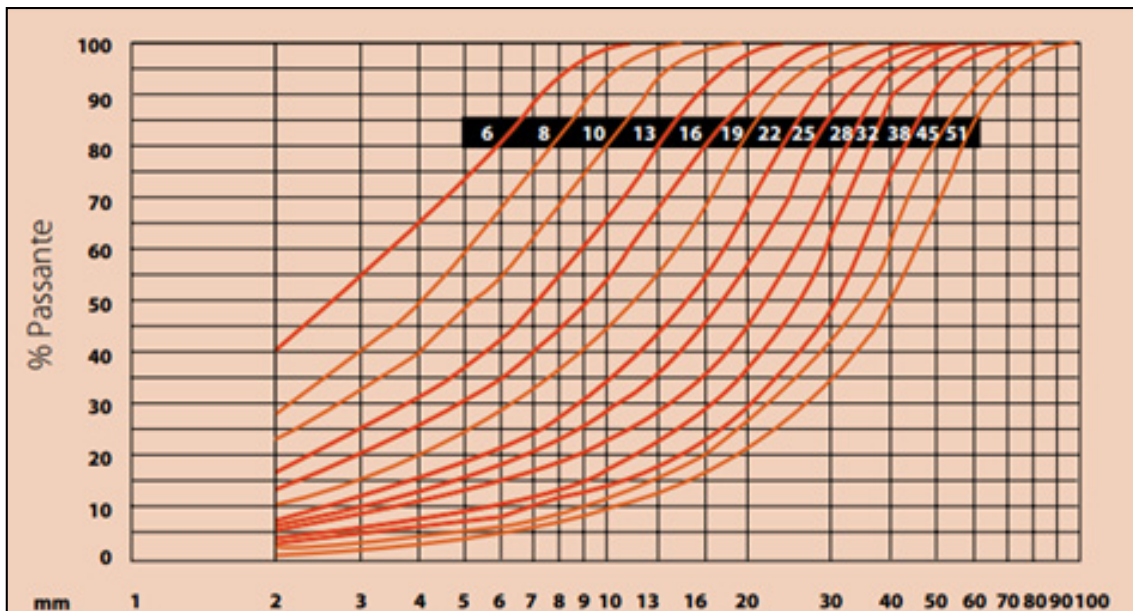


Figura 37 - Curvas granulométricas do Britador HP100 (<http://www.metso.com>, 2014).

6.5. Fragmentador terciário

A terceira fase de redução de calibre dá continuidade ao processo de fragmentação e, desse modo, prepara os materiais de forma a assegurar o calibre adequado para o estágio de moagem.

Seguindo os critérios de seleção anteriores o equipamento definido para este estágio é o britador cónico Nordberg HP400 (Figura 38).



Figura 38 - Britador Cónico Serie HP (<http://www.metso.com>, 2014).

O facto de neste estágio se utilizar um equipamento com maior dimensão e capacidades superiores ao do segundo estágio deve-se ao facto de no terceiro estágio a quantidade de material no britador ser superior, resultando do processo de crivagem anterior, e pelo facto de, ao se usar a curva granulométrica correspondente a uma abertura menor, de 6 mm, só o equipamento HP400 oferece capacidades nominal para a produção pretendida, bem com a abertura do moinho superior de modo a poder receber os calibres que surgem na alimentação (Figura 39).



Figura 39 - Características da câmara do britador selecionado (<http://www.metso.com>, 2014).

O equipamento estará equipado com uma câmara de cabeça curta de modo a poder trabalhar com a curva especificada, oferecendo uma abertura na alimentação de 52mm, ou seja, será capaz de albergar as partículas que surgem a montante e cujas granulometrias não superam os 32 mm.

Com a curva corresponde a uma abertura de saída de 6 mm, este fragmentador proporcionará um fator de redução de 3:1, permitindo ao material obter granulometria máxima de 13 milímetros e com percentagens de passados no peneiro de 1mm na ordem dos 25%.

Na Figura 40, é possível verificar as características do produto à saída do equipamento em função do ajuste da câmara de britagem.

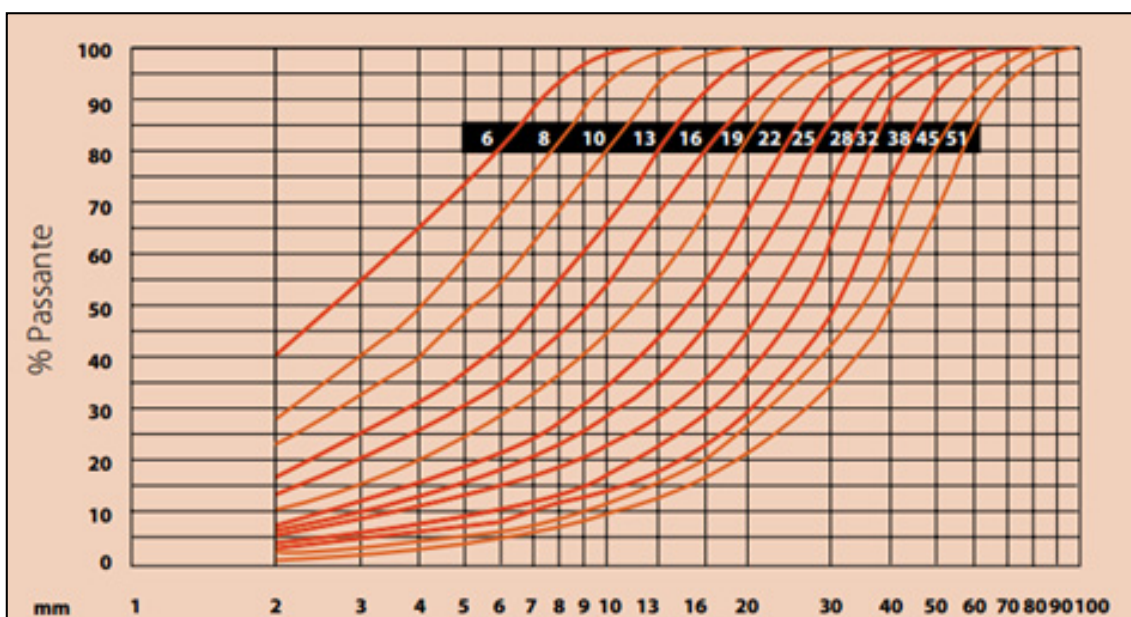


Figura 40 - Curvas granulométricas do equipamento HP400 - a curva granulométrica mais próxima da real é a de 6mm (<http://www.metso.com>, 2014).

6.5.1. Moagem

Neste estágio pretende-se diminuir a granulometria dos materiais para valores inferiores a 1mm, pois só a partir deste valor granulométrico é possível avançar para as fases seguintes.

Os equipamentos para este tipo de tarefa são equipamentos submetidos a grande desgaste, na medida em que lidam com granulometrias mais finas que os anteriores, o que os torna mais vulneráveis a avarias devido a poeiras que se depositam nos componentes. Logo a definição do equipamento para esta função necessita, não só de rendimentos satisfatórios, mas também de grandes capacidades de produção, com baixas manutenções.

Não obstante, a dificuldade de encontrar equipamentos que submetam o material para as granulometrias pretendidas, e com as capacidades que estão previstas, o equipamento que se apresenta como mais indicado é o moinho de rolos HRC 800 da Metso (Figura 41). É o equipamento ideal para fazer face a aplicações terciárias proporcionando flexibilidade, máxima eficiência e robustez nas operações que efetua.



Figura 41 - Moinho de Rolos Metso HRC 800 (<http://www.metso.com>, 2014).

O referido equipamento oferece vantagens ao nível ambiental, uma vez que as baixas rotações das peças giratórias diminuem a vibração assim como o ruído. Mesmo assim, a característica que mais influencia a sua escolha é precisamente a sua curva granulométrica cujos valores de percentagem de passados no crivo de 1 milímetro superam os 32% (Figura 42).

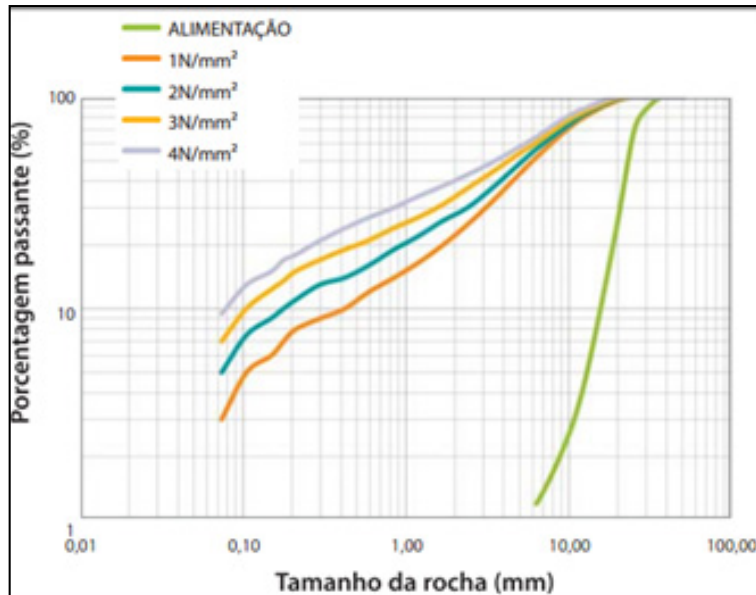


Figura 42 - Curva granulométrica do moinho de rolos Metso HRC 800 (<http://www.metso.com>, 2014).

Tendo em conta que o caudal inicial na alimentação do moinho é de 67 t/h, devido à classificação anterior que irá separar os materiais já inferiores a 1mm (27%), e uma vez que o material volta novamente ao crivo, onde se faz novamente uma separação de calibres, enviando de volta ao moinho os materiais de granulometria superior, torna-se necessário calcular o caudal que circulará em circuito fechado no equipamento.

Se admitirmos que 67% do material que é crivado é direcionado para o moinho de rolos e que após a moagem 68% desse mesmo material ainda mantém granulometria superior a 1mm, a capacidade em circuito fechado é calculada somando o caudal nominal, 100 ton/h mais o retorno do moinho, 67 ton/h, logo o equipamento está dimensionado para trabalhar com uma alimentação de 167 t/h, de forma contínua.

Para fazer face a esta quantidade de material, não é possível utilizar apenas um equipamento, uma vez que as suas capacidades máximas não superam as 120 t/h, logo terão de se adquirir dois equipamentos para diluir esta quantidade de material.

A Figura 43 apresenta os dados técnicos do moinho de rolos, onde é possível verificar, entre outros parâmetros, os valores da capacidade do equipamento e a pressão operacional máxima do mesmo.

Dados técnicos	
Motor	
Potência instalada (1x)	110kW (150HP)
Total de unidades	2x
Rotação	1800rpm (4 pólos)
Transmissão	
Redutor	Engrenagens planetárias
Total de unidades	2x
Arrefecimento/refrigeração	Unidade dedicada (inclusa)
Redução	1 : 62,83
Rotação britador	32rpm (motores a 60Hz)
Revestimento	
Liga	Aço manganês (outras ligas disponíveis sob consulta)
Total de unidades	2x
Dimensões	800mm (diâmetro) x 500mm (largura)
Ralo útil de utilização	60mm
Outras informações	
Pressão operacional (máxima)	4,5 N/mm ² (180 toneladas)
Peso total do conjunto	16.000kg
Materiais admissíveis	Qualquer fração ≤ 32mm
Volume de produção	De 70 a 120 toneladas/h (dependendo do tamanho do material, da pressão e da velocidade)

Figura 43 - Dados técnicos do moinho de rolos Metso HRC 800 (<http://www.metso.com>, 2014).

6.6. Stockagem Intermédia

Atualmente o processo produtivo de qualquer indústria assenta no seu rendimento, eficiência e respectiva fiabilidade. Paragens imprevistas nas linhas de produção implicam custos que na maioria das vezes não são mensuráveis na sua totalidade. Se um equipamento avaria, implicando a paragem de toda a linha a jusante, tem impacto directo na eficiência, qualidade e ainda a rentabilidade de um processo industrial. As manutenções preventivas, mesmo manutenções preditivas com inspeções regulares previamente agendadas, podem e conseguem evitar paragens imprevistas. No entanto, quando numa linha de produção se usam equipamentos com capacidades enormíssimas, como é o caso da indústria mineira, é necessário prevenir algum tipo de paragens imprevistas, nomeadamente do equipamento mais a montante, isto é, o britador primário.

Nesse sentido, a stockagem intermédia de material apresenta uma importância significativa, na medida em que diminui o impacto de uma avaria do equipamento de redução de calibre principal.

Assim, apresenta-se como necessária a colocação de um ou mais silos que permitam a stockagem de material suficiente para suprimir a avaria do britador primário durante algum tempo de trabalho..

Uma vez que a instalação está preparada para uma capacidade de 100 t/h e, com um rendimento de 90%, de 720 toneladas diárias, a stockagem intermédia deve abraçar um quarto desta quantidade de material.

Assim, o volume dos silos pode ser obtido pela Equação 2.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Equação 2

Sendo que:

m = massa do material

ρ = Densidade do material

V = volume do material

Então,

$$V = \frac{180}{2,65} = 68 \text{ m}^3$$

O silo que for dimensionado deverá ter capacidade para armazenar 68 m³ de material.

Para calcular as dimensões do silo é necessário verificar a fórmula de cálculo do volume do cilindro, como indica a Equação 3:

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Equação 3

Sendo que:

V = volume do silo

r = raio do silo

h = altura do silo

Assim:

$$V = 3,14 \times 2^2 \times 5 = 63 \text{ m}^3$$

Um silo com quatro metros de diâmetro e 5 metros de altura consegue ter capacidade para armazenar 63 m³ de material, logo terá capacidade para suprir a paragem de um dos equipamentos de britagem, durante duas horas de trabalho. A sua colocação no final do processo de britagem e antes do processo de moagem visa a salvaguarda da produção no caso de paragem de quaisquer dos equipamentos de britagem.

6.7. Classificação

A separação dos diferentes materiais, de acordo com o respectivo calibre, tem o seu propósito em toda a fase da instalação.

A separação com base na geometria das partículas permite uma melhor seleção das granulometrias que necessitam de ser encaminhadas para um determinado estágio de redução de calibre ou outro mais a jusante, ou vice-versa. Esta seleção dos materiais com base na sua granulometria implica uma melhor gestão do produto durante a sua passagem nos equipamentos potenciando os mesmos para os seus melhores rendimentos.

Ao evitar as frações que já apresentam calibres inferiores às que determinado equipamento produzirá, evita o sobredimensionamento de equipamentos, a formação de finos em excesso, tempos de residência superiores ao pretendido e ainda desgaste avançado do próprio equipamento. Assim, estes processos de classificação são benéficos para uma maior eficácia nas linhas de produção.

No caso específico da instalação a dimensionar, o processo de classificação acontece em três ocasiões, umas das quais logo no início do diagrama, antes do britador de maxilas, de modo a retirar os materiais que já apresentem uma granulometria inferior a 105 mm. A segunda ocasião onde a separação geométrica é executada acontece precisamente antes do segundo estágio de redução de calibre.

Neste caso, e segundo o critério anteriormente descrito, a fração inferior a 30 mm não necessita de seguir para o segundo britador, tendo características para avançar diretamente para a terceira fase de redução de calibre.

O terceiro caso acontece antes do terceiro estágio de fragmentação. Aqui, o material que ainda apresenta granulometria superior ao desejado, neste caso o calibre de corte é de 2 mm, é direcionado ao britador cónico. Já o material que se apresente geometricamente abaixo desse calibre cai numa tela transportadora que o direciona para jusante da instalação.

O quarto e último estágio de classificação acontecem num circuito fechado de fragmentação. Nesta fase, o material sofre a última redução de calibre, e como tal, a fração que ainda não apresente as condições do ponto de vista geométrico para avançar é recirculado.

Assim, é de prever que exista uma pequena percentagem de material, cujas condições de natureza geométrica permitam que circule na instalação sem necessidade de passar nos britadores e até mesmo no moinho de rolos. Como foi dito anteriormente, o facto de a instalação ter alguns bypass deste tipo protege os próprios equipamentos e favorece os índices de forma do material que necessita de lá passar.

O crivo é dimensionado através de uma análise dos parâmetros essenciais para que a tarefa seja feita com a maior eficácia. Parâmetros como alimentação, percentagens acima e abaixo do calibre de corte, tipo de malha de corte e inclinação, entre outros, condicionam a área de crivagem e indicam se o corte se fará com qualidade e eficiência pretendidas.

Uma vez verificada a área do crivo é necessário verificar a largura do crivo, e para tal é necessário verificar valores de velocidade adequados à movimentação do material sobre a tela, assim como a altura de material sobre a tela à saída do crivo.

i. Crivo 1

O primeiro estágio de crivagem acontece após a primeira fase de redução de calibre, nomeadamente entre o primeiro e segundo estágios de britagem. Neste crivo, que apresentam um calibre de corte de 30 mm, a alimentação de material é de 100 ton/h e as percentagens de sobrecrivo e infracrivo são de 68% e 32%, respectivamente (Figura 44).

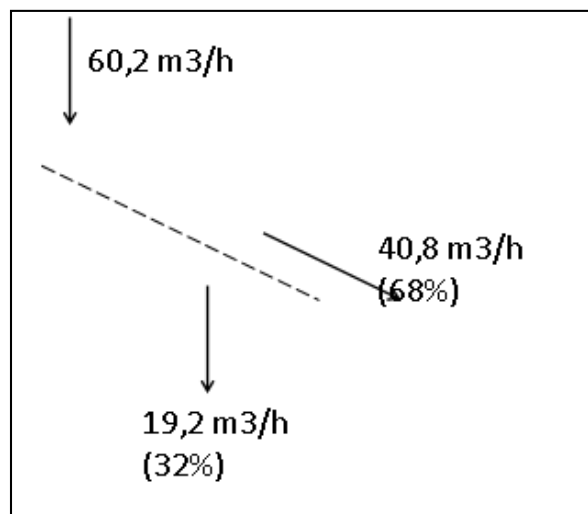


Figura 44 – Representação das quantidades de material na alimentação do crivo, bem com as quantidades de passados e retidos no peneiro de 30mm.

O dimensionamento do crivo faz-se através da Equação 4 (ALLIS, 1994).

$$A = \frac{T \times P}{C \times M \times K \times Qn}$$

Equação 4

Em que:

A – Área necessária da superfície do crivo (m²);

T – Quantidade de material na alimentação (m³/h);

C – Fator de capacidade (m³/h x m²);

M – Fator de material retido;

K – Fator relativo à quantidade de material na alimentação menor que a metade da abertura nominal da superfície de crivagem;

Q_n – Fator de correção: Q₁ x Q₂ x Q₃ x Q₄ x Q₅ x Q₆;

P – fator que pode tomar valores entre 1 e 1,4, função do conhecimento e da certeza relativamente às características do material a ser classificado;

Assim, os parâmetros calculados para o dimensionamento do crivo apresentam-se na Tabela 14.

Tabela 14 - Tabela de características do crivo 1, para cálculo da área de crivagem.

T (m ³ /h)	C (m ³ /h x m ²)	M	K	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q_n	P
60,20	35	1,48	0,84	1	1	1	1	0,9	1,4	1,26	1,4

$$A = \frac{37 \times 1,4}{35 \times 1,48 \times 0,84 \times 1,26} = 1,54 \text{ m}^2$$

Para calcular a largura do crivo utiliza-se a Equação 5.

$$W = \frac{100 \times T_f}{6 \times S \times D} + 0,15$$

Equação 5

Em que:

W – Largura nominal do crivo (m);

D – Espessura de camada de material na extremidade de descarga (mm);

S – Fator de velocidade do material (dependente das características do crivo e do material) - (m/min);

T_f – Quantidade de material na extremidade de saída (m³/h);

Assim, a Tabela 15 apresenta as características do primeiro crivo .

Tabela 15 - Tabela de características do crivo 1, para cálculo da largura de crivagem.

Tf (m ³ /h)	S (m/min)	D (mm)
40,2	38	30

$$W = \frac{100 \times 40,2}{6 \times 38 \times 30} + 0,15 = 0,74 \text{ m}$$

A largura do crivo é de 74cm. Assim, a Tabela 16 apresenta as dimensões calculadas para o crivo 1.

Tabela 16 - Dimensões crivo 1.

Área (m²)	1,54
Largura (m)	0,74
Comprimento (m)	2,08

A área do primeiro crivo é de 1,54 m².

A Figura 45 apresenta as características do equipamento selecionado para o primeiro estágio de crivagem. O equipamento selecionado é um peneiro M com um deck de 1,6 m².

Peneira M	Nº de decks	Dimensões do quadro (mm)	Peso (kg)		Área do deck (m ²)	Motor (hp)
			Sem base	Com base		
20008/1A	1	2000 x 800	500	700	1,6	4
25010/1A	1	2500 x 1050	1050	1240	2,5	5
30012/1A	1	3000 x 1200	1650	1990	3,6	12,5
30012/2A	2	3000 x 1200	1750	2090	3,6	12,5

Figura 45 - Características das peneiras vibratórias inclinadas (<http://www.metso.com,2014>).

ii. Crivo 2

O segundo crivo situa-se entre o segundo estágio de britagem e o terceiro. Apresenta uma alimentação de 100 ton/h, 60,2 m³/h, e o calibre de corte apresentado é de 2mm. Já as percentagens de sobrecrivo e infracrivo apresentadas são de 85% e 15%, respetivamente. A Figura 46 apresenta, de modo esquemático, as quantidades classificadas no segundo crivo.

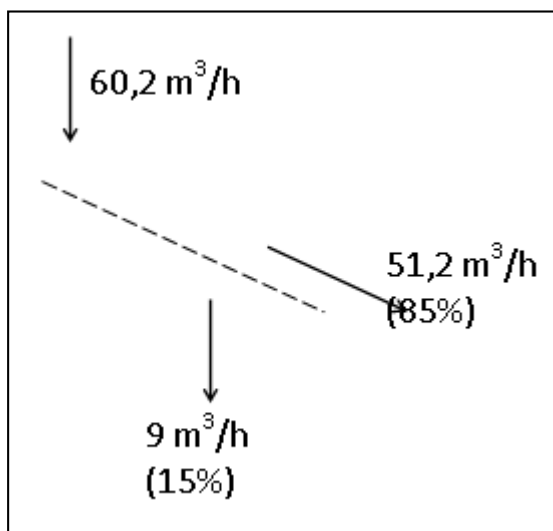


Figura 46 - Esquema da quantidade de material na alimentação do segundo crivo, assim como as quantidades de passados e retidos no peneiro de 2mm.

Para calcular a área utiliza-se novamente a expressão:

$$A = \frac{T \times P}{C \times M \times K \times Qn}$$

Assim, os parâmetros calculados para o dimensionamento do crivo apresentam-se na Tabela 17.

Tabela 17 - Características do crivo 2, para cálculo da área de crivagem.

T (m ³ /h)	C (m ³ /h x m ²)	M	K	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Qn	P
60,2	5,4	2,8	0,46	1	1	1	1	0,9	1,25	1,12	1

$$A = \frac{60,2 \times 1}{5,4 \times 2,8 \times 0,46 \times 1,12} = 7,7 \text{ m}^2$$

Para calcular a largura:

$$W = \frac{100 \times Tf}{6 \times S \times D} + 0,15$$

Assim, a Tabela 18 apresenta as características que do segundo crivo :

Tabela 18 - Tabela de características do crivo 2, para cálculo da largura de crivagem.

Tf (m ³ /h)	S (m/min)	D (mm)
51,2	38	12

$$W = \frac{100 \times 51,2}{6 \times 38 \times 12} + 0,15 = 2,52 \text{ m}$$

A largura do segundo crivo é de 2,52 m. Assim, a Tabela 19 apresenta as dimensões crivo 2:

Tabela 19 - Dimensões crivo 2.

Área (m²)	7,7
Largura (m)	2,02
Cumprimento (m)	3,81

Para este estágio de classificação o equipamento selecionado é a peneira vibratória inclinada linha XH da Metso, cujo modelo 7x16DD com uma área de 10,4 m² e uma inclinação de 18º satisfaz as dimensões exigidas para este estágio (Figura 47).

	Peso (kg)	Vol. exp. (m³)	Quadro (mm)	Deck (m²)	Incl. (graus)
5x14 DD	5.200	17	1520 x 4270	6,5	18
6x14 DD	6.500	25	1835 x 4270	7,8	18
7x16 DD	7.900	34	2140 x 4880	10,4	18
8x16 DD	9.500	40	2445 x 4880	11,9	20
8x20 DD	11.600	48	2445 x 6100	14,9	20

Figura 47 - Características dos peneiros XH. O peneiro selecionado está indicado a vermelho.

iii. Crivo 3

O terceiro crivo situa-se entre o terceiro estágio de britagem e o estágio de moagem. Apresenta uma alimentação de 167 ton/h, 100,6 m³/h, e o calibre de corte apresentado é de 1 mm. Já as percentagens de sobrecrivo e infracrivo apresentadas são de 68% e 32%, respetivamente. De referir que estas quantidades na alimentação já estão a contabilizar o facto de a tarefa ser executada em circuito fechado. Na realidade a alimentação inicial é de 100 ton/h com 33% de passagem no crivo, logo 67% do material vai ao moinho voltando para a crivo e juntando-se às 100 toneladas horárias iniciais, pelo que a alimentação total é de 167 t/h.

A Figura 48 apresenta, de modo esquemático, as quantidades classificadas no segundo crivo.

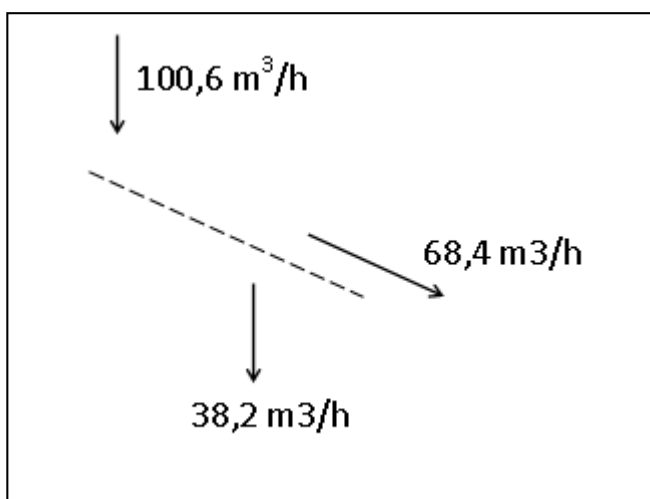


Figura 48 - Esquema da quantidade de material na alimentação do segundo crivo, assim como as quantidades de passados e retidos no peneiro de 1mm.

Para calcular a área seguimos novamente a Equação 4:

$$A = \frac{T \times P}{C \times M \times K \times Q_n}$$

Assim, os parâmetros calculados para o dimensionamento do crivo apresentam-se na Tabela 20.

Tabela 20 - Tabela de características do crivo 3, para cálculo da área de crivagem.

T (m ³ /h)	C (m ³ /h x m ²)	M	K	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Qn	P
100,6	4	1,47	0,7	1	1	1	1	0,9	1,2	1,08	1

$$A = \frac{100,6 \times 1}{4 \times 1,47 \times 0,7 \times 1,08} = 24,4 \text{ m}^2$$

Para calcular a largura:

$$W = \frac{100 \times Tf}{6 \times S \times D} + 0,15$$

Assim, a Tabela 21 apresenta as características que do segundo crivo :

Tabela 21 - Tabela de características do crivo 3, para cálculo da largura de crivagem.

<i>Tf</i> <i>(m³/h)</i>	<i>S</i> <i>(m/min)</i>	<i>D</i> <i>(mm)</i>
68,4	30	10

$$W = \frac{100 \times 68,4}{6 \times 30 \times 10} + 0,15 = 3,95 \text{ m}$$

A Tabela 22 apresenta as dimensões crivo 2.

Tabela 22 - Dimensões crivo 3.

Área (m²)	24,4
Largura (m)	3,95
Cumprimento (m)	6,19

A escolha para esta exigente tarefa recai sobre uma peneira LH - Low Head – com um deck plano acionado por um mecanismo de caixa ML80, isto é com contra peso externo. Com o modelo LH 3,6x7,1 SD, é possível dar resposta à área de 24,4 m² calculados, na medida em que o único deck desta peneira tem as dimensões de 3,6 m de largura e 7,1 de comprimento (Figura 49).

	Área de peneiramento (m ²)	Decks	Potência (kw)	Peso Total (kg)
LH 1.8x4.8 SD	8,6	1	30	9.650
LH 1.8x4.8 DD	8,6	2	30	13.400
LH 2.4x4.8 SD	11,5	1	30	12.550
LH 2.4x4.8 DD	11,5	2	30	17.650
LH 2.4x6.1 SD	14,6	1	30	12.750
LH 2.4x6.1 DD	14,6	2	55	20.250
LH 2.4x7.3 SD	17,5	1	30	15.800
LH 2.4x7.3 DD	17,5	2	55	22.900
LH 3.0x6.1 SD	18,3	1	30	17.650
LH 3.0x6.1 DD	18,3	2	55	25.050
LH 3.0x7.3 SD	21,9	1	55	19.500
LH 3.0x7.3 DD	21,9	2	55	27.350
LH 3.6x6.1 SD	22,0	1	55	19.800
LH 3.6x6.1 DD	22,0	2	55	28.500
LH 3.6x7.3 SD	26,3	1	55	21.650
LH 3.6x7.3 DD	26,3	2	90	33.350

Figura 49 - Características dos crivos ML80. O modelo selecionado está assinalado a vermelho

(<http://www.metso.com>,2014).

6.8. Transporte

Assim que o material entra na instalação de processamento, o seu fluxo é mantido através da movimentação por correias transportadoras que o direcionam desde montante, isto é a tolva de receção, até ao equipamento final que o conduzirá para o armazenamento ou carregamento direto para os fornecedores. Entre estes dois pontos o material é conduzido, com o caudal determinado, a cada equipamento, sofrendo os tratamentos pré-definidos até o final da instalação.

Na instalação estarão instalados 15 telas transportadoras para fazerem ligação entre os equipamentos. As telas transportadoras são dimensionadas consoante o volume a transportar, assim como as distâncias e declives a vencer.

Na Tabela 23 estão indicadas as diferentes telas e as suas características.

Para o dimensionamento das telas é necessário conhecer as características do diagrama, nomeadamente as posições dos restantes equipamentos de modo a ser possível a verificação dos comprimentos das telas bem com das suas elevações.

Para o dimensionamento da tela número 1 é necessário prever alguns parâmetros tais como a largura da correia, velocidade das correias transportadoras, ângulos de carga, ângulos de masseira, bem como as capacidades de carga das correias e as potências necessárias.

De seguida, será apresentada a metodologia de dimensionamento relativa à primeira tela transportadora e que será aplica a todas as telas a utilizar na instalação.

Tabela 23 - Lista das telas transportadoras presentes na instalação.

Tela (número)	Equipamento de origem	Equipamento de destino	Comprimento (m)	Elevação (m)	Inclinação (graus)
1	Britador primário	Peneiro 1	11,1	4	20
2	Peneiro 1	Britador Secundário	5,2	3	30
3	Peneiro 1	Peneiro 2	13,01	4	25
4	Peneiro 2	Britador Terciário	5,2	3	30
5	Peneiro 2	Silo de Stockagem	24,5	11,5	30
6	Silo de Stockagem	Peneiro 3	5,2	4	30
7	Peneiro 3	Moinho	5,2	4	30
8	Moinho	Tela Transp. 9	1,7	1	30
9	Tela Transp. 8	Tela Transp. 10	10	4	22
10	Tela transp. 9	Peneiro 3	1,7	1	30
11	Peneiro 3	Sep. Magnético B.I.	12,8	6	25
12	Sep. Magnético B.I.	Sep. Magnético A.I.	6,4	3	25
13	Sep. Magnético B.I.	Rejeito	3,2	1,5	25
14	Sep. Magnético A.I.	Silo Produto Final	24,5	11,5	25
15	Sep. Magnético A.I.	Rejeito	3,2	1,5	25

A Tabela 24 apresenta a dimensão das telas transportadoras em função do material a transportar.

Tabela 24 - Dimensionamento de telas transportadoras - seleção de largura de tela (Manual de Aridos, 1994).

Largura da correia (mm)	Fragmentos uniformes	Material com 80% de finos
400	75	125
500	100	175
650	125	250
800	150	300
1000	200	375
1200	300	450
1400	300	600
1600	375	600
1800	450	600
2000	450	600

A largura da tela para o material proveniente no britador primário é de 500 milímetros, tendo em conta que o material a transportar apresenta granulometrias inferiores a 105 milímetros. A escolha deve-se ao facto de na Tabela 25 não especificar a velocidade para telas de 400 milímetros para transporte de rocha.

As Tabelas 25 e 26 apresentam, respectivamente, a velocidade da tela e os ângulos de carga e repouso.

Tabela 25 - Dimensionamento de telas transportadoras. Seleção da velocidade da tela (Manual de Aridos, 1994).

Largura da correia (mm)	Solos	Rochas
400	1,5	-
500	2,2	1,7
650	2,7	2,5
800	3,0-3,5	2,7
1000	3,0-3,5	3,0
1200	3,5-4,0	3,0
1400	3,5-4,0	3,0
1600	4,0	3,0
1800	4,0	3,0
2000	4,0	3,0

Para a largura selecionada de tela a velocidade da mesma é de 1,7 m/s.

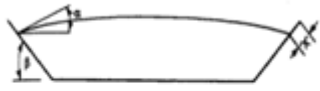
Tabela 26 - Dimensionamento de telas transportadoras – Seleção de ângulos repouso e carga (Manual de Aridos, 1994).

Material	Peso específico (Kg/m ³)	Ângulo de repouso (°)	Angulo de carga (°)
Alumina	800-960	22	5
Cinzas	560-690	38 a 45	25
Bauxite triturada	1200-1360	30 a 35	5 a 15
Argila seca (solta)	1010-1440	24 a 45	15 a 25
Carvão	720-880	35	25
Mineral de cobre triturado	2080-2400	Vários	25
Granito (40-50 mm)	1360-1440	25	Vários
Gravilhas (secas)	1440-1600	30 a 40	25
Gesso (50-75 mm)	1200-1280	30	20
Mineral de ferro	1600-3200	35	5 a 25
Pirite (50-75 mm)	2160-2320	Vários	20
Mineral de chumbo	3200-4320	30	15
Calcário (50-75 mm)	1440-1520	35 a 40	25
Mineral de manganês	2000-2240	39	Vários
Fosfatos	1360	Vários	Vários
Quartzo (50-75 mm)	1440-1520	35	Vários
Pó de quartzo	1120-1280	40	Vários
Areias (úmidas)	1600-2080	15 a 30	5 a 15
Areias (secas)	1440-1600	34 a 45	15

Assim, verifica-se que o peso específico do material é de 1600 kg/m³, e que os ângulos de repouso e de carga são, respetivamente, de 35° e 25°.

A dimensão “X”, como a Tabela 27 indica é de 50 mm de modo a assegurar que o material não sai lateralmente da tela.

Tabela 27 - Dimensionamento de telas transportadoras – Seleção da dDimensão "X" (Manual de Aridos, 1994).

	Os valores médios do ângulo de carga "α" são os seguintes: Materiais finos de fluência fácil em seco 5-10 Materiais de fluência média 15 Materiais sem fluência 20 Materiais grossos misturados com finos 25									
	Largura da correia (mm)	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800
Dimensão "X" (mm)	45	50	58	65	75	85	95	105	115	125

A Tabela 28 apresenta as capacidades das telas em função das larguras e dos ângulos de masseira e de carga.

Tabela 28 - Dimensionamento de telas transportadoras - Capacidade da tela para 1m/s e 1t/m² (Manual de Aridos, 1994).

Ângulo de Carga	Largura da Correia (mm)	Ângulo de masseira					
		20	25	30	35	40	45
		t/h					
25	400	46	50	54	56	59	60
	500	77	84	90	94	98	101
	650	138	151	161	170	176	181
	800	217	237	253	266	277	284
	1000	350	381	408	429	446	457
	1200	515	560	599	631	655	671
	1400	711	774	827	871	904	926
	1600	939	1022	1092	1150	1193	1222
	1800	1198	1304	1394	1467	1522	1560
	2000	1489	1621	1732	1823	1892	1938

Uma vez calculados os ângulos de carga e de masseira, associando a largura da correia é possível verificar a capacidade de carga da tela. Neste caso, a tela terá uma capacidade para 90 t/h se trabalhar a uma velocidade de 1m/s e 1t/m³. Para calcular a capacidade da tela para 1,7 m/s com materiais de 1,6 t/m³ recorre-se à Equação 6.

$$C = C_i \times \frac{V_b}{V_i} \times \frac{PE_p}{PE_i}$$

Equação 6

Sendo que:

Vb – Velocidade base (m/s);

Ci – Capacidade inicial (t/h);

C – Capacidade (t/h);

PEi – Peso específico inicial (t/m³);

PEp – Peso específico previsto (t/m³);

Vi – velocidade inicial (m/s).

Assim, a capacidade de carga é:

$$C = 90 \times \frac{1.7}{1} \times \frac{1600}{1000} = 245 \text{ t/h}$$

Como a capacidade da tela é superior ao previsto, é necessário corrigir a velocidade da tela. Para tal, recorre-se à Equação 7.

$$VelFinal = Velocidade \text{ Tela} \times \frac{Capacidade \text{ .pretendida}}{Capacidade \text{ .da .tela}}$$

Equação 7

Assim, a velocidade da tela para transportar 100 t/h é:

$$Velocidade \text{ final} = 1,7 \times \frac{100}{245} = 0,7 \text{ m/s}$$

Para a capacidade prevista a velocidade da tela deve ser de 0,7 m/s.

Potências eléctricas

De seguida é necessário calcular a potência de acionamento. Esta potência de acionamento é um somatório de três tipos de potência, entre eles, a potência para mover a correia em vazio (Pv), a potência para mover carga horizontalmente (Ph) e a potência para mover a elevar (Equação 8).

$$P_t = P_v + P_h + P_e$$

Equação 8

Através da Tabela 29, e com os parâmetros de largura e comprimento da correia, é possível calcular a potência para mover a correia em vazio.

Tabela 29 - Dimensionamento de telas transportadoras - Potência para mover correia em vazio (Manual de Aridos, 1994).

Largura (mm)	Comprimento da correia (m)									
	10	16	25	40	63	80	100	125	200	250
400	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,5
500	0,5	0,5	0,6	0,7	0,9	1	1,1	1,4	1,7	2
650	0,7	0,7	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,9	2,3	2,7
800	0,8	0,9	1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,5	2,9	3,5

Neste caso, e como os valores são constantes para comprimentos de tela entre 10 e 16 metros, a potência – P_v – é de 0,5 Kw. No caso de os valores não corresponderem aos tabelados, é necessário interpolar para se obter o valor correto.

A potência para mover a rocha horizontalmente é obtida na Tabela 30.

Tabela 30 - Dimensionamento de telas transportadoras - Potência para mover a rocha (Manual de Aridos, 1994).

Capacidade (t/h)	Comprimento da correia (m)									
	10	16	25	40	63	80	100	125	200	250
40	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7
60	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9	1,1
100	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,7
160	0,7	0,7	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,7
200	0,9	0,9	1	1,2	1,5	1,8	2	2,4	2,9	3,3

Neste caso, como o valor da potência se encontra entre 0,4 e 0,5 Kw, é necessário interpolar. Assim, utiliza-se a Equação 9.

$$P_h = P_i + \left(\frac{(C_r - C_i) \times (P_s - P_i)}{C_s - C_i} \right)$$

Equação 9

Sendo que:

Ph – Potência horizontal (kw);

Pi – Potência inferior (kw);

Ps – Potência superior (kw);

Cr – Comprimento real (m);

Ci – Comprimento inferior (m);

Cs – Comprimento superior (m);

Assim, o valor da potência para mover a rocha horizontalmente é:

$$Ph = 0,4 + \left(\frac{(11,1 - 10) \times (0,5 - 0,4)}{16 - 11} \right) = 0,42 \text{ kw}$$

O cálculo da potência para elevar o material – Pe – e sabendo parâmetros como a capacidade da tela e também a altura de elevação, faz-se recorrendo à Tabela 31.

Tabela 31 - Dimensionamento de telas transportadoras. Potência para elevar o material (Manual de Aridos, 1994).

Capacidade (t/h)	Elevação (m)										
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50
40	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,2	2,7	3,4	4,4	5,5
60	0,8	1,0	1,3	1,7	2,1	2,7	3,4	4,3	5,4	6,8	8,5
100	1,3	1,6	2,1	2,7	3,2	4,3	5,4	6,3	8,6	10,9	13,6
160	2,1	2,7	3,4	4,4	5,5	6,9	8,7	10,9	13,7	17,4	21,8
200	2,7	3,4	4,3	5,4	6,8	8,6	10,9	13,6	17,2	21,8	27,2

A potência para elevar o material é de 1,3 kw.

Por fim, e retomando a Equação 8, é possível determinar a potência necessária para movimentar a tela.

$$Pt = 0,5 + 0,42 + 1,3 = 2,22 \text{ kw}$$

De seguida, apresenta-se a Tabela 32 com indicação dos valores dos parâmetros das restantes telas transportadoras presentes na instalação, calculados do mesmo modo da caso que se acaba de referir.

Tabela 32 - Características das telas transportadoras presentes na instalação.

Parâmetro		Uni.	Telas																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Largura da correia	mm	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
	Comprimento da correia	m	4,1	7,2	5,3	13,0	6,0	4,0	28,6	5,1	7,0	19,6	4,2	16,5	2,6	12,3	23,4	9,8	17,8
	Velocidade da Correia transportadora	m/s	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
	Peso Específico para Gravilhas secas	Kg/m ³	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
	Ângulo de Repouso (Masseira)	º	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Ângulo de Carga	º	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	Dimensão "X"	mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Capacidade de Carga a 1m/s e 1ton/m3	t/h	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
	Correção da capacidade	t/h	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
	Capacidade pretendida	t/h	100	100	68	100	85	15	100	100	67	100	67	67	98	2	98	3	95
	Ajuste da Velocidade da Correia	m/s	0,7	0,7	0,5	0,7	0,6	0,1	0,7	0,7	0,5	0,7	0,5	0,5	0,7	0,01	0,7	0,02	0,7
Potência (Pv)	Largura	mm	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
	Comprimento	m	4,1	7,2	5,3	13,0	6,0	4,0	28,6	5,1	7,0	19,6	4,2	16,5	2,6	12,3	23,4	9,8	17,8
Potência (Ph)	Correção da Potencia (Pv)	kw	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,62	0,50	0,50	0,54	0,50	0,50	0,50	0,50	0,58	0,50	0,52
	Capacidade	t/h	100	100	68	100	85	15	100	100	67	100	67	67	98	2	98	3	95
Potência (Pe)	Comprimento	m	4,1	7,2	5,3	13,0	6,0	4,0	28,6	5,1	7,0	19,6	4,2	16,5	2,6	12,3	23,4	9,8	17,8
	Correção da Potencia (Ph)	kw	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3	0,2	0,5	0,4	0,2	0,5	0,2	0,3	0,4	0,2	0,5	0,2	0,5
Potência (Pt)	Capacidade	t/h	100	100	68	100	85	15	100	100	67	100	67	67	98	2	98	3	95
	Elevação	m	0,0	2,0	3,0	4,0	3,5	0,0	10,0	2,7	0,5	3,0	1,9	1,0	0,0	3,7	2,0	4,8	10,2
Potência do motor a instalar	Correção da Potência (Pe)	kw	1,3	1,3	0,9	1,3	2,0	0,5	2,7	1,3	0,9	1,3	0,9	0,9	1,3	0,5	1,3	0,5	1,1
	Potência total necessária (Pt)	kw	2,2	2,2	1,6	2,2	2,8	1,2	3,8	2,2	1,6	2,3	1,6	1,7	2,2	1,2	2,3	1,2	2,1
	Potência do motor a instalar	kw	2,2	2,2	2,2	2,2	3	1,5	4	2,2	2,2	3	2,2	2,2	2,2	1,5	3	1,5	2,2

6.9. Separadores Magnéticos

A utilização da separação magnética tem como base a purificação do material a comercializar, libertando-o de componentes de características ferrosas que não são desejáveis nas indústrias que pretendem o produto final.

A contaminação de uma pasta cerâmica com material ferroso, por mais pequena que seja a percentagem, faz decrescer de forma substancial a qualidade do produto, logo, a remoção de todo e qualquer vestígio de material ferroso é crucial para a qualidade do produto final.

Assim, e tendo em conta as características dos diferentes tipos de matérias ferrosas, quer sejam eles paramagnéticos ou diamagnéticos, serão necessários dois estágios de separação magnética, com diferentes intensidades de modo a abranger todos os materiais com susceptibilidades magnética. O material irá sofrer, em primeira instância, uma separação magnética de baixa intensidade e, logo de seguida a separação magnética de alta intensidade.

i. Separador magnético de baixa intensidade

Com o intuito de separar os materiais de elevada susceptibilidade magnética é necessário utilizar um separador magnético de baixa intensidade, precisamente para libertar o segundo estágio de separação magnética, para que este seja aplicado nos materiais de menor susceptibilidade.

Assim, e tendo em conta da capacidade da instalação, de 100 t/h, o equipamento definido para a tarefa é um separador magnético de tambor da Eriez (Figura 50).

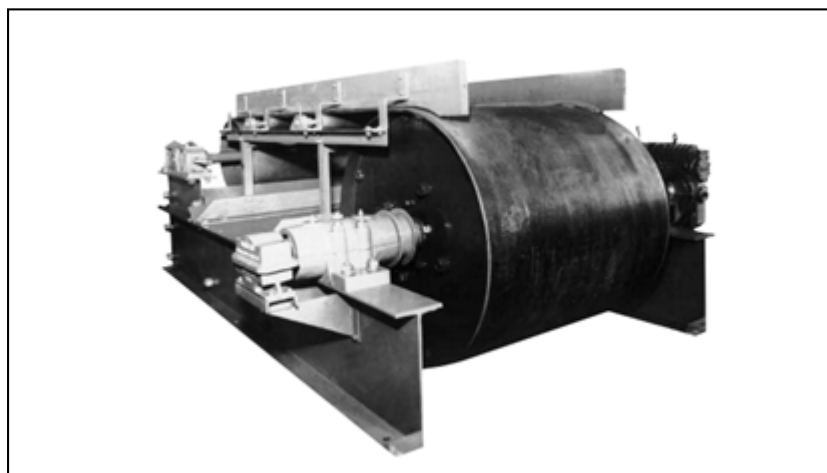


Figura 50 - Separador Magnético de baixa intensidade (<http://www.eriez.com>, 2014).

A escolha deste equipamento reside na facilidade de instalação e baixa manutenção que necessita, na medida em que se apresenta como uma tela transportadora com separação a ocorrer no tambor posterior.

Para as capacidades previstas na instalação será usado um rolo com diâmetro de 203 mm e com uma tela de transporte de material de 762 mm, a qual alcança a capacidade de 114 m³/h (Figura 51).

Pulley Diameter mm (Belt Speed)	Belt Width mm	Shipping Wt. Kg. Approx.	Capacity CU. Mtr. Per. Hr.	Face Width mm	Standard Hub Bore mm	Keyway In Shaft W. x Dp. x Lg. mm	Dimension X mm
203mm (43 MTR P.M.)	203	25	12.7	254	36.5	9.53 x 4.77 x 58	6
	254	32	16.4	305	36.5	9.53 x 4.77 x 58	6
	305	39	18.1	356	36.5	9.53 x 4.77 x 58	6
	356	43	22.6	406	36.5	9.53 x 4.77 x 58	6
	406	50	30.3	457	36.5	9.53 x 4.77 x 58	6
	457	57	38.8	508	36.5	9.53 x 4.77 x 58	6
	508	64	50	559	36.5	9.53 x 4.77 x 58	6
	610	75	68	660	36.5	9.53 x 4.77 x 58	6
	762	93	114	813	36.5	9.53 x 4.77 x 58	6
	914	114	161	965	36.5	9.53 x 4.77 x 58	6

Figura 51 - Características do equipamento selecionado (<http://www.eriez.com>, 2014).

Ao usar uma intensidade de 0,1 Tesla, ou seja, de 1000 Gauss, este equipamento apresenta boas condições de operacionalidade na separação dos materiais de maior susceptibilidades magnética.

ii. Separador magnético de Alta Intensidade

Após a primeira fase de separação dos materiais com maior susceptibilidades magnética, o material é encaminhado para a última fase de separação. Nesta fase, os materiais com granulometria inferior a 1 milímetro são abrangidos por um campo magnético superiores a 1,5 Tesla, ou seja, superiores a 15 000 Gauss.

Para tal, o equipamento selecionado é um separador magnético de carrocel da Metso (Figura 52). Este equipamento deve conter duas cabeças magnéticas por forma a dar resposta à capacidade pretendida de 100 t/h.

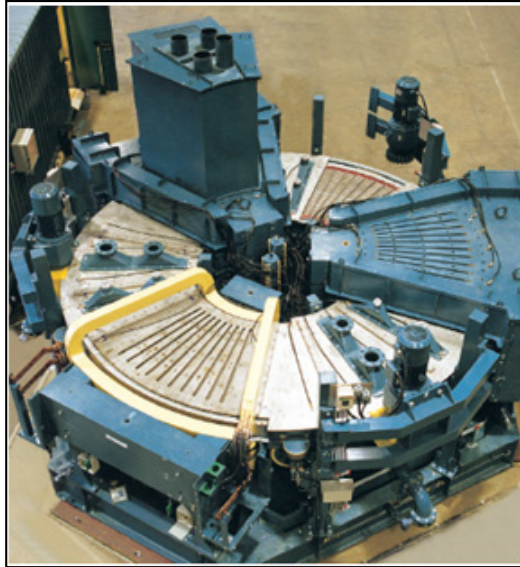


Figura 52 - Separador Magnético de alta intensidade (<http://www.metso.com>, 2014).

De acordo com o fornecedor, este equipamento está adaptado para funções semelhantes às pretendidas e apresenta elevado grau de eficiência, assim como um bom escoamento dos materiais não magnéticos. Apresenta ainda baixos consumos de energia, baixa manutenção devido aos longos ciclos de vida dos seus componentes.

Após a separação magnética, processo cujo rendimento ponderal estimado é superior a 90% o produto que originalmente apresenta teores em ferro de 0,9% passa a apresentar valores inferiores a 0,4% que não implica em nenhuma ocasião a aplicação nas indústrias do vidro e da cerâmica (Fernandes,2006).

6.10. Armazenamento

Após a separação magnética, o processo de beneficiamento do material feldspático está terminado, e como tal, o produto está pronto para ser comercializado. De acordo com a prática comum na indústria extrativa, está previsto que o material seja comercializado no modo 'Ex Works'. Como tal, o material será carregado em camiões do fornecedor para o seu transporte. No entanto, é possível que algum material seja colocado em Big Bags, de cerca de 1000 litros de capacidade, para melhor acondicionamento e manuseamento do material.

6.11. Alimentadores

Para que o abastecimento dos diferentes equipamentos seja efetuado de forma contínua e moderada, é necessário um equipamento que execute essas tarefas de forma eficaz. Os alimentadores, até como o próprio nome indica, têm como objetivo o fornecimento, de forma regular e suave, do material aos britadores e às correias de transporte.

Na instalação, a utilização dos alimentadores tem especial importância em duas fases do processo. Logo na fase inicial, na alimentação ao britador primário torna-se necessário um alimentador vibratório, seguidamente, a jusante do silo de stockagem de material, para que a retoma do fluxo do material seja o mais eficaz possível.

iii. Alimentador do britador primário

Para movimentar o material que alimenta o britador principal, o equipamento selecionado necessita de preencher determinados requisitos: desde logo a robustez, na medida em que o material que por ele passar abrange granulometrias altas causando grande desgaste ao nível dos impactos da descarga do material, depois porque necessita também de fazer uma pré-seleção dos materiais, evitando que os mais finos entrem no britador e causem desgaste maior do que o necessário.

Como tal, os alimentadores vibratórios da Metso apresentam-se como a solução mais vantajosa para as funções descritas, em resultado do seu baixo custo de aquisição, operação e manutenção, assim como a pré-classificação de finos (Figura 53).

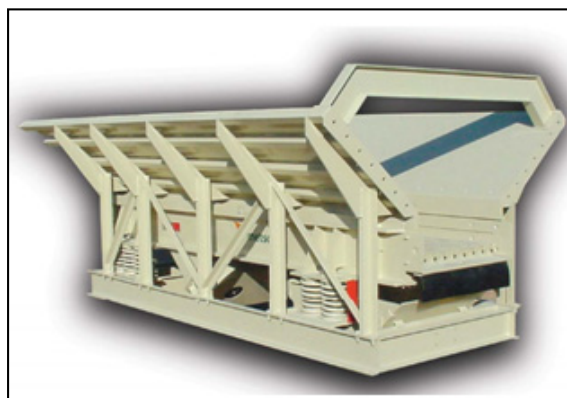


Figura 53 - Alimentador Vibratório MV (<http://www.metso.com>, 2014).

Dadas as capacidades previstas, o equipamento da gama mais baixa, com a designação técnica MV27070, reúne as características necessárias para as tarefas definidas.

iv. Calha vibratória para silo de stockagem

A stockagem intermédia, como já foi referida anteriormente, traz vantagens para a instalação bem como para os planos de produção. No entanto, o material armazenado não tem capacidade de entrar novamente no circuito por si só. Na verdade, sem um equipamento que utilizasse a vibração para movimentar o material, não seria possível evacuar o material do silo sem que o mesmo ficasse atolado.

Assim, e como os equipamentos mais indicados para este tipo de trabalho são as calhas vibratórias, uma vez que foram pensadas precisamente para estes casos específicos, a seleção de uma calha para a retoma do material no ciclo de produção torna-se imprescindível.

A calha mais indicada para o trabalho em questão, com uma capacidade horária de 100 t/h, é o modelo CV-1308 cujas capacidades vão ao encontro das previstas (Figura 54).



Figura 54 - Calha Vibratória CV (<http://www.metso.com>, 2014).

6.12. Potência Elétrica

Para o dimensionamento da potência eléctrica, a fornecer à instalação de tratamento, pode utilizar-se uma regra prática (ALLIS, 1994) que se baseia em três distintos critérios de cálculo, optando no final, pelo maior valor calculado. Assim, salvaguarda-se todas as hipóteses, seguindo a premissa da segurança.

Os critérios, nos quais devem assentar o dimensionamento da potência eléctrica, são os seguintes:

- 1) A capacidade da unidade eléctrica deve ser igual ou superior à soma das potências (Cv) de todos os motores utilizados na instalação, aumentando 25% a capacidade do maior motor. Como resultado obtém-se a potência requerida pela instalação (kVA);

2) Para o maior motor de arranque direto à plena tensão, deve-se multiplicar a respectiva potência por 5. O resultado obtido expressa a potência necessária a instalar (kVA);

3) Para o maior motor de arranque não direto, multiplicar a respectiva potência por 2,5. O resultado obtido expressa a potência necessária a instalar (kVA).

A Tabela 34 apresenta as características dos motores dos equipamentos presentes na instalação.

Tabela 33 - Cálculo de potência total da instalação. Lista de motores dos equipamentos.

Equipamento	Potência (hp)	Potência (kw)	Potência (cv)	Motores Nº	Tipo Arranque
Alimentador	5,0	3,7	5,0	2	direto
Britador primário	102,3	75,0	101,9	1	Não direto
Britador Secundário	122,7	90,0	122,3	1	Não direto
Britador Terciário	429,5	315,0	428,1	1	Não direto
Moinho	150,0	110,0	149,5	2	Não direto
Crivo 1	4,0	2,9	4,0	1	direto
Crivo 2	24,5	18,0	24,5	1	Não direto
Crivo 3	40,9	30,0	40,8	1	Não direto
Calha Vibratória	5,0	3,7	5,0	1	Direto
Tela 1	3,0	2,2	2,2	1	Direto
Tela 2	3,0	2,2	2,2	1	Direto
Tela 3	3,0	2,2	2,2	1	Direto
Tela 4	3,0	2,2	2,2	1	Direto
Tela 5	4,1	3,0	3,0	1	Direto
Tela 6	2,0	1,5	1,5	1	Direto
Tela 7	5,5	4,0	4,0	1	Direto
Tela 8	3,0	2,2	2,2	1	Direto
Tela 9	3,0	2,2	2,2	1	Direto
Tela 10	4,1	3,0	3,0	1	Direto
Tela 11	3,0	2,2	2,2	1	Direto
Tela 12	3,0	2,2	2,2	1	Direto
Tela 13	3,0	2,2	2,2	1	Direto
Tela 14	2,0	1,5	1,5	1	Direto
Tela 15	4,1	3,0	3,0	1	Direto
Tela 16	2,0	1,5	1,5	1	Direto
Tela 17	3,0	2,2	2,2	1	Direto
Sep. Magnético B.I.	136,4	100,0	135,9	1	Não direto
Sep. Magnético A.I.	354,5	260,0	353,4	1	Não direto
Iluminação	8,2	6,0	8,2	1	Direto
Escritórios	7,1	5,2	7,1	1	Direto
Armazéns	18,8	13,8	18,8	1	Direto
Oficinas	20,5	15,0	20,4	1	Direto

1º Critério – Soma das Potências

Para determinar a potência pelo primeiro critério é necessário utilizar a Equação 10.

$$PE_{total} = \sum P + (1,25 \times P_m)$$

Equação 10

Sendo que:

PE total – Potência elétrica total;

P – Potência de cada equipamento;

P_m – Potência do maior motor.

Assim, e segundo este critério, a potência total a instalar será:

$$PE_{total} = 883,5 + (1,25 \times 314) = 1275,92 \text{ kVA}$$

2º Critério – Maior motor de arranque direto

De modo a executar o cálculo da potência elétrica de acordo com o segundo critério é necessário utilizar a Equação 11.

$$PE_{total} = P_{nd} \times 5$$

Equação 11

Sendo que:

PE total – Potência elétrica total;

P_{nd} – Potência do maior motor de arranque direto.

Assim, e segundo este critério, o maior motor de arranque direto é o motor das oficinas, com 20,4 Cv.

Logo, a potência total a instalar será:

$$PE_{total} = 20,4 \times 5 = 102 \text{ kVA}$$

3º Critério – Maior motor de arranque não direto

Por fim, para calcular a potência elétrica segundo o terceiro critério é necessário utilizar a Equação 12.

$$PE_{total} = Pd \times 2,5$$

Equação 12

Sendo que:

PE total – Potência elétrica total;

Pd – Potência elétrica do maior motor de arranque não direto.

Assim, e segundo o terceiro e último critério, como o maior motor de arranque não direto é o motor do britador terciário, com 428,5 Cv, a potência total a instalar é:

$$PE_{total} = 428,5 \times 2,5 = 1071,5 \text{ kVA}$$

Por fim, e verificando os cálculos segundo os três critérios de dimensionamento das potências elétricas, o resultado com maior valor é o obtido com o primeiro critério, ou seja, de 1275,92 kVA.

Assim verifica-se que esta é a potência elétrica necessária para a instalação.

7. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA

O estudo da viabilidade económica do projeto de exploração é, sem sombra de dúvidas, um dos parâmetros mais importantes do presente trabalho.

O estudo económico do projeto deve assentar num leque de condicionalismos de natureza geológica e estrutural. A comprovação de um depósito de qualidade, susceptível de ser explorado com benefício para o investidor deve necessariamente ser analisado bem como as suas quantidades.

Para tal, são analisadas as sondagens que indicarão o volume de massa a explorar, assim como as suas características de modo a adotar o método de desmonte e processamento mais indicados e com o menor custo possível. Os valores de comercialização do produto final são de elevada importância para quantificar o proveito das vendas.

O parâmetro de maior importância para a análise económica do projeto será o investimento inicial. A aquisição dos terrenos para a exploração, assim como dos equipamentos para o processamento do material a extrair apresentam um custo inicial elevado que necessita de ser recuperado com segurança.

CUSTO DO INVESTIMENTO

Para a estrutura inicial, que colocará em andamento a produção do produto final será necessário o valor de de 1.345.000,00 euros, repartido pelos seguintes equipamentos (Tabela 34).

Tabela 34 - Custo dos equipamentos.

<i>Equipamento</i>	<i>Preço (€)</i>
Alimentador	50.000,00 €
Britador primário	200.000,00 €
Britador Secundário	125.000,00 €
Britador Terciário	150.000,00 €
2 Moinhos	100.000,00 €
Crivo 1	60.000,00 €
Crivo 2	60.000,00 €
Crivo 3	60.000,00 €
Calha Vibratória	40.000,00 €
Telas transportadoras	20.000,00 €
Sep. Magnético B.I.	100.000,00 €
Sep. Magnético A.I.	300.000,00 €
Gerador	80.000,00 €
Total	1 345.000,00 €

Os equipamentos de perfuração, carregamento e transporte do material também se inserem na análise dos custos de investimento e apresentam o valor de 640.000,00 euros (Tabela 35).

Tabela 35 - Custo dos equipamentos de perfuração e transporte de material

Equipamento	Qtd	Custo unitário	Custo
Dumpers	2	140.000,00 €	280.000,00 €
Giratória	1	190.000,00 €	190.000,00 €
Perfuradora	1	100.000,00 €	100.000,00 €
Pá carregadora	1	70.000,00 €	70.000,00 €
Custo total dos equipamentos			640.000,00 €

As instalações a construir, nomeadamente os escritórios, armazéns e oficinas de manutenção, com um custo previsto de 400 euros por metro quadrado, acumulam um custo total de 292.000,00 euros (Tabela 36).

Tabela 36 - Custo dos escritórios, armazéns e oficinas.

Instalação	Custo
Escritórios (150m²)	60.000,00 €
Armazéns (80m²)	32.000,00 €
Oficinas (500m²)	200.000,00 €
Total (730m²)	292.000,00 €

No que concerne à montagem dos equipamentos, bem como investimento em equipamento auxiliar cujos valores atingem habitualmente os 20% e 25% do investimento, respectivamente, é possível prever também o seu custo (Tabela 37).

Tabela 37 - Custo dos investimentos em montagens e equipamento auxiliar.

Instalação	Custo
Montagens	440.000,00 €
Equipamento auxiliar	555.000,00 €
Total	995.000,00€

Os projetos de licenciamento da exploração para os seis anos que se prevê durar o projeto tem um custo de aproximadamente 8% do investimento. Assim, o custo do projecto de licenciamento apresenta um valor de 180.000,00 euros.

Por fim, é possível calcular o valor do investimento inicial para arrancar com a instalação de tratamento dos materiais feldspáticos. Na Tabela 38 é possível observar o resumo dos investimentos a realizar.

Tabela 38 - Tabela do custo do Investimento.

	Custo (€)
Equipamentos Instalação	1.345.000,00 €
Equipamentos de Perfuração e Transporte	640.000,00 €
Instalações Edificadas	292.000,00 €
Montagens e Equipamento Auxiliar	995.000,00 €
Custo do Projecto e Licenciamento	180.000,00 €
Investimento Total	3.452.000,00 €

CUSTOS DIRECTOS

Os custos fixos, embora não seja possível determinar com exatidão os seus valores, é necessário prever, em valor médio, o seu impacto de modo a inserir na análise de viabilidade.

Assim, os custos diretos são conhecidos como os custos que estão diretamente ligados à produção, tais como a mão-de-obra, a energia, a água, manutenção, entre outros.

Energia

A energia apresenta um peso substancial nos custos variáveis da instalação. Uma vez conhecido o custo do kw/h é possível prever o custo relativo à energia (Tabela 39).

Tabela 39 - Custo da energia.

Custo anual da energia					
€/kw	kw/h	€/h	€/dia	€/mês	€/ano
0,147 €	1275,92	187,56 €	1.688,04 €	37.136,88 €	445.642,56 €

Mão-de-obra

Para calcular o custo de mão-de-obra que será integrado no processo produtivo e administrativo é necessário identificar os postos de trabalho e os custos relacionados com os benefícios salariais dos mesmos.

Assim, a Tabela 40 indica os diferentes postos de trabalho na instalação e os respectivos salários com encargos sociais incluídos.

Tabela 40 - Custos com a mão-de-obra.

Custo de mão-de-obra				
Postos	Nr	Custo unit	Custo total	Custo total anual
Direção	2	3.500,00 €	7.000,00 €	98.000,00 €
Engenheiro	1	2.200,00 €	2.200,00 €	30.800,00 €
Segurança no trabalho	1	1.600,00 €	1.600,00 €	22.400,00 €
Manutenção	2	1.600,00 €	3.200,00 €	44.800,00 €
Responsável central	1	1.000,00 €	1.000,00 €	14.000,00 €
Qualidade	1	1.300,00 €	1.300,00 €	18.200,00 €
Manobreadores	4	900,00 €	3.600,00 €	50.400,00 €
Administrativos	2	1.100,00 €	2.200,00 €	30.800,00 €
Guardas	3	900,00 €	2.700,00 €	37.800,00 €
Operários indiferenciados	5	900,00 €	4.500,00 €	63.000,00 €
Limpeza	1	550,00 €	550,00 €	7.700,00 €
				417.900,00 €
			Custo mão-de-obra anual	

Manutenção

A manutenção como departamento importante para todo o processo, na medida em que está qualificada para a reparação de qualquer quebra operacional dos equipamentos e também com as manutenções preventiva e preditivas. Em casos, como a presente instalação, cujos equipamentos envolvem quantias elevadas de aquisição, as manutenções apresentam um peso significativo, mas que é necessário para o normal funcionamento da instalação.

Assim, estima-se que o custo anual de manutenção dos equipamentos seja 10% do valor do investimento inicial (Equação13).

$$CustoManut\ enção = CustoInves\ timento \times 0,1$$

Assim, o custo previsto de manutenção será:

$$\text{Custo manutenção} = 3.452.000,00 \times 0,1 = 345.200,00 \text{ €}$$

No caso da instalação de processamento de feldspatos os custos da manutenção é estimado em 340 000 euros anuais.

Custos de produção:

Os custos inerentes ao processo produtivo são importantes para mensurar a margem de lucro do produto vendido. O cálculo do custo de produção entende-se como o custo necessário para produzir uma tonelada do produto final.

Tabela 41 - Custos mensais de produção da Instalação.

	Custo mensal (€)
Água	4.500,00 €
Energia	38.000,00 €
Mão-de-obra	36.000,00 €
Manutenção	50.000,00 €
Amortizações	45.000,00 €
Total	173.500,00 €

Para calcular o custo de produção de uma tonelada, recorre-se à Equação 14:

$$\text{CustoTonelada} = \frac{\text{CustoproduçãoMensal}}{\text{ToneladasproduzidasMês}}$$

Equação 14

Assim:

$$\frac{173.500,00 \text{ €}}{15.840 \text{ t}} = 10,95 \text{ €/t}$$

Os cálculos de produção são referentes apenas à central de beneficiamento. Logo, os custos relacionados com o desmonte e o transporte não entram na equação. O custo de produção de uma tonelada é de 10,95€.

Proveitos:

O preço de venda do produto final, com base no mercado nacional e internacional, cifra-se nos 75€/t “Ex-Works”. O termo “Ex-Works”, é um termo bastante utilizado neste tipo de indústria e não é mais do que o preço de venda do material sem incluir custos de transporte.

Resultados:

Através dos dados expostos anteriormente, com a exploração, tratamento e comercialização do material aplítico do cabeço da Argemela, é possível obter uma Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) de 66% e um período de retorno (PayBack) de 2 anos.

Na Figura 55 é possível acompanhar a evolução do negócio nos primeiros sete anos de exploração, verificando ainda que o retorno do investimento se verifica ao fim de dois anos de atividade.

Avaliação do Projecto / Empresa							
Na perspectiva do Projecto	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Free Cash Flow to Firm	-3.528.304	2.186.659	2.821.166	2.771.571	2.773.999	2.751.919	29.626.242
WACC	1,86%	6,27%	8,89%	10,91%	12,40%	13,34%	13,34%
Factor de actualização	1	1,063	1,157	1,283	1,443	1,635	1,853
Fluxos actualizados	-3.528.304	2.057.607	2.437.905	2.159.431	1.922.906	1.683.051	11.129.904
	-3.528.304	-1.470.697	967.208	3.126.638	5.049.544	6.732.595	17.862.499
Valor Actual Líquido (VAL)	17.862.499						
	#NUM!	-42%	17%	39%	49%	53%	66%
Taxa Interna de Rentabilidade	65,76%						

Figura 55 - Avaliação do negócio dos feldspatos nos primeiros 7 anos de actividade.

A folha de cálculo onde assenta a toda a análise de viabilidade económica é passível de consulta no Anexo XIV.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerações Finais

A partir do estudo realizado sobre o depósito, produção e mercado dos feldspatos, onde assentam algumas indústrias - cerâmica, vidro, entre outras – é possível tecer algumas considerações com base numa reflexão final acerca do material em causa, as técnicas a utilizar e a viabilidade do projeto.

Portugal possui recursos variados , com recursos suficientes para as necessidades internas de numerosos sectores industriais. No caso dos feldspatos, Portugal começa agora a competir com as indústrias de outros países, em termos de qualidade do produto final . Na primeira década do século XXI, as indústrias fizeram um esforço por se atualizar em termos de processos de produção, aumentando a competitividade do produto nacional e, como consequência, as importações começaram a cair e as exportações iniciaram um processo de evolução. Mesmo numa fase de recuperação de uma grave crise financeira, com repercussões diretas e indiretas nesta indústria, as previsões apontam para um contínuo crescimento da procura por estes materiais.

O dimensionamento do diagrama de produção proposto neste trabalho tem o seu fundamento na qualidade e dimensão do depósito, nos custos dos materiais nos mercados internacionais, e ainda, nas perspectivas de vendas, tendo em conta a média nacional. Não obstante, verifica-se que na região não existem indústrias similares, verificando-se que é ainda uma mais valia para o projecto. A localização favorece a exploração na medida em que se encontra também próximo da fronteira com Espanha, podendo tirar dividendos dessa proximidade e, também, do facto das exportações sofrerem um aumento nos últimos anos.

O depósito aplítico do Cabeço da Argemela apresenta uma qualidade singular para este tipo de depósitos, com ligeiras caulinizções do material devido interseções de diaclases e consequente percolação de água. A exploração far-se-á no sentido NE-SW, em flanco de encosta, em todo o afloramento do aplito, passando depois para a técnica de exploração em corta até alcançar a totalidade do depósito.

A instalação iniciará o seu funcionamento com uma capacidade de 100 t/h, mas com alguma flexibilidade, por forma a se adaptar às variações da procura, caso seja necessário.

O depósito apresenta uma homogeneidade significativa, com ligeiras variações nos contaminantes, mas que permitirá uma excelência do produto final de forma constante. Não obstante, um rigoroso controlo de qualidade torna-se necessário com vista à não desvalorização do produto, por perda de homogeneidade.

Do ponto de vista económico, a viabilidade de um projecto de avultado investimento como o que se apresentou torna-se necessária e, como tal, a verificação de indicadores de previsão do negócio a longo prazo é de igual modo importante.

Considerações Finais

Para que um determinado projeto seja dado como viável, indicadores como o valor atual líquido (VAL), a taxa interna de rentabilidade (TIR) e o retorno do investimento (Payback) têm de apresentar valores que se considerem atrativos para os investidores.

No presente caso, com o investimento inicial total a rondar os 4,5 milhões de euros, a ser suportado na sua totalidade por empréstimo bancário, um retorno do investimento em dois anos é algo que representa uma mais valia para o projecto. Não obstante, a taxa interna de rentabilidade de 66% e um valor actual líquido de 17.862.000,00 € indicam claramente que o projecto é viavel e com margens de lucro claras e de substancial valor.

De referir ainda que toda esta análise assenta na perspectiva única de comercialização nacional. No entanto, com a presente qualidade do material, capaz de competir com os produtores internacionais, e ainda com uma localização próxima de fronteira com Espanha, é possível aferir que entrando no mercado internacional o potencial deste projecto é ainda maior. Assim, este projecto apresenta claramente uma mais valia, não apenas do ponto de vista técnico, mas também do ponto de vista económico.

9. BIBLIOGRAFIA

- Ariffin, K.S., 2003. Feldspathic minerals. EBS 425/3- Mineral Perindustrian, 16 p.
- Azevedo, M.R., Aguado, B., Nolan, J., Martins M., Medina J., 2005. Origin and emplacement of syn-orogenic Variscan granitoids in Iberia - the Beiras massif. In: Carosi R., Dias R., Lacopini D., Rosenbaum G. (Eds.), The southern Variscan belt, Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition, 19, Paper 7.
- Barbalho, B.C., 2012. Flotação por ar dissolvido para os minerais quartzo e feldspato utilizando coletores catiônicos. Dissertação em Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal 86 p. (Tese de Mestrado).
- Bhavan, M., 2007. Potash Feldspar and Soda Feldspar For Glass and Ceramic Industry – Specification. Bureau of Indian Standards, Ceramicware Sectional Committee, CHD9-June. 18 p.
- Coelho, J.M., 2009. Projecto de assistência técnica ao sector de energia. Produto 28. Outras rochas e minerais. Relatório técnico 45. Perfil do Feldspato. JMendo Consultoria, 52 p.
- Consultores Visa, 2004. Estudo de Impacto Ambiental do Projecto de Exploração Mineira de Feldspato para a Indústria Cerâmica em Dornelas – Covas de Barroso “Mina do Barroso”. Resumo Não Técnico Reformulado, 21 p..
- Cotelo Neiva, J.M, Ribeiro, A., Mendes Victor, Noronha, F., Magalhães Ramalho, 2010. Geologia Aplicada. Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e a sua história. Volume II, 61 p.
- Faço, 1994. Manual de britagem da Faço. São Paulo: Allis Mineral Systems.
- Fernandes J.A., 2006. Depósitos de quartzo e de feldspatos em Portugal: prospecção, caracterização, beneficiação e avaliação de potencialidades. Universidade de Aveiro. 365 p. (Tese de Doutoramento).
- Freitas, J., Argentin, P., 2010. K-Feldspatos. Unicamp, 20 p.
- Glover, A., Rogers, W.Z. & Barton, J.E, 2012. Granitic Pegmatites: Storehouse of Industrial Minerals. Elements Volume 8 (Nº 4/Agosto 2012), 273 p.
- Hacifazlioglu, H., Kursun, I. & Terzi, M., 2012. Beneficiation of Low Grade Feldspar Ore Using Cyclojet Flotation Cell, Conventional Cell and Magnetic Separator. Physicochemical Problems of Mineral Processing. 48 (2), pp. 381-392.
- Harben, P.W., 2002. Feldspar. In: The Industrial Minerals HandyBook – A Guide to Markets, Specifications, & Prices, 4th Edition, pp.124-129.
- Jaques Ribeiro, L.M. & Gonçalves, A.C.R., 2013. Contributo Para o Conhecimento Geológico e Geomorfológico da Área Envolvente do Couto Mineiro da Panasqueira. Revista de Geografia e Ordenamento do Território, (3) Junho. Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, pp 93-116.
- Kyonka, J.C. & Cook, R.L., 2007. The properties of Feldspar and Their use in Whitewares. University of Illinois Bulletin, Engineering Experiment Station Bulletin, Nº 422, 35 p.
- Luz, A.B., & Coelho, J.M., 2005. Rochas & minerais industriais. Usos e especificações. Feldspato. Capítulo 19 (Novembro 2005), pp.413-429.
- Manual de áridos, ITGE Minas de Madrid, 1994. ITGE Minas de Madrid.
- Mcketta, J.J., 1994. Encyclopedia of Chemical processing and Design Vol 49. Marcel Dekker Inc, 519 p.
- Michael J Potter. Feldspars. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, pp. 451-460.

Bibliografia

Mitchel, C.J. & Evans, E.J., 1997. Mineral Processin And Mine Quarry Waste. British Geological Survey, Nottingham, UK, 9 p.

Moura, A. Casal et al, 2006. Boletim de minas Volume 41(Nº2 / segundo semestre)Direção geral de Geologia e Energia, 257 p.

Amarante, M.A., Botelho de Sousa, A. e Machado Leite, M., 1997. Beneficiation of a feldspar ore for application in the ceramic industry. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. (Julho/Agosto) pp. 193-196.

Obstler, M., 2001. Out of the earth Into the fire. 2nd Edition, Robina Simpson , p 246.

Pinho-Tavares, S., Castañeda, C. & Pedrosa-Soares, A.C., 2005. A Importância da Caracterização Química e Mineralógica do Feldspato para a sua Utilização na Indústria Cerâmica e Vidreira. Cerâmica Industrial. Volume 10 (4) Julho/Agosto de 2005, 27 p.

Pita, F.A.G., 2004. Disciplina de Concentração e Diagramas. Departamento De Ciências da Terra. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 192 p.

Ramos J.M.F., Bravo Silva P., Neiva A.M.R., Gomes E.P. ,2006. Evolução Geoquímica de Pegmatitos LCT da Região centro de Portugal no sentido de enriquecimento de lepidolite. VII congresso Nacional de Geologia, pp. 1193-1198.

Rawlings, R.D.; Wu, J.P. e Boccaccini, A.R., 2006. Glass ceramics: Their production from wastes. Journal of Materials Science, Vol 41, Issue 3, pp. 733-761.

Redeker, I.H., 1981. Flotation of Feldspar, Spodumene, Quartz and Mica from pegmatites in North Carolina, USA, 17 p.

Roy, A., Singh, S.K., Banerjee P.C., Dana K. & Kumar S., 2010. Bio-beneficiation of kaolin and feldspar and its effect on fired characteristics of triaxial porcelain. Bulletin of Materials Science, Vol. 33, No. 3, pp 333-338. (doi: 10.1007/s12034-010-0051-7).

Svoboda, J., 2004. Magnetic Techniques for the Treatment of Materials. Kluwer Academic Publishers, 641 p.

Teixeira, C., 1981. Geologia de Portugal. Vol I – Precâmbrico, Paleozoico. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 629 p.

Teixeira, T., Gomes, A., Martins Carvalho, J. & Chaminé, H.I., 2009. Cartografia hidrogeomorfológica aplicada à gestão sustentável dos recursos Hídricos Subterrâneos: Exemplos de áreas Graníticas no Norte e Centro de Portugal. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Volume VI, APGEOM, Braga, 2009, pp 231-236.

Vlach, S.R.F., 2002. A Classe dos Tectossilicatos: Guia geral da teoria e exercícios. Revista do Instituto de Geociências – USP. 49 p.

Bibliografia

Websites:

<http://mineral.eng.usm.my/web%20halaman%20mineral/Feldspar.pdf>, acedido em 17-07-2014;

<http://www.metso.com/> acedido em 25-08-2014;

<http://www.puritanmagnetics.com/1/magnet/index.asp>, acedido em 10-09-2014;

<http://www.eriez.com/>, acedido em 10-09-2014;

<http://www.dsmjaw.com/>, acedido em 10-09-2014;

<http://www.sandvik.com/en/>, acedido em 25-08-2014;

http://www.ima-europe.eu/sites/ima-europe.eu/files/minerals/Feldspar_An-WEB-2011.pdf, acedido em 17-17-2014;

<http://www.lneg.pt/>, acedido em 02-08-2014.

10. ANEXOS

Anexo I – Características do Britador de maxilas Serie C

Anexo II - Características do Britador de cónico serie HP

Anexo III - Características do moinho de rolro HRC 800

Anexo IV – Dimensionamento do primeiro crivo. Tabelas.

Anexo V – Características do peneiro M

Anexo VI – Dimensionamento do segundo crivo. Tabelas

Anexo VII – Dimensionamento do terceiro crivo. Tabelas

Anexo VIII – Características do alimentador vibratório MV

Anexo IX – Características da calha vibratória Linha CV

Anexo X – Características do separador magnético de tambor

Anexo XI – Características do Separador magnético de Carrocel

Anexo XII – Alçados da instalação de processamento.

Anexo XIII – Folha de cálculo da Análise da Viabilidade economica

ANEXO I – Características do Britador de mandíbulas Nordberg Série C

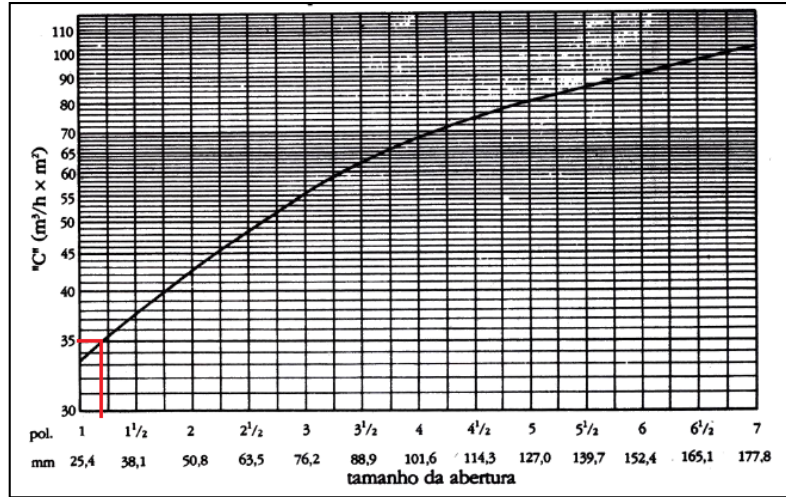
ANEXO II – Características dos Britadores Cónicos Nordberg Série HP

ANEXO II – Características do moinhos de rolos Metso Serie HRC 800

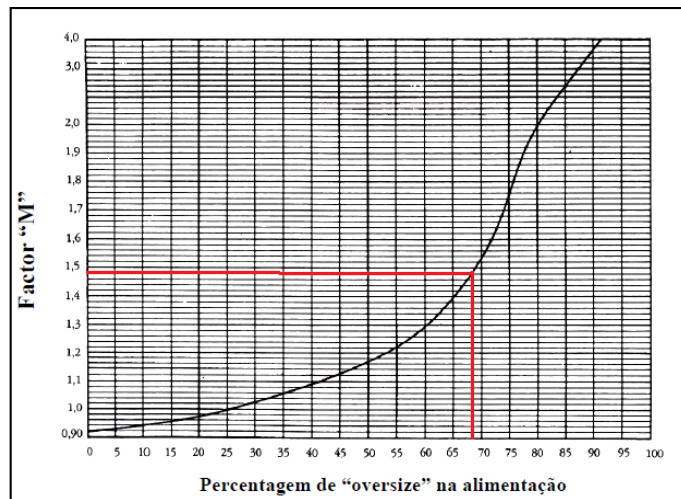
ANEXO IV - Dimensionamento do primeiro crivo

Área do crivo

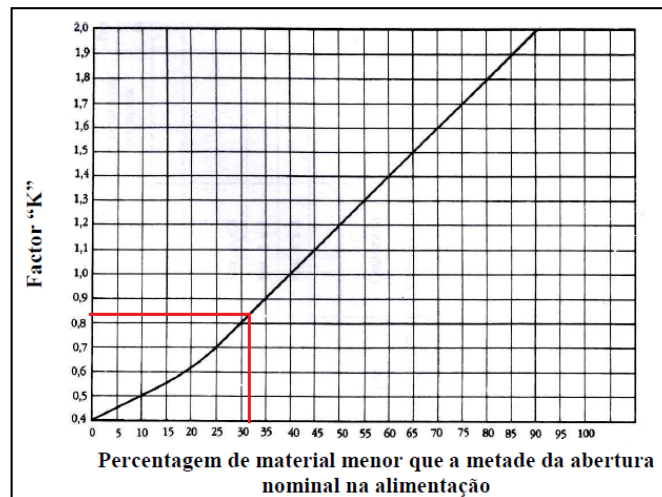
Factor C:



Factor M:



Factor K:



Factor Q;

Q	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
Factor de correcção	Tipo de abertura da superfície de crivagem	Forma da partícula	Crivagem via húmida (abertura pol.)	% de humidade superfície (crivagem a seco)	Área efectiva de crivagem	% da área aberta da tela
1,40			Nº 35 – ¼"			70,0
1,30			¼" – ½"			65,0
1,25	Rect. 4x1		½" –			62,5
1,20	Rect. 3x1		– 1 ½"			60,0
1,15	Rect. 2x1		1 ½" –			57,5
1,10			–			55,0
1,00	Quadrada	Cúbica	Crivagem via seca ou > 3"	Menos que 3% ou crivagem via húmida		50,0
0,90		Lamelar			"Deck" superior	45,0
0,85				3% a 6%		42,5
0,80	Redonda				Segundo "deck"	40,0
0,75				6% a 9%		37,5
0,70					Terceiro "deck"	35,0
0,60						30,0
0,50						25,0

Largura Crivo:

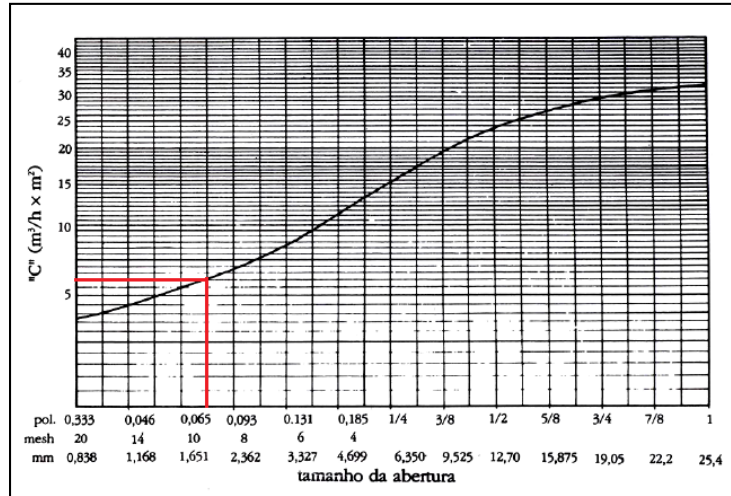
Factor velocidade material:

Factor de velocidade do material					
Tipo de peneira	Inclinada			Horizontal	
Modelo	Não "Standard"	"Standard"		"Standard"	
Abertura da tela (")	> 1	> 1	< 1	> 1	< 1
Rotação do motor (rpm)	750	800	800	800	800
Factor de velocidade (m/min)	38	38	30	12	12

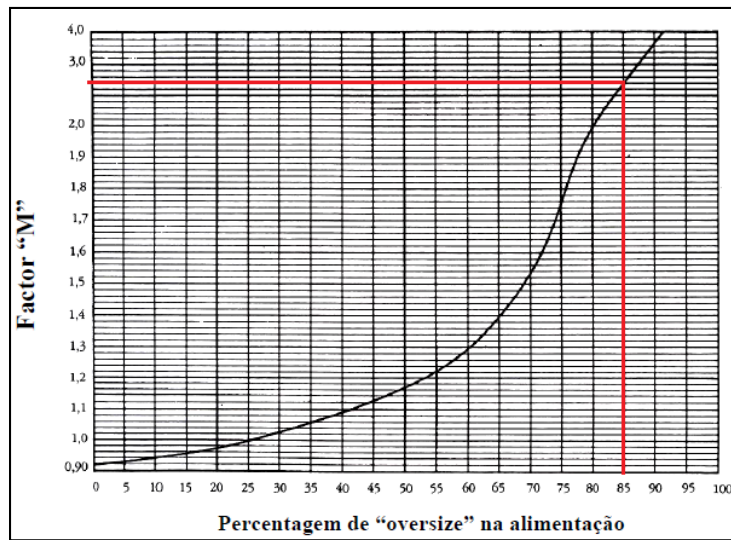
ANEXO V – Características do peneiro M

ANEXO VI - Dimensionamento do Segundo Crivo.

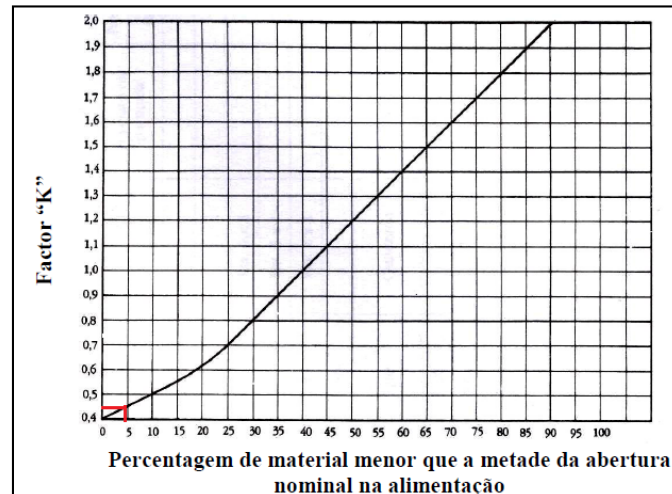
Factor C:



Factor M:



Factor K:



Factor Q:

Malha (pol.)	Tipo leve			Tipo "standard"			Tipo pesado		
	Fio	Peso da tela	Abertura livre	Fio	Peso da tela	Abertura livre	Fio	Peso da tela	Abertura livre
	Pol.	Kg/m ²	%	Pol.	Kg/m ²	%	Pol.	Kg/m ²	%
1/8	0,054	6,0	45	0,072	8,9	40	0,092	15,1	29
3/16	0,080	7,6	51	0,092	10,2	45	0,120	16,0	38
¼	0,105	9,8	49	0,120	13,1	46	0,135	16,4	40
5/16	0,120	11,4	52	0,135	13,5	49	0,148	16,4	46
3/8	0,135	12,5	53	0,148	14,0	51	0,162	15,8	47
7/16	0,148	13,2	55	0,162	14,6	53	0,177	17,8	50
½	0,162	13,9	57	0,177	15,4	54	0,192	18,6	52
5/8	0,177	12,5	62	0,192	14,8	58	0,225	20,0	56
¾	0,192	13,2	64	0,207	14,7	61	0,250	26,0	56
7/8	0,207	13,0	65	0,225	15,3	63	0,250	18,6	59
1	0,225	14,8	66	0,250	16,4	64	0,3125	26,5	57
1 1/8	0,225	13,6	69	0,250	14,9	67	0,3125	24,0	61
1 ¼	0,250	13,4	70	0,3125	20,5	64	0,375	30,0	60
1 3/8	0,250	12,6	72	0,3125	18,9	66	0,375	29,0	62
1 ½	0,250	12,0	73	0,3125	17,6	68	0,375	28,0	63
1 ¾	0,3125	16,7	73	0,375	21,6	68	0,4375	28,0	64
2	0,3125	15,2	74	0,375	18,8	70	0,4375	25,0	67
2 ¼	0,375	17,5	74	0,4375	23,2	70	0,500	28,0	68
2 ½	0,375	16,8	76	0,4375	21,2	72	0,500	27,0	70
2 ¾	0,375	16,8	78	0,4375	19,5	74	0,500	24,0	72
3	0,4375	20,0	76	0,500	23,2	73	0,625	33,0	68

Q	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
Factor de correcção	Tipo de abertura da superfície de crivagem	Forma da partícula	Crivagem via húmida (abertura pol.)	% de humidade superfície (crivagem a seco)	Área efectiva de crivagem	% da área aberta da tela
1,40			Nº 35 - ¼"			70,0
1,30			¼" - ½"			65,0
1,25	Rect. 4x1		½" -			62,5
1,20	Rect. 3x1		- 1 ½"			60,0
1,15	Rect. 2x1		1 ½" -			57,5
1,10			-			55,0
1,00	Quadrada	Cúbica	Crivagem via seca ou > 3"	Menos que 3% ou crivagem via húmida		50,0
0,90		Lamelar			"Deck" superior	45,0
0,85				3% a 6%		42,5
0,80	Redonda				Segundo "deck"	40,0
0,75				6% a 9%		37,5
0,70					Terceiro "deck"	35,0
0,60						30,0
0,50						25,0

Largura Crivo:

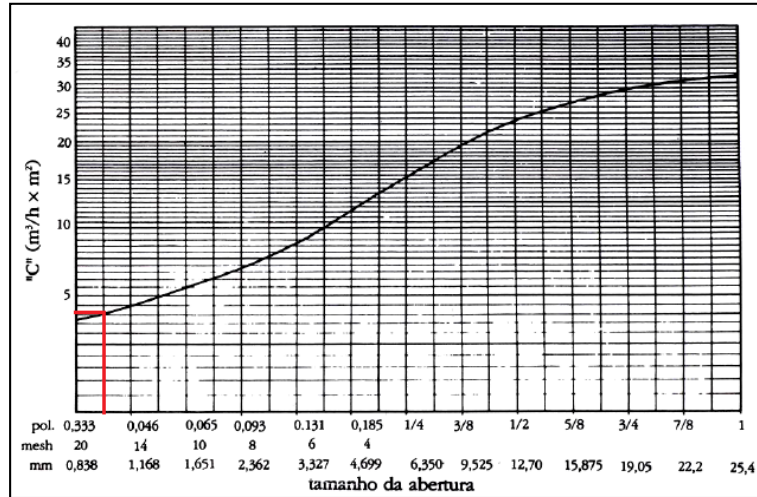
Factor de Velocidade do Material:

Factor de velocidade do material					
Tipo de peneira	Inclinada			Horizontal	
Modelo	Não "Standard"	"Standard"		"Standard"	
Abertura da tela (")	> 1	> 1	< 1	> 1	< 1
Rotação do motor (rpm)	750	800	800	800	800
Factor de velocidade (m/min)	38	38	30	12	12

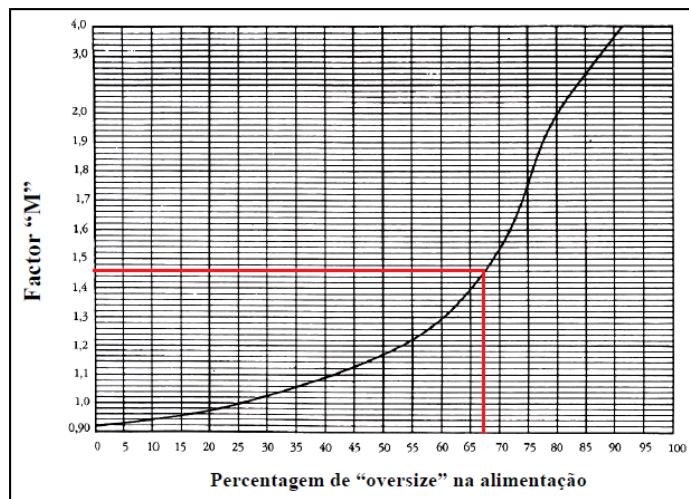
ANEXO VII - Dimensionamento do terceiro crivo

Área do Crivo

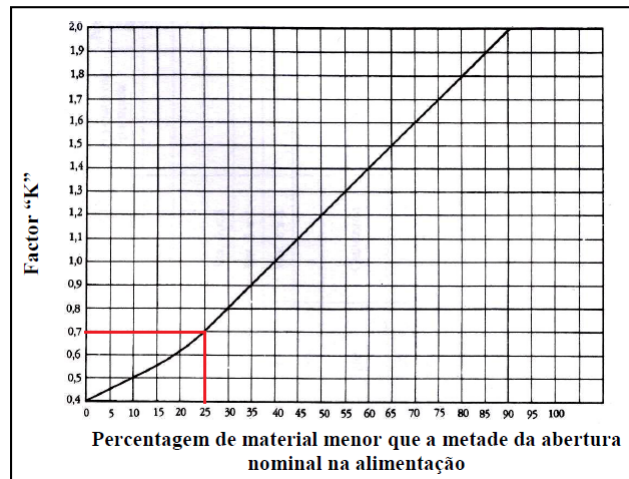
Factor C



Factor M



Factor K



Factor Q

Malha (pol.)	Tipo leve			Tipo "standard"			Tipo pesado		
	Fio	Peso da tela	Abertura livre	Fio	Peso da tela	Abertura livre	Fio	Peso da tela	Abertura livre
	Pol.	Kg/m ²	%	Pol.	Kg/m ²	%	Pol.	Kg/m ²	%
1/8	0,054	6,0	45	0,072	8,9	40	0,092	15,1	29
3/16	0,080	7,6	51	0,092	10,2	45	0,120	16,0	38
¼	0,105	9,8	49	0,120	13,1	46	0,135	16,4	40
5/16	0,120	11,4	52	0,135	13,5	49	0,148	16,4	46
3/8	0,135	12,5	53	0,148	14,0	51	0,162	15,8	47
7/16	0,148	13,2	55	0,162	14,6	53	0,177	17,8	50
½	0,162	13,9	57	0,177	15,4	54	0,192	18,6	52
5/8	0,177	12,5	62	0,192	14,8	58	0,225	20,0	56
¾	0,192	13,2	64	0,207	14,7	61	0,250	26,0	56
7/8	0,207	13,0	65	0,225	15,3	63	0,250	18,6	59
1	0,225	14,8	66	0,250	16,4	64	0,3125	26,5	57
1 1/8	0,225	13,6	69	0,250	14,9	67	0,3125	24,0	61
1 ¼	0,250	13,4	70	0,3125	20,5	64	0,375	30,0	60
1 3/8	0,250	12,6	72	0,3125	18,9	66	0,375	29,0	62
1 ½	0,250	12,0	73	0,3125	17,6	68	0,375	28,0	63
1 ¾	0,3125	16,7	73	0,375	21,6	68	0,4375	28,0	64
2	0,3125	15,2	74	0,375	18,8	70	0,4375	25,0	67
2 ¼	0,375	17,5	74	0,4375	23,2	70	0,500	28,0	68
2 ½	0,375	16,8	76	0,4375	21,2	72	0,500	27,0	70
2 ¾	0,375	16,8	78	0,4375	19,5	74	0,500	24,0	72
3	0,4375	20,0	76	0,500	23,2	73	0,625	33,0	68

Largura do crivo

Factor de velocidade do material

Q	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
Factor de correcção	Tipo de abertura da superfície de crivagem	Forma da partícula	Crivagem via húmida (abertura pol.)	% de humidade superfície (crivagem a seco)	Área efectiva de crivagem	% da área aberta da tela
1,40			Nº 35 – ¼"			70,0
1,30			¼" – ½"			65,0
1,25	Rect. 4x1		½" –			62,5
1,20	Rect. 3x1		– 1 ½"			60,0
1,15	Rect. 2x1		1 ½" –			57,5
1,10			–			55,0
1,00	Quadrada	Cúbica	Crivagem via seca ou > 3"	Menos que 3% ou crivagem via húmida		50,0
0,90		Lamelar			"Deck" superior	45,0
0,85				3% a 6%		42,5
0,80	Redonda				Segundo "deck"	40,0
0,75				6% a 9%		37,5
0,70					Terceiro "deck"	35,0
0,60						30,0
0,50						25,0

ANEXO VIII – Características do alimentador vibratório MV

ANEXO IX – Características da Calha vibratória Linha CV

ANEXO X – Características do Separador Magnético de Tambor

ANEXO XI – Características do Separador magnético de Carrocel

ANEXO XII – Alçados da instalação de tratamento do material

ANEXO XIII – Folha de cálculo da análise de viabilidade económica