

Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-ambiente

Resíduos da Extração e Transformação de Mármore - O Problema e Contributos para a Solução

Tiago de Campos Quirino dos Santos Ferreira

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DE MINAS E GEO-AMBIENTE

Orientador: Professor Doutor Alexandre Júlio Machado Leite (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Coorientador: Professor Doutor Ruben Sílvio Varela Santos Martins (Universidade de Évora - Departamento de Geociências)

Arguente: Professor Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes (Instituto Superior de Engenharia do Porto)

Presidente do Júri: Professora Doutora Aurora Magalhães Futuro da Silva (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)



Departamento de Engenharia de Minas

Porto, Outubro 2018

Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-ambiente 2017/2018

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Tel. + 351 225 081 960

Editado por

Faculdade de Engenharia da Universidade do porto

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 Porto

Portugal

Tel. + 351 22 508 1400

Fax + 351 22 508 1140

E-mail feup@fe.up.pt

Website <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente - 2017/2018 - Departamento de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir da versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Agradecimentos

A entrega desta dissertação representa o culminar de uma importante fase a nível académico, mas também marcante a nível pessoal. Para que tal se tornasse realidade, várias pessoas, direta ou indiretamente, deram o seu contributo. A essas gostaria de expressar o meu mais sincero agradecimento.

Aos meus orientadores, Professor Alexandre Leite e ao Professor Ruben Martins, agradeço toda a disponibilidade, colaboração, empenho, exigência, críticas e sugestões ao longo da realização deste trabalho sem os quais não seria possível a sua concretização.

Aos professores do DEM-FEUP, estarei eternamente grato por terem contribuído de uma forma ou de outra, para o meu sucesso académico, com a vossa partilha constante de conhecimentos e os incentivos ao longo destes anos todos. Um forte abraço.

À empresa ANTÓNIO GALEGO & FILHOS - Mármore S.A. e ao Sr. António Galego, agradeço a disponibilidade dos dados cedidos e a possibilidade que me proporcionou de acompanhar todos os processos de extração e transformação inerentes à realização deste trabalho.

Agradeço também a todos os colaboradores que me acompanharam durante a minha estadia para elaboração deste trabalho, especialmente ao Engenheiro Rui Sardinha, Sr. Bilro e ao Sr. Giraldo, cuja experiência, conhecimento e apoio foram fundamentais.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas, com quem tive oportunidade de trabalhar ao longo do percurso académico e com os quais tive o prazer de partilhar bons e únicos momentos. Um agradecimento especial ao Nicolau Osório e ao Rui Resende, que me acolheram logo no início do curso e com quem hoje considero grandes e verdadeiros amigos, obrigado pela vossa amizade e companheirismo, por estarem sempre presentes nos bons e maus momentos.

Um abraço aos meus colegas de Dissertação DEM-FEUP, que partilharam comigo ao longo deste processo, momentos únicos e de muito trabalho. Em especial ao António Rodrigues, que nos últimos meses tem sido um grande companheiro das Jornadas GEM-FEUP e inclusive no estágio de verão na SOMINCOR.

Aos meus pais, um agradecimento especial pelo investimento feito em mim o que me permitiu obter esta formação assim como todo o seu amor, paciência e carinho. Obrigado por acreditarem em mim, estarei eternamente grato. À minha irmã pela ajuda constante e por me ter dado muita força apesar de estar distante, mas sempre presente.

À minha querida avó, que tem sido uma fonte de inspiração constante, que me acolheu quando me mudei para Portugal para seguir o sonho académico e contribuindo de forma decisiva para o meu crescimento pessoal, dedico esta dissertação, com a esperança que se mantenha, ao longo da minha vida pessoal e profissional, sempre orgulhosa de mim.

Resumo

A indústria extrativa e transformadora de rocha ornamental é uma atividade com alguma expressão na economia portuguesa sendo cada vez mais reconhecida internacionalmente levando a que a maior parte da sua produção seja canalizada para a exportação. Este sector torna particular importância na economia local, nas regiões onde se desenvolve e é importante para a economia portuguesa e para o resto do mundo. Contudo, este sector industrial gera frequentemente impactos ambientais significativos.

Os avanços tecnológicos na exploração de pedreiras fizeram com que houvesse maiores rendimentos e melhores aproveitamentos, que faz com que se desmonte grandes quantidades de pedra em muito menor tempo, para além de que, os avanços tecnológicos permitem desmontes de massas sem valor ornamental para se poder ter acesso a zonas com interesse ornamental, tendo em conta que esses blocos não criam blocos impuros, mas sim escombros. Como o conhecimento que hoje há e a tecnologia presente é possível a extração de blocos de melhor qualidade e por isso mais valiosos. Os resíduos que são produzidos durante o processo de extração podem chegar ou até ultrapassar valores que rondam os 80% do volume total de rocha extraída.

O problema dos resíduos resultantes da extração e transformação de mármore são conhecidos e representam um passivo ambiental de grande dimensão, nomeadamente na região do Anticlinal de Estremoz. Este material é transportado e disposto em locais adjacentes à frente de desmonte ou perto do poço de exploração, contribuindo assim para a degradação do ambiente e da paisagem natural provocando alterações acentuadas na topografia original.

A indústria de construção pode usar rejeitados de mármore para várias finalidades sem ser o de rocha ornamental. O pó de mármore (mais conhecido como “natas”, é uma mistura de água e finas partículas produzidas pelo processo de corte e polimento da pedra) é a alternativa mais amplamente estudada tendo em conta a sua versatilidade.

Na campanha experimental que culminou nesta dissertação, foi realizada a quantificação de rejeitados de mármore numa unidade de extração e noutra de transformação. Dando uma particular atenção aos diferentes processos produtivos em cada um dos subsectores, extrativo e transformador.

Palavras Chave: Resíduos de rocha, Mármore, Rocha Ornamental, Estremoz.

Abstract

The extractive and ornamental rock processing industry is an activity with some expression in the Portuguese economy and it has increasingly been recognized internationally, leading most of its production to be channeled for exportation. This sector is particularly important in the local economy and in the regions where it is developed. And it has been relevant for years for the Portuguese economy and for the rest of the world. However, this industrial sector often produces significant environmental impacts and a lot of waste.

Technological advances in the exploitation of quarries have led to higher yields and better utilization, which makes it necessary to disassemble large quantities of stone in a much shorter time, in addition to that technological advances allow dismantling of masses without ornamental value to be able have access to areas of ornamental interest, bearing in mind that these blocks do not create impure blocks, but rather debris and waste. As today's knowledge and technology, it is possible to extract blocks of better quality and therefore more valuable. Residues that are produced during the extraction process can reach or exceed values that are around 80% of the total volume of extracted rock.

The problem of waste resulting from the extraction and transformation of marble is known and represents a major environmental liability, particularly in the Estremoz Anticlinal region. This material is transported and disposed in locations adjacent to the demolition front or near the exploration well, thus contributing to the degradation of the environment and the natural landscape causing dramatic changes in the original topography.

The construction industry can use marble scrap for various purposes other than ornamental rock. Marble powder (better known as "natas", a mixture of water and fine particles produced by the process of cutting and polishing the stone) is the most widely studied alternative considering its versatility.

In the experimental campaign that culminated in this dissertation, the quantification of marble production was carried out in one extraction unit and another in the transformation unit. Paying attention to the different productive processes in each of the subsectors, extractive and transforming.

Key words: Rock waste, Marble, Ornamental rock, Estremoz

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Considerações gerais	1
1.2	Contextualização do trabalho	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Geral	2
1.3.2	Específicos	2
1.4	Metodologia	2
1.4.1	Trabalho de Campo	3
1.5	Organização da Tese	4
1.6	Área de Estudo	5
1.6.1	Enquadramento geográfico.....	5
1.6.2	Enquadramento geológico	6
1.6.3	Geologia Regional	7
1.6.4	Geologia Local	7
2	Breve Caracterização do Setor	9
2.1	Distribuição da Rocha Ornamental em Portugal	10
2.2	Produção de Rocha Ornamental.....	11
2.3	Portugal no Mercado Mundial de Rocha Ornamental	13
2.4	Processo Produtivo e Produtos	16
3	Caracterização do Processo Produtivo.....	17
3.1	Extração do Mármore	17
3.1.1	Tipos de Extração	17
3.1.2	Fluxograma do Processo Extrativo	18
3.2	Transformação do Mármore.....	21
3.2.1	Faseamento da Transformação de Mármore	22
4	Caracterização dos resíduos de mármore	29
4.1	Introdução.....	29

4.2	Produção de resíduos de rocha ornamental	30
4.3	Resíduos do ciclo produtivo de extração	31
4.3.1	Terras de cobertura	31
4.3.2	Massa mineral rejeitada ou escombro.....	32
4.3.3	Poeiras	32
4.3.1	Lamas	32
4.4	Resíduos do ciclo produtivo de transformação.....	33
4.5	Destino dos rejeitados de mármore	35
5	Campanha experimental.....	37
5.1	Introdução.....	37
5.2	Planificação das fases da campanha experimental/recolha de dados.....	37
5.3	António Galego & Filhos, Mármore S.A.	38
5.3.1	Introdução da empresa.....	38
5.3.2	Caracterização do mármore comercializado	38
5.3.3	Pedreira (Lagoa).....	40
5.3.4	Fábrica (Bencatel - Vila Viçosa)	41
5.3.5	Instalações Auxiliares	41
5.3.6	Equipamentos - Pedreira.....	42
5.3.7	Equipamentos - Monofios	43
5.3.8	Equipamentos - Fábrica	44
5.3.9	Recursos Humanos	46
5.4	Metodologia e recolha de dados - Extração	47
5.4.1	Etapa inicial.....	47
5.4.2	Perfuração.....	48
5.4.3	Corte	50
5.4.4	Derrube	53
5.4.5	Esquadrejamento	57
5.4.6	Aparelhamento - Monofios.....	61
5.5	Metodologia e recolha de dados - Transformação	67
5.5.1	Etapa inicial.....	67

5.5.2	Aparelhamento - Monolâmina.....	68
5.5.3	Engenhos multilâminas.....	70
5.5.4	Linha de chapas	77
5.5.5	Linha de produção de bandas.....	80
5.5.6	Linha de produção de ladrilho	84
5.6	Resultados	91
5.6.1	Perfuração.....	92
5.6.2	Corte	93
5.6.3	Derrube	94
5.6.4	Esquadrejamento	96
5.6.5	Monofios	100
5.6.6	Monolâmina	101
5.6.7	Engenhos multilâminas.....	102
5.6.8	Linha de chapas	107
5.6.9	Linha de produção de bandas.....	108
5.6.10	Linha de produção de ladrilho.....	109
5.6.11	Resultados gerais	110
6	Proposta de Modelo.....	115
6.1	Introdução.....	115
6.2	Procedimentos do Modelo	115
7	Avaliação do trabalho realizado.....	121
7.1	Objetivos Realizados	121
7.2	Limitações e Trabalho Futuro	121
7.3	Apreciação Final	122
Anexo 1	125
Anexo 2	137
Anexo 3	139

Lista de Figuras

Figura 1-1 - Área correspondente à fábrica e à sede e outras áreas envolventes (Google Maps)	5
Figura 1-2 - Área correspondente à pedreira incluindo cavidade, zona de pré-transformação, oficinas, instalações sociais e escombreira. (Google Maps)	6
Figura 1-3 - Carta Geológica do Anticlinal de Estremoz (1997 - escala 1:10 000) - [12].....	7
Figura 1-4 - Carta Geológica da região da Lagoa (1997 - escala 1:10 000) - [12].....	8
Figura 2-1 - Principais núcleos de exploração de rochas ornamentais [16].....	10
Figura 2-2 - Níveis de Produção e Receitas Comerciais - Rochas Ornamentais [9] [10]	11
Figura 2-3 - Níveis de Produção e Receitas Comerciais - Mármore e Calcários [9] [10]	12
Figura 2-4 - Exportações de mármore e outras rochas carbonatadas nacionais, desde 2014 a 2017 [9] [10].....	13
Figura 2-5 - Entradas de mármore e outras rochas carbonatadas nacionais, desde 2014 a 2017 - [9] [10]	14
Figura 3-1 - Fluxograma das fases e operações de desmonte de mármore a céu aberto.....	18
Figura 3-2 - Fluxograma do ciclo de transformação de rocha ornamental [5]	22
Figura 3-3 - Camião de transporte de bloco, pórticos e o respetivo vira-blocos	23
Figura 3-4 - Área assinalada a vermelho correspondente à linha de monofios, no lado Sudoeste da zona de extração da pedreira	24
Figura 4-1 - Distribuição dos resíduos sólidos e resíduos pastosos na indústria de pedra natural (Fonte: PNAPRI - Guia Técnico do Sector da Pedra Natural - Fevereiro de 2001).....	31
Figura 5-1 - Tipos de mármore extraídos na pedreira e comercializada pela empresa (António Galego & Filhos - Mármore S.A. - http://www.agf-marmores.pt/)	39
Figura 5-2 - Esquematização da pedreira com os vários pisos, a orientação geológica dos jazigos e os tipos de mármore existentes (Sem escala).....	40
Figura 5-3 - Instalações auxiliares da filial da empresa António Galego & Filhos, Lda, situada na região algarvia.....	42
Figura 5-4 - Alguns exemplos de equipamentos de carga e transporte na pedreira (1ª imagem - pá-carregadora) e na fábrica (2ª imagem - dumper articulado Volvo, 3ª imagem - autogrua a carregar chapas para o contendor)	45

Figura 5-5 - Perspetiva da pedreira da empresa António Galego & Filhos com as várias talhadas assinaladas.....	47
Figura 5-6 - Furos guia definidos pela operação de perfuração para a passagem do fio diamantado. [6].....	49
Figura 5-7 - Equipamentos usado na perfuração (martelo fundo de furo e á direita, martelo furo de levante) e os vários diâmetros obtidos nestas operações	50
Figura 5-8 - Representação corte horizontal, vertical, corte cego e o corte vertical em “L”, respetivamente. (Fonte: MARINI QUARRIE GROUP, 2005.)	52
Figura 5-9 -Máquina de corte de fio diamantado a cortar blocos de mármore na pedreira....	53
Figura 5-10 - Fluxograma esquemático da utilização do colchão de água [6]	54
Figura 5-11 - Demonstração das várias etapas da operação de enchimento dum colchão de água	55
Figura 5-12 - Várias etapas de derrube numa talhada.....	56
Figura 5-13 - Ferramentas tomba bancadas e riper usados em operações de derrube de talhadas	56
Figura 5-14 - Fio diamantado com cabo de aço e pérolas diamantadas	57
Figura 5-15 - Exemplo dum bloco de dimensões elevadas, BX, que vai produzir dois “filhos” BX-1 e BX-2	58
Figura 5-16 - Metodologia de esquadria no cálculo de dimensões dum bloco de mármore com a respetiva escala	58
Figura 5-17 - Pórticos para transporte de blocos e parque de blocos à esquerda, no meio a unidade de tratamento de águas e lamas e à direita um dos monofios para corte do bloco. .	61
Figura 5-18 - À esquerda, bloco proveniente do exterior da pedreira e à direita um bloco da pedreira em estudo.....	62
Figura 5-19 - Exemplo da aplicação da técnica de esquadria aos rejeitados de mármore e aos blocos nos monofios.	63
Figura 5-20 - Primeiro e segundo corte aplicados no bloco EXT4 na linha dos monofios.	64
Figura 5-21 - Terceiro, quarto e quinto corte aplicados no bloco EXT4 na linha dos monofios.	64
Figura 5-22 - Sexto corte aplicado no bloco EXT4 e a utilização do vira blocos e respetiva limpeza do bloco.....	64

Figura 5-23 - Definição de escala num dos rejeitados de mármore do bloco EXT4 e exemplo de vários blocos estacionados na parque de blocos da linha dos monofios, com o bloco EXT4 já aparelhado assinalado a vermelho.	66
Figura 5-24 - Corte de bloco na linha dos monofios e exemplos de produção e transporte de resíduos de mármore.	66
Figura 5-25 - Exemplos dos vários códigos definidos nos blocos de mármore que pertencem à empresa AGF.	67
Figura 5-26 - Bloco AGF 1822717 a ser aparelhado na monolâmina.	68
Figura 5-27 - Quantificação do volume final do bloco 1822717 para o cálculo do escombros de mármore.	69
Figura 5-28 - Fluxograma simplificado da serragem de blocos em chapas nos engenhos multilâminas [6]	71
Figura 5-29 - Transporte, encaixe e ajuste e a serragem do bloco. Mais à direita o bloco agora em chapas.	72
Figura 5-30 - Bloco 1822396 com o eixo central definido para efeitos de cálculo	73
Figura 5-31 - Operação de introdução de cunhas nos blocos de mármore no sector de engenhos multilâminas.	76
Figura 5-32 - À esquerda, exemplo de uma lasca de mármore que não foi possível se transformar em chapa nos engenhos multilâminas e à direita a escombreira de rejeitados de mármore.	76
Figura 5-33 - Carregamento de uma chapa com sistema de ventosas, setor de polimento das chapas e etapa de enceramento da chapa.	77
Figura 5-34 - Algumas operações da linha de produção de chapas.	79
Figura 5-35 - Máquinas de corte de chapas na linha de produção de bandas, modelo Monster 1 à esquerda e o modelo Monster 2 à direita.	81
Figura 5-36 - Processo final de corte da chapa em banda e o respetivo carregamento e transporte da banda até ao parque de bandas.	83
Figura 5-37 - Da esquerda para a direita, palete de 5 bandas na entrada linha de produção de ladrilho, banda na saída do etapa de polimento, produção de ladrilhos através do corte de bandas com recurso discos diamantados.	85
Figura 5-38 - Da esquerda para a direita, fase de retificação dos ladrilhos, etapa de acabamentos especiais e etapa de secagem dos ladrilhos.	85

Figura 5-39 - Da esquerda para a direita, embalagem dos ladrilhos quadrangulares em caixas de madeira e depósito de rejeitados de mármore que são produzidos na secção de corte das bandas em ladrilhos.	85
Figura 5-40 - Produção de resíduos de mármore nos engenhos multilâminas.	105
Figura 5-41 - Histograma de resíduos de mármore por processo na pedreira da empresa António Galego & Filhos, Lda.	111
Figura 5-42 - Histograma dos tempos médios de um bloco por processo na empresa António Galego & Filhos, Lda.	111
Figura 5-43 - Histograma do tempo total dos blocos por processo na empresa António Galego & Filhos, Lda.	112
Figura 5-44 - Histograma de resíduos de mármore por processo na unidade de transformação de rocha ornamental da empresa António Galego & Filhos, Lda.	113
Figura 5-45 - Histograma de resíduos de mármore por processo na unidade de transformação de rocha ornamental da empresa António Galego & Filhos, Lda.	114
Figura 5-46 - Histograma de resíduos de mármore por processo na unidade de transformação de rocha ornamental da empresa António Galego & Filhos, Lda.	114

Lista de Tabelas

Tabela 2-1 - Produção comercial de pedreiras de Mármore e outras rochas carbonatadas (1ºSemestre - 2017)	12
Tabela 2-2 - Produtos do sector da Pedra Ornamental, em função do grau de transformação (adaptado de Cevalor 2004).....	16
Tabela 4-1 - Quantidade de resíduos produzidos no sector e subsectores da Pedra Natural. .	30
Tabela 4-2 - Indicadores da quantidade, estimativa, de resíduos gerados no ciclo de extração de mármore	32
Tabela 4-3 - Indicadores da quantidade, estimativa, de resíduos produzidos no sector de transformação de mármore.	34
Tabela 5-1 - Principais equipamentos existentes na pedreira de mármore da empresa AGF ..	43
Tabela 5-2 - Principais equipamentos existentes no sector dos monofios da empresa AGF....	44
Tabela 5-3 - Principais equipamentos existentes na fábrica de transformação de mármore da empresa AGF	45
Tabela 5-4 - Principais categorias dos recursos humanos existentes na pedreira e na fábrica	46
Tabela 5-5 - Principais categorias dos recursos humanos existentes na pedreira e na fábrica	46
Tabela 5-6 - Listagem das talhadas que foram analisadas e as suas características.	48
Tabela 5-7 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa da perfuração.	49
Tabela 5-8 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa do corte.	51
Tabela 5-9 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa do derrube da talhada.	55
Tabela 5-10 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa do esquadrejamento	59
Tabela 5-11 - Cálculo de volumes do bloco B10 antes da operação de esquadrejamento	59
Tabela 5-12 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa do aparelhamento.	65
Tabela 5-13 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação no sector da monolâmina.	69
Tabela 5-14 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação de um bloco no sector dos engenhos.	72

Tabela 5-15 - Tempos recolhidos numa chapa na linha de resina na linha de produção de chapas.	78
Tabela 5-16 - Tempos totais recolhidos para as várias etapas na linha de produção de bandas	79
Tabela 5-17 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa da linha de produção de bandas	81
Tabela 5-18 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa da linha de produção de ladrilhos.	87
Tabela 5-19 - Listagem das talhadas que foram analisadas e as suas características.....	91
Tabela 5-20 - Cálculo exemplo do tempo total de corte e a produção de resíduos de mármore nas operações de perfuração.	92
Tabela 5-21 - Cálculo final do tempo de processo e a estimativa da produção de resíduos de mármore para todas as talhadas observadas na operação de perfuração.	92
Tabela 5-22 - Cálculo do tempo total de processo e a produção de resíduos de mármore nas operações de corte.	93
Tabela 5-23 - Cálculo final do tempo de processo e a estimativa da produção de resíduos de mármore para todas as talhadas observadas na operação de corte.....	94
Tabela 5-24 - Cálculo do tempo total de processo e a produção de resíduos de mármore nas operações de derrube.	94
Tabela 5-25 - Cálculo final do tempo de processo e a estimativa da produção de resíduos de mármore para todas as talhadas observadas na operação de derrube.....	95
Tabela 5-26 - Cálculo exemplo do tempo total de processo nas operações de esquadrejamento	96
Tabela 5-27 - Cálculo exemplo da produção de “natas” nas operações de esquadrejamento.	97
Tabela 5-28 - Cálculo exemplo da produção de escombros nas operações de esquadrejamento.	97
Tabela 5-29 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo deste estudo....	99
Tabela 5-30 - Cálculo exemplo do tempo total de processo nas operações de aparelhamento.	100
Tabela 5-31 - Cálculo exemplo da produção de “natas” nas operações de aparelhamento.	100

Tabela 5-32 - Cálculo exemplo da produção de escombros nas operações de aparelhamento.	101
Tabela 5-33 - Cálculo final do tempo de processo e a estimativa da produção de resíduos de mármore para todas as talhadas observadas na operação de serragem na monolâmina.	101
Tabela 5-34 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise dos engenhos multilâminas.....	102
Tabela 5-35 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise dos engenhos multilâminas.....	103
Tabela 5-36 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise dos engenhos multilâminas.....	103
Tabela 5-37 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise dos engenhos multilâminas.....	104
Tabela 5-38 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise dos engenhos multilâminas.....	104
Tabela 5-39 - Resumo da produção de resíduos de mármore durante os dias 19 a 22 de Junho.	105
Tabela 5-40 - Resumo da produção de resíduos de mármore durante os dias 19 a 22 de Junho.	106
Tabela 5-41 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise da linha de chapas.	107
Tabela 5-42 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise da linha de produção de bandas.	108
Tabela 5-43 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise da linha de produção de bandas.	109

Tabela 5-44 - Quantificação de resíduos de mármore na pedreira da empresa António Galego & Filhos, Lda.	110
Tabela 5-45 - Cálculo dos tempos de processos na pedreira da empresa António Galego & Filhos, Lda.	110
Tabela 5-46 - Quantificação de resíduos de mármore da unidade de transformação de rocha ornamental na empresa António Galego & Filhos, Lda.....	112
Tabela 5-47 - Quantificação de resíduos de mármore na unidade de transformação de rocha ornamental da empresa António Galego & Filhos, Lda.....	112

Lista de Equações

Equação 1: Quantidade de resíduos produzidos no processo de perfuração	49
Equação 2: Tempo de operação de perfuração	50
Equação 3: Quantidade de resíduos produzidos no processo de corte	51
Equação 4: Tempo de operação de corte.....	52
Equação 5: Tempo de operação de derrube	55
Equação 6: Quantidade de resíduos sólidos produzidos no processo de derrube	56
Equação 7: Quantidade de “natas” produzidas no processo de esquadrejamento	59
Equação 8: Quantidade de resíduos sólidos produzidos no processo de esquadrejamento.....	60
Equação 9: Tempo de operação de esquadrejamento	61
Equação 10: Quantidade de “natas” produzidas no processo de aparelhamento	65
Equação 11: Quantidade de resíduos sólidos produzidos no processo de aparelhamento	66
Equação 12: Tempo de operação de aparelhamento	66
Equação 13: Quantidade de “natas” produzidas no setor dos engenhos multilâminas	69
Equação 14: Quantidade de resíduos sólidos produzidos no setor dos engenhos multilâminas	70
Equação 15: Tempo de operação no setor dos engenhos multilâminas	70
Equação 16: Número de chapas produzidas na metade de um bloco	73
Equação 17: Quantidade de “natas” produzidas no setor dos engenhos multilâminas	74
Equação 18: Quantidade de resíduos sólidos produzido no setor dos engenhos multilâminas.	75
Equação 19: Cálculo da fração decimal	75
Equação 20: Cálculo das chapas produzidas não aproveitadas.....	75
Equação 21: Tempo de operação do processo de serragem dos engenhos multilâminas	76
Equação 22: Quantidade de “natas” produzidas na linha de produção de chapas	78
Equação 23: Tempo de operação da linha de produção de chapas.....	79
Equação 24: Quantidade de “natas” produzidas na linha de produção de bandas	81
Equação 25: Teste lógico para determinar a produção de bandas.....	82
Equação 26: Produção possível de bandas	82
Equação 27: Quantidade de resíduos sólidos na linha de produção de bandas	83

Equação 28: Tempo de operação da linha de produção de bandas.....	83
Equação 29: Produção possível de ladrilhos numa banda	87
Equação 30: Produção possível total de ladrilhos	87
Equação 31: Comprimento que sobra duma banda	88
Equação 32: Quantidade de resíduos sólidos produzidos na linha de produção de ladrilhos ..	89
Equação 33: Quantidade de resíduos sólidos produzidos fração decimal.....	90
Equação 34: tempo de operação da linha de produção de ladrilhos	90

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

AGF	António Galego & Filhos, Lda
ChpPro	Chapas produzidas
GPS	Global Positioning System
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
PPB	Produção possível de bandas
PPL	Produção possível de ladrilhos
Qtd	Quantidade
TLog	Teste Lógico

Lista de símbolos

cv	cavalo-vapor (potência)
cm	centímetro
D	Diâmetro
h	altura
hab	habitantes
km ²	quilómetros por metro quadrado
km	quilometro
l	espessura
L	largura
m	metros
m ²	metros quadrados
m ³	metros cúbicos
mm	milímetro
π	pi
v	velocidade.

1 Introdução

1.1 Considerações gerais

No caso da indústria das rochas ornamentais a quantidade de rejeitados produzidos tem uma dimensão não suportável por parte desta. A sua minimização, passará necessariamente pela quantificação do volume destes rejeitados ao nível de cada empresa, para se avançar para uma eventual otimização dos vários processos existentes na extração e na transformação deste tipo de rocha. São igualmente essenciais o estudo e a criação de aplicações alternativas destes rejeitados nas várias indústrias existentes.

O presente trabalho visa realizar uma caracterização atual do sector industrial do mármore em Portugal e como proposta de componente prática, a criação de modelos de quantificação dos rejeitados de mármore na região do Anticlinal de Estremoz. A escolha desta região remete ao facto de ser um dos principais centros mundiais de extração de mármore para fins ornamentais.

Para o efeito, procede-se a uma análise e o estudo dos vários processos existentes na extração e transformação do mármore com o objetivo de apresentar metodologias e cálculos de quantificação de rejeitados de mármore de acordo com os dados recolhidos no campo.

1.2 Contextualização do trabalho

Um dos pontos mais relevantes da valorização industrial dos recursos minerais portugueses, diz respeito ao desenvolvimento tecnológico, para incremento da eficiência dos processos de transformação das rochas ornamentais. Para isso, é necessário que tal desenvolvimento tecnológico, seja suportado num conhecimento mais aprofundado e preciso, dos mecanismos que presidem aos fenómenos de extração e de transporte do bloco, bem como os processos de perfuração, de corte e desmonte a nível extrativo e todos os processos de beneficiamento da pedra natural ao nível da transformação.

Nesta indústria são realizadas diversas atividades elementares, durante o ciclo de extração da rocha ornamental até à sua transformação. Esta última envolve, desde o momento que o bloco é extraído na pedreira até se obter um produto final em fábrica, atividades gerais tais como a serragem do bloco e o corte das chapas. Estas estão dependentes dos parâmetros operacionais de cada equipamento, pelas características das ferramentas de corte e pelas características geomecânicas constituintes da rocha. Assim, foi por nós decidido que a melhor maneira de proceder à avaliação desta temática seria através de observações industriais, nomeadamente em empresas do sector, assunto que será discutido com maior detalhe nos capítulos seguintes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

O presente trabalho visa realizar uma caracterização atual do sector industrial do mármore em Portugal e como proposta de componente prática, a criação de modelos de quantificação dos rejeitados de mármore na região do Anticlinal de Estremoz.

1.3.2 Específicos

Com a metodologia de quantificação elaborada, pretende-se no final apresentar e estudar os resultados obtidos dos vários processos existentes na empresa, tanto a nível da extração do bloco de mármore, como a sua transformação. De modo a otimizar o trabalho a nível da fábrica foi criado de acordo com a lógica de cálculo um modelo matemático criado e programado em ferramenta Excel. Com esta ferramenta será possível fazer, duma maneira automática e rápida, uma estimativa da quantidade de rejeitados de um bloco de mármore na fábrica, independente das suas medidas e desde que estas estejam de acordo com a capacidade dos equipamentos.

O utilizador só teria de acrescentar alguns parâmetros no programa, nomeadamente as medidas do bloco, a espessura da chapa, se pretende exclusivamente a criação de chapa, banda ou ladrilho. Por fim e por ser uma variável contemplada pelo algoritmo de cálculo, há a possibilidade de obter uma quantificação do volume de rejeitado produzido durante processos programados, por exemplo, o caso de chapas se partirem durante o transporte. Nessa situação seria acrescentado esse valor, em m^3 , no modelo criado.

1.4 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho foi organizada em três etapas:

- 1- Recolha de dados relativos às operações existentes no ciclo extrativo do mármore, desde o ciclo de trabalhos de pedreira incluindo o corte e o derrube de talhadas até à análise dos processos da fase de transformação primária nos monofios onde são definidos os blocos com os tamanhos pretendidos de acordo com a qualidade da rocha. Sequencialmente foi realizada uma recolha de dados na fábrica, relativos à operação de serragem de blocos em engenhos multilâminas, para obtenção de chapas.
- 2- Cálculo da quantidade de rejeitados obtidos em cada processo, acompanhado pelo registo do respetivo tempo consumido. Para uma melhor estimativa da quantificação de rejeitados existentes nos vários processos foram elaboradas fórmulas incorporando parâmetros característicos de cada equipamento.
- 3- Definição de um modelo matemático intuitivo para estimação da quantidade de produção de rejeitados para um dado bloco de mármore desde a linha de engenhos até às linhas de bandas(talha-blocos), ladrilho ou de chapas, dependendo do produto final

que se queira obter em fábrica. O modelo também permite uma aproximação a nível de tempos para cada processo de transformação existente na fábrica em estudo. Igualmente foi realizada uma comparação entre os tempos calculados pelo modelo com os tempos médios recolhidos em cada processo na primeira etapa deste trabalho. Por último a proposta de modelo também permite uma listagem automática, em separado, dos dados calculados e estimados, com o objetivo de proporcionar uma melhor otimização da recolha de informação dos blocos existentes em fábrica.

1.4.1 Trabalho de Campo

Para uma recolha eficiente dos dados a observar neste trabalho, tendo em vista uma quantificação o mais real possível dos rejeitados de mármore, foi criada uma ficha de recolha de dados, denominada por nós ficha de campo, que se encontra anexado a este trabalho (Anexo1).

Os dados recolhidos na pedreira de extração de mármore e de acordo com as várias etapas do ciclo produtivo foram as que são demonstradas abaixo. Também na fábrica de transformação, no sector dos engenhos, no sector de produção das bandas, nas linhas de produção de ladrilhos e de chapas, foram agrupados por nós em três categorias:

- Parâmetros operacionais:
 - Características operacionais do equipamento;
 - Características das ferramentas de corte;
- Parâmetros de observação:
 - Medidas dos blocos de entrada;
 - Velocidade de corte dos equipamentos;
 - Tempo de processo e possíveis tempos mortos;
- Parâmetros geomecânicas das rochas:
 - Ensaios laboratoriais para caracterização e análise do mármore extraído e comercializado na empresa em estudo.

1.5 Organização da Tese

O desenvolvimento da presente dissertação foi dividido em seis capítulos:

No primeiro capítulo, apresentam-se os resultados de uma recolha de informação relativa ao tema abordado na presente dissertação, realizada através da consulta de bibliografia específica. Foi igualmente possível com esta recolha, obter uma melhor compreensão da problemática em torno do tema escolhido e os respetivos conceitos nele envolvidos, assim como os fundamentos teóricos e práticos para examinar os resultados a que chegamos.

O segundo capítulo começa por uma breve caracterização do sector da indústria de mármore. Foi tido em conta uma abordagem descritiva à distribuição e produção da rocha ornamental em Portugal e no resto do Mundo. Apresentou-se dados atualizados das importações e exportações nacionais no sector do mármore e outras rochas carbonatadas. Foi abordado os vários tipos de processos e produtos finais que se consegue obter.

No terceiro capítulo realiza-se uma caracterização do processo produtivo do ciclo de mármore. É efetuada uma análise aos vários tipos de extração e os métodos de desmonte existentes nesta indústria. Demonstra-se igualmente o sector de transformação de mármore e as várias técnicas e equipamentos utilizados. Apresenta-se o planeamento de toda a metodologia necessária para a quantificação dos rejeitados de mármore. É efetuada também uma breve descrição da empresa que participou neste estudo. Foram também caracterizados os vários tipos de mármore a serem tratados pelas empresas.

No capítulo seguinte é introduzido o conceito de resíduos da indústria extrativa mineira. Foi decidido caracterizar os vários tipos de resíduos existentes e cada etapa do ciclo produtivo de mármore. Neste contexto, é efetuada a diferenciação entre resíduos sólidos e resíduos pastosos. Por fim uma reflexão do destino dos rejeitados de mármore e as aplicações ou reaproveitamento.

No capítulo cinco faz-se uma breve introdução ao projeto desenvolvido, onde são expostos os principais objetivos que motivaram a realização deste trabalho e as condições e metodologias envolvidas na parte experimental. É exposto todo o trabalho de campo desenvolvido e anteriormente estruturado, envolvendo a metodologia implementada em cada processo para o levantamento da produção de resíduos de mármore, os tempos de processos e os vários softwares utilizados.

O último capítulo refere-se às considerações finais relativas à Dissertação, onde se podem observar os objetivos alcançados, algumas das limitações do projeto, sugestões de otimização de processo, proposta de trabalho futuros e ainda uma apreciação final dos resultados obtidos.

1.6 Área de Estudo

1.6.1 Enquadramento geográfico

A Zona dos Mármoreos está integrada nos municípios de Estremoz, Borba, Vila Viçosa e Alandroal, onde foi instituída a Área Cativa para a Exploração de Mármoreos pela Portaria nº441 de 15 de junho de 1990, que afirma o interesse público em preservar para a Indústria Extrativa os mármoreos que ocorrem em abundância e elevada qualidade nesta região, pois constituem fonte apreciável de geração de riqueza. Estes quatro municípios, ocupando uma área total de 1396 km² e com uma densidade populacional de 27 hab/km², enquadram-se na sub-região Alentejo Central.

1.6.1.1.1 Localização da unidade extrativa e da fábrica

As instalações industriais da empresa António Galego & Filhos - Mármoreos SA encontram-se no município de Vila Viçosa, no Distrito de Évora, na Região do Alentejo. A fábrica e respetiva sede situa-se na freguesia de Bencatel e está inserida numa área superior a 15.000 m². A pedreira da empresa em estudo localiza-se na zona de Lagoa, Vila Viçosa, com uma área de exploração de 36.000 m².

1.6.1.1.2 Vias de comunicação e acessos

O acesso à sede e fábrica é feito pela estrada N254, que liga Bencatel a Vila Viçosa, numa saída para Sudeste cerca do quilometro (km) 10, na zona de Bencatel. A acessibilidade à pedreira é feita por um caminho municipal, denominado como a Estrada das Pedreiras, que atravessa todo o núcleo extrativo da Lagoa. Iniciando-se o percurso proveniente de Bencatel, após 500 m, a pedreira da Lagoa localiza-se do lado esquerdo.



Figura 1-1 - Área correspondente à fábrica e à sede e outras áreas envolventes (Google Maps).

Na Figura 1-1 apresenta-se a localização da sede da empresa e respetiva fábrica onde se encontra o parque de blocos e escombreira dos rejeitados de mármore devidamente legendados. Na Figura 1-2 pode-se visualizar a área correspondente à pedreira, incluindo cavidade, zona de pré-transformação, oficinas, instalações sociais e escombreira.

As povoações de maior importância mais próximas da área de exploração são as localidades de Borba e Vila Viçosa estando localizadas a Norte, respetivamente; a sensivelmente 10 km e 4,5 km. A freguesia de Bencatel encontra-se a 2 km, a Sudoeste e a localidade de Alandroal a cerca de 7 km, a Sudeste. E relativamente ao Anticlinal de Estremoz é situado do lado Sudoeste.

A entrada da pedreira encontra-se nas seguintes coordenadas GPS: 38°75'28.0" N, -7°44'76.4" W. A sua localização goza também de bons acessos nas proximidades.



Figura 1-2 - Área correspondente à pedreira incluindo cavidade, zona de pré-transformação, oficinas, instalações sociais e escombreira. (Google Maps).

1.6.2 Enquadramento geológico

O Anticlinal de Estremoz situado em Portugal na região do Alentejo, está integrado na conhecida Zona de Ossa Morena, uma das principais unidades tectono-estratigráficas da orogenia hercínica que se desenvolveu entre o Devónico e o Carbónico (Ribeiro *et al.*, 1979; Oliveira *et al.*, 1991). Na Figura 1-3 está exposta a Carta Geológica do Anticlinal de Estremoz, publicada a 1997 à escala 1:10 000 pelo já extinto Instituto Geológico e Mineiro, agora LNEG. As unidades geológicas aflorantes nesta região são na sua grande maioria geneticamente de origem sedimentar, o que faz prever que sejam litologicamente muito variadas, em consequência das variações dos materiais depositados, das condições de deposição, dos locais onde foram depositadas. Esta complexidade foi posteriormente aumentada pelas condições de evolução a que as rochas estiveram sujeitas ao longo dos tempos geológicos, sofrendo deformação, fracturação e metamorfismo.

1.6.3 Geologia Regional

Os Mármore de Estremoz aparecem interestratificados em calcoxistos e rochas vulcânicas básicas (metabasaltos alcalinos) e ácidas (metariolitos) mais importantes na parte superior do complexo, com espessura total variável, que pode atingir os 400 metros. Os mármore têm cores muito variadas, desde negros, até brancos, passando por cremes e rosas mais ou menos vergados. Estes mármore podem conter bolsadas de xistos escuros, que correspondem a antigas estruturas cársicas preenchidas por sedimentos finos, posteriormente metamorfizados.

Apesar da grande diversidade litológica e do metamorfismo sofrido, a região estudada constitui um jazigo de mármore com grande importância socioeconómica local e regional. Para além disto, o Anticlinal de Estremoz, enquadra também um importante sistema aquífero, Estremoz-Cano, fortemente condicionado pela estrutura cársica. Perante este cenário o Anticlinal de Estremoz constitui uma área preferencial para o estudo de metodologias que auxiliem o reordenamento do sector extrativo, tendo em mente a necessidade de compatibilização da atividade mineira com a preservação ambiental.

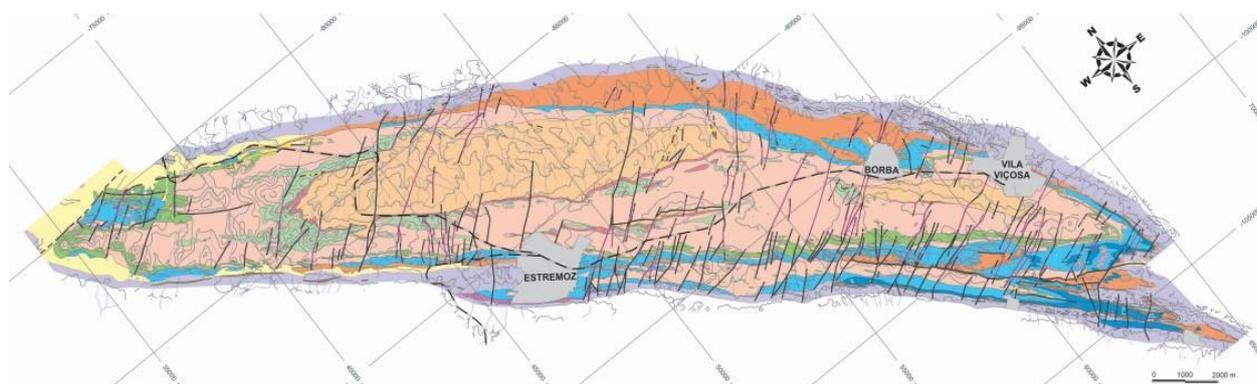


Figura 1-3 - Carta Geológica do Anticlinal de Estremoz (1997 - escala 1:10 000). [12]

1.6.4 Geologia Local

A zona da Lagoa é compreendida por uma área total de 1232 ha, com uma área de exploração de 535 há e uma área de deposição comum é de 287 ha e o número de pedreiras ativas em 2015 era de 46, assim distribuídas: Borba - 5, Estremoz - 8 e Vila Viçosa - 33 (Pedreiras da Região Alentejo, Caracterização do Setor da Extração de Massa Mineral, situação face à regulamentação técnica e legal, DGEG - Divisão de Pedreiras do Sul, outubro 2016).

Os tipos de Mármore nesta zona apresentam-se de cor branca a creme, vergados e também mármore de cor cinzenta tradicionalmente denominados “Ruivina”. De referir que as principais variedades comerciais são o Branco Venado da Lagoa, o Creme da Lagoa e por fim o Azul da Lagoa. A espessura média dos mármore indicada neste local é de 100 metros e os recursos

disponíveis em mármore estudados são de 65 milhões de metros cúbicos, isto considerando um rendimento global de exploração de 20%.

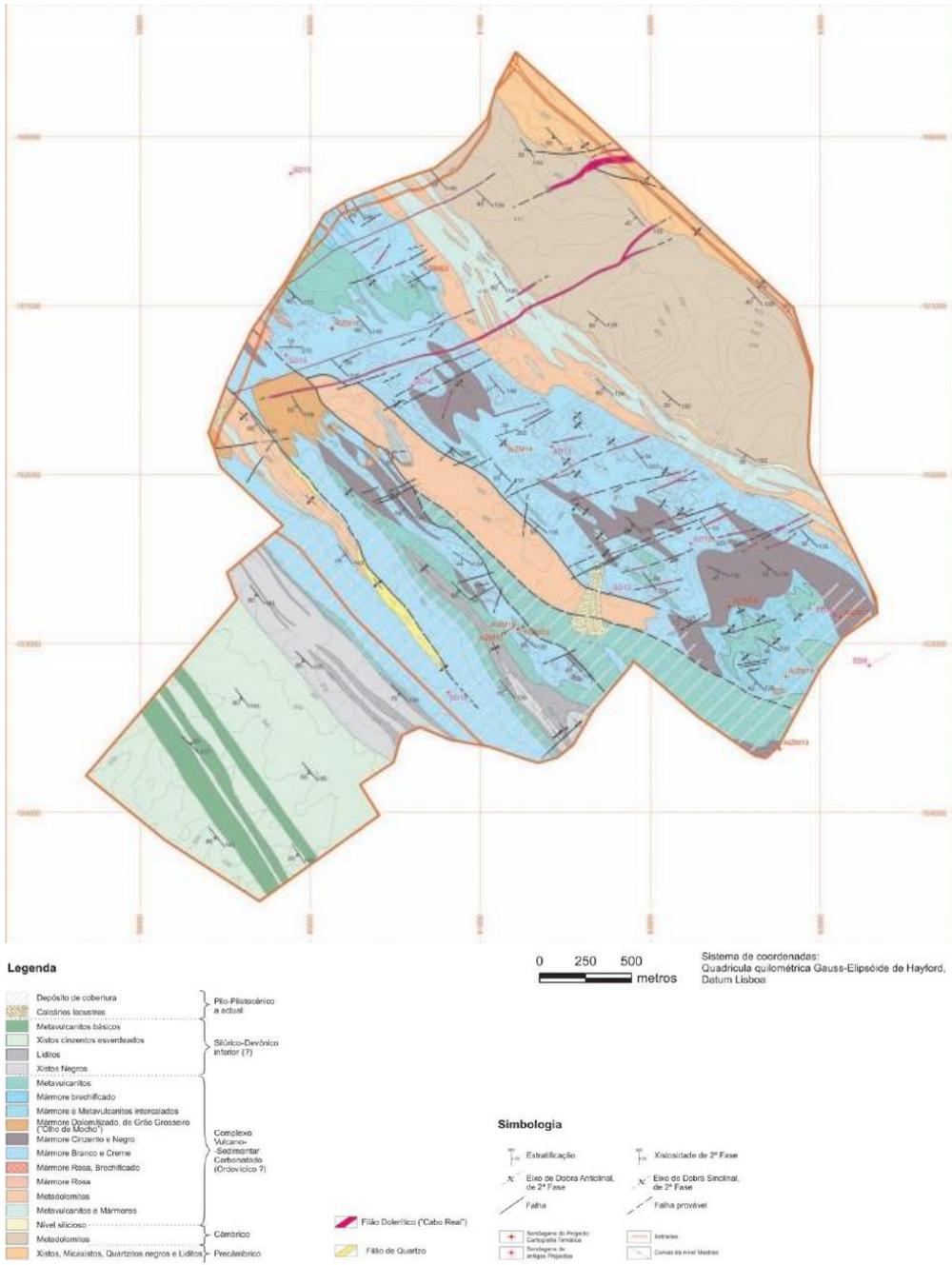


Figura 1-4 - Carta Geológica da região da Lagoa (1997 - escala 1:10 000). [12]

2 Breve Caracterização do Setor

As Rochas Ornamentais ou a “pedra natural” são as rochas que são exploradas industrialmente para a obtenção de blocos, chapas, tiras ou ladrilhos usados maioritariamente como revestimentos na construção. Duma maneira geral a grande maioria das rochas ígneas, metamórficas bem como as sedimentares podem ter aplicações como rochas ornamentais. Para estas aplicações só são usadas rochas que se consideram esteticamente belas e as que são suficientemente duras e resistentes para serem usadas em elementos estruturais (construção, elementos artísticos e decorativos). Por norma os critérios de seleção são a cor, a textura (isto é, a sua aparência estética), a facilidade de ser polida, a durabilidade, a resistência (aspetos relacionados com a qualidade da rocha como elemento estrutural e também alguns aspetos históricos, como por exemplo a conservação de um determinado elemento arquitetónico).

Em relação aos mármore, estes têm os seus nomes comerciais baseados na sua cor, na localidade de onde são extraídos ou então no nome da empresa que faz a exploração dum determinado tipo, como, por exemplo, o Mármore Azul Lagoa, Mármore com Veios Castanhos, Mármore Verde Sampaio, ou então o Mármore Branco de Carrara.

Dum ponto de vista comercial, dá-se a designação de mármore a toda rocha constituída maioritariamente por carbonatos, por exemplo calcite e/ou dolomite, capaz de adquirir um bom polimento final. O tamanho do grão deve ser pequeno, por norma abaixo de 0,05mm, sendo muitas vezes não observável à simples vista desarmada (texturas afaníticas). O mármore em petrologia é designado como uma rocha metamórfica recristalizada e derivada de calcários com um grau de metamorfismo médio a alto, em condições sucessivas de aumento da pressão e temperatura. Enquanto que os calcários se formam praticamente pela consolidação dos estratos, para o caso dos mármore, estes resultam já da sua introdução no ambiente claramente metamórfico.

O sector das rochas ornamentais e industriais engloba uma série de atividades desde a sua extração, seguida de transformação até à aplicação final. Assim, no que diz respeito à pedra ornamental, a divisão é feita em considerando o subsector extrativo e o subsector transformador. A extração da pedra ornamental é feita sob a forma de blocos de várias dimensões. A indústria transformadora permite a produção de uma série de produtos acabados com vista a diferentes aplicações em obra. O tecido empresarial é constituído por pequenas e médias empresas que podem possuir simultaneamente unidades extrativas e transformadoras ou somente uma delas, sendo que a maioria são de carácter familiar, mas com uma estrutura cada vez mais profissionalizada.

2.1 Distribuição da Rocha Ornamental em Portugal

A produção de rochas ornamentais, tal como acontece com outros recursos geológicos é fortemente dependente das condições e ciclos económicos do mercado, verificando-se ao longo dos tempos uma certa variabilidade, com conseqüentes reflexos nos níveis das atividades extrativas e transformadoras. Exemplo disso foi a transferência do principal núcleo extrativo, nas últimas décadas do Sec. XX, da Zona de Mármore, para o Maciço Calcário Estremenho, refletindo uma tendência de mercado para rochas mais homogêneas como os calcários sedimentares em detrimento dos mármore com padrões mais complexos.

A atividade desta indústria está bastante mais dispersa pelas diferentes regiões do país e como se pode observar na Figura 2-1, os jazigos de mármore localizam-se maioritariamente no Alentejo, nos distritos de Évora e Beja mais propriamente no Anticlinal de Estremoz-Borba-Vila Viçosa, vulgarmente conhecido como o triangulo de mármore. Viana do Castelo, Trigaches e Ficalho, são também locais onde, apesar de em pequenas quantidades, se extrai mármore.



Figura 2-1 - Principais núcleos de exploração de rochas ornamentais. [16]

2.2 Produção de Rocha Ornamental

A indústria das rochas ornamentais (extração e transformação) é uma das mais antigas atividades económicas nacionais. Portugal é um dos principais produtores de rochas ornamentais do mundo e o mármore é a principal rocha extraída e transformada, seguida do granito. De acordo com a DGEG, em 2016 existam na região do triângulo de mármore, cerca de 210 pedreiras de mármore em funcionamento.

De acordo com a tabela no Anexo 2 e da Figura 2-2 é possível ficar com a informação que a produção nacional de rochas ornamentais tem vindo desde 1999 a aumentar até 2001 atingindo o maior pico até agora registado, de acordo com os Boletins de Minas da DGEG. No ano de 2001 atingiu-se níveis de produção de rocha ornamental de pouco mais de 3,2 milhões de toneladas e receitas de mais de 172 milhões de euros. Nos anos seguintes registou-se uma descida até 2003 e depois verificou-se um aumento até 2008. Neste ano, dada o forte impacto da crise mundial não ficando Portugal vulnerável aos seus efeitos, começou-se a registar um forte decréscimo até 2010 onde só se produziu pouco mais de 2,3 milhões de toneladas de rochas ornamentais, portanto um decréscimo sensivelmente de 27% comparando com o ano de 2001. Em 2010 tem se vindo a verificar um aumento acentuado e em 2016 atingiu se valores de 28,9 milhões de toneladas de produção de rocha ornamental com receitas de 166 milhões de euros.

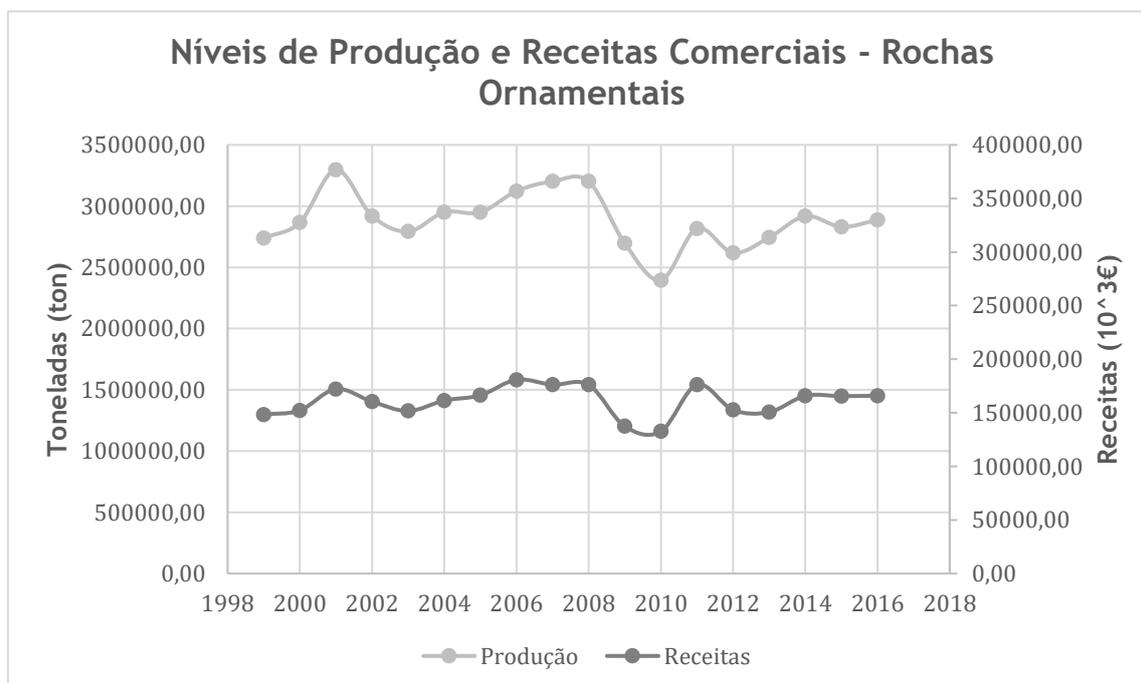


Figura 2-2- Níveis de Produção e Receitas Comerciais - Rochas Ornamentais. [9] [10]

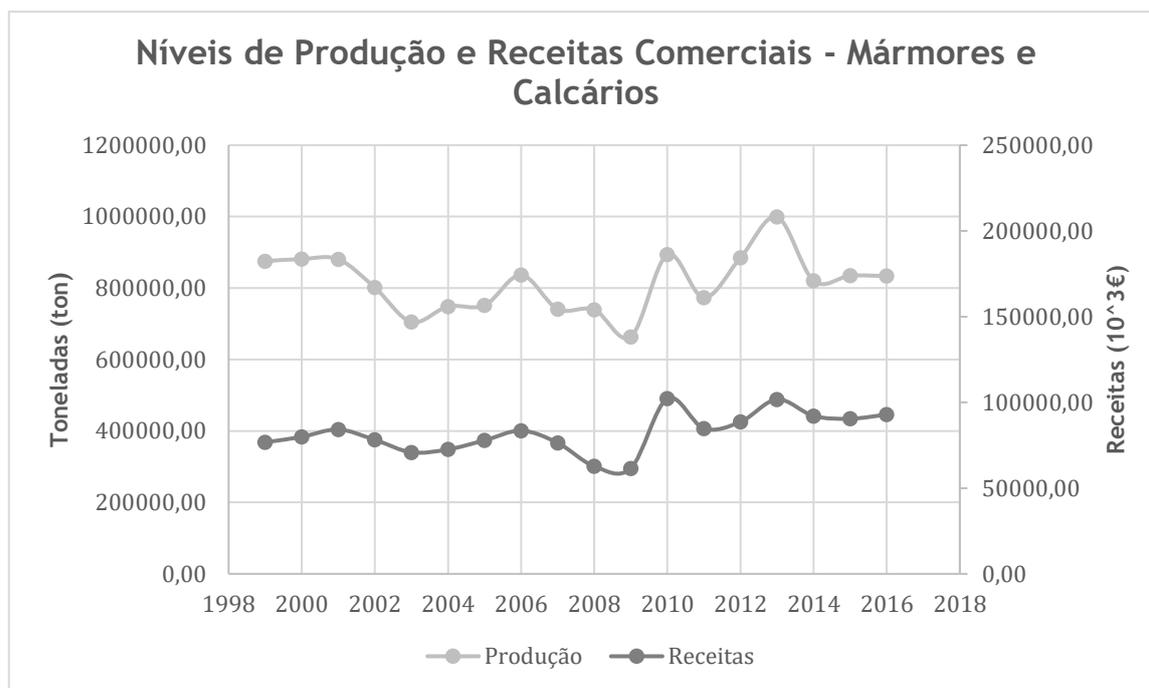


Figura 2-3 - Níveis de Produção e Receitas Comerciais - Mármore e Calcários. [9] [10]

Na Figura 2-3 apresenta-se os volumes agora para mármore e calcários e fazendo uma comparação deste sector com o das rochas ornamentais é possível concluir que a tendência ou a lógica é a mesma relativamente aos anos de 2008 e 2009, onde se deu a crise mundial e assim verificando o maior decréscimo. Em 2013 os níveis de produção nacionais atingiram valores de quase 1 milhão de toneladas, contudo as receitas foram pouco mais de 101 milhões de euros. Comparando com ano homólogo de 2010, com pouco mais de 102 milhões, mas com menos 11% de níveis de produção é compreensível possivelmente a uma redução de preços para uma maior competitividade de mercado nacional como internacional.

Apesar dos volumes de produção e de exportação de rochas ornamentais nacionais terem vindo a aumentar progressivamente ao longo dos últimos anos, a capacidade do sector ainda está longe de ser alcançada. Na tabela seguinte demonstra-se os níveis de produção e receitas para o 1^a semestre de 2017, de mármore e outras rochas carbonatadas, tanto em bloco, em obra ou em serrado.

Tabela 2-1 - Produção comercial de pedreiras de Mármore e outras rochas carbonatadas (1^oSemestre - 2017).

Mármore e outras rochas carbonatadas	2017 - 1 ^o Semestre	
	(ton.)	(10 ³ €)
Mármore e outras rochas carbonatadas, em bloco	19.700	4.523
Mármore e outras rochas carbonatadas, em obra	141.570	75.091
Mármore e outras rochas carbonatadas, serrado	230.572	29.663

Fonte: Boletim de Minas 2017 - DGEG

2.3 Portugal no Mercado Mundial de Rocha Ornamental

A indústria nacional de rochas é tradicionalmente exportadora, sendo a produção nacional bastante apreciada internacionalmente e dum ponto de vista global a indústria de rocha ornamental tem crescido exponencialmente. Desde o início de 1990, a produção mundial tem crescido anualmente e o mercado internacional tem se dinamizado muito à volta deste produto. As evoluções tecnológicas nos últimos 70 anos proporcionaram um aumento da produção e consumo da rocha ornamental, existindo mundialmente mais de 40 países produtores.

Na figura seguinte é possível visualizar os níveis de exportações de mármore e outras rochas carbonatadas, desde 2014 até 2017. No ano de 2016 houve um acréscimo significativo do volume de vendas, em relação aos anos anteriores, com 714 074 mil toneladas exportadas em 2017 e com 722 186 toneladas, em 2017. Este aumento é justificado com a dinamização, impulso e forte divulgação, no mercado externo, do sector nacional de mármore e outras rochas carbonatadas. O Volume de receitas das exportações de mármore e outras rochas carbonatadas, como por exemplo calcário, tem vindo a aumentar e atingiu um valor de mais de 205 milhões de euros em 2017.

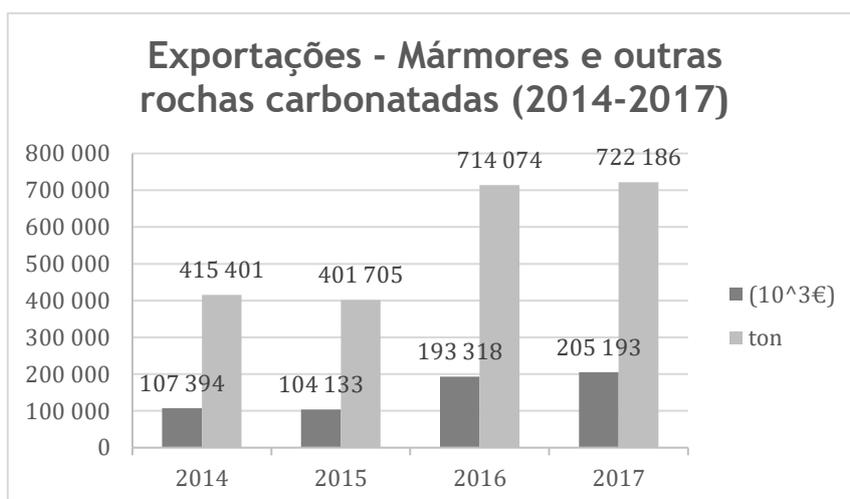


Figura 2-4- Exportações de mármore e outras rochas carbonatadas nacionais, desde 2014 a 2017. [9] [10]

De acordo com a tabela do Anexo 3, os países que compraram mais o mármore e outras rochas carbonatadas nacionais, entre janeiro a junho de 2017, foi a União Europeia com 94 581 toneladas e receitas de 44 175 000 €, com a França em primeiro lugar com um volume de 30 497 toneladas e receitas de 13 211, seguido do Reino Unido e a Espanha. Num contexto mundial, o país que mais importou mármore e rochas carbonatadas nacionais foi a China com pouco mais de 195 mil toneladas e receitas a chegarem quase aos 20 milhões de euros. Aparece também significativamente a Arábia Saudita e Argélia como um dos maiores importadores. Foi calculado e apresentado no Anexo 3, na tabela A-3, o ratio entre a faturação e o volume exportado.

Conforme o estudo realizado pela ASSIMAGRA em 2016, tendo por base a opinião dos empresários do sector de mármore, o país mais referenciado com a capacidade de proporcionar um maior aumento da procura externa no futuro é a Índia, mantendo-se a Arábia Saudita, nos próximos anos, ainda como um dos principais compradores, antevendo-se, contudo, uma diminuição da procura em 31 % por parte da China.

A Itália posiciona-se como o maior produtor e exportador mundial sendo, ao mesmo tempo, um dos maiores importadores. Tal posição deve-se ao facto da estratégia italiana passar pela incorporação de maior valor acrescentado à pedra natural, através da importação de blocos e produtos intermédios para posterior transformação e exportação.

Ainda assim Portugal tem registado, desde 2014 até 2017, um aumento em importações de Mármore e outras rochas carbonatadas. Analisando a Figura 2-5 e tendo como fonte o Boletim de Minas de 2017, da DGEG, é possível verificar que só em 2017 Portugal importou pouco mais de 51 mil toneladas deste tipo de pedra e atingiu valores de custos de quase de 22 milhões de euros.

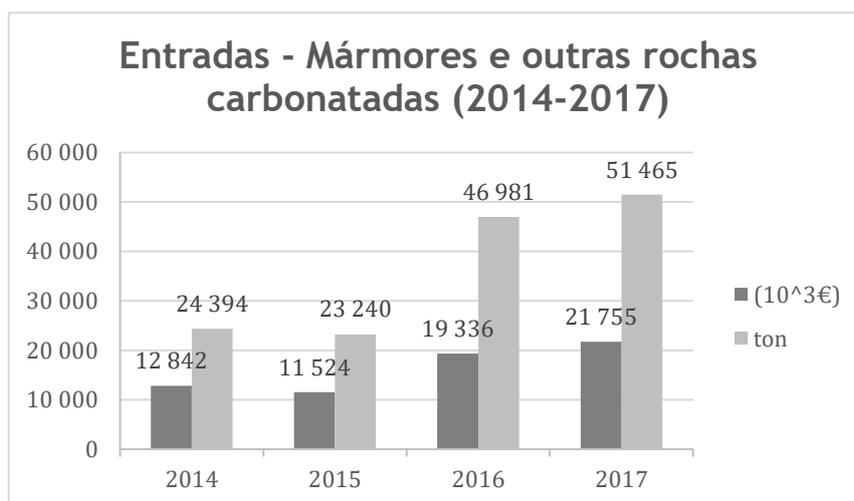


Figura 2-5- Entradas de mármore e outras rochas carbonatadas nacionais, desde 2014 a 2017. [9] [10]

Contextualizando de seguida o estudo elaborado pela ASSIMAGRA em 2016, intitulado: Barómetro do Mármore 2016, os responsáveis das empresas de mármore explicaram que os principais concorrentes, no futuro imediato, serão a Turquia, a Itália e a Espanha, seguidos da Grécia e da China. A nível de produto a concorrência mais significativa será o mármore Turco, o mármore Grego, a cerâmica e o Crema Marfil. A emancipação destes países muitos competitivos, no caso da China e Turquia, onde os custos de extração, produção e transformação são muito baixos comparativamente com países mais desenvolvidos, provoca a queda do preço dos produtos manufacturados.

Esta situação tem vindo a prejudicar os países “tradicionais” desta indústria, que terão que tomar medidas para no futuro imediato manterem a sustentabilidade económica do sector.

Assim, no caso particular português, dada a grande concorrência e de acordo com a opinião dos empresários da indústria de mármore e recolhida pela ASSIMAGRA em 2016, seria muito importante melhorar a competitividade do sector através da redução dos custos de produção.

Um dos fatores que influenciam estes custos de produção, e que limitam a atuação das empresas no mercado internacional, são particularmente os custos energéticos, embora também haja outros fatores com nível de importância elevada como a estabilidade política de mercados, a fiscalidade e o preço dos transportes. Outro fator, e não menos importante é o grau acentuado de desperdícios de material nos ciclos de extração e de transformação, aspeto pertinente ao longo dos anos e que este trabalho tenta analisar e caracterizar.

Mesmo tendo em conta a forte concorrência que Portugal tem no mercado internacional, o ano de 2015 apresentou uma tendência de aumento do volume de vendas em 40% das empresas, comparativamente ao ano de 2014. Este crescimento foi impulsionado pela diversificação de mercados, novos investimentos e melhoria da qualidade do produto. Como é o caso dos projetos e iniciativas: INTERSTONE, FLEXSTONE, STONE.PT, INOVSTONE 4.0, entre outros.

Ainda dentro deste ponto conclui-se que os empresários de mármore esperam, maioritariamente, um crescimento do volume de negócios nos próximos anos. Na totalidade empresários nacionais somente 5% disseram que a faturação iria reduzir por exemplo no ano de 2016.

Metade das empresas que estiveram envolvidas no já referido estudo da ASSIMAGRA afirmaram terem intenção de investir a curto prazo, o que significa que continua presente, numa quantidade significativa de unidades, a preocupação com a melhoria contínua. Alguns destes investimentos seriam por exemplo: ampliação da capacidade/expansão do negócio, alterações tecnológicas, obsolescência de produtos e de processos, alterações nas infraestruturas e nos sistemas de informação.

Portugal destaca-se nesta indústria através das seguintes características:

- **Qualidade** e quantidade da pedra;
- **Exclusividade** - Existem vários tipos de pedra em Portugal que são únicos no Mundo;
- **Tecnologia** - Tecnologia muito avançada na extração e trabalho da pedra;
- **Mão de obra qualificada** - Os portugueses são conhecidos mundialmente pela arte de trabalhar bem a pedra;
- **Reconhecimento** - Existem pedras naturais portuguesas presentes em monumentos emblemáticos distribuídos pelo mundo fora.

2.4 Processo Produtivo e Produtos

Mais de 70% do mármore comercial é usado para revestimentos e pavimentos (externos ou internos) e o resto é usado em obras civis, decorativas e artísticas. As normas exigem um grau mínimo de dureza Mohs de 3 a 4 e provetas de (12 x 5 x 1) cm. Para catalogar o mármore tem que se diferenciar os conteúdos de calcite e de dolomite e também medir o grão (maior ou menor de 0,0156 mm) para separar os calcários e dolomias dos verdadeiros mármore. Contudo, os requisitos técnicos variam dependendo de cada aplicação. Por exemplo, para os pavimentos exteriores tem de se medir a resistência ao desgaste, ao choque e à microdureza Knoop. Outras características importantes são a absorção da água, porosidade aparente, coeficiente de dilatação térmica, resistência à compressão, à flexão, elasticidade e resistências mecânicas.

Tabela 2-2 - Produtos do sector da Pedra Ornamental, em função do grau de transformação (adaptado de Cevalor 2004).

Tipo de Rocha		Produto / Grau de Transformação			
		Em Bruto	Semi-Transformado		Transformado
Carbonatadas	Mármore	Bloco em Bruto	Bloco serrado	Chapa serrada	<ul style="list-style-type: none"> • Ladrilho <i>standard</i> • Bandas • Obras por medidas

Todos os ensaios são necessários para determinar a durabilidade dos mármore. A durabilidade dos mármore depende da sua composição mineralógica e da sua microestrutura. É necessário acrescentar os fatores externos e a função que se vai desempenhar o material na obra. A durabilidade depende das proporções relativas da calcite e da dolomite, propriedades facilmente alteráveis ou solúveis.

De acordo com a Tabela 2-2 é possível ter uma noção dos vários produtos e subprodutos da rocha de mármore, em função do grau de transformação. Em bruto o mármore apresenta-se com a designação de bloco em bruto. Quando este é semi-transformado, isto é, quando é aplicada uma transformação primária, o mármore apresenta-se em bloco serrado ou em chapa serrada. Por último é realizada uma transformação do mármore, dependendo do produto pretendido que poderá ser o ladrilho *standard*, as bandas ou então obras por medidas.

3 Caracterização do Processo Produtivo

3.1 Extração do Mármore

Neste capítulo pretende-se apresentar sinteticamente o conjunto de trabalhos já realizados sobre o estudo da indústria de extração de mármore bem como analisar os processos envolventes tanto da parte da pedreira como da fábrica onde a transformação do mármore é realizada.

Relativamente à extração do mármore este é sempre extraído (sempre que possível) em blocos regulares com medidas (3 x 2 x 2) m, medidas mais ou menos estandardizadas para facilitar o transporte e a sua colocação nos engenhos e outras máquinas de lâmina que transformam os blocos em chapas ou noutros objetos de pedra natural. O peso dos blocos por norma deve rondar as 30 toneladas devido as limitações da capacidade dos equipamentos, tanto a nível das pás carregadoras como dos pórticos.

3.1.1 Tipos de Extração

A extração de blocos de rochas ornamentais pode ser realizada tanto por lavra a céu aberto, como por subterrâneo. O primeiro tipo de lavra, ocorre com maior frequência. As pedreiras a céu aberto em maciços rochosos, são agrupadas primeiramente em pedreiras em poço sobre terrenos planos, pedreiras em flanco de encosta, em terrenos inclinados. Serão pedreiras de nível quando se é confrontando com um jazigo de mármore exclusivamente de forma tabular e horizontal.

Há diferentes configurações de pedreiras distribuídas em várias explorações de mármore, consoante os diferentes tipos litológicos, afetados por fatores geomorfológicos. Analisando as pedreiras da região de Vila Viçosa, e os critérios de escolha desses métodos associados à tecnologia de corte, constata-se que há diferentes situações capazes de satisfazer as exigências técnicas produtivas nas mais variadas situações de lavra num jazigo situado em uma topografia de relevo mais acentuado.

Perspetiva-se em Portugal que o tipo de extração passará a ser a exploração integrada de pedreiras. A única pedreira subterrânea no Anticlinal de Estremoz vai ser transformada a céu aberto como as explorações de lousas a norte do País.

A melhor escolha do método de lavra a ser adotado é função da morfologia dos afloramentos, dos volumes da reserva mineral, da análise do plano estrutural do jazigo, do seu estado de fracturação, da localização geográfica da área a explorar e das características do mármore a ser explorado.

3.1.2 Fluxograma do Processo Extrativo

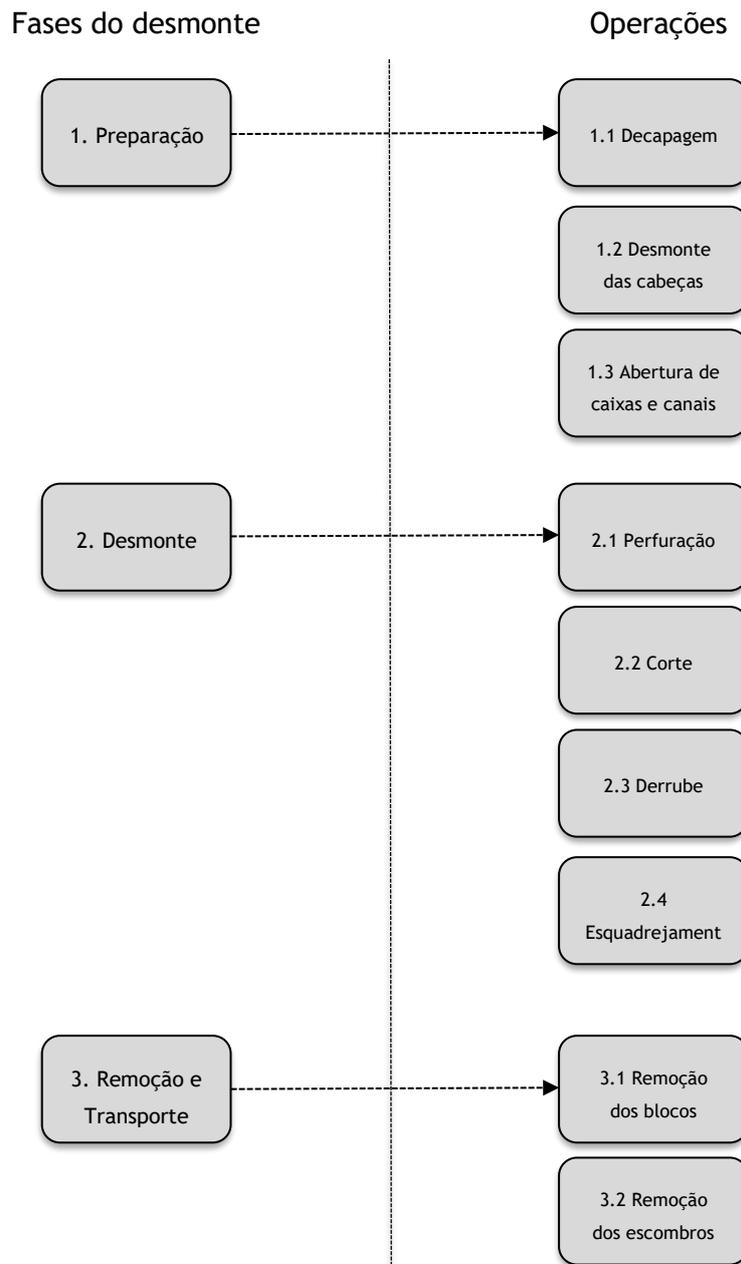


Figura 3-1- Fluxograma das fases e operações de desmote de mármore a céu aberto.

De acordo com [11] foi criado um fluxograma com o conjunto de operações que constituem o processo de extração de mármore a céu aberto, de forma simplificada. Como é possível visualizar o processo extrativo é dividido em três fases: Preparação, Desmote e por último Remoção e Transporte. Na primeira etapa estão incluídas as operações de decapagem do terreno, o desmote das cabeças ou “lápias” e a abertura de caixas e canais. Na fase do Desmote, onde se vai concentrar mais este trabalho, existem as operações de perfuração, corte, derrube e por fim esquadrejamento. Segue-se apresenta-se a etapa da remoção e transporte do material rochoso. Nesta fase, tanto está incluída a remoção dos blocos com valor

comercial bem como a retirada e transporte dos escombros ou rejeitados para as escombrelas, localizadas na envolvente da pedreira. Atendendo o objetivo deste trabalho, a análise e caracterização do ciclo produtivo numa pedreira de mármore só irá iniciar-se na etapa de desmonte. De seguida será feito um estudo mais específico a cada processo desse ciclo.

3.1.2.1 Perfuração

Para extrair estes blocos primeiro tem de se definir uma frente na pedreira normalmente realizando operações de perfurações verticais e horizontais com o objetivo de se definir uma talhada. Uma vez definida uma frente na pedreira com as dimensões adequadas, o corte dos blocos pode ser realizado com diversas técnicas.

Hoje em dia a técnica mais utilizada é o corte com o fio diamantado usando uma máquina de corte de fio diamantado. Em primeiro lugar realiza-se com um martelo pneumático ligeiro, com martelo à cabeça, barrenas integrais e bit em diesel (38 mm), usados em furos verticais. O outro método de perfuração é através duma perfuradora pneumática com martelo fundo de furo, com bit de botões. Os diâmetros dos furos de levante rondam entre os 76 mm e os 90mm. São tão utilizados em mármore duros ou macios. Na perfuração dos furos da talhada, consegue-se confirmar que os mesmos se intercetam quando a barrena interceta o furo de levante e na altura é sentido logo na boca do furo um barulho e o pó a sair.

3.1.2.2 Corte

Quando estas perfurações estão corretas, introduz-se o fio diamantado com a ajuda de varas. Assim que seja introduzido na totalidade e encaixando a extremidade oposta na máquina, é dado o arranque da máquina de corte de modo a que o fio se mova e produza o corte através do contacto dos pontos diamantados do fio com a rocha de mármore. Para este processo são necessárias grandes quantidades de água para o arrefecimento do fio diamantado, de modo a conservar o mesmo e não se partir devido às altas temperaturas. O consumo de água em litros por minuto dependerá do tipo de rocha, da velocidade da máquina de corte e do tipo de fio.

O rendimento de corte varia, normalmente, entre 2 a 5 m²/h para granitos e no caso dos mármore um intervalo entre 8 a 15 m²/h de velocidade de corte. O processo para o corte da fase horizontal da talhada de mármore cumpre o mesmo raciocínio para as fases verticais da talhada, visto que as máquinas de corte de fio diamantado conseguem mudar de posição virando 90° para qualquer posição que se queira optar. Existem outras técnicas alternativas como o corte da talhada por perfuradora, cimento expansivo, jato de água ou lança térmica, mas a técnica mais usada hoje em dia, especialmente em território português é a do corte por fio diamantado.

3.1.2.3 Desmonte e Derrube

Depois de executada o corte na talhada, tem de ser feito o derrube da mesma. Dependendo da qualidade do mármore, são normalmente usadas almofadas ou colchoes de água pressurizada, que têm espessura igual à fase que foi anteriormente cortada.

Em seguida estes equipamentos são introduzidos nas ranhuras sendo injetada água à pressão na almofada de modo a que se expanda. A expansão da almofada provoca a cedência progressiva da talhada até ao seu derrube. Às vezes quando o mármore é menos fraturado o derrube da talhada torna-se difícil e moroso, sendo, nestes casos utilizado um tomba bancadas hidráulico (*Hydraulic stone bench pusher*), montado num braço duma retroescavadora. Este equipamento é encaixado entre a ranhura da bancada e a talhada, aplicando-se continuamente uma força de extensão de modo a libertar cada vez mais a talhada e promover a sua queda.

Importante neste processo é a deposição de rejeitados de calibre baixo e com alguma areia no nível da pedreira onde a talhada vai cair de modo a servir como um amortecedor da sua queda. O termo usado na indústria é de “cama” de rejeitados. Isto faz com que a talhada de mármore se conserve o mais intacta possível de modo a tirar o máximo aproveitamento dos seus blocos. Para uma talhada de mármore muito fraturada e de baixa qualidade, por norma, observa-se que o desperdício ou o escombro de rocha é muito elevado nesta situação.

3.1.2.4 Esquadrejamento

Após o derrube da talhada procede-se ao esquadrejamento dos blocos com valor comercial para serem carregados e transportados. Neste processo é utilizada igualmente uma máquina de corte de fio diamantado. Dado que os blocos derrubados são de menor dimensão comparativamente aos da talhada é normal que se usem máquinas de corte de menor potencia para o esquadrejamento. Não sendo assim uma regra geral, é uma decisão normalmente de bom senso para se atingirem níveis satisfatórios de produtividade. No esquadrejamento é realizado no mínimo 3 cortes verticais, o suficiente para se dar uma forma adequada ao bloco, retirando o excesso de volume que possa ter. A definição da orientação e posição do corte depende muito da qualidade do bloco de mármore e das impurezas que se detetem ou sinais de fracturação.

3.1.2.5 Remoção

Segue-se então a fase de remoção, que consiste na limpeza da frente e desmonte através de uma pá carregadora ou escavadora giratória. Os blocos comerciáveis são transportados pela pá carregadora para os centros de produção. O restante, denominados por inertes ou escombro, são transportados para as escombreyras, por intermédio de *dumpers*.

3.2 Transformação do Mármore

A transformação e a elaboração da pedra natural têm tido uma surpreendentemente evolução tecnológica nos últimos tempos, como consequência da melhoria das ferramentas de corte e um maior conhecimento do material que está a ser trabalhado, permitindo, assim, novas técnicas de acabamentos. O reforço organizacional que tem vindo a ser implementado tem resultado numa maior otimização e automatização dos processos, com a consequente, redução dos custos de transformação. O objetivo é conseguirem-se principalmente materiais laminados para revestimentos, peças de desenho, escultura, mobiliário urbano, mesas, entre outros.

Tendo em conta o produto final pretendido e os respetivos mercados de venda, os materiais provenientes da pedreira serão submetidos a processos distintos de transformação.

Os blocos de mármore que chegam da pedreira podem ser divididos em 3 grupos: Blocos Esquadrejados, blocos informes e material rejeitado.

É importante os blocos esquadrejados terem uma forma paralelepípedica o mais regular possível. A transformação destes blocos é dividida em duas linhas de produção. Uma se o bloco de mármore for de qualidade elevada é transformado em chapa, de espessuras variáveis, que normalmente rondam os 2 a 3 cm. Pode-se optar por sujeitar ou não a chapa a um tratamento de polimento, decisão depende das características que o comprador e o respetivo mercado pretendem.

Se o bloco for de qualidade inferior e tiver dimensões reduzidas é introduzida na segunda linha de produção, dedicada ao corte, onde se pretende aproveitar os blocos dando origem a bandas. De realçar que tanto as chapas como as bandas, são neste contexto ainda produtos intermédios, sendo sujeitos a transformações posteriores.

O segundo grupo de blocos é o grupo dos blocos informes ou com uma geometria irregular. Estes podem ser destinados à criação de objetos decorativos ou corpos volumosos onde é necessário partir e desperdiçar grande parte de material, por exemplo para fins esculturais.

O terceiro e último grupo refere-se aos materiais derivados da atividade extrativa, materiais granulares de distintos calibres ou então “natas” compostas por pó de mármore, de calibres finos com a inclusão de água.

Estes materiais são designados por rejeitados ou resíduos de mármore, produzidos durante os processos de interação com a pedra e que também podem ser comercializados ou terem novas aplicações.

De realçar que numa fábrica bem equipada e completa, é possível a criação de produtos finais de medidas convencionais (*standard*), de obras por medida e de trabalhos especiais

3.2.1 Faseamento da Transformação de Mármore

Atividade transformadora da rocha ornamental é caracterizada por várias etapas e processos muito diversificados dependendo do produto final pretendido, como se pode verificar no fluxograma da Figura 3-2. De um modo geral, o ciclo produtivo na transformação de rocha ornamental é idêntico tanto para as rochas carbonatadas como para os granitos e rochas similares. As diferenças que existem referem-se aos tipos de equipamentos utilizados em alguns processos. Relativamente à inclusão dos engenhos multilâminas na linha de produção de chapa, por norma só estariam incluídos nesta linha se as chapas forem para uma linha de polimento de chapa. Atualmente, as chapas são cada vez mais utilizadas para serem cortadas em bandas em máquinas corte tipo ponte e aí seguem para a linha de polimento. Neste caso os engenhos fariam parte desta linha de produção. Já os “talha blocos”, que foram usados durante muitos anos, estão a cair em desuso porque são de consumo excessivo.

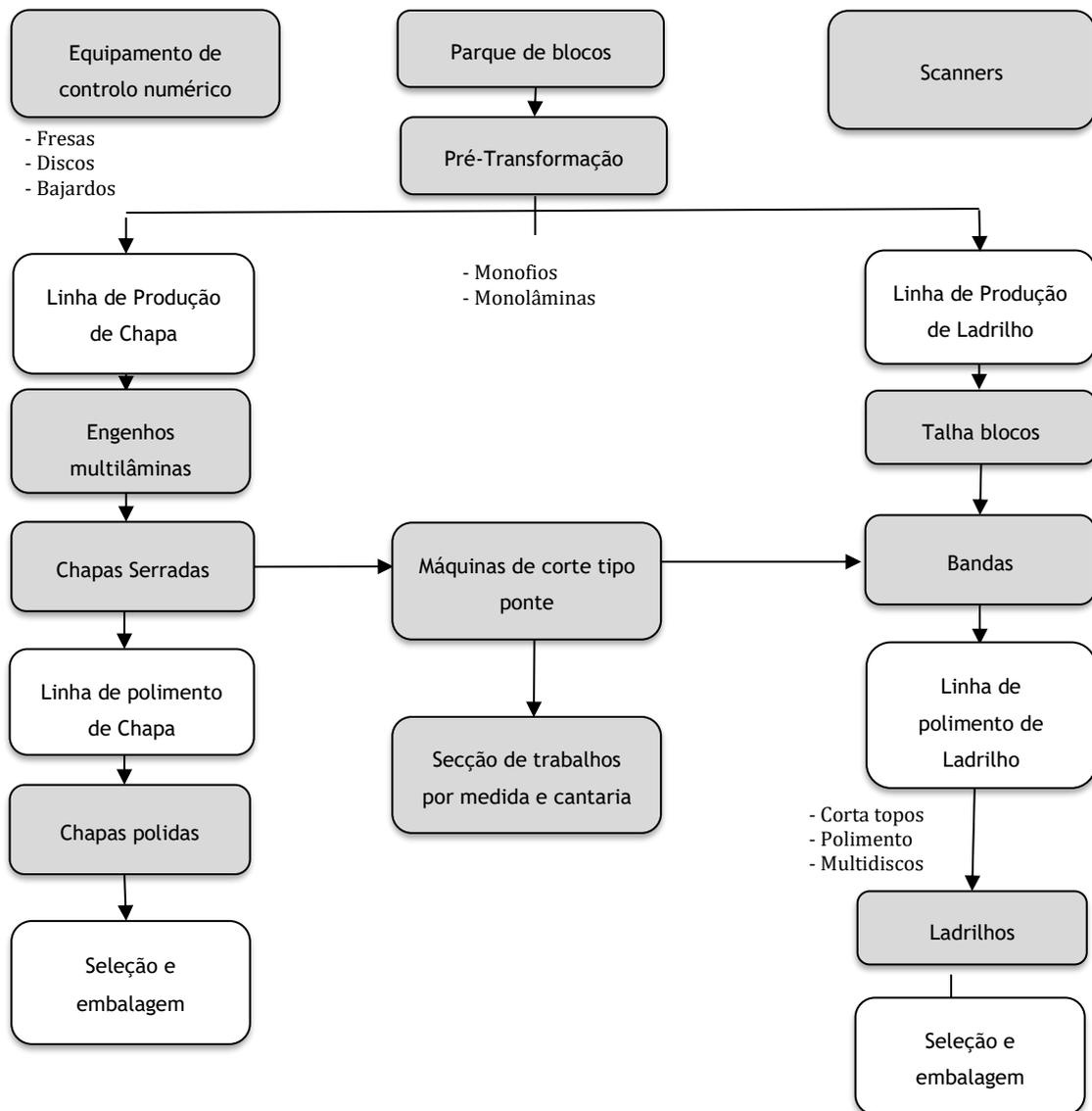


Figura 3-2 - Fluxograma do ciclo de transformação de rocha ornamental. [5]

3.2.1.1 Parque de Blocos

Os blocos de rocha extraídos da pedreira são transportados até à fábrica por meio de camiões, onde são armazenados numa zona designada por Parque de Blocos ou depósito, dando-se início ao processo de transformação, o qual inclui um conjunto de operações sequenciais, com o objetivo de produzir um produto acabado que cumpra determinados requisitos específicos.

Ainda dentro deste processo existe o subprocesso de carga e descarga do respetivo bloco de mármore. Este processo consiste na receção, pesagem do bloco e identificação (nº de fábrica e tonelagem). De realçar que a empresa em estudo faz a respetiva identificação dos blocos na pedreira, após o seu redimensionamento na linha dos monofios, que se localiza logo ao lado da pedreira.

A descarga é feita do camião para o Parque de Blocos através de pórticos cujo raio de ação cobre toda a área do parque. Caso seja necessário dar outra orientação ao bloco que entra na fábrica, ou mudar a sua posição, utilizam-se os equipamentos designados como vira-blocos. Depois dos vira-blocos os blocos são transportados através da ajuda dos pórticos para sedar início à operação de serragem na monolâminas ou diretamente para a linha dos engenhos.



Figura 3-3 - Camião de transporte de bloco, pórticos e o respetivo vira-blocos.

3.2.1.2 Esquadrejamento/Aparelhamento do bloco

A primeira operação denominada transformação primária consiste na utilização de equipamento como as monolâminas ou os monofios com o objetivo de se obter uma forma paralelepípedica aos blocos, retirando-lhes as imperfeições estruturais. Relativamente aos equipamentos, as monolâminas servem fundamentalmente para retificar as dimensões de blocos adquiridos a outras empresas e para obras de arte feitas à medida. Os monofios tem a mesma finalidade e tanto podem estar localizados na pedreira ou na fábrica, dependendo da lógica proposta pela empresa.

Esta primeira etapa de transformação do bloco de mármore é muito importante porque com ela consegue-se uma melhor eficiência do processo transformador, maximizando o

aproveitamento da rocha, reduzindo os consumos e a produção de resíduos. Os blocos por norma só deverão avançar para o sector de engenhos multilâminas quando estiverem devidamente aparelhados e cuidadosamente inspecionados no que respeita à presença de fissuras.

No caso da empresa do António Galego e Filhos, Lda., para uma melhor otimização do processo de transformação e para a redução de custos de produção decidiu-se instalar a linha dos monofios dentro da área de exploração da pedreira, logo de seguida à rampa principal de acesso à cota rasante da pedreira. Pode-se visualizar na Figura 3-4 a localização da linha dos monofios na área de exploração da pedreira.

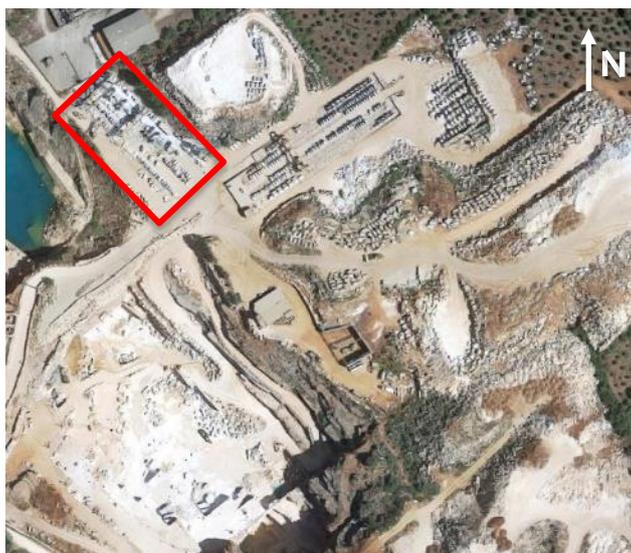


Figura 3-4 - Área assinalada a vermelho correspondente à linha de monofios, no lado Sudoeste da zona de extração da pedreira.

3.2.1.3 Serragem do Bloco

Depois dos blocos sofrerem uma transformação primária e para ficarem com dimensões adequadas, são introduzidos, na sua chegada à fábrica no setor de corte dos engenhos, onde serão serrados para a produção de chapas com espessuras principalmente de 2 e 3 cm.

Atualmente a maioria das serrações que trabalham pedra carbonatada possuem engenhos multilâminas, de segmentos diamantados que, montados num tear possuem movimentos de vai e vem. São equipamentos que de uma maneira geral possuem capacidades para cortar um bloco de dimensões 3,50 m x 1,80 m x 2,00 m ou vários perfazendo uma volumetria equivalente. Existem engenhos cujos teares suportem 120 lâminas, possuindo velocidades de corte entre 20 cm/h e 40 cm/h, dependendo da dureza da rocha e do número de lâminas. São equipamentos bastantes potentes, com uma capacidade instalada na ordem de 120 kW e consumo de água para refrigeração e limpeza dos golpes que ronda os 600 l/min. Os modelos existentes contemplam duas versões: a zorra onde é colocado o bloco possui movimento ascendente à

medida que este é cortado; a zorra é estática e o tear com as lâminas possui movimento descendente durante o corte.

Nos últimos anos surgiu um sistema alternativo que promete acabar com a hegemonia dos engenhos multilâminas; trata-se dum equipamento multifios, muito mais eficazes, versáteis e que permitem superfícies cortadas muito mais homogêneas e com menos irregularidades do que as observadas nas chapas cortadas com lâminas. Estes equipamentos podem possuir uma bateria de 85 fios diamantados, com pérolas de 6 mm de diâmetro, eliminando-se o movimento de vai e vem e proporcionando uma preparação de cargas muito mais célere.

À medida que o corte se vai efetuando, a zona onde o bloco está colocado executa um movimento ascendente permitindo assim que as lâminas estejam em constante contacto com a pedra. Estes equipamentos possuem uma velocidade de corte em mármore nacional entre os 12 cm/h e 16 cm/h. À semelhança de alguns equipamentos atrás referidos, também este possui um sistema de refrigeração por injeção de água. A colocação e remoção dos blocos nos engenhos é feito com o auxílio dos pórticos.

Chapas e tiras são produtos que sofrem uma transformação primária e por isso são considerados semitransformados ou intermédios, sendo produzidos respetivamente nos engenhos e no talha-blocos.

3.2.1.4 Corte da Chapa em Bandas

As chapas obtidas, podem ser expedidas como tal ou encaminhadas para o corte longitudinal e transversal em bandas (ou tiras), numa máquina de corte de disco tipo ponte com a programação das medidas extras para o efeito pretendido. O corte é feito através do movimento da trave da máquina no sentido transversal e da cabeça equipada com o disco no movimento longitudinal. O suporte do disco é regulável podendo trabalhar em posições diferentes ser montado em linha ou em separado. Após o corte de precisão segue-se a biselamento e polimento dos topos.

3.2.1.5 Calibragem e Tratamentos Superficiais de Chapas e Bandas

Uma vez obtidas as chapas e as bandas, estas passam por um novo estágio de fabrico onde são aplicados tratamentos e acabamentos superficiais. Todas estas operações são realizadas sobre o material serrado ou cortado para dar propriedades estéticas distintas (aparência, propriedades óticas: brilho, opacidade, aparência envelhecida, antideslizamento, etc.).

Primeiramente é feito uma calibragem que tem como finalidade ajustar a espessura/regularidade da chapa ou das bandas para assim retificar pequenas imperfeições que possam aparecer durante a serragem ou corte.

Estes tratamentos influenciam muito o aspeto visual do produto e o seu valor comercial, acabando por modificar as propriedades físicas (características técnicas) da pedra, como, por exemplo, obterem-se propriedades antideslizantes, requeridas por exemplo para pavimentos de exterior. Também é possível alterarem-se as ações dos agentes do meio ambiente, modificarem-se a rugosidade e a composição da superfície da pedra.

Os principais tratamentos na superfície da pedra que podem ser aplicados são: polimento, bujardado, flamejado, resinado, a necessitado de revestimento extra, entre outros. Na aplicação destes tratamentos, a pedra vai ser sujeita a tensões mecânicas e/ou térmicas importantes. Quando as chapas são pouco resistentes e com porosidades altas é normalmente aplicado um tratamento de resina. Já o método de flamejado não é aplicável nos mármore por não suportarem bem o choque térmico.

No tratamento de polimento são normalmente usados diferentes abrasivos de grão progressivamente decrescentes, cada um dos quais vai eliminando os traços deixados pelo anterior. A dimensão do grão com que se inicia o trabalho depende da classe material e do aspeto que apresenta a sua superfície. Os abrasivos normalmente são compostos por uma resina de poliéster insaturada, partículas de carbonato de silicone (*Abra Iride*), de dimensões diversas, carbonato de cálcio e cloreto de sódio e óxidos corantes. Este tratamento é o que mais realça a beleza da pedra natural e é o tratamento tradicionalmente mais utilizado. Mesmo assim, existe uma tendência em se recuperar o conceito histórico de pedra, como algo natural, com a crescente a procura de pedras sem polimento.

Durante o processo da linha de polimento o carregamento e descarga das chapas ou outros subprodutos, são realizados manualmente ou através dum sistema de carga e descarga automática. Por último efetua-se a limpeza da peça, a secagem e a escolha segundo critérios de uniformização de vergadas e tonalidades, seguindo-se a embalagem do produto.

3.2.1.6 Corte das Bandas em Ladrilhos

As tiras ou bandas provenientes dos talhas-blocos ou das máquinas de corte tipo ponte, não são constituídos por norma produto final, só em alguns casos particulares podem ser e aí seguem diretamente para o polimento e para outros tratamentos superficiais.

Em alternativa seguem imediatamente para a linha de ladrilho, para a máquina de corte, ou usando outra terminologia da área, para a rufiadora. Este equipamento divide uma tira, uma banda como uma determinada espessura em duas de espessura igual, sendo posteriormente encaminhadas para a fase seguinte. De seguida, as bandas entram na linha de polimento de ladrilho, passando primeiro por cabeças com calços diamantados que vão realizar a retificação de espessura e superfície, por forma a que os calços seguintes, de polimento, assentem na totalidade sobre a superfície garantindo assim o máximo de eficácia no processo de polimento.

Posteriormente, através do tapete rolante, as tiras passam para a polidora que vai polir uma das suas superfícies, seguindo para o multidiscos, constituída por um conjunto de discos de corte diamantado que, podem ser programados para cortarem as dimensões desejadas. Nesta secção também se pode encontrar instalado um “robot” para voltar a peça. Por esta altura deixa-se de se chamar banda e passa a chamar-se ladrilho ou mosaico, dependendo do tamanho. Depois é feito o transporte do ladrilho por meio de rolos transportadores para a biseladora, equipamento possuidor de mós diamantadas que irão retificar os topos dos quatro lados da peça, passando de seguida por uma secção de secagem e limpeza e de seguida para a embalagem.

3.2.1.7 Seleção e Embalagem

Nesta etapa o objetivo é obter-se um produto final uniformizado, inicialmente manual, sendo efetuado por operários especializados. As tiras ou bandas de comprimento livre são embaladas em paletes de madeira simples. A chapa polida e trabalhos especiais são envolvidos unicamente por filme plástico e colocados em cavaletes. A embalagem dos ladrilhos é precedida por um controlo de qualidade em mesas de escolha, normalmente no final da linha de ladrilho. De seguida os ladrilhos são normalmente embalados em caixas de papelão, separados por um filme plástico colocado entre duas superfícies polidas. O transporte das paletes é assegurado por um empilhador e por pontes rolantes.

3.2.1.8 Secção de Trabalhos por Medida e Cantaria

Geralmente as fábricas de transformação de rocha ornamental possuem uma secção destinada a trabalhos especiais, por medida ou cantaria. Estes trabalhos são feitos por medidas e estão incluídos por exemplo a elaboração de bancadas de cozinha, de casas de banho, rodapés, lápides funerárias, revestimento de fachadas entre outros. Estas operações são feitas por equipamentos manuais como a rebarbadora ou máquinas de corte automáticas tipo ponte. Existem várias empresas que neste contexto já introduziram a tecnologia de corte CNC a três e cinco eixos e também a tecnologia por jato de água

3.2.1.9 Scanners e Equipamento de Controlo Numérico (CNC)

Nos últimos tempos têm aparecido algumas tecnologias que contribuíram muito para o sector da transformação de mármore. Uma destas tecnologias para trabalhos especiais são os equipamentos de controlo numérico, CNC, como fresas, discos ou bujardas. Outros equipamentos são os scanners, tecnologia de ponta recentemente elaborada. Outros equipamentos existentes também para trabalhos especiais são máquinas de corte por jato de água ou máquinas de tornear para fabricação de colunas, balaústres, etc.

4 Caracterização dos resíduos de mármore

4.1 Introdução

A indústria extrativa é um dos sectores industriais que maior quantidade de resíduos gera. O sector de produção de rochas ornamentais, devido às suas baixas taxas de aproveitamento, é um dos que mais contribui para a produção desse tipo de resíduos sólidos. Relativamente ao desperdício este ronda os valores de 80 a 90% do total da rocha extraída, o que acaba por originar impactes muitíssimo significativos. Estas percentagens de desperdício acontecem devido principalmente ao elevado grau de fracturação do jazigo, que impede a produção de blocos com dimensão comercial mínima, assim como aspetos de ordem estética, que desvalorizam a pedra.

A maior parte destes resíduos são constituídos por solos e rochas, sendo considerados pela legislação europeia como não perigosos e, em alguns casos, como inertes, mas representam na mesma um problema para o qual diversas soluções terão de ser estudadas e aplicadas. Mesmo assim existem desperdícios que são inevitáveis, pois estão ligadas à natureza (qualidade) das rochas, *in situ*, mas mesmo estas, podem ser minimizadas se houver um melhor conhecimento geológico das fraturas e descontinuidades do jazigo de mármore, antes de iniciar a fase de extração.

A nível nacional verifica-se todos os anos que milhões de toneladas de desperdício de mármore são acumuladas nas escombrelas dos concelhos de Estremoz, de Borba e de Vila Viçosa pela indústria extrativa local.

Esta quantidade crescente de resíduos na indústria extrativa de mármore pode ser explicada pelo facto de, nos anos 80, este sector, ter sido muito impulsionado pela crescente exportação de materiais, criando um verdadeiro *boom* neste sector de atividade em Portugal. Neste período, o desenvolvimento tecnológico não conseguiu acompanhar este avanço de exportação com tecnologias atualizadas e adequadas, referentes aos métodos de extração, transformação e o controle ambiental, dando assim origem a um claro aumento de resíduos.

Segundo o Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de setembro, resíduo é qualquer substância ou objeto de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou obrigação de se desfazer. Existem resíduos que podem ser considerados perigosos, sendo aqueles que apresente características de perigosidade para a saúde ou para o ambiente. Segundo a Portaria 208/2004, de 3 de março, são considerados resíduos perigosos, por exemplo os combustíveis, explosivos, os resíduos facilmente inflamáveis (estão previstas características específicas) ou os inflamáveis. No caso dos resíduos de mármore os mesmos não são considerados perigosos.

4.2 Produção de resíduos de rocha ornamental

Na globalidade, estimou-se em 1981 uma produção de, aproximadamente, 12 615 977 t/ano de resíduos de massa mineral e cerca de 1 042 284 7 t/ano de lamas [13].

Aos resíduos resultantes das operações de extração e transformação da pedra natural, acrescentam-se 9 095 t/ano de outros resíduos (papel, cartão, plástico, madeira, sucatas, acumuladores, pneus, panos e calços de polimento) e 683 m³/ano de óleos de motores, transmissão e lubrificação e, solventes de limpeza.

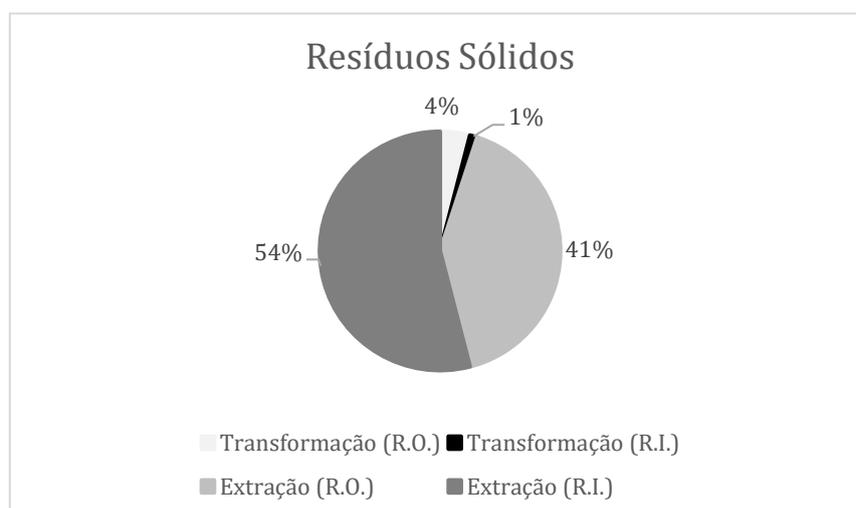
O quadro seguinte representa as estimativas de resíduos sólidos e pastosos gerados anualmente no sector:

Tabela 4-1 - Quantidade de resíduos produzidos no sector e subsectores da Pedra Natural.

Subsector		Matéria prima processada (t/ano)	Resíduos sólidos (t/ano)	Resíduos pastosos (t/ano)	Rendimento de utilização da matéria prima (%)	Outros Resíduos (t/ano)	Óleos (m ³ /ano)
Rochas Ornamentais	Extr.	1.324.685	5.226.458	259.696	255	9.095	983
	Transf.	1.626.158	478.048	347.383	71		
Rochas Industriais	Extr.	90.619.872	6.820.851	-	-936		
	Transf.	90.619.872	90.620	435.205	99,9		
Total			12.615.977	1.042.284		9.095	693

Fonte: PNAPRI - Guia Técnico do Sector da Pedra Natural - fevereiro de 2001

Na indústria extrativa de pedra natural existem vários tipos de resíduos, enquanto que os mais significantes e relevantes para este trabalho são os resíduos sólidos e os resíduos pastosos. No gráfico seguinte os resíduos sólidos apresentam-se com uma distribuição percentual de 54% na parte da extração do subsector das rochas industriais e 1% na transformação. Nas rochas ornamentais, onde se pretende o foco deste trabalho, tem 41% de resíduos sólidos nos processos de extração e 4 % na parte de fábrica. Já os resíduos pastosos, ou lamas, analisando o Gráfico X nas rochas industriais têm uma distribuição cerca de 42% para os processos de transformação e 33% na extração. Nas rochas ornamentais o valor é de 25% para processos de extração.



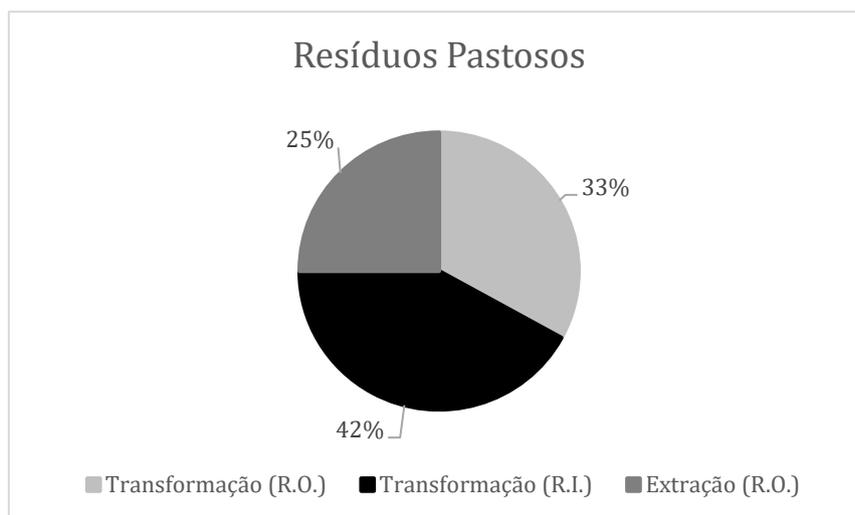


Figura 4-1- Distribuição dos resíduos sólidos e resíduos pastosos na indústria de pedra natural. (Fonte: PNAPRI - Guia Técnico do Sector da Pedra Natural - Fevereiro de 2001)

4.3 Resíduos do ciclo produtivo de extração

No processo de extração de pedra natural, ornamental e industrial, são gerados resíduos, essencialmente, massa mineral rejeitada, poeiras e lamas.

- **Massa mineral rejeitada:** estéril, de natureza diferente daquela que se pretende explorar ou que não apresente valor comercial.
- **Resíduos da utilização inadequada de explosivos no processo de detonação:** no caso do subsector das rochas industriais.
- **Poeiras** resultantes, no caso do subsector das rochas ornamentais, dos processos de perfuração, desmonte, carga e descarga de material, no caso do subsector das rochas industriais, dos processos de rebentamento e transporte.
- **Lamas** geradas nas operações de desmonte com fio diamantado e de transformação do bloco devido à utilização de serras de corte, empregando água (r. ornamental).

4.3.1 Terras de cobertura

Durante a abertura duma pedreira, com a desmatação e a destapação, é sobre o solo que a ação do homem se faz sentir em primeiro lugar, principalmente com a destruição do solo arável e a redução da atividade agrícola. Neste contexto manda o bom senso armazenar o solo em separado de outros materiais e lixos, deposita-los afastado da corta da pedreira evitando-se ravinamento e por último a modelação adequada minimizando o impacte visual.

Convém referir que estes depósitos de solo ou mais conhecidos como terra rossa pode ser definido como um subproduto e não um resíduo visto que pode ser aplicado por exemplo na indústria de olaria entre outras. Este tipo de resíduo pode ser usado para a recuperação paisagística da pedreira nos anos finais do seu funcionamento.

4.3.2 Massa mineral rejeitada ou escombro

Refere-se à massa rejeitada, estéril ou escombro, de natureza diferente daquela que se pretende explorar ou a rocha que não apresente valor comercial. Com a conceção e desenvolvimento de novas tecnologias nos últimos anos tem-se verificado uma diminuição da quantidade de resíduos de mármore. Outros fatores que condicionam o estéril gerado é o aspeto geológico do maciço a ser explorado, a natureza da rocha, as técnicas utilizadas no desmorte da rocha e o tipo de mão de obra utilizado.

Analisando o ciclo de extração em pedreiras de mármore este tipo de resíduo verifica-se mais na etapa do desmorte, isto é, quando a respetiva talhada é derrubada acabando por se fraturar. Este tipo de resíduo normalmente é constituído por blocos de tamanhos variados, podendo atingir valores superiores a 1 m³, blocos com defeitos, pedaços de blocos, material retirado dos blocos por ocasião do esquadreamento dos blocos, lascas de rochas, entre outros.

4.3.3 Poeiras

Este resíduo ocorre durante as várias fases extração, principalmente nas operações de perfuração vertical e horizontal/levante das bancadas de mármore. As operações de carga e descarga do material também faz com que se gere significativamente este tipo de resíduo.

4.3.1 Lamas

A maior parte da lama na extração do mármore é gerada nas operações de desmorte com fio diamantado, devido a aplicação de água. Este resíduo é constituído por uma mistura de água e partículas finas de rocha. As etapas do ciclo de extração de mármore onde se verifica este tipo de resíduo são especialmente as operações de aparelhamento, no corte das talhadas e também nas operações de perfuração.

Na tabela 4-2 é feito um resumo dos resíduos gerados nos processos do ciclo de extração das pedreiras de mármore, onde (0) é quando não gerado esse tipo de resíduo, (+) ou (++) é quando é gerado quantidades ou muitas quantidades, respetivamente, desse resíduo. O (-) e (--) segue a mesma lógica, mas no sentido inverso.

Tabela 4-2 - Indicadores da quantidade, estimativa, de resíduos gerados no ciclo de extração de mármore.

Etapas do ciclo de Extração de Mármore	Lamas	Escombros
Perfuração	+	0
Corte	+	0
Desmorte	0	+
Esquadreamento	+	+
Remoção	0	0

4.4 Resíduos do ciclo produtivo de transformação

Relativamente à transformação da pedra natural os resíduos resultantes dos processos de transformação são essencialmente massa mineral rejeitada, no subsector das rochas ornamentais, e poeiras e pós, no subsector das rochas industriais. As lamas são um tipo de resíduo comum aos dois sectores.

Genericamente, são gerados os seguintes resíduos na transformação:

- **Massa mineral rejeitada:** resultantes das operações de serragem, corte e acabamento, das quais se destaca as chapas com defeito e resíduos de pedra.
- **Poeiras e pós** resultantes do tratamento superficial e fase de polimento e, do acabamento e trabalhos especiais, no caso das rochas ornamentais e em todas as fases do processo no caso das rochas industriais.
- **Lamas** resultantes do processo de serragem, corte e polimento (rochas ornamentais), processamento de matéria por via húmida e unidades de lavagem de areias (rochas industriais).

Existem, também, resíduos diversos que por vezes são comuns a várias operações, como calços de polimento, sucata de metal, pneus, acumuladores, óleos usados, solventes, panos e embalagens de natureza vária (papel e cartão, plástico e madeira).

O desperdício das linhas de polimento possui um grande aproveitamento, uma vez que existe mercado para este produto geralmente posto à venda em paletes de 1 m³.

Em explorações dotadas de capacidade para realizar uma primeira transformação ou transformação primária, os blocos de pequenas dimensões ou com algumas deficiências (não comerciais) podem ser utilizados na produção de tiras (comprimentos livres) e ladrilhos, com o objetivo de obter uma mais-valia de um produto que tradicionalmente era destinado às escombreiras.

Quanto às “natas” provenientes do corte, serragem e polimento de rochas ornamentais são inicialmente canalizadas para um tanque de onde serão bombeadas posteriormente para depuradores, onde irão ser sujeitas a uma separação da água. Finalmente a “nata” será canalizada para o filtro-prensa e a água purificada entrará de novo no circuito da fábrica. As “natas” depois de prensadas são colocadas num “*dumper*” que fará o transporte para o depósito de resíduos.

Analisando o ciclo de transformação do mármore e realizando ao mesmo tempo um resumo do que foi exposto, as etapas ou as linhas de produção que gerem mais resíduos são o sector dos engenhos multilâminas, onde tanto gerem muito escombro como uma grande quantidade de lamas com abrasivos. Onde se verifica igualmente uma grande quantidade de lamas e de

escombro é na etapa da talha blocos, aquando da produção de bandas, e quando as chapas entram para na linha de produção de ladrilho. Por último, na linha de produção de ladrilhos, por norma também se verificar produções significantes de resíduos sólidos e de lamas.

Tabela 4-3 - Indicadores da quantidade, estimativa, de resíduos produzidos no sector de transformação de mármore.

Etapas do ciclo de Transformação de Mármore		Lamas	Escombros
Pré- Transformação:	Monofios	+	++
	Monolâminas	+	++
Linha de produção de Chapas	Engenhos multilâminas	++	++
	Polimento de Chapas	++	-
	Seleção e Embalagem	0	--
Linha de Produção de Ladrilho	Talha Blocos	++	++
Linha de Polimento de Ladrilho	Corta-Topos	-	+
	Polimento	++	-
	Multidisco	++	+
	Biselamento	+	0
	Seleção e Embalagem	0	--
Scanners		++	++
Equipamento de controlo numérico	Fresas	++	++
	Discos		
	Bujardas		
Secção de trabalhos por medida e cantaria		+	-

4.5 Destino dos rejeitados de mármore

Como foi já analisado, nos processos de transformação e de extração é gerada uma quantidade significativa de desperdícios de mármore. Recapitulando, existem dois tipos de resíduos ou rejeitados de mármore: os resíduos sólidos e os resíduos pastosos, ou lamas de mármore.

Os desperdícios sem capacidade de serem aproveitados nas linhas de produto são direcionados para escombreliras localizadas nas proximidades, tal como acontece com os materiais extraídos da pedra. O aproveitamento dos escombros para a produção, por exemplo, de agregados deve ser equacionado como uma forma de minimizar os impactes ambientais. Apesar das escombreliras possuírem maior volumetria e serem em maior número, os depósitos de “natas” podem ter mais impactes.

Os depósitos de “natas” têm características diferentes das escombreliras, trata-se de pedra em pó, um material extremamente fino resultante do corte e polimento de rochas ornamentais. Nas unidades de transformação, por produzirem maiores quantidades de “natas” e necessitarem de elevadas quantidades de água, estas lamas são canalizadas para uma estação de tratamento de águas industriais constituída por um tanque de receção, seguindo-se depuradores, onde por adição de um floculante se processa a separação da água da carga sólida. A água sai por transbordo para um tanque de águas limpas entrando de novo no circuito fabril. A “nata” espessada sai pelo “underflow”, sendo direcionada para um sistema de filtro de prensagem onde lhe é retirada grande quantidade de água, formando-se placas que depois são direcionados para um depósito a céu aberto.

Os impactes verificados com estes depósitos são: a redução do coberto vegetal, diminuição da atividade agrícola, impermeabilização dos solos e a alteração das linhas de água e dos ecossistemas. Um dos impactes mais marcantes é o impacte visual, dado que a cor branca é muito contrastante com todo o ambiente circundante, fundamentalmente rural.

O pó de mármore tem várias aplicações industriais, devido ao facto da sua grande percentagem de finos e da baixa percentagem de óxidos metálicos. Por norma, este reaproveitamento, só é possível desde que seja viável economicamente, isto é, a um custo logístico reduzido.

Um dos sectores em que tem havido uma crescente aplicação crescente deste resíduo de mármore é na indústria das cimenteiras. Este tipo de indústria é caracterizado por consumir grandes quantidades de energia. Tendo este contexto em conta, tem-se realizado vários estudos na busca de soluções e alternativas para diminuir os custos. Outras aplicações dos rejeitados consiste no sector de produção de brita na construção de estradas, na indústria cerâmica, ou aditivos para tintas plásticas, em usos agrícolas (regularização do teor de pH), entre outros. Mesmo que ainda não seja possível a aplicação das “natas” de mármore em quantidades industriais, há que promover a sua recolha e acondicionamento adequado.

5 Campanha experimental

5.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo a descrição detalhada da campanha experimental realizada. Como tal, foram tidos em conta os vários conceitos já descritos, bem como as várias etapas do ciclo de extração de rocha ornamental na pedreira e o ciclo de transformação na fábrica e os seus processos e respetivos equipamentos. Foram tidos também em conta as características técnicas dos mármore locais e os vários tipos de resíduos ou rejeitados de material produzidos neste contexto industrial.

Só após do primeiro contacto com a empresa envolvida neste estudo, quer na unidade extrativa, quer na unidade transformadora, é que foi possível a criação duma lógica mais pertinente e eficaz de quantificação de rejeitados através de fichas de recolha de dados que foram elaboradas para esse efeito e de seguida houve um tratamento e organização desses dados através do software Excel. No que diz respeito à pedreira, o objetivo foi dividir a quantificação de rejeitados de mármore pelas várias operações integradas no ciclo de trabalhos de pedreira, respetivamente a perfuração, de corte, de desmonte, de esquadrejamento e por fim a remoção. Em relação à fábrica, o raciocínio foi o mesmo que foi definido para a pedreira

Foi também elaborada uma lista de quantidades e dos tipos de equipamentos existentes na pedreira e na fábrica, bem como o número de trabalhadores e suas funções.

Há que salientar que a ficha de recolha de dados no terreno, criada para este trabalho, sofreu alterações ao longo do tempo de modo a otimizar o trabalho de campo e a interpretação *a posteriori* dos dados recolhidos.

5.2 Planificação das fases da campanha experimental/recolha de dados

De forma a simplificar a campanha experimental, esta foi dividida em três fases distintas:

A primeira consistiu na análise e caracterização geral da empresa, tanto da pedreira como da fábrica de transformação.

A segunda consiste na criação de uma ficha de recolha de dados na pedreira e na fábrica, tanto a nível da quantidade de rejeitados, bem como os tempos dos vários processos. Criou-se um ficheiro Excel LOG, sendo este um diário de bordo de toda a informação recolhida do dia. Foi então possível diferenciar logo à partida, quais as informações relevantes para este trabalho.

Na última fase foi desenvolvido um método de cálculo da produção de rejeitados ao longo dos processos dos ciclos produtivos do mármore, que foram observados no terreno.

5.3 António Galego & Filhos, Mármore S.A.

5.3.1 Introdução da empresa

A empresa António Galego & Filhos, Mármore S.A. foi fundada em 1980, pelo seu atual administrador, Sr. António Galego, dedicando-se na altura apenas à serragem e comercialização de rochas ornamentais, oriundas do Anticlinal de Estremoz, mais concretamente dos Concelhos de Estremoz, Borba e Vila Viçosa. Através de uma forte política de investimento e crescimento sustentável, a empresa acompanhou sempre as exigências evolutivas dos mercados e entre 1999 e 2000 há um substancial aperfeiçoamento do *layout* da fábrica tendo sido adquiridos equipamentos de corte e polimento tecnologicamente evoluídos permitindo um aumento significativo na produtividade. Com este impulso foi possível a empresa conquistar importantes quotas de mercado a nível mundial.

Os produtos extraídos e transformados apresentam-se em forma de blocos, chapas, cantarias, trabalhos especializados, pavimentos e revestimentos. Os principais mercados são a Alemanha, Angola, Arábia Saudita, Argélia, Brasil, Catar, China, Emirados Árabes Unidos, Espanha, Grécia, Iraque, Itália, Jordânia, Líbano, Marrocos, México, Polónia, Portugal, Suíça, Tunísia e Turquia.

5.3.2 Caracterização do mármore comercializado

A empresa comercializa diversos tipos de mármore, bem como outras rochas ornamentais como calcários e granitóide. De todo o mármore que a empresa comercializa só quatro tipos, com algumas variações é que são extraídas da pedreira da empresa. De seguida é feita uma caracterização mais detalhada desses mármore (CEVALOR):

- Mármore Creme s/ Vergada - trata-se dum mármore com cor creme e vergadas róseas, acastanhadas e, por vezes, acinzentadas. Grão médio. Usado em revestimentos exteriores e em interiores. Quando chega à fábrica o mármore é transformado em: blocos, chapas serradas e chapas polidas.
- Mármore Creme c/ Vergada - este mármore caracteriza-se tendo uma cor creme, com tons brancos ou, raramente, rosados. Outra variação deste mármore é com vergadas castanhos. Tem o grão fino. Recomenda-se a sua utilização para exteriores e interiores, principalmente em pavimentos. A pedra é transformada em blocos, chapas serradas, chapas polidas, ladrilhos moldurares e escadas e chão.
- Mármore Azul Lagoa - mármore de cor cinzento escuro com zonas de cinzento mais claro, de granulidade média. A sua aplicação é recomendada em interiores. O mármore é transformado em blocos, chapas serradas, chapas polidas e em ladrilhos moldurares.

- Mármore Pele de Tigre - de grão médio e cor branca, com leve venado acastanhado ou acinzentado. Aplicação em interiores em exteriores. É transformado em blocos, chapas serradas ou polidas.

Em baixo apresenta-se imagens dos quatro mármore e suas variações. Primeiro pode-se visualizar o Mármore Creme Rosa, depois o Mármore Azul Lagoa, o Mármore Creme Claro e por último o Mármore Pele de Tigre.



Figura 5-1 - Tipos de mármore extraídos na pedreira e comercializada pela empresa (António Galego & Filhos - Mármore S.A. - <http://www.agf-marmores.pt/>).

5.3.3 Pedreira (Lagoa)

O nome da pedreira da empresa é “Pedreira do Texugo” e localiza-se na zona da Lagoa, Vila Viçosa. A sua área de exploração é de 36.000 m².

Os níveis de produção de blocos desta pedreira são de 6.500 m³ por ano e com uma taxa média de rendimento de 20 % o que faz com que a quantidade de resíduos de mármore ronde os 32.500 m³. O volume total estimado de extração de mármore de 39.000 m³ para um intervalo temporal entre 40 a 45 anos.

O tipo de exploração da pedreira é a céu aberto e o método de exploração por degraus direitos desenvolvendo-se em poço. Neste momento a pedreira tem uma profundidade de 42 m, distribuída por 5 pisos com alturas diferentes. O piso mais superficial é designado como nível de limpeza, possuindo uma altura de 10 m, segue-se o Piso 0 com uma altura de 4 m desenvolvendo-se os restantes pisos e depois os Pisos A, B, C, D, com alturas de 7 m e em cotas sucessivamente inferiores.

O material que se explora nesta pedreira tem as denominações comerciais de Mármore Rosa c/ Vergada, Mármore Claro c/ ou sem Vergada, Mármore Pele de Tigre, Mármore Azul Lagoa. Na Figura 5-2 representa-se um esquema da pedreira com os pisos existentes e com a distribuição espacial e orientação dos vários tipos de mármore.

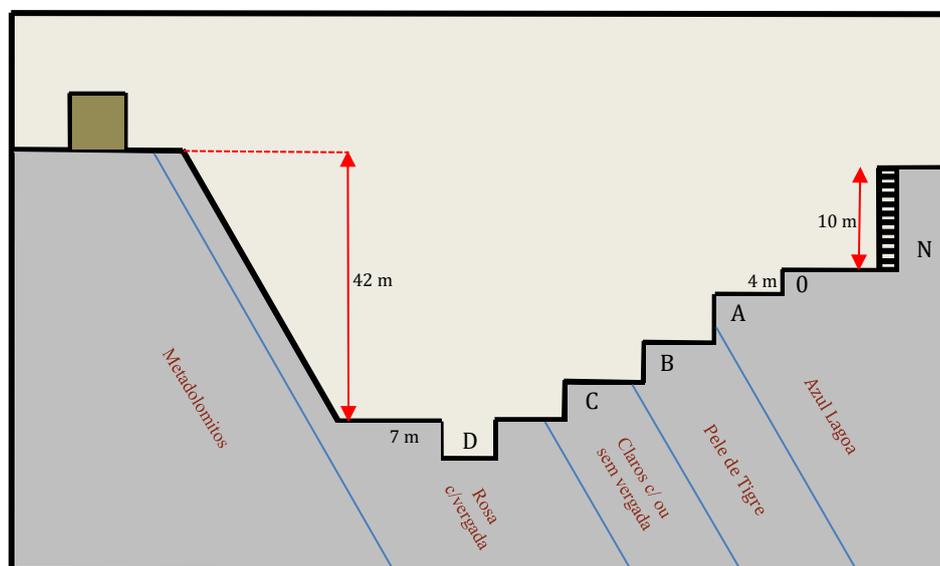


Figura 5-2 - Esquematização da pedreira com os vários pisos, a orientação dos jazigos e os tipos de mármore existentes (Sem escala).

5.3.4 Fábrica (Bencatel - Vila Viçosa)

A unidade de transformação da empresa António Galego tem sofrido nos últimos anos desenvolvimentos tecnológicos apreciáveis acompanhados por uma gestão rigorosa, tornando-a numa das mais competitivas do mercado. Encontra-se implantada numa área superior a 15.000 m², distribuídos por parques de viaturas, pavilhão de serragem com os engenhos multilâminas, o pavilhão de transformação; parque de blocos, parque de chapas, escritórios e por último uma unidade de tratamento de águas industriais e concentração de lamas.

Esta unidade de transformação possui um sector pré-transformação de aparelhamento de blocos, um sector de corte de blocos, uma linha de produção de chapa, duas linhas de produção de ladrilho e um sector de cantarias, dedicado a trabalho específicos.

O bloco quando entra na fábrica é recolhido numa zona de stock de blocos. Quando os blocos são informes ou possuem defeitos estruturais são aparelhados na monolâmina que existe no exterior da fábrica para que se obtenha uma forma paralelepípedica. De seguida passam para engenhos multilâminas onde irão ser cortados em chapas, na maioria dos casos com espessuras de 2 cm e 3 cm, dependendo da futura aplicação em obra. As chapas obtidas se forem de qualidade, podem ser reencaminhadas de imediato para uma linha de polimento de chapa, saindo como produto final.

Se a qualidade do mármore não o justificar ou se não tiverem comprador, as chapas podem ser stockadas ou passar por uma máquina de corte tipo ponte e cortadas. Posteriormente são transportadas por empilhadoras para a linha de produção de ladrilho. Neste sector as bandas passam para a fase de polimento por onde passam por vários estágios de aperfeiçoamento das suas superfícies, sendo de seguida cortadas numa multidiscos constituída por vários discos de corte, programáveis para obtenção dos ladrilhos com as dimensões desejadas. Após alguns tratamentos superficiais como o biselamento e a limpeza final o circuito termina com a seleção e embalagem.

5.3.5 Instalações Auxiliares

A empresa detém ainda umas instalações auxiliares situada em Alcantarilha (Algarve), Parque do Rogel junto à EN 125, que serve como centro de exposições e distribuição. Esta iniciativa foi tomada em 2003 com o objetivo de dar resposta, em tempo real, às necessidades dos clientes do sul do país e ao crescente desenvolvimento empreendedor na região algarvia.

Caracteriza-se como uma área de exposição coberta de 2.000 m², de fácil acesso e onde os clientes têm a disposição um vasto stock de Mármore, Calcários, Compactos, Granitos Portugueses e Estrangeiros nas mais diversas tonalidades e acabamentos, complementados com uma unidade de distribuição que efetua a entrega dos materiais adquiridos nas instalações.

Esta unidade possui igualmente um stock permanente dos mais diversos materiais nacionais e importados, permitindo uma escolha adequada e conveniente a todos os tipos e vertentes da arquitetura. (António Galego & Filhos, Lda, s.d.)



Figura 5-3 - Instalações auxiliares da filial da empresa António Galego & Filhos, Lda, situada na região algarvia.

5.3.6 Equipamentos – Pedreira

Os equipamentos que são utilizados na pedreira são divididos em quatro grupos: perfuração, corte, desmonte, carga e transporte. Os equipamentos de perfuração consistem em martelos pneumáticos e martelos fundo de furo e são utilizados, na maioria das vezes, para a criação de furos guias ou furos piloto nas bancadas de mármore e assim permitir a passagem do fio diamantado para os processos de corte. Outros equipamentos verificados na pedreira são as máquinas de corte de fio diamantado, com potências variáveis, dependendo a escolha da máquina mais potente de acordo com a natureza do trabalho.

Relativamente ao derrube das talhadas depois do corte, existem no mercado várias técnicas e ferramentas, mas a observada na pedreira durante este estudo, foram a técnica de enchimento de colchões de água para o alargamento da ranhura da talhada. É utilizado nesta área um tomba bancadas e *ripper*, ambos encaixados e apoiados no braço duma retroescavadora.

Certifica-se a existência de vários equipamentos e máquinas de carga e transporte na pedreira. Existem várias retroescavadoras com a função de extração, carregamento ou de transporte. Outros equipamentos verificados é a existências de várias pás carregadoras com rodas para trabalhos de carregamento e transporte. Por fim a presença de *dumpers* articulados, para o transporte de resíduos ou rejeitados de mármore para as escombreyras, localizadas na extremidade da pedreira.

Na Tabela 5-1 é possível verificar uma quantificação resumida dos equipamentos presentes na pedreira, marca e modelo, potencia ou capacidade e as suas funções.

Tabela 5-1 - Principais equipamentos existentes na pedreira de mármore da empresa AGF.

Equipamentos	Marca/Modelo	Potencia (CV) / Capacidade (Ton)	Quantidade	Função
Retroescavadora	CAT - 330 DL	-	4	Extração Carregamento Limpeza
	CAT - 345D LME	-		
	VOLVO - EC240	-		
	CAT - 349E	-		
Pá Carregadora com rodas	CAT - 980M	-	2	Carregamento
	CAT - 980K	-		Transporte
Dumper Articulado	CAT - 740	-	2	Transporte de Resíduos
Máquina de corte de fio diamantado	Poeiras	100cv 50cv	9	Extração Corte
	Benetti	50cv		
Martelo pneumático	-	-	6	Extração Perfuração
Martelo fundo de furo	-	-	2	Extração Perfuração
Braço-extensível	Fravizel	-	1	Derrube
Riper	CAT		2	Extração Derrube
Colchões de água	Newtec	-	Vários	Derrube

5.3.7 Equipamentos – Monofios

Ainda dentro do contexto da pedreira existe a zona dos monofios, onde o bloco sofre uma transformação primária antes de ir para a fábrica. Nesta área existem máquinas móveis de corte por fio diamantado, ou monofios. Estão presentes também pórticos para o transporte de blocos de mármore e um vira blocos para se for preciso mudar a orientação de corte dum bloco. Exclusivamente existem dumpers articulados que tem como função o transporte das “natas”, resíduo criado pelo corte dos blocos, para a escombreira localizada nas proximidades. Foi demonstrado na Tabela 5-2 um mapa de quantidades dos equipamentos existentes no sector dos monofios, respetivas marcas/modelo e as suas funções.

Tabela 5-2 - Principais equipamentos existentes no sector dos monofios da empresa AGF.

Equipamentos	Marca/Modelo	Potencia (CV) / Capacidade (Ton)	Quantidade	Função
Dumper Articulado	Volvo BM	-	3	Transporte de “nata” ou pó de mármore
Pórticos	Poeiras	32ton	1	Carregamento
		25ton	1	Transporte
Vira Blocos	Poeiras VB40	-	1	Vira blocos
Monofios	Poeiras / Roller 2000	-	5	Transformação/Corte

5.3.8 Equipamentos – Fábrica

Na fábrica existem vários equipamentos que tem como função a transformação do bloco de mármore (também fazem a transformação de outros tipos de rochas ornamentais e industriais). Existem dois pórticos na fábrica com diferentes capacidades para a carga e transporte dos blocos, inclusive um vira blocos. Também estão presentes várias empilhadoras e máquinas de carga e transporte tanto de chapas como outros produtos finais.

Relativamente aos vários sectores de produção na fábrica, primeiramente existe uma monolâmina que tem como função a transformação dum bloco que possa ter vindo doutra pedreira e que não tenha sido sujeito à uma pré transformação, isto é, nos monofios. Mesmo assim foi observado que a monolâmina também é utilizada em blocos que tenham vindo da pedreira da empresa, mas por ter sido detetado alguns defeitos ou fraturas no mármore que não foram retiradas nos monofios.

No sector dos engenhos de multilâminas, existem vários na fábrica que têm como função a transformação dos blocos em chapas para depois seguirem para os restantes sectores de produção. Existe igualmente duas linhas no sector de produção de bandas, uma adquirida a pouco tempo e uma mais antiga. No sector de produção de ladrilhos confirmou-se igualmente a existências de duas linhas, uma mais recente que a outra e ambas em funcionamento. Por último existe o sector de tratamento superficial das chapas serradas, onde estas podem ser polidas, resinadas entre outras técnicas. Cada sector tem vários equipamentos específicos, com características variadas e técnicas de manuseamento peculiares, conteúdo este que será aprofundando no subcapítulo seguinte.

É possível observar na Tabela 5-3 um resumo da quantificação simplificada dos equipamentos existentes na fábrica, suas funções e características.

Tabela 5-3 - Principais equipamentos existentes na fábrica de transformação de mármore da empresa AGF.

Equipamentos	Marca/Modelo	Quantidade	Função
Pórticos	Poeiras	2	Carga Transporte
Vira-blocos	Poeiras VB40	1	Virar os blocos para uma nova orientação
Monolâmina	CAT - 740	2	Transformação Serragem
Engenhos multilâminas	Poeiras	6	Transformação
	Benneti		Serragem
Linha de produção de Bandas	D2 - Monster 4	1	Transformação
	D2 - Monster 2	1	Corte
Linha de produção de Ladrilhos	Pedrini	2	Transformação Corte
Linha de polimento de chapas	Fravizel	1	Transformação Tratamento superficial
Dumper articulado	Volvo	2	Transporte de “nata”/pó de mármore
Empilhadoras	CAT	3	Carga Transporte

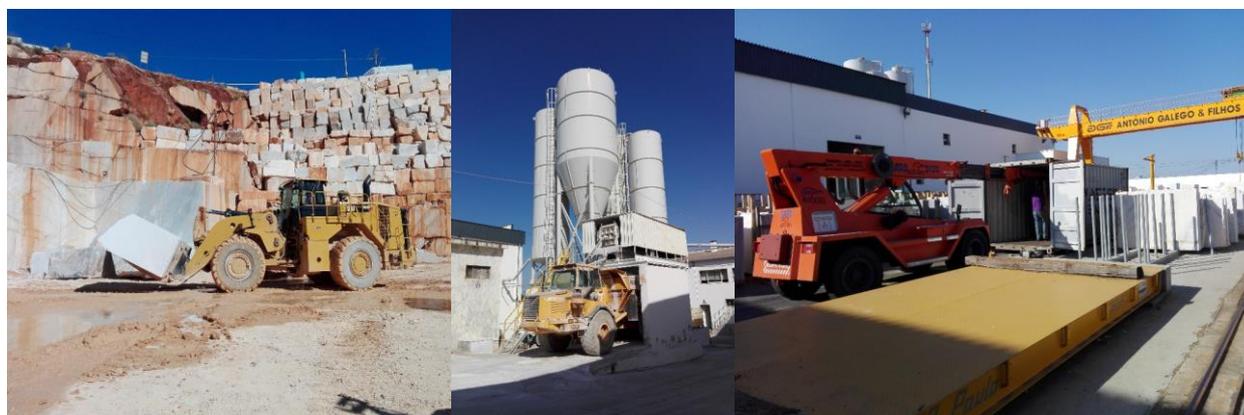


Figura 5-4 - Alguns exemplos de equipamentos de carga e transporte na pedreira (1ª imagem - pá-carregadora) e na fábrica (2ª imagem - *dumper* articulado Volvo, 3ª imagem - autogrua a carregar chapas para o contendor).

5.3.9 Recursos Humanos

No funcionamento da pedreira de mármore estão envolvidos 21 funcionários, com as categorias profissionais contantes na Tabela 5-4. O período de trabalho diário da pedreira consiste num e de um turno de oito horas, distribuídas das 7 às 12 horas, período da manhã e das 13 às 16 horas, período da tarde, com uma hora de intervalo para almoço das 12 às 13 horas. Na tabela 5-5 é possível ter noção da quantidade de trabalhadores afetos à empresa, tanto da parte da pedreira como da fábrica. No total a empresa emprega mais de 59 trabalhadores diretos.

Tabela 5-4 - Principais categorias dos recursos humanos existentes na pedreira e na fábrica.

Categoria	Função
Gerentes	Gerir e organizar as atividades da empresa
Encarregados	Programar e gerir os trabalhos de cada pedreira
Administrativos	Organizar e gerir os processos administrativos de cada pedreira
Condutores manobrados	Organizar os equipamentos móveis das pedreiras: pás carregadoras, escavadoras giratórias, dumpers, etc.
Marteleiros	Operar com equipamentos de perfuração (torres, martelos, entre outros)
Operador de máquinas de corte	Operar com as máquinas de fio diamantado com as roçadoras de bancada
Motoristas	Conduzir camiões
Operadores de máquinas de serragem	Operar com as monolâminas e os engenhos multilâminas
Operadores dos Monofios	Operar com as máquinas monofios de fio diamantado
Operários de manutenção	Gerir e proceder à manutenção dos equipamentos

Tabela 5-5 - Principais categorias dos recursos humanos existentes na pedreira e na fábrica.

Categoria Profissional	Nº Trabalhadores	
	Pedreira	Fábrica
Encarregado(s)	1	1
Administrativo(s)	2	9
Engenheiro(s)	1	
Operário(s) de manutenção	5	
Operário(s) de equipamentos	10	13
Motorista(s) e condutore(s)	5	2
Total	21	38

5.4 Metodologia e recolha de dados - Extração

5.4.1 Etapa inicial

Como primeira etapa foi feita uma observação à pedreira e foi selecionado quais seriam as talhadas que seriam derrubadas e cortadas. Para uma melhor e rápida recolha de dados foi criado um sistema de identificação por código para cada talhada. Por exemplo, quando aparece o código **T01PC**, o **T** é a designação dada à talhada e os dois algarismos **01** indica que a talhada não foi acompanhada desde o início do ciclo de extração, mas que já estaria cortada e assim seria acompanhada até ao final do processo. O simbolismo **PC** refere-se à localização na pedreira ou o nível, neste caso no Piso C. De realçar que ao longo deste trabalho esta lógica de código foi aplicada em vários processos.

Ficou decidido que o estudo de quantificação de resíduos de mármore e respetivos tempos de processos iriam ser aplicados em onze talhadas. As talhadas com as designações **T01**, **T02**, **T03**, **T04** foram as talhadas de mármore que apesar de não terem sido observadas desde o início do ciclo de extração, particularmente nas etapas da perfuração e do corte, foram acompanhadas no resto do processo, tendo em conta que o cálculo de rejeitados na perfuração e no corte seria relativamente simples de efetuar. Nas restantes talhadas **T1**, **T2**, etc., foram observadas desde o início do processo.



Figura 5-5 - Perspetiva da pedreira da empresa António Galego & Filhos com as várias talhadas assinaladas.

Na Tabela 5-6 é possível visualizar as várias talhadas caracterizadas com os códigos de identificação, a localização, as dimensões em metros e por fim os volumes e a tonelagem. Para este trabalho utilizou-se um peso específico do mármore de $2,65\text{ton/m}^3$. Tomando como exemplo a talhada 1, assinalada a vermelho na figura anterior, a designação atribuída foi **T1** e a localização piso B. A dimensão desta talhada (altura x largura x comprimento) determinada

no terreno foi de (7x3,5x10) m respetivamente. Com base do volume calculado (245 m³) e no peso específico do mármore determinou-se a massa da talhada que foi de 629,25 t. Na mesma tabela foram calculados o volume e as toneladas totais das onze talhadas, que foram 3.750 m³ e 9.937,5 t, respetivamente.

Tabela 5-6 - Listagem das talhadas que foram analisadas e as suas características.

Talhada	Piso	Código	Dimensões (m)			Volume (m ³)	Toneladas (ton)
			Altura	Largura	Comprimento		
T01	C	T01PC	7	3,5	10	245	649,25
T02	C	T02PC	7	5	10	350	927,5
T03	B	T03PB	7	3,2	5	112	296,8
T04	L (Limpeza)	T04PL	10	3,5	15	525	1391,25
T1	B	T1PB	7	3,5	10	245	649,25
T2	A	T2PA	7	3,2	10	224	593,6
T3	B	T3PB	7	3,2	5	112	296,8
T4	O	T4PO	4	5	20	400	1060
T5	C	T5PC	7	3,5	18	441	1168,65
T6	O	T6PO	4	3,2	20	256	678,4
T7	C	T7PC	7	5	24	840	2226
Total						3750,00	9937,5

5.4.2 Perfuração

Relativamente à perfuração foram considerados o tipo de equipamento utilizado e os seguintes parâmetros: o diâmetro dos bits (mm), os números de furos efetuados e a velocidade de perfuração (m/h). Com estes parâmetros é possível quantificar os resíduos de mármore e também ter uma noção do tempo gasto para cada perfuração.

Os diâmetros dos furos de levante são maiores que as verticais, a não ser que sejam perfurados poços mestres com um Jumbo (220 mm). Na pedreira foi verificada algumas destas perfurações e contabilizadas. O equipamento utilizado na perfuração horizontal (levante) é o martelo fundo de furo, com um diâmetro do bit de botões é de 90 mm e velocidade de perfuração ronda os 2,3 m/h.

Outro equipamento usado na perfuração é o martelo pneumático ligeiro, sendo utilizado para os furos verticais que intercetam, na sua cota mais baixa, os furos horizontais. O diâmetro do bit em bisel é de 38 mm e a velocidade praticada é sensivelmente a mesma do martelo fundo de furo.

No desmonte de bancadas, por norma são feitas três perfurações em cada talhada, uma vertical e duas horizontais(levante) de forma a intercetarem-se num ponto, definido assim o comprimento e a largura da talhada. Esta perfuração tem como objetivo a passagem do fio diamantado para se proceder à operação de corte.

Tabela 5-7 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa da perfuração.

Talhada	Equipamento utilizado	Diâmetro Furos Guia (mm)	Nº de Furos Verticais	Nº de Furos Levante	Velocidade de perfuração (m/h)
T1	Martelo Pneumático ligeiro e martelo fundo de furo	90 E 220	1	2	2,3

Na Tabela 5-7 foram adicionados os parâmetros que foram descritos anteriormente, tendo sido usadas as características da talhada **T1** para demonstrar o tipo de raciocínio aplicado. A talhada **T1** localiza-se no Piso B, onde a rocha, predominante de acordo com o tipo de orientação geológica, é o Mármore Pele de Tigre ou o Mármore Claro c/ ou sem vergada.

De acordo com as dimensões da talhada, os diâmetros dos três furos e respectivas profundidades, é possível calcular os resíduos produzidos nesta operação. Segundo a fórmula seguinte:

Equação 1:

Qtd de resíduos (m³) = Volume do cilindro

$$Qtd\ de\ resíduos\ (m^3) = \pi * \left(\frac{D\ do\ furo}{2}\right)^2 * h$$

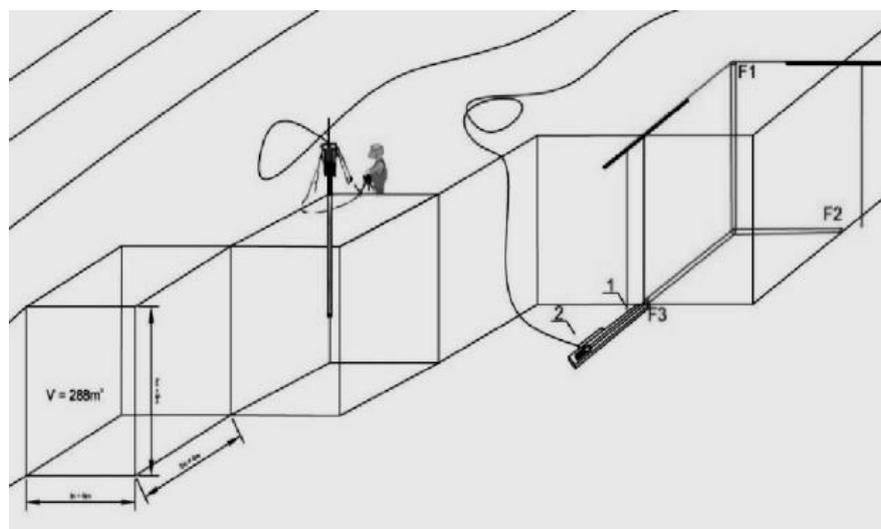


Figura 5-6 - Realização de perfurações verticais e de levante para a passagem do fio diamantado. [17]

Sabendo-se a velocidade de perfuração e as dimensões da talhada é possível calcular o tempo de processo desta operação. No caso do furo vertical o comprimento corresponde à altura da bancada, no caso dos furos horizontais(levante), um será ao longo da largura da talhada e outro ao longo do comprimento, como se pode visualizar na Figura 5-6.

Equação 2:

$$\text{Tempo de operação (h)} = \frac{\text{Comprimento (m)}}{\text{v de perfuração (m/h)}}$$



Figura 5-7 - Equipamentos usados na perfuração (o equipamento Jumbo à esquerda, para os poços mestres e alguma furação vertical e à direita, a perfuradora de fundo de pedra para furos horizontais). De seguida, o diâmetro obtido com o martelo e pneumático ligeiro e à direita, a perfuração vertical numa bancada através do Jumbo.

5.4.3 Corte

Depois dos trabalhos de perfuração estarem concluídos nas talhadas, dá-se início à etapa que se segue diz respeito ao corte. Como já foi realçado neste trabalho, o princípio básico de corte com fio diamantado é a translação deste, sob tensão, quando enlaçado na rocha. O fio diamantado é colocado dentro dos furos perfurados e as duas pontas são encaixadas numa união metálica devidamente prensada, criando um círculo fechado e colocado na poleia motriz da máquina de corte. Durante o corte é fornecida água na área de contacto, com o objetivo de arrefecimento e limpeza das partículas provenientes do corte.

Foi feita uma análise e listagem dos equipamentos existentes na pedra que aplicam esta técnica de corte na rocha. Além disso foi tido em conta para o cálculo os seguintes parâmetros: tipo, marca e potência (CV) do equipamento utilizado, a espessura (mm) ou, neste caso, o diâmetro do fio diamantado e a velocidade de corte (m²/h). Através destas componentes foi possível criar-se uma estimativa da produção de resíduos de mármore e o tempo de processo

de corte para cada talhada, bem como o tempo médio de processo e, por último, o tempo do processo de corte total para as onze talhadas.

O tipo de equipamento utilizado é a máquina de fio diamantado que consiste em uma plataforma motorizada com uma poleia motriz ligada ao motor principal, com potência variando de 20 CV a 100 CV. Os cortes efetuados em talhadas ou em grandes massas executam-se com recurso a máquinas de corte com potências de 70 a 100 CV, máquinas de corte que a empresa António Galego possui. Estas máquinas fazem qualquer tipo de corte, mas com diferentes velocidades. Se for colocado uma máquina de 20 CV a cortar uma bancada de grande massa ela é capaz de se engasgar e não ter força suficiente.

Portanto considerou-se, e foi possível observar na pedreira nas operações de corte de talhadas, que as máquinas de corte com potências média de 50 CV são utilizadas em pequenos golpes de esquadreamento de talhadas e igualmente no aparelhamento de grandes blocos. Na Tabela 5-10 foi usada novamente a talhada T1, como exemplo, sendo que o contexto geológico e as dimensões serão as mesmas.

Tabela 5-8 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa do corte.

Talhada	Equipamento utilizado	Espessura de corte (mm)	Nº de Faces Verticais Cortadas	Nº de Faces Horizontais Cortadas	Velocidade de corte (m ² /h)
T1	Máquina de corte de fio diamantado	11	2	1	10

A fórmula elaborada para a produção de resíduos é a demonstrada abaixo. Apesar do fio diamantado ser constituído por perolas diamantadas que possuem uma secção circular, o cálculo foi interpretado não como diâmetro, mas sim como espessura que corresponde ao rasgo deixado entre as faces cortadas.

Equação 3:

$$Qtd \text{ de resíduos (m}^3\text{)} = \text{Volume da secção cortada}$$

$$Qtd \text{ resíduos (m}^3\text{)} = l \text{ do fio diamantado golpe} * L * h$$

Na fórmula da produção de resíduos de mármore a espessura do fio diamantado por norma é sempre uma constante. Na pedreira em estudo, ficou confirmado que todos os fios diamantados são do mesmo fornecedor, confirmado através da respetiva empresa, e possuindo todas as mesmas características, ou seja, o mesmo diâmetro de pérola diamantada utilizada.

Assim, as variáveis que devem ser tidas em conta são as dimensões dos golpes, sendo, que dever-se-ão determinar as áreas, multiplicando-se posteriormente pela espessura do golpe.

No caso dos cortes verticais entra-se em linha de conta com a altura e o comprimento e nos cortes horizontais com a largura e o comprimento (Figura 5-8).

Nos cortes das faces verticais, o cálculo dos resíduos de mármore produzidos, neste caso “natas”, é feito multiplicando sempre a altura da talhada com a largura ou com o comprimento da talhada juntamente com a espessura do fio diamantado. Em relação ao corte aplicado horizontalmente à talhada, seria realizado através da multiplicação da medida da espessura do fio diamantado com a largura e comprimento da talhada de mármore.

Sabendo-se a velocidade de corte e as dimensões da talhada é possível calcular o tempo de duração desta operação. A fórmula para este cálculo consiste na divisão da área da secção da talhada onde é aplicada o corte com a velocidade de corte. A velocidade de corte nas operações de esquadreamento de talhadas tem dimensão m^2/h . O tempo de operação será expresso em horas e abaixo é possível visualizar a fórmula utilizada.

Equação 4:

$$\text{Tempo de operação (h)} = \frac{\text{Área (m}^2\text{)}}{v \text{ de corte (m}^2\text{/h)}}$$

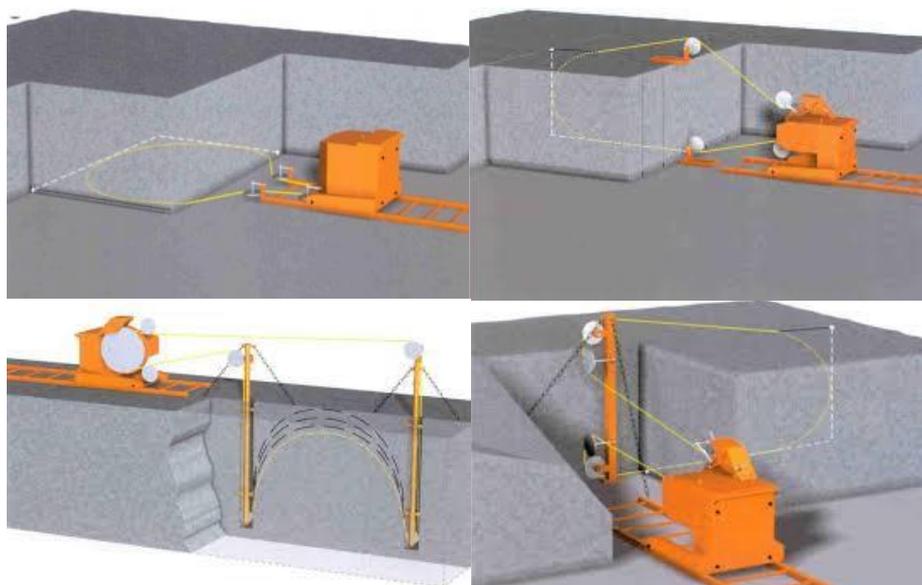


Figura 5-8 - Representação corte horizontal, vertical, corte cego e o corte vertical em “L”, respetivamente.
(Fonte: MARINI QUARRIE GROUP, 2005.)



Figura 5-9 -Máquina de corte de fio diamantado a cortar blocos de mármore na pedreira.

5.4.4 Derrube

O derrube das talhadas, e o movimento destas massas de rocha, é uma etapa de operação de lavra, que se inicia após realizadas as operações de perfuração e de corte que permitem que a talhada de mármore fique separada do resto da bancada. As talhadas são derrubadas em “camas” previamente executadas com solo e rejeitados de mármore de calibres pequenos, cujo objetivo é o de amortecer o impacto da queda da talhada, minimizando assim o nível de fracturação da rocha, induzidas pelo choque.

Para o derrube das talhadas em pedreiras de mármore são usadas normalmente algumas ferramentas e técnicas específicas com vista à obtenção do máximo rendimento. Na pedreira onde se realizou este estudo confirmou-se a utilização frequente duma destas ferramentas e técnicas, que consiste no uso dum colchão de água insuflável (Fig. 5-11).

Este equipamento é introduzido na ranhura definida, anteriormente no processo de corte vertical, e ao longo do seu comprimento. Depois de colocada, esta estrutura metálica começa a ser preenchida com água à pressão de 3 Mpa, com o recurso a uma bomba elétrica e a um tanque de água pequeno e móvel. A injeção de água permite que o volume do colchão vá aumentando e assim promover o afastamento da talhada do resto bancada.

Por norma para cada talhada é introduzido só um colchão de água, mas verificou-se durante a campanha experimental, que para talhadas com comprimentos maiores de 20 metros foram usados mais que um colchão de água. Os colchões de água utilizados possuem medidas de 1.0m*1.0m, uma espessura inicial de 4 mm e uma espessura final de 200 mm e uma força de deslocação na ordem de 300 t.

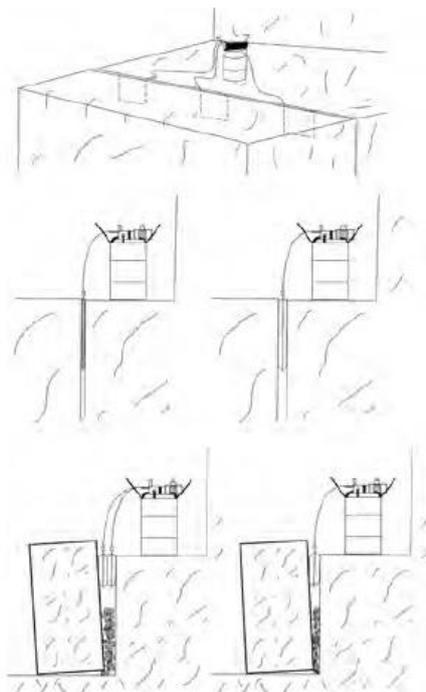


Figura 5-10 - Fluxograma esquemático da utilização do colchão de água. [6]

Outra técnica observada no trabalho de campo foi o uso de um tomba bancadas. Trata-se de um equipamento hidráulico acoplado ao braço de uma giratória que possui duas placas extensíveis que ao afastarem-se promovem a queda da talhada (Figura 5-13). Este equipamento de uma maneira geral é utilizado após um primeiro afastamento executado pelos colchões de água.

Após a extensão completa das placas a talhada pode afastar-se cerca de 0,80 m, pelo que se procede simultaneamente à colocação de pedras com um tamanho significativo, na abertura criada, evitando-se assim, o recuo da talhada após a remoção do equipamento.

A utilização de um *ripper* também se verificou na pedreira durante este estudo, porém era aplicado mais em áreas onde o mármore se apresentava mais fraturado, principalmente na zona sudeste da pedreira. Esta ferramenta é encaixada também no braço duma retroescavadora.

Para esta etapa do ciclo de extração de mármore considerou-se o tipo de equipamentos e ferramentas tais como: colchão de água, tomba bancadas e o *ripper*.

Para o cálculo do tempo consumido na operação, foram considerados os tempos médios de enchimento de um colchão de água, tempo médio de manuseamento da parte do operador tomba bancadas e também foi contabilizado os tempos mortos (manobras com a retroescavadora).



Figura 5-11 - Demonstração das várias etapas da operação de enchimento dum colchão de água.

Para o cálculo do tempo consumido na operação, foram considerados os tempos médios de enchimento de um colchão de água, tempo médio de manuseamento da parte do operador tomba bancadas e também foi contabilizado os tempos mortos (manobras com a retroescavadora).

Abaixo aparece a fórmula criada, que consiste num somatório de todos os tempos médios das operações, onde *Qtd* é a quantidade de colchões de água que foram usados durante a operação de derrube.

Equação 5:

$$\text{Tempo de operação (h)} = \text{Tomba bancadas (h)} + (\text{Qtd} * \text{Colchão de água(h)}) + \text{Tm (h)}$$

Relativamente à quantificação dos rejeitados de mármore, neste caso a produção de escombros, com o derrube da talhada, foi optado por usar uma estimativa em percentagem do aproveitamento do material numa talhada. Isto é, com o derrube de uma talhada verifica-se qual a percentagem de material que se aproveita. Quanto maior for a fracturação da talhada, menor a percentagem de aproveitamento do mármore. Depois determinado o rendimento da talhada com base nos blocos comercializáveis obtidos, faz-se a subtração ao volume inicial da talhada encontrando-se assim o volume de escombros ou estéril.

Tabela 5-9 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa do derrube da talhada.

Talhada	Equipamento utilizado		Nº de Colchoes de água utilizados	Dimensões (m)		
				Altura	Largura	Comprimento
T1	Colchoes de água	Tomba bancadas	1	2	1	20

Na talhada T1, que serve como exemplo para este tópico, foi observado que os equipamentos utilizados foram o colchão de água e de seguida o tomba bancadas. Nesta talhada poderia ter sido usado mais que um colchão de água visto que para valores maiores de 20 m em comprimento recomenda-se a aplicação de mais do que um colchão. Não foi usado na altura porque o mármore era muito fraturado logo o derrube ia ser rápido e eficaz.

Convém realçar que além dos equipamentos utilizados nesta operação, por norma também existe a introdução de cunhas, durante o enchimento do colchão de água, de modo a potenciar mais a abertura da talhada com a bancada. Isto está demonstrado na Figura 5-12 com uma talhada muito fraturada, a **T1**.

Depois do derrube da talhada foi observado a quantidade de mármore que se poderia aproveitar bem como a dimensão dos blocos. De seguida estipulou-se uma taxa de aproveitamento da talhada e de acordo com a fórmula abaixo demonstrada foi possível calcular um valor estimado da quantidade de escombros produzidos.

$$\text{Equação 6: } Qtd \text{ resíduos (m}^3\text{)} = V \text{ talhada} - (\% \text{ aproveitamento da talhada} * V \text{ talhada})$$



Figura 5-12 - Várias etapas de derrube duma talhada.



Figura 5-13 - Ferramentas tomba bancadas e riper usados em operações de derrube de talhadas.

5.4.5 Esquadrejamento

As operações de esquadrejamento iniciam-se quando os blocos de maior valor comercial são selecionados. Por norma uma talhada é dividida em vários blocos, estes serão esquadrejados e será a primeira vez que será aplicada uma operação de transformação aos blocos de mármore. Esta pré-transformação tem o objetivo de definir uma forma mais regular ao bloco e também para retirar algum peso excessivo para poder ser transportado pelas pás carregadoras.

O equipamento usado nesta fase é a máquina de corte de fio diamantado. Se o bloco for muito fraturado e de dimensões pequenas é possível usar máquinas de corte com potências baixas, mas para características opostas são utilizadas máquinas de potencia maior, para potenciar ao máximo o trabalho a realizar. No caso dum bloco de mármore Azul Lagoa, situado no Piso L, nível de limpeza da pedreira, foi escolhida uma máquina de corte com menor potência.

Os parâmetros para o processo de esquadrejamento serão os mesmos da fase de corte das talhadas: velocidade de corte (m^2/h), espessura do fio diamantado (mm) e as dimensões iniciais do bloco e orientação do corte (largura, comprimento ou altura), Tabela 5-11. Definiu-se uma velocidade de corte média de $10 m^2/h$ já que as máquinas de corte têm quase todas as mesmas características. As espessuras dos fios diamantados são intercalares por causa das perolas, no caso da espessura no golpe e para a natureza deste trabalho estipulou-se uma espessura constante e média das pérolas, de 11 mm.



Figura 5-14 - Fio diamantado com cabo de aço e pérolas diamantadas.

Relativamente à determinação das dimensões dos blocos, foi aplicada uma metodologia nesta etapa que consistiu em tirar fotografias a todos os blocos antes do processo de esquadrejamento, como se pode visualizar na Figura 5-16. Esta decisão foi motivada por fatores de segurança e de modo a não interromper os trabalhos em curso na pedreira, que tornaram a recolha *in situ* das medidas dos blocos limitada. Foi assim estipulado um sistema de escala, que seria uma capa com uma cor preta para se realçar no fundo branco ou creme do mármore. A capa tem medidas de 33,5 cm x 23 cm. Esta técnica aplicada acabou por facilitar na fase do tratamento dos dados pois foi possível ter noções das dimensões dos blocos.

A contrapartida desta decisão é que esta quantificação de resíduos e tempos de processo nesta fase do ciclo de extração está sujeita a algumas incertezas e a uma margem de confiança baixa.



Figura 5-15 - Exemplo dum bloco de dimensões elevadas, BX, que vai produzir dois “filhos” BX-1 e BX-2.

Os blocos nesta fase do trabalho serão designados como **B1**, **B2**, etc., para uma melhor compreensão e organização dos dados recolhidos. Nas talhadas com uma taxa de aproveitamento elevado verificou-se que houve blocos com dimensões elevadas, que dariam lugar, por exemplo, a dois blocos “filhos”. Inicialmente na recolha de dados optou-se por designar estes “filhos”: **B1-1** e **B1-2**, que seriam dois filhos do bloco **B1**, Figura 5-15. Como os processos são contínuos e interligados e por razões de organização de dados foi tomada a preferência para designar os “filhos” do bloco **B1** por: **B2** e **B3**.



Figura 5-16 - Metodologia de esquadria no cálculo de dimensões dum bloco de mármore com a respetiva escala.

Para demonstração resumida da metodologia aplicada, foi escolhido um bloco, **B10**, dos vinte e nove blocos acompanhados durante a campanha experimental. Na secção dos anexos deste trabalho, estão descritos os cálculos estimados de volume dos restantes blocos. Através da

técnica de esquadria foi possível estimar as dimensões do bloco e na Tabela 5-10 estão enumerados os vários parâmetros tais como: referenciar cada talhada ao bloco da sua origem, volume, toneladas, forma do bloco (prismática paralelepípedica) e data de operação. Foi também acrescentada a marca da máquina de corte de fio diamantado e o respetivo modelo.

Tabela 5-10 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa do esquadrejamento.

Nº de BL	Equipamento utilizado	Espessura de corte (mm)	Nº de Secções Cortadas	Orientações de corte(s)	Velocidade de corte (m ² /h)
B10	Máquina de corte de fio diamantado	11	3	Largura	10

Tabela 5-11 - Cálculo de volumes do bloco B10 antes da operação de esquadrejamento.

Nº de BL	Talhada	Código	Dimensões (m)			Volume (m ³)	Toneladas (ton)	Forma
			Altura	Largura	Compr.			
B10	T1	B10ESQPB	2,01	3,22	3,35	21,682	57,457	prismática paralelepípedica

Com base nos parâmetros operacionais nesta etapa da extração e as dimensões do bloco, entre outras características, foi possível obter-se uma estimativa tanto da produção de resíduos de mármore, tanto da produção de “natas” bem como da produção de escombros. Relativamente aos tempos, conseguiu-se estimar o tempo do processo de corte para cada bloco, bem como o tempo médio de processo e, por último, o tempo do processo de esquadrejamento total para os vinte e nove blocos.

A quantidade de resíduos de mármore será a soma da quantidade de “natas” produzidas pela máquina de corte de fio diamantado com os escombros, isto é, material que depois do corte não se aproveitará e é assim levado para a escombreira. A fórmula de cálculo para a quantificação da produção de “natas” consiste na multiplicação da espessura do fio diamantado pela área da secção do bloco onde se vai aplicar o corte. No final depois é feita a multiplicação do valor obtido pelo número de cortes realizados no bloco, logo:

Equação 7:

$$Qtd \text{ de produção de "natas"} (m^3) = V \text{ da secção de corte}$$

$$Qtd \text{ de produção de "natas"} (m^3) = l \text{ do fio diamantado golpe} * L * h$$

$$Qtd \text{ de produção de "natas"} (m^3) = N^o \text{ de cortes} * Qtd \text{ de "natas" por corte}$$

Para o cálculo da produção de escombros para cada bloco, foram aplicadas várias técnicas, tendo sido a primeira a mais utilizada por fatores de segurança e de maior facilidade de recolha de dados:

- A primeira metodologia consistiu em fotografar os pedaços de mármore que seriam escombros e depois aplicar a técnica de esquadria para determinação das dimensões. Verificou-se que por norma aplicam-se três cortes ao bloco e, normalmente, tiram-se cerca de 0,50 a 1,0 m de bloco. Não foram detetados na etapa de esquadramento cortes com mais de 1,0m de largura.
- Outra metodologia foi a medição com fita métrica dos escombros dos blocos de mármore, técnica mais eficaz, mas que infelizmente por motivos de segurança, só foi aplicada nos blocos **B1** até **B6**.
- Optou-se também em alguns casos, quando possível, calcular o volume final do bloco, após o esquadramento. Assim com a subtração do volume inicial com o volume final, o resultado é a quantidade de volume de escombros.

Todos estes cálculos e as respetivas tabelas estão ilustrados neste trabalho, na secção dos anexos. No caso dum corte aplicado verticalmente, onde se iria tirar 0,50m ao comprimento dum bloco, o volume de escombros seria a multiplicação dos 0,50m correspondente ao comprimento com a largura e por fim com a altura. Dentro deste raciocínio, a fórmula seria a seguinte:

Equação 8:

$$Qtd\ escombros\ (m^3) = V\ do\ material\ cortado$$

$$Qtd\ de\ escombros\ (m^3) = comprimento\ da\ orientação\ de\ corte * L * h$$

Seguindo o exemplo anterior de retirar 0,50 m ao comprimento do bloco de mármore:

$$Qtd\ de\ escombros\ (m^3) = 0,50\ m * L\ (m) * h\ (m)$$

Sabendo-se a velocidade de corte e as dimensões estimadas do bloco é possível calcular o tempo de duração da operação. A fórmula para este cálculo compreende-se na divisão da área da secção do bloco onde é aplicado o corte com a velocidade de corte. A velocidade de corte nas operações de esquadramento de blocos tem dimensão m^2/h . O tempo de operação será expresso em horas e abaixo é possível visualizar a fórmula utilizada.

Equação 9:

$$\text{Tempo de operação (h)} = \frac{\text{Área (m}^2\text{)}}{\text{v de corte (m}^2\text{/h)}}$$

5.4.6 Aparelhamento - Monofios

Esta fase do ciclo produtivo do mármore consiste numa pré-transformação do bloco de mármore proveniente das operações de esquadrejamento realizadas na pedreira, ou noutras operações de aparelhamento.

A transformação do bloco é realizada através de equipamentos designados como monofios diamantados. Este tipo de equipamento tanto se pode localizar na área envolvente da pedreira como na unidade de transformação. O equipamento existente na linha de monofios é da marca Poeiras/Indseq, modelo *Roller 2000*, resultante duma evolução dos equipamentos monofios de natureza estacionária. É caracterizado pela mobilidade nos carris que influencia os níveis de produtividade. Há a possibilidade de programar a máquina com as operações de corte e o deslocamento, de modo a trabalhar de forma totalmente automática e contínua no aparelhamento dos blocos. A empresa tem nesta linha de transformação seis equipamentos monofios, todos do mesmo modelo e com as mesmas características.

Constatou-se que a empresa, que se disponibilizou para realizar este estudo, optou por construir este sector de transformação logo à saída da rampa principal da pedreira. Esta decisão deveu-se ao facto da existência de várias pedreiras vizinhas, na região da Lagoa, onde a empresa adquire diariamente blocos de mármore, sendo assim mais eficaz e mais económico transportar os blocos comercializados para a secção dos monofios. Além da linha de transformação de blocos dos monofios existem instalações sociais, um parque de blocos e uma unidade de tratamento de águas industriais e concentração de lamas, Figura 5-17.



Figura 5-17 - Pórticos para transporte de blocos e parque de blocos à esquerda, no meio a unidade de tratamento de águas e lamas e à direita um dos monofios para corte do bloco.

Depois de realizadas as operações de aparelhamento, o bloco apresentará uma forma regular e aí poderá ser avaliada qual será a próxima fase de processamento e os produtos finais a conseguir. Feita a avaliação, o bloco é transportado para a unidade de transformação da empresa. De realçar que se a qualidade do mármore não o justificar ou se não tiverem comprador, os blocos podem permanecer no parque de blocos adjacente à linha dos monofios.

No processo de aparelhamento do bloco os parâmetros a ter em conta são os seguintes: velocidade de corte do monofio (m^2/h), espessura do fio diamantado (mm), as dimensões iniciais do bloco e a orientação do corte (largura, comprimento ou altura). Para estas máquinas a velocidade média de corte ronda os $12 m^2/h$ já que os seis monofios têm todas as mesmas características. A espessura dos fios diamantados são os mesmos das máquinas de corte utilizadas na operação de corte. A espessura dos fios diamantados tem valores diferentes por causa das perolas e do cabo de aço que o constitui, 11 mm e 5 mm respetivamente. Para efeitos deste estudo considerou-se a espessura da perola, 11 mm, constante ao longo do fio.

Nesta etapa do ciclo produtivo do mármore, foi constatado no terreno que nem todos dos vinte e nove blocos que foram acompanhados nas operações de esquadrejamento seguiram para a linha de monofios. Este aspeto é explicado pelo facto de haver blocos esquadrejados que não justificariam, para já, a sua comercialização e por isso seriam parqueados na pedreira, normalmente nos pisos onde foram realizadas as operações de esquadrejamento.

Consequentemente, na linha dos monofios, foi verificado a presença de blocos de mármore doutras pedreiras das unidades de exploração de mármore da Lagoa, Pardais e outros. Tendo em conta que inicialmente apareceu essa limitação da recolha de dados, foi decidido fazer uma extrapolação de dimensões e volumes dos blocos que não entraram na linha de monofios com os blocos que foram adquiridos no exterior da área da pedreira. Isto foi possível verificar visualmente, porque normalmente os blocos que vieram de fora da pedreira não sofreram processos de esquadrejamento e vem com a forma mais irregular.



Figura 5-18 - À esquerda, bloco proveniente do exterior da pedreira e à direita um bloco da pedreira em estudo.

Assim foi possível elaborar um universo maior de blocos para quantificar, tendo a desvantagem de haver mais incerteza associada. Dos vinte e nove blocos, só treze blocos seguiram para os monofios e só se conseguiu fazer a extrapolação para 9 blocos, portanto um total de vinte e dois blocos. Foi definido que os blocos provenientes do exterior da pedreira tivessem as designações: *EXT14*, *EXT15*, etc. Os blocos que seguiram do esquadrejamento para o aparelhamento teriam as mesmas designações que tinham antes: *B1*, *B2*, etc.

Relativamente à determinação das dimensões, os blocos que vieram da pedreira da empresa já tinham os valores das dimensões e volumes iniciais recolhidos. Para os blocos provenientes do exterior, foi aplicada a mesma metodologia usada no esquadrejamento que consistiu em tirar fotografias a todos os blocos para posteriormente aplicar a técnica de esquadria.

Devido ao ritmo de trabalhos da linha dos monofios e por haver vários equipamentos, houve muita dificuldade em estipular um sistema de escala constante ao longo da recolha de dados. Isto também foi devido ao fator segurança neste sector ser maior, o que limitou sensivelmente a colaboração dos trabalhadores.

Dito isto, o sistema de escala definido foi o mesmo do esquadrejamento, que consiste numa capa de cor preta para se realçar no fundo claro. A capa tem as seguintes medidas: 33,5x23cm. Quando não foi possível definir este sistema de escala, utilizou-se a altura do equipamento monofio, que se encontra catalogado nas fichas técnicas da empresa.



Figura 5-19 - Exemplo da aplicação da técnica de esquadria aos rejeitados de mármore e aos blocos nos monofios.

Para demonstração resumida da metodologia aplicada, foram escolhidos dois blocos, um da pedreira, *B18*, e outro adquirido fora da pedreira, *EXT4*. Na secção dos anexos deste trabalho, estão descritos os cálculos estimados de volume dos restantes blocos. Através da técnica de esquadria foi possível estimar as dimensões do bloco e na Tabela 5-12 estão enumerados os vários parâmetros nomeadamente: donde a proveniência do bloco, volume, toneladas, forma do bloco (prismas, paralelepípedo) e data de operação. Foi também acrescentada a marca da máquina monofio e o respetivo modelo.

Foi feita uma análise ao bloco **B18** e este só necessitou de quatro cortes para se obter a forma mais regular possível. O bloco **EXT4** teve a particularidade de ter sido o único bloco observado com mais cortes realizados pelos monofios, no total foram seis cortes. Nas figuras seguintes é possível observar sequencialmente as operações de corte, o carregamento e transporte, a utilização do vira blocos e a limpeza do bloco para ser possível depositar no parque de blocos.



Figura 5-20 - Primeiro e segundo corte aplicados no bloco EXT4 na linha dos monofios.



Figura 5-21 - Terceiro, quarto e quinto corte aplicados no bloco EXT4 na linha dos monofios.



Figura 5-22 - Sexto corte aplicado no bloco EXT4 e a utilização do vira blocos e respetiva limpeza do bloco.

Tabela 5-12 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa do aparelhamento.

Nº de BL	Equipamento utilizado	Espessura de corte (mm)	Nº de Secções Cortadas	Orientações de corte(s)	Velocidade de corte (m ² /h)
B18	Máquina de corte monofio	11	3	Largura Comprimento	12
EXT4			6	Largura Comprimento Altura	

O cálculo da quantidade de resíduos de mármore será a soma da quantidade de “natas” produzidas pelos monofios mais a quantidade de material que não será aproveitado depois do aparelhamento, isto é, a quantidade de escombros. A fórmula de cálculo é idêntica à fórmula elaborada para a etapa de esquadrejamento. A quantificação da produção de natas consiste na multiplicação da espessura do fio diamantado do monofio pela área da secção do bloco onde se vai aplicar o corte. Igualmente tem de multiplicar pelo número total de cortes realizados:

Equação 10:

$$Qtd \text{ de produção de "natas"} (m^3) = V \text{ da secção de corte}$$

$$Qtd \text{ produção de "natas"} (m^3) = l \text{ do fio diamantado} * L * h$$

Relativamente à quantidade de produção de escombros por bloco, a lógica e metodologia foram as mesmas das utilizadas para a etapa do esquadrejamento. Foram aplicadas as técnicas de fotografar os pedaços de mármore na linha de monofios, logo a seguir à separação do bloco central. Alternativamente, o rejeitado era fotografado quando este era transportado e descarregado na área de depósito de rejeitados, ao lado da linha de monofios. Em ambas as situações, foi definido um sistema de escala, a mesma usada no esquadrejamento.

A metodologia mais eficaz, quando possível, era calcular o volume final do bloco. Assim com a subtração do volume inicial com o volume final, o resultado é a quantidade de volume de escombros. Esta técnica foi facilitada, porque no final do processo de transformação do bloco na linha de monofios, o encarregado media o bloco com fita métrica e de seguida escrevia as dimensões com tinta e as toneladas. Este método pode ser observado na Figura 5-23, onde são apresentados vários blocos estacionados no parque de blocos e onde aparece o bloco EXT4, que foi dado como exemplo para a operação de aparelhamento, assinalado a vermelho. Os resultados desta interpretação apresentam-se na Tabela 5-26.



Figura 5-23 - Definição de escala num dos rejeitados de mármore do bloco EXT4 e exemplo de vários blocos estacionados na parque de blocos da linha dos monofios, com o bloco EXT4 já aparelhado assinalado a vermelho.

Resumindo, o raciocínio para o cálculo de escombros consiste na subtração do volume inicial como o volume final verificado e assinalado no bloco no final do aparelhamento na linha dos monofios., logo a fórmula será a seguinte:

Equação 11: $Qtd\ escombros\ (m^3) = Volume\ inicial - Volume\ final$

Sabendo-se a velocidade de corte e as dimensões estimadas do bloco é possível calcular o tempo de duração da operação de aparelhamento. A velocidade de corte segue o mesmo raciocínio do capítulo do esquadrejamento, m^2/h , mas agora com equipamentos e características diferentes. Para isso acrescenta-se à fórmula, o cálculo da área da secção cortada. Por exemplo, no caso da necessidade de aparelhamento dum volume ao longo do comprimento dum bloco de mármore, a área da secção seria a altura a multiplicar pela largura. A fórmula de calculo para o tempo de processo será:

Equação 12:

$$Tempo\ de\ operação\ (h) = \frac{Área\ (m^2)}{v\ de\ corte\ (m^2/h)}$$



Figura 5-24 - Corte de bloco na linha dos monofios e exemplos de produção e transporte de resíduos de mármore.

5.5 Metodologia e recolha de dados - Transformação

5.5.1 Etapa inicial

Os blocos de mármore extraídos das pedreiras têm de ser tratados a fim de serem transformados em produtos finais que fornecerão o mercado. As sequências na unidade de transformação da empresa que permitiu esta análise, em geral, envolvem o emparelhamento dos blocos na monolâmina, serragem de blocos em chapas, polimento das chapas, corte da chapa em tiras, corte das tiras em ladrilhos e acabamentos.

De acordo com a mesma metodologia aplicada na pedreira, na unidade de transformação dos blocos de mármore foi necessário um sistema de identificação por código para cada bloco. Esta metodologia foi facilitada porque cada bloco que chegue à fábrica vem já com um código de identificação, as dimensões e a toneladas. Esta particularidade proporcionou uma rápida e eficaz recolha de dados e acompanhamento dos blocos de mármore ao longo dos vários processos de transformação existentes.

Relativamente ao código, quando aparece por exemplo o código **AGF 1822701**, demonstrado na Figura 5-25, as letras AGF referem que o bloco pertence à empresa António Galego & Filhos. De seguida os dois primeiros dígitos, 18, informam o ano em que o respetivo bloco foi extraído, neste caso 2018. Os restantes dígitos transmitem a informação que o bloco é o 22701 a ser extraído na pedreira desde o início da sua exploração. Outros blocos apresentam códigos como: **AGF.2 1800061**, quando aparece o dígito 2 a frente de AGF, neste caso o bloco é proveniente da segunda pedreira que a empresa detém. Por último, a outra designação que dão aos blocos na fábrica é quando aparece só o número **26404**. Isto refere-se ao facto de o bloco ter sido comercializado fora da empresa AGF.



Figura 5-25 - Exemplos dos vários códigos definidos nos blocos de mármore que pertencem à empresa AGF.

Como as medidas estão escritas em todos blocos que estão parqueados na envolvente da fábrica da empresa AGF é possível ter noção dos volumes e toneladas. Foi criado um inventário de cada bloco que se encontrava no parque de blocos, com as suas características e numerando quais os blocos que vieram de fora, quais ficaram parados e quais seguiram para o sector de engenhos. Esta metodologia teve como objetivo de agrupar toda a informação disponível e foi realizada por registo fotográfico e numa fase posterior efetuada a transferência de todos os dados para um ficheiro Excel. Devido a esta metodologia, no início das operações de serragem dos blocos em chapas, a identificação do bloco tratou-se dum processo mais simples e rápido.

5.5.2 Aparelhamento – Monolâmina

Dentro dos limites da fábrica e da unidade da transformação de blocos existe uma etapa de aparelhamento. Este equipamento designa-se neste sector como monolâmina e a empresa só tem uma unidade que se localiza logo ao lado do parque de blocos e perto da entrada onde os camiões fazem a descarga. Nesta zona de transformação, os blocos são examinados, lavados e as imperfeições (variação de cor ou fraturas) são eliminadas. O objetivo deste equipamento é o mesmo dos monofios, mas além de características, velocidades e taxas de produtividade diferentes, serve para realizar uma transformação primária a blocos provenientes de centros de extração de rocha ornamental longe da empresa e da localidade de Bencatel.

Foi possível observar, por exemplo, a chegada de alguns blocos de calcários, da região de Aire e Candeeiros, que tiveram de entrar na monolâmina de forma a definir mais uma forma regular, com o objetivo de cumprir com os limites de distância dos engenhos multilâminas.

Durante a recolha de dados só um total de quatro blocos tiveram de entrar neste sector, três blocos adquiridos fora da empresa e um bloco, o **1822717**, que veio da linha dos monofios, mas como foi detetado um defeito ou imperfeição à chegada a fábrica teve de ser retificado como é possível visualizar na Figura 5-26.



Figura 5-26 - Bloco AGF 1822717 a ser aparelhado na monolâmina.

Nas operações da monolâmina os parâmetros a ter em conta para a quantificação de rejeitados de mármore e os tempos de processo são os seguintes: velocidade de corte da monolâmina (cm/h), espessura da monolâmina (mm), as dimensões iniciais do bloco (cm), os volumes iniciais (m^3) e o número de cortes realizados no bloco. Para estas máquinas a velocidade média de corte ronda os 85 cm/h. A espessura da monolâmina ronda o 1 cm. Na Tabela 5-13 foram adicionados os parâmetros que foram descritos anteriormente.

Tabela 5-13 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação no sector da monolâmina.

Bloco	Equipamento utilizado	Espessura de corte (cm)	Nº de cortes realizados	Volume (m^3)	Velocidade de corte (cm/h)
1822717	Monolâmina	1	1	1,611	85

Na escolha, e elaboração da fórmula do cálculo da quantidade total de resíduos de mármore produzidos, o resultado desse cálculo define-se como a soma da quantidade de “natas” produzidas pela monolâmina mais a quantidade de material que não será aproveitado depois do aparelhamento, isto é, a quantidade de escombro produzido. A fórmula de cálculo é similar com a fórmula, elaborada para a linha de monofios. A quantificação da produção de “natas” consiste na multiplicação da espessura da lâmina com a área da secção do bloco onde se vai aplicar o corte. Como a monolâmina só realiza a operação de corte no sentido vertical, a área da secção cortada é definida como a altura e o comprimento do bloco.

Equação 13:

$$Qtd \text{ de produção de "natas" } (m^3) = \text{Volume da secção de corte}$$

$$Qtd \text{ de produção de "natas" } (m^3) = l \text{ da lâmina} * \text{altura} * \text{comprimento}$$



Figura 5-27 - Quantificação do volume final do bloco 1822717 para o cálculo do escombro de mármore.

A metodologia aplicada mais eficaz, quando esta era possível, para a quantificação de escombros de mármore foi a medição no final do corte do volume do rejeitado. Depois no final foi feito um somatório de todos os volumes criados de material que fora rejeitado. Esta técnica foi possível através do registo fotográfico, e com uma escala definida e, posteriormente, o cálculo dos volumes por esquadria. Um exemplo desta ação pode ser visualizado na Figura 5-27.

Equação 14:

$$Qtd \text{ de escombros } (m^3) = \text{Volume do material cortado}$$

$$Qtd \text{ de escombros } (m^3) = \text{medida da orientação de corte} * L * h$$

Ou

$$Qtd \text{ de escombros } (m^3) = \text{Volume inicial bloco} - \text{Volume final bloco}$$

Sabendo-se a velocidade de corte, e as dimensões do bloco de mármore que entra na monolâmina, é possível calcular o tempo de processo desta operação. Para um certo número de cortes são dados os respetivos valores tempo e no final é feito um somatório e obtendo-se o tempo de operação aplicado a um dado bloco. Apresenta-se este raciocínio na seguinte fórmula.

Equação 15:

$$\text{Tempo de operação } (h) = \frac{\text{Comprimento } (cm)}{v \text{ de corte } (cm/h)}$$

5.5.3 Engenheiros multilâminas

A serragem do bloco no setor dos engenheiros multilâminas, a fim de produzir chapas de mármore, é promovida através de movimento de vai-e-vem horizontal e ascendendo ao longo do processo verticalmente, promove o desgaste do bloco.

Este tipo de equipamento é sustentado por quatro colunas, que suportam o peso do quadro com as multilâminas. As lâminas são distribuídas ao longo do maior comprimento do bloco de pedra natural a ser transformado. Este quadro é acionado por um motor elétrico que com o auxílio dum volante implementa um movimento pendular, responsável pelo atrito das lâminas em contacto com a rocha. Na Figura 5-28 é representado um fluxograma do processo de corte dos engenheiros multilâminas.

O sector de engenheiros multilâminas na unidade de transformação da empresa é constituído por seis unidades deste tipo de equipamento e designados por nº1 até ao nº6. Ao longo da recolha de dados neste sector verificou-se que o engenheiro estava com várias avarias e parava constantemente, pelo que os tempos e a quantificação de resíduos de mármore não foram

contabilizados. Em relação aos engenhos, uma característica a salientar é que o engenho nº1 é o único da empresa que corta a 3 cm, os restantes produzem chapas de 2 cm, como será verificado ao longo deste capítulo.

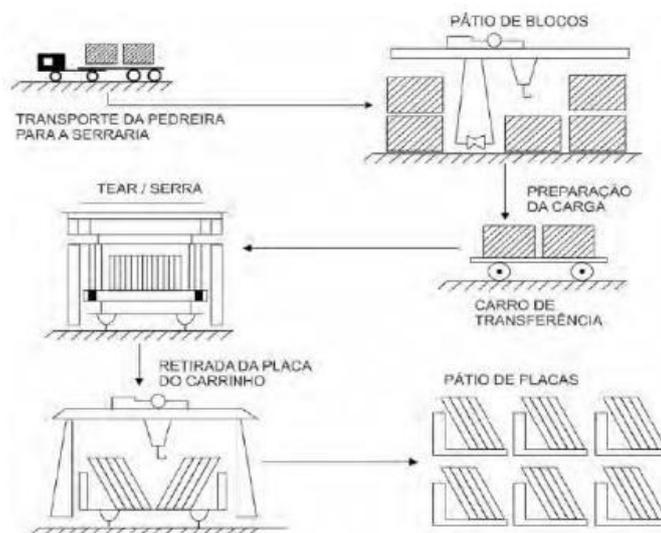


Figura 5-28 - Fluxograma simplificado da serragem de blocos em chapas nos engenhos multilâminas. [6]

Observou-se nesta etapa do ciclo produtivo do mármore que nem todos os blocos analisados e que saíram da linha de monofios, da pedra, fossem de imediato transportados para a fábrica. É possível fazer uma correlação com os blocos que saíram das operações de esquadrejamento e da linha de monofios e justificar que nem sempre os processos do ciclo produtivo do mármore são contínuos. Devido ao facto de não haver encomendas ou necessidade de comercialização, ficando muito deles estacionados no parque de blocos na fábrica.

A verificação dum processo exclusivamente contínuo foi confirmada assim que os blocos entram no sector de engenhos multilâminas. Esta ação confirma, que um bloco que entre nos engenhos tenha já sido comercializado e assim o custo de transformação do bloco é justificável.

Apesar de ser um valor reduzido de volume de vendas, é de realçar que a empresa AGF também comercializa blocos informes de mármore. Neste caso, sendo o bloco informe um produto final, não existe a necessidade de entrar na unidade de transformação da fábrica e nas várias linhas de produção. O bloco será comercializado por norma à tonelada.

Para otimizar o processo de recolha de dados foi decidido que seria acompanhado todos os blocos que entrariam nos engenhos multilâminas nos quatro dias que estes foram acompanhados. Foram observados um total de quarenta blocos sendo a maioria blocos de mármore e alguns de calcário da região da Serra de Aires e Candeeiros.

A metodologia de identificação dos blocos de mármore será a mesma aplicada inicialmente na pedreira, na identificação das talhadas. Apesar de os blocos terem cada um, um código de identificação foi determinado que para cada engenho existente, os primeiros blocos a entrar teriam as designações **B1**, **B2**, etc. Os blocos com as designações **B01**, **B02**, etc., são relativos aos blocos de rocha ornamental que apesar de não terem sido acompanhados desde o início do ciclo da serragem em chapas, foram acompanhadas no resto do processo.



Figura 5-29 - Transporte, encaixe e ajuste e a serragem do bloco. Mais à direita o bloco agora em chapas.

Para esta etapa de transformação, consideram-se os seguintes parâmetros para o cálculo de resíduos de mármore: as dimensões do bloco (cm), o volume (m^3), a orientação vertical do corte-altura (cm), a espessura da lâmina (cm), a velocidade de corte (cm/h), a espessura da chapa que o bloco irá produzir (cm) e a elaboração dum cálculo à parte do numero de chapas produzidas para cada engenho de acordo com as características do bloco (uni), (Tabela 5-14).

Para demonstração resumida dos parâmetros, e a elaboração das fórmulas de cálculo, foi escolhido um bloco, **B01**, com o código **1822396**, dos quarenta blocos acompanhados durante a campanha experimental neste sector. O bloco que servirá como exemplo tem as medidas 291 cm x 151 cm x 148 cm e um volume de 6,503 m^3 . Este bloco entrou no engenho multilâminas nº 5 e foi cortado em chapas de 2 cm. Observou-se que velocidade de corte deste engenho varia ao longo do processo de serragem, mas foi estipulada uma velocidade média de 11 cm/h.

Tabela 5-14 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação de um bloco no sector dos engenhos.

BL	Equipamento utilizado	Espessura de corte (cm)	Volume (m^3)	Nº de Engenho	Espessura chapa (cm)	Velocidade de corte (cm/h)
B01	Engenhos multilâminas	0,4	6,503	5	2	11

Na construção duma forma de cálculo foi necessário tentar perceber quantas chapas serão produzidas para qualquer bloco que seja serrado nos engenhos. Isto é devido ao facto que nem todas as lâminas entram em contacto com o bloco, há blocos com uma largura menor que são menos influenciados pelo corte aplicado pelos engenhos.

Dando o exemplo do bloco *B01*, a elaboração da fórmula de cálculo consiste primeiro em definir um eixo central (Figura 5-30). O bloco B01 tem largura 148 cm e é dividido em duas secções, ambas com 74 cm. A lógica do cálculo das chapas produzidas vai ser aplicada em cada dessas metades e depois é feito no final o somatório do número de chapas produzidas por cada metade.



Figura 5-30 - Bloco 1822396 com o eixo central definido para efeitos de cálculo.

Analisando a metade com largura de 74 cm do bloco B01, a pergunta que se faz de seguida é quantas chapas é possível produzir, sabendo que a espessura da lâmina é de 0,4 cm e a espessura da chapa de 2 cm? O cálculo é demonstrado abaixo:

Equação 16:

$$N^{\circ} \text{ de ChpProd na metade de um bloco} = \frac{(L/2)}{(l \text{ lâmina} + l \text{ chapa})}$$

Tendo em conta o exemplo do bloco B01 o cálculo será o seguinte:

$$N^{\circ} \text{ de ChpProd na metade B01} = \frac{(148 \text{ cm}/2)}{(0,4 \text{ cm} + 2 \text{ cm})}$$

$$N^{\circ} \text{ de ChpProd na metade do bloco B01} = 30,833 \text{ chapas}$$

Portanto uma metade do bloco B01 irá produzir 30,833 chapas. A fase seguinte de cálculo será arredondar para defeito os 30,833 obtendo um valor de 30. Concluindo que o bloco B01 irá produzir 60 chapas.

$$\text{Total de ChpProd do bloco B01} = 30 * 2 = 60 \text{ chapas}$$

Multiplicando esse valor, 30, pela espessura total de cada sector de chapa, 2,4 cm, obtém-se 72 cm. Este último valor é interpretado, como sendo a espessura do bloco disponível para as lâminas de serragem dos engenhos.

O resultado da diferença: 80 cm - 72 cm = 8 cm, consiste na largura que vai restar e que será contabilizado mais à frente como rejeitado de mármore produzido no sector de engenhos.

Por causa da definição do eixo central, que vai ser definido como uma lâmina, é necessário retirar a uma das metades do bloco, o valor de 0,4 cm, que correspondente à espessura da lâmina central.

Outro parâmetro que se confirmou ao longo da quantificação de resíduos de mármore é o número de chapas observadas no final da serragem de blocos. Isto justifica-se porque em vários casos por mais que o cálculo de chapas produzidas fosse por exemplo 60 chapas, no final só se aproveitava 58, ficando duas delas como escombros de mármore. Isto deve-se ao facto das chapas laterais do bloco serem mais afetadas pela força e atrito dos engenhos, partindo-se por vezes. Ou então as chapas laterais, apesar de estarem em bom estado e terem resistido à serragem do bloco, por causa da largura do bloco, não têm a espessura pretendida.

O cálculo da quantidade de resíduos de mármore será a soma da quantidade de “natas” produzidas pelos engenhos mais a quantidade de material que não será aproveitado depois da serragem, isto é, a quantidade de escombros.

A quantificação da produção de natas para uma chapa produzida consiste na multiplicação da espessura da lâmina de corte do engenho pela área da secção do bloco, onde se vai aplicar o corte, neste caso o comprimento e a altura. Obtendo-se o valor total de “natas” produzidas, o mesmo valor é multiplicado ao valor de chapas produzidas, como foi descrito atrás. Logo a fórmula de quantificação das “natas” será a seguinte:

Equação 17:

$$\text{Qtd de produção de natas por chapa (m}^3\text{)} = V \text{ da secção de corte}$$

$$\text{Qtd de produção de natas por chapa (m}^3\text{)} = l \text{ da lâmina golpe} * \text{comprimento} * h$$

$$\text{Qtd de produção de "natas" por bloco (m}^3\text{)} = \text{Qt. de "natas" por chapa} * \text{N}^\circ \text{ de ChProd}$$

O cálculo de produção de escombros de mármore de cada bloco, foi dividido em duas fases sendo no final o valor total o somatório destas duas fases:

- A primeira fase de cálculo consiste em quantificar a parte decimal do resultado da fórmula de número de chapas produzidas. Basicamente é a largura do bloco a dividir por dois, para ser representada metade da secção total do bloco. De seguida, de acordo com o número obtido de chapas produzidas este é dividido por dois. De seguida é feita a subtração do valor da metade da largura com a metade de chapas produzidas e de seguida é multiplicado à espessura de corte com a espessura da chapa. Por fim é retirado o valor da espessura da lâmina de corte, que define o eixo central de corte do engenho.
- A fase seguinte é caracterizada para o valor das chapas observadas serem menores do que o valor calculado para as chapas produzidas por um bloco. A diferença destes valores é o número de chapas que ficaram de fora e que foram contabilizadas como escombros de mármore (Figura 5-32). Para o cálculo de volume de escombros, o número de chapas que não foram aproveitadas, são multiplicados pela espessura da chapa com o valor do comprimento do bloco e respetiva altura. Abaixo é demonstrando a fórmula geral do somatório dos dois tipos de escombros de mármore:

Equação 18:

$$Qtd\ escombros\ (m^3) = \text{Fração decimal do nº de ChpProd} + \text{ChpProd não aproveitadas}$$

Para o cálculo da fração decimal que resta do cálculo do nº de chapas produzidas, a fórmula é a seguinte:

Equação 19:

$$\text{Fração decimal } (m^3) = \left(\left(\frac{l\ bloco}{2} - \frac{N^{\circ}\ de\ ChpProd}{2} \right) * l_{corte} - l_{chapa} \right) - l_{corte}$$

A fórmula seguinte refere-se às chapas que não se aproveitaram depois de confirmação visual:

Equação 20:

$$\begin{aligned} & \text{ChpProd não aproveitadas } (m^3) \\ & = N^{\circ}\ de\ ChpProd - \text{Chp não aproveitadas} * l_{corte} * l_{chapa} * compr.* h \end{aligned}$$

Sabendo-se a velocidade de corte e as dimensões estimadas do bloco, é possível calcular o tempo de duração da operação. A fórmula para este cálculo corresponde à divisão da área da secção do bloco onde é aplicado o corte com a velocidade de serragem. A velocidade de corte nas operações de serragem dos blocos no sector dos engenhos tem dimensão cm/h.

Além do tempo de serragem foi acrescentado ao cálculo do tempo de processo, o tempo de introdução das cunhas no bloco a meio da serragem. Este trabalho foi contabilizado e demora em média 0,33 h (Figura 5-31). O tempo de operação será expresso em horas e abaixo é possível visualizar a fórmula utilizada.

Equação 21:

$$\text{Tempo de operação (h)} = \frac{\text{Área (cm}^2\text{)}}{v \text{ de serragem (cm/h)}}$$



Figura 5-31 - Operação de introdução de cunhas nos blocos de mármore no sector de engenhos multilâminas.



Figura 5-32 - À esquerda, exemplo de uma lasca de mármore que não foi possível se transformar em chapa nos engenhos multilâminas e à direita a escombreira de rejeitados de mármore.

5.5.4 Linha de chapas

Depois dos blocos serem transformados em chapas, se forem de qualidade, podem ser reencaminhadas de imediato para uma linha de polimento de chapa, com vista a transformá-la em uma chapa produto final com brilho. Os processos de polimento e lustros de rochas ornamentais caracteriza-se por uma série de operações que reduzem a rugosidade da superfície trabalhada.

A empresa na unidade de transformação tem uma linha de chapas da mais recente tecnologia e muito eficaz. Esta linha é composta por vários sectores, nomeadamente: a linha de resinagem, de polimento, secagem, enceramento e uma linha de scanner UV das chapas (Figura 5-33).



Figura 5-33 - Carregamento de uma chapa com sistema de ventosas, setor de polimento das chapas e etapa de enceramento da chapa.

Para uma melhor recolha de dados ao longo do acompanhamento dos processos, os blocos deixaram de ser designados por **B1**, **B2**, etc., porque estavam transformados em chapas. A recolha de dados foi realizada a um universo de vinte e cinco blocos. A designação e identificação dos blocos foi através do código que está registado no bloco desde a entrada na fábrica. Além disso, foram realizados vários registos fotográficos dos diversos equipamentos e o seu do funcionamento.

A quantificação de resíduos de mármore na linha de chapas consiste na produção de “natas” e por norma não é uma quantidade elevada. Este tipo de resíduos é produzido exclusivamente na linha de polimento de chapa, quando é aplicado o abrasivo diamantado que retira por volta de 2 mm à chapa.

Este valor para cada chapa pode ser obtido multiplicando a espessura que a operação de polimento vai retirar à chapa, pela altura do bloco e o seu comprimento. No final é possível ter uma noção da produção de “nata” por bloco multiplicando a quantidade de “nata” produzida

por chapa, pelo número total de chapas que o bloco produziu no sector de engenhos multilâminas. Depois tem de multiplicar o valor obtido pelo número de cortes efetuados:

Equação 22:

$$Qtd \text{ de produção de "natas"} (m^3) = V \text{ da secção de corte}$$

$$Qtd \text{ de produção de "natas"} (m^3) = l \text{ retirada à chapa no polimento} * L * h$$

É também possível, quantificar o escombros que pode ser produzido nesta linha de produção, principalmente se uma chapa esteja muito fraturada e com impurezas e se parta durante o processo de polimento. Durante a recolha de dados, este tipo de resíduo não foi confirmado.

Para a elaboração do cálculo dos valores temporais para a linha de produção de chapas foi decidido acompanhar um universo de chapas, neste caso cinco chapas e retirou-se os tempos para cada fase da linha de produção. Como o início nesta linha de produção é feito unicamente chapa a chapa, os processos de transformação do mármore, são mais morosos. Os valores para os tempos recolhidos para cada processo estão dispostos nas tabelas seguintes.

Tabela 5-15 - Tempos recolhidos numa chapa na linha de resina na linha de produção de chapas.

Processo	Tempo (m)
Aplicação de fita cola nas fraturas aparentes	1,38
Chapa é carregada pela ventosa e colocada na mesa	0,80
Tempo de entrada no Forno de Baixo	1,25
Colocação de resina	31,5
Tempo de saída do forno de Cima	1,5
Tempo de residência no Forno (Baixo + Cima)	660

Para se processar a resinagem, as rochas, já serradas, são submetidas aos processos de desgaste com o objetivo de atingir a rugosidade ideal para a realização da resinagem. A chapa é aquecida no forno catalisador de cura e com esta ainda quente é aplicada, em toda sua superfície, uma mistura de resina e endurente. Este sector caracteriza-se por ser o processo que demora mais tempo. Isto é devido ao facto de só ser possível entrar uma chapa de cada vez no forno de baixo e sair uma chapa no forno de cima. Dado o tempo elevado do processo, não foi possível acompanhar o tratamento da totalidade das chapas dum bloco, pelo que foi criada uma fórmula para determinação do tempo total na linha de resinagem de chapas dum bloco, consoante o número total de chapas.

O forno de baixo tem capacidade para seis chapas ao mesmo tempo e o forno de cima tem capacidade para vinte e quatro chapas. Ao interpretar o forno como um todo, este tem capacidade para trinta chapas.

Do momento que entra a trigésima primeira chapa no forno de baixo a primeira chapa está a sair do forno de cima. Foi possível saber no terreno que uma chapa assim que entra no forno de baixo, demora em média onze horas a sair do forno de cima

A fórmula para o cálculo do tempo que um bloco demora na linha de resinagem, consiste na divisão do número total de chapas produzidas desse bloco pela taxa de produtividade do forno, isto é, a capacidade total de chapas do forno, trinta chapas, a dividir pelo total de processos de uma chapa. Os tempos das várias linhas de tratamento estão expostos na Tabela 5-16. Este tempo total de processos consiste no somatório dos tempos da Tabela 5-15 e mais as onze horas do forno baixo mais o de cima. A fórmula seguinte exemplifica este cálculo.

Equação 23:

$$\text{Tempo de operação (h)} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de ChpProd por bloco}}{\text{Capacidade total de chapas no Forno} / (\text{somatório do tempo dos processos})}$$

Tabela 5-16 - Tempos totais recolhidos para as várias etapas na linha de produção de bandas.

Etapas	Tempo (min)
Linha de polimento	20,6
Linha de enceramento	1,78
Linha de secagem	7,3
Linha de Scanner UV	2,3

É possível no final obter-se um valor total de processo por chapa, e todas as chapas dum certo bloco, de modo a se aferirem melhor os seus custos e a produtividade. Na Figura 5-34 apresenta-se primeiro à esquerda o forno, a operação de colocação de fita e a chapa no fim da linha.



Figura 5-34 - Algumas operações da linha de produção de chapas.

5.5.5 Linha de produção de bandas

As operações na linha de produção de bandas iniciam-se quando as chapas, de valor comercial mais baixo são, selecionadas para transformação em bandas e posteriormente em ladrilhos. Os fatores que influenciam a decisão ou escolha do encarregado dependem muito da qualidade do mármore, da encomenda requisitada e do tipo de produto final que se pretende.

Na unidade de transformação da empresa António Galego & Filhos observou-se que existem três linhas de produção de bandas. Duas delas adquiridas recentemente, e outra mais antiga, mas que ainda funciona e conforme a opinião recolhida da parte dos trabalhadores, o seu funcionamento continua a ser melhor das mais recentes.

Os equipamentos mais recentes, são de dois modelos diferentes, o *Monster 2* e o *Monster 4*, ambos da marca d2, sediada em Portugal (d2, s.d.). O primeiro consiste numa estação de corte de disco diamantado, com cinco eixos para realizar as operações de cortes, acabamentos, esculturas e criações de trabalhos arquitetónicos para a indústria da pedra natural. Associado a este equipamento está um software que o torna mais flexível e mais apropriado para a realização de pequenos e grandes projetos.

O segundo modelo tem duas mesas, o que permite cortar uma palete de chapas enquanto a outra paleta, acabada de cortar, é transportada para o parque de bandas. Este equipamento tem assim níveis de produtividade maiores, mas ao mesmo tempo, está sujeito a um maior número de avarias.

Neste sector são criadas bandas com 60 cm de largura para depois seguirem para a linha de produção de ladrilho. O comprimento das bandas pode variar, consoante o objetivo definido. Por norma as chapas são depositadas em conjuntos de quatro ou cinco chapas em paletes, sendo posteriormente carregadas para a máquina de corte para transformação em bandas.

Para a análise dos processos e na recolha de dados foram tidos em conta determinados parâmetros para a quantificação de resíduos de mármore e os respetivos tempos médios e totais dos processos, tais como: número de chapas que entraram na linha de produção de bandas (uni), número de chapas nas paletes (uni), espessura do disco diamantado (mm), velocidade de corte (m/min) e as dimensões iniciais das chapas (m³) (Tabela 5-17).

A metodologia da identificação dos blocos segue o mesmo raciocínio já exposto anteriormente, usando os códigos já estipulados, **26115** p.e, desde o sector de engenhos o que facilita a recolha e o cálculo. A análise nesta linha de produção de bandas ficou um pouco limitada devido a avaria e nos dias seguintes parada por falta de chapas para se cortar. Verificou-se picos de muita produção e prolongadas paragens. Isto deveu-se ao facto de a maioria dos blocos que entram nos engenhos multilâminas seguirem para a linha de chapas, outras diretamente para os ladrilhos e poucas chapas para a linha de produção de bandas.



Figura 5-35 - Máquinas de corte de chapas na linha de produção de bandas, modelo Monster 1 à esquerda e o modelo Monster 2 à direita.

Tabela 5-17 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa da linha de produção de bandas.

Nº de BL	Equipamento utilizado	Espessura de corte (m)	Nº de Secções Cortadas	Orientações de corte(s)	Velocidade de corte (m/mim)
26115	Máquina de corte pontual CNC <i>Monster d2</i>	0,0062	4	Largura Comprimento	0,75

Para facilidade de cálculo, todos os valores foram convertidos para metros. O cálculo da quantidade de resíduos de mármore será a soma da quantidade de “natas” produzidas pelos monofios mais a quantidade de material que não será aproveitado depois do aparelhamento, isto é, a quantidade de escombros. A quantificação da produção de “natas” consiste na multiplicação da espessura do disco diamantado pela área da secção da chapa onde se vai aplicar o corte. Depois tem de multiplicar este valor pelo número total de cortes:

Equação 24:

$$Qtd \text{ de produção de "natas" (m}^3\text{)} = V \text{ da secção de corte}$$

$$Qtd \text{ de produção de "natas" (m}^3\text{)} = l \text{ disco diamantado} * L * h$$

Relativamente à quantificação de produção de escombros por bloco, a lógica e metodologia foram as mesmas das utilizadas em processos anteriores. Foram aplicadas as técnicas de fotografar os pedaços de mármore na linha de produção de bandas, logo a seguir à separação da chapa central. O rejeitado de mármore era também fotografado quando este era

transportado e descarregado na área de depósito de rejeitados, situada no exterior da unidade de transformação da fábrica. Em ambas as situações, foi definido um sistema de escala, a mesma já usada anteriormente.

Após a recolha de dados e transferidos estes para a folha de cálculo Excel, foi lançado e criada uma fórmula para se estimar a produção de rejeitados de mármore de qualquer chapa que entre na linha de produção de bandas. Sabendo-se que na linha de produção de bandas as chapas têm de ser cortadas a 60 cm de largura, sendo este o requisito na fábrica para as bandas entrarem na linha de produção de ladrilho. Tendo em conta esta característica, a questão que foi colocada foi a seguinte: quantas bandas se consegue cortar numa respetiva chapa?

Para elaborar o raciocínio foi escolhido um bloco **26115**, que produziu vinte e duas chapas no sector dos engenhos multilâminas. A altura inicialmente do bloco, neste contexto na produção de bandas será designada por largura, e no bloco **26115** corresponde a 1,35 m. Através dessa medida foi possível definir no Excel testes lógicos, caso a medida de largura for superior a 1,22 m (este valor foi escolhido, porque a soma de duas bandas com largura 0,60 m, resultam numa largura total de 1,20 m, acrescido numa margem de 0,02 m, para facilitar o cálculo) é possível produzir duas bandas. Se o teste lógico for falso, o valor é de uma banda produzida.

Equação 25:

$$TLog \text{ no Excel} = SE(Largura \text{ bloco} \geq 1,22m; 2 \text{ (se verdadeiro)}; 1 \text{ (se falso)})$$

Ao multiplicar este resultado com as chapas produzidas consegue-se chegar ao total de bandas que se conseguem produzir, como a fórmula abaixo demonstra:

Equação 26:

$$N^{\circ} \text{ de PPB} = \text{Resultado do teste lógico} * N^{\circ} \text{ de chapas produzidas}$$

Não foi necessário criar um teste lógico para a possível produção, ou não, de três bandas tendo em conta que não se verificou neste estágio, e durante a recolha de dados, chapas com larguras superiores a 1,80 m. Observou-se neste estágio que se, por exemplo, uma chapa tiver quase os 1,22 m, por exemplo 1,15m só se vai aproveitar 0,60 m em largura dessa chapa, e o resto do material é contabilizado como desperdício e dificilmente aproveitável.

Depois de criada esta ferramenta informativa do teste lógico, foi elaborada uma fórmula para a quantificação de rejeitados de mármore. Se o resultado do teste lógico para uma chapa, for a possível produção de duas bandas, na fórmula serão retirados dois valores de 0,60 m e as duas medidas da espessura do disco diamantado. No final é realizado um corte de acerto, logo terá de ser subtraído à largura mais uma medida correspondente à espessura do disco diamantado.

Depois deste raciocínio, o cálculo final é a multiplicação com o valor do comprimento e da espessura da chapa, que tanto pode ser 2 ou 3 cm (valores definidos nos engenhos multilâminas).

O resultado será a quantidade de escombros por chapa. Para ser possível ter uma noção total da quantidade de rejeitado de mármore produzido, o cálculo caracteriza-se pela multiplicação com o número de chapas disponíveis para a produção de bandas. A fórmula abaixo pretende apresentar a lógica até aqui descrita.

Equação 27:

$$\begin{aligned} & \text{Qtd resíduos (m}^3\text{)} \\ & = (l \text{ bloco} - (\text{Resultado TLog}) - (3 * l \text{ corte})) * l * \text{comprimento} * N^{\circ} \text{ de ChpProd} \end{aligned}$$

Sabendo-se a velocidade de corte, e as dimensões estimadas das chapas, é possível calcular o tempo de duração da operação. A velocidade de corte foi definida através da recolha de vários tempos de corte de chapas. O cálculo consiste na divisão da área da secção da chapa, onde é aplicado o corte, com a velocidade de corte. A velocidade de corte neste estágio foi quantificada, tendo em conta o total de metros realizados num minuto. O valor definido para a velocidade de corte foi de 0,75 m/min. O tempo de operação será expresso em min e de seguida convertido em horas. Abaixo é possível visualizar a fórmula utilizada.

Equação 28:
$$\text{Tempo de operação (min)} = \frac{\text{Comprimento}}{v \text{ de corte (m/min)}}$$



Figura 5-36 - Processo final de corte da chapa em banda e o respetivo carregamento e transporte da banda até ao parque de bandas.

5.5.6 Linha de produção de ladrilho

A metodologia que foi aplicada na linha de produção de ladrilho consistiu em acompanhar as bandas que foram produzidas nas várias operações e tratamentos existentes neste sector da unidade de transformação.

No que diz respeito à qualidade dos ladrilhos, estes podem ser divididos em: extra, qualidade de primeira, qualidade de segunda, comercial. Para além dos produtos atrás referidos, uma unidade de transformação normalmente tem capacidade para produzir todo um conjunto de peças por medida, como por exemplo: sanitários, peitorais, umbrais, tampos, funerária, artigos decorativos, etc.

Existe na empresa duas linhas de produção de ladrilho, uma adquirida há menos de três anos e outra adquirida há mais de dez anos. A linha de produção que esteve mais ativa foi a linha mais recente. Esta caracteriza-se por processo digitais e mais automatizados, inclusive com um software próprio da marca. Durante este estudo, verificou-se que a linha de produção mais antiga, foi usada mais nos picos altos de produção da fábrica de transformação e em alguns trabalhos personalizados.

Na linha de ladrilhos só foi observado e quantificado um universo de treze blocos, transformados em chapas e posteriormente em bandas. A designação e identificação dos blocos foi através do código que está registado no bloco desde a entrada na fábrica. Todos as bandas criadas seguiram para a linha de produção de ladrilhos. Foram realizados vários registos fotográficos dos diversos equipamentos e do seu funcionamento.

A razão para o universo limitado de blocos, que foram acompanhados deveu-se ao facto de esta recolha de dados ter sido deixada para o fim do estudo e por motivos de tempo. A metodologia de acompanhamento e identificação dos blocos foi ainda possível devido ao código que as bandas apresentaram.

Inicialmente, para a elaboração duma metodologia de quantificação de resíduos de mármore, e o cálculo eficaz dos tempos de processos, observou-se exclusivamente a linha de produção de ladrilhos mais recente. Verificou-se que esta linha tem tratamentos superficiais similares com a linha de chapas, e processos de corte paralelos com a linha de bandas, havendo algumas diferenças que serão descritas de seguida.

Um das diferenças é na etapa de corte e as dimensões standardizadas do ladrilho que variam devido à procura. Os tamanhos mínimos e máximos alcançados por este equipamento, em função do distanciamento das cabeças são 0,30 m x 0,30 m e 0,60 m x 0,60 m.

Durante a análise e a quantificação, a maioria das bandas que entraram nesta linha tiveram como medidas finais pretendidas de: 0,40 m x 0,60 m x 0,02 m e a 0,40 m x 0,40 m x 0,015 m.



Figura 5-37 - Da esquerda para a direita, palete de 5 bandas na entrada linha de produção de ladrilho, banda na saída do etapa de polimento, produção de ladrilhos através do corte de bandas com recurso discos diamantados.

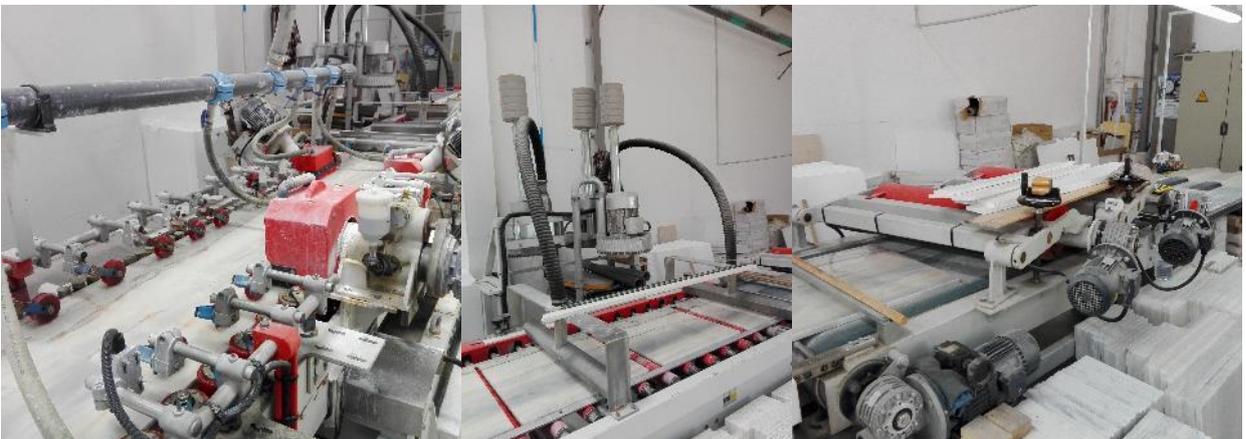


Figura 5-38 - Da esquerda para a direita, fase de retificação dos ladrilhos, etapa de acabamentos especiais e etapa de secagem dos ladrilhos.



Figura 5-39 - Da esquerda para a direita, embalagem dos ladrilhos quadrangulares em caixas de madeira e depósito de rejeitados de mármore que são produzidos na secção de corte das bandas em ladrilhos.

Inicialmente, as bandas são sujeitas a processos de calibragem para reduzir as rugosidades da banda. Se não há necessidade deste tratamento, o tapete rolante permanece ativo na mesma, com o intuito de transportar a banda até a próxima etapa na linha de produção de ladrilho. Na etapa seguinte, as bandas são transportadas para uma mesa giratória, a qual inverte a posição das mesmas para que o lado oposto ao calibrado receba o polimento correspondente à etapa posterior.

Na linha de polimento, as bandas recebem o lustro final. Nesta altura a espessura das bandas são reduzidas devido à aplicação duma combinação de abrasivos diamantados e de outros tipos.

De seguida, as bandas passam por uma linha de corte na qual são transformados em ladrilho. São aplicados vários cortes e estes são efetuados por cabeças com discos diamantados.

Na fase seguinte, os ladrilhos produzidos, passam por uma retificação para retirar os possíveis erros de dimensões. A etapa seguinte consiste em operações de acabamentos finais no ladrilho.

Próxima etapa caracteriza-se por uma mesa giratória que roda o ladrilho, mudando a direção deste de modo a aplicar o acabamento final às outras duas arestas, ainda não sujeitas ao mesmo processo.

Numa fase final, os ladrilhos entram num processo de secagem e depois passam por um controlo de qualidade. Por fim, são embalados e carregados em caixas de madeira para futuro transporte e comercialização.

Depois duma fase de observação e análise pormenorizada dos processos e equipamentos existentes, deu-se início à elaboração duma metodologia específica para este sector de produção.

No caso de a linha de produção de ladrilhos configurar umas medidas pretendidas de 0,40 m x 0,60 m x 0,02 m, as bandas que entram na linha de ladrilho já vêm com larguras de 0,60 m, e neste contexto, o objetivo seria de cortar os topos para definir o comprimento de 0,40 m. Relativamente à espessura, a maioria das bandas observadas chegaram à linha com espessuras de 0,03 cm e, inicialmente na linha, foi realizada com o polimento, uma redução de 0,1 cm.

Os parâmetros a ter em conta para a quantificação de resíduos de mármore e o possível cálculo dos tempos totais e médios dos processos são os seguintes: dimensões da banda (m), volume das bandas (m³), número de bandas produzidas, dimensões pretendidas do ladrilho (m), velocidade de corte (m/min), espessura do disco diamantado (mm), medida de espessura a reduzir na fase do polimento da banda (cm).

Na tabela seguinte apresenta-se alguns destes parâmetros selecionados para o estudo e análise na linha de produção de ladrilhos.

Tabela 5-18 - Exemplificação da proposta de estudo e quantificação na etapa da linha de produção de ladrilhos.

Nº de BL	Equipamento utilizado	Espessura de corte (m)	Nº de Secções Cortadas	Orientações de corte(s)	Velocidade de corte (m/mim)
1822664	Linha completa de produção de ladrilhos - PEDRINI	0,0062	4	Largura Comprimento	0,75

A espessura dos discos diamantados na operação de corte, são os mesmos que foram definidos na linha de produção de bandas. Em relação à velocidade de corte, o valor é o mesmo, 0,75 m/min, visto que o corte é realizado à mesma velocidade comparando com a linha de bandas. Observou-se que todos as bandas que foram criadas, seguiram para a linha de ladrilho. Por isso trata-se de um processo contínuo.

Pretendeu-se saber quantos ladrilhos uma banda consegue produzir. No caso de comprimento pretendido de 0,40 cm qual o proveito que se consegue retirar duma banda? A fórmula seria a seguinte:

Equação 29:

$$PPL \text{ numa banda} = \frac{\text{comprimento da banda}}{\text{comprimento desejado do ladrilho}}$$

Para elaborar este raciocínio, foi escolhido um bloco **1822664**, que produziu doze bandas na linha de produção de bandas. A banda deste bloco chegou à linha de ladrilhos com um comprimento de 2,04 m.

Aplicando a fórmula acima descrita, o resultado obtido é de 5,1. Logo consegue-se produzir através de uma banda do bloco 1822664, cinco ladrilhos.

Multiplicando este valor pelo número de bandas disponíveis obtém-se o valor total de produção para esses ladrilhos. A parte decimal, 0,1, vai corresponder ao desperdício, ou ao rejeitado de mármore produzido.

Equação 30:

$$PPL (Total) = PPL \text{ numa banda} * N^{\circ} \text{ de bandas disponíveis}$$

Para a elaboração do cálculo de rejeitados de mármore foi dividido o raciocínio em várias fases:

- A primeira fase da lógica consiste em determinar a quantidade de rejeitados de mármore para cada banda que entra na linha de produção de ladrilhos. Para este cálculo vai se buscar sempre o valor inteiro do resultado da multiplicação entre o comprimento da banda com o comprimento pretendido para o ladrilho. A parte decimal deste valor vai ser calculado posteriormente. O primeiro passo consiste em saber, qual o comprimento da banda que irá sobrar depois da operação de corte.

Demonstrando o exemplo do bloco **1822664**, o mesmo tem um comprimento de 2,04 m. Se o número calculado na fórmula anterior, for de cinco ladrilhos possíveis a produzir, e tendo em conta que o objetivo é transformar em ladrilhos de 0,40 m de comprimento, conclui-se que o comprimento disponível no fim é a subtração aos 2,04 m o comprimento de cada ladrilho que será produzido e as medidas da espessura de corte dos discos diamantados.

De realçar, que neste último cálculo, o número de cortes a realizar não será de quatro, mas sim o resultado da subtração: 4-1. Porque só será necessário realizar três cortes. Depois de calcular o comprimento que sobra de banda é multiplicado pela espessura e a largura, para se ter o valor em volume. Abaixo é demonstrado as fórmulas criadas para estes cálculos.

Equação 31:

Comprimento que sobra numa banda

$$= \text{Compr. inicial} - (\text{lcorte} * (\text{PPL} - 1)) - (\text{PPL} * \text{comprimento desejado para ladrilho})$$

Equação 32:

$$\text{Qtd de resíduos por banda (m}^3\text{)} = \text{comprimento que sobra banda} * \text{l banda} * \text{L}$$

O passo a seguir na criação duma metodologia de cálculo, consiste em saber qual será a produção de rejeitados de mármore, na parte decimal do cálculo anteriormente realizado.

O cálculo é realizado através da regra de três simples. Se para uma banda a quantidade de rejeitados de mármore vai ser um valor, a quantificação da parte decimal vai ser a multiplicação desta com o valor de rejeitados que uma banda produz.

Depois no final é feito o somatório da parte decimal como a parte inteira. Assim consegue-se ter um valor completo de produção de rejeitados de mármore para uma banda, seja o valor, por exemplo, 4,35 ou 8,9 ladrilhos possíveis produzir. Abaixo é possível apresentar a lógica de cálculo aplicando a regra de três simples e assim conseguindo o valor desejado, a quantidade de resíduos produzidos relativamente à componente decimal, isto para cada banda.

Equação 33:

$$\begin{array}{l} Qtd \text{ de resíduos por banda (m}^3\text{)} = \text{Valor inteiro do PPL} \\ X \qquad \qquad \qquad = \text{Valor decimal do PPL} \end{array}$$

De seguida é multiplicado o número obtido com o número total de bandas disponíveis na linha de produção de ladrilho e o resultado é o valor total de rejeitados de mármore.

- A segunda fase de cálculo trata-se da quantificação da “nata” de mármore produzida pela redução da espessura da banda na etapa do polimento. No caso de uma banda entrar na linha com 3 cm de espessura e a medida de espessura desejada para o ladrilho for de 2 cm, então pretende-se tirar 1 cm de espessura. O volume retirado, consiste em resíduo “nata” de mármore. O cálculo é relativamente simples e é aplicado multiplicando a espessura a retirar pela largura e o comprimento da banda. Depois, multiplicando esse resultado pelo total de bandas existentes, obtêm-se a quantidade total de “nata” nesta etapa.
- Na última fase de cálculo, o objetivo é a quantificação da produção de “nata” nas operações de corte. A operação a realizar é o número de ladrilhos que vão ser produzidos menos um, para ser possível saber o número de cortes a realizar. Este valor é multiplicado pela espessura do disco diamantado com a altura e o comprimento da banda. No final é multiplicado pelo valor total de bandas para ter um valor total da produção de “natas” em todas as bandas disponíveis.

No final destes cálculos é feito um somatório e o resultado é quantificação total de resíduos de mármore na linha de produção de ladrilhos.

Para a elaboração do cálculo dos valores temporais para a linha de produção de ladrilhos foi decidido acompanhar um certo universo de bandas ao longo da linha. Foram observadas dezenas de bandas a entrar no circuito e o tempo que demoraram realizar o percurso todo foi quase constante. Resumindo, foi calculado que uma banda demora cerca de 15 minutos a chegar ao final da linha.

Na linha de produção de ladrilhos a velocidade na etapa de corte, consiste na divisão do comprimento da banda pelo valor da velocidade de corte. O resultado é o tempo que vai demorar a cortar uma banda. Multiplicando este valor pelo número de bandas disponíveis, obtém-se o tempo total para realizar esta operação. Depois, também é possível realizar um cálculo da média para se ter noção de quanto tempo demora em média cortar uma banda.

O valor definido para a velocidade de corte foi de 0,75 m/min. O tempo de operação será expresso em min e de seguida convertido em horas. Abaixo é possível visualizar a fórmula utilizada.

Equação 34:

$$\text{Tempo de operação (min)} = \frac{\text{Comprimento}}{v \text{ de corte (m/min)}}$$

5.6 Resultados

O presente capítulo, está dividido de acordo com as várias operações do ciclo produtivo do mármore, desde a extração até à transformação. O objetivo principal será apresentar e interpretar os resultados totais da quantificação dos resíduos de mármore para cada processo.

Usando a metodologia elaborada, foi possível o cálculo dos tempos totais e os tempos médios de cada operação no ciclo produtivo do mármore.

Antes do acompanhamento e estudo do ciclo de extração de mármore, foram selecionadas na pedreira onze talhadas. Três dessas talhadas já se encontraram com as operações a decorrer e as restantes foram acompanhadas desde o início dos processos.

Na Tabela 5-19 é possível visualizar as várias talhadas caracterizadas com os códigos de identificação, a localização, as dimensões em metros e por fim os volumes e a tonelagem. Para este trabalho utilizou-se um peso específico do mármore de 2,65ton/m³.

Tomando como exemplo a talhada 1, assinalada a vermelho na figura anterior, a designação atribuída foi *T1* e a localização piso B. A dimensão desta talhada (altura x largura x comprimento) determinada no terreno foi de (7x3,5x10) m respetivamente. Com base do volume calculado (245 m³) e no peso específico do mármore determinou-se a massa da talhada que foi de 629,25ton. Na mesma tabela foram calculados o volume e as toneladas totais das onze talhadas, que foram 3.750 m³ e 9.937,5ton, respetivamente.

Tabela 5-19 - Listagem das talhadas que foram analisadas e as suas características.

Talhada	Piso	Código	Dimensões (m)			Volume (m ³)	Toneladas (ton)
			Altura	Largura	Comprimento		
T01	C	T01PC	7	3,5	10	245	649,25
T02	C	T02PC	7	5	10	350	927,5
T03	B	T03PB	7	3,2	5	112	296,8
T04	L (Limpeza)	T04PL	10	3,5	15	525	1391,25
T1	B	T1PB	7	3,5	10	245	649,25
T2	A	T2PA	7	3,2	10	224	593,6
T3	B	T3PB	7	3,2	5	112	296,8
T4	0	T4P0	4	5	20	400	1060
T5	C	T5PC	7	3,5	18	441	1168,65
T6	0	T6P0	4	3,2	20	256	678,4
T7	C	T7PC	7	5	24	840	2226
Total						3750,00	9937,5

Nota do autor: tendo em conta que não foi possível ter um termo de comparação relativamente à quantidade de rejeitados de mármore produzidos e dos tempos de processos calculados, os seguintes resultados apresentados não foram comentados e confrontados.

5.6.1 Perfuração

Nas operações de perfuração, optou-se pela talhada **T1** para demonstração dum cálculo exemplo e singular. No final foram apresentados e interpretados os valores totais resultantes do cálculo da quantidade de resíduos de mármore produzidos e os tempos totais e médios das operações de perfuração.

De acordo com a metodologia elaborada, os resultados do cálculo dos tempos de processos foram de três valores. Com os quais foi feito um somatório para ter uma ideia de tempo total para a talhada. Para cada perfuração realizada na talhada **T1**, foi calculada a quantidade de resíduos produzidos e no fim fez-se o somatório para se ter uma estimativa total. Na tabela seguinte é possível ter noção dos valores obtidos.

Tabela 5-20 - Cálculo exemplo do tempo total de corte e a produção de resíduos de mármore nas operações de perfuração.

Talhada	Tempo de perfuração (h)			Quantidade total de resíduos (m ³)		
	Furo vertical (altura)	Furo levante (largura)	Furo levante (comprimento)	Cilindro (altura)	Cilindro (largura)	Cilindro (comprimento)
T1PFPB	3,0	1,5	4,3	0,0079	0,0040	0,0113
Total	8,913			0,023		

Nota: o código **T1PFPB** refere-se a uma talhada com o número **T1**, onde **PF** define o tipo de operação que está a ser aplicado, neste caso perfuração e o **PB**, como já foi descrito é a localização da talhada, Piso B.

Usando esta metodologia, foi realizado o mesmo cálculo dos tempos de processo e quantidade de resíduos gerados em cada talhada. O resultado deste cálculo, bem como o somatório, é apresentado na tabela seguinte:

Tabela 5-21 - Cálculo final do tempo de processo e a estimativa da produção de resíduos de mármore para todas as talhadas observadas na operação de perfuração.

Talhada	Quantidade de resíduos produzidos		Tempo total de perfuração
	Volume (m ³)	Toneladas (ton)	Horas (h)
T01PFPC	0,232	0,614	8,913
T02PFPC	0,249	0,659	9,565
T03PFPB	0,017	0,046	6,609
T1PFPB	0,023	0,062	8,913
T2PFPA	0,023	0,061	8,783
T3PFPB	0,017	0,046	6,609
T4PFPO	0,033	0,087	12,609
T5PFPC	0,322	0,854	12,391
T6PFPO	0,031	0,082	11,826
T7PFPC	0,407	1,079	15,652
Total	1,355	3,589	101,870

Atendendo à tabela anterior, o volume total de resíduos produzidos das onze talhadas observadas foi de 1,355 m³ e 3,589 toneladas.

Em relação ao tempo total consumido na perfuração das talhadas existentes obteve-se um valor de 101,870 horas e convertendo em formato H:M:S 101:52:12.

De acordo com as talhadas quantificadas foi possível calcular um tempo médio do processo que foi de 10,187 horas ou 10:11:13 (H:M:S).

5.6.2 Corte

Na operação de corte de talhadas, foi escolhido uma talhada para exemplificar o resultado da metodologia de cálculo elaborada.

No caso da talhada **T1**, foram calculados os tempos do processo e a quantidade de resíduos produzidos na operação de corte. O resultado foram três tempos de processo, da qual foi feito um somatório para ter uma ideia de tempo total para cada talhada. Para corte realizado na talhada **T1**, foi calculada a quantidade de resíduos produzidos e no fim fez-se o somatório para se ter uma estimativa total. Na tabela seguinte é possível ter noção dos valores obtidos.

Tabela 5-22 - Cálculo do tempo total de processo e a produção de resíduos de mármore nas operações de corte.

Talhada	Tempo de corte (h)			Quantidade total de resíduos (m ³)		
	Face vertical 1	Face vertical 2	Face horizontal	Face vertical 1	Face vertical 2	Face horizontal
T1CRTPB	1,6	4,7	2,3	0,270	0,770	0,385
Total	8,60			1,425		

Nota: o código **T1CRTPB** refere-se a uma talhada com o número **T1**, onde **CRT** define o tipo de operação que está a ser aplicado, neste caso o corte e o **PB**, como já foram descritas é a localização da talhada, Piso B.

Usando esta metodologia foi feito o mesmo cálculo dos tempos de processo e quantidade de resíduos gerados em cada talhada. O resultado deste cálculo, bem como o somatório, é apresentado na Tabela 5-23.

Tabela 5-23 - Cálculo final do tempo de processo e a estimativa da produção de resíduos de mármore para todas as talhadas observadas na operação de corte.

Talhada	Quantidade de resíduos produzidos		Tempo total de perfuração
	Volume (m ³)	Toneladas (ton)	Horas (h)
T01CRTPC	1,425	3,775	8,633
T02CRTPC	1,705	4,518	10,333
T03CRTPB	0,807	2,140	4,893
T1CRTPB	1,425	3,775	8,633
T2CRTPA	1,368	3,626	8,293
T3CRTPB	0,807	2,140	4,893
T4CRTP0	2,200	5,830	13,333
T5CRTPC	2,349	6,224	14,233
T6CRTP0	1,725	4,571	10,453
T7CRTPC	3,553	9,415	21,533
Total	17,364	46,013	105,233

Resumindo o volume total de resíduos produzidos nas onze talhadas observadas foi de 17,364 m³ e 46,013 t.

Em relação ao tempo total despendido a cortar as talhadas foi obtido um valor de 105,233 h ou, convertendo em formato H:M:S obtém-se 105:13:59.

Pelo facto de as talhadas terem dimensões diferentes determinou-se um tempo médio da operação de corte tendo-se chegado ao valor de 10,523 h ou 10:31:23 (H:M:S).

5.6.3 Derrube

Dentro das operações de derrube, foi primeiro estimado e demonstrado na Tabela 5 - 9, os valores temporais para cada processo. O tempo médio de enchimento do colchão de água é entre 10-15 minutos, dependendo do grau de fracturação do maciço. Convertendo este valor para horas obteve-se 0,210 horas. O tempo médio da expansão e retração do tomba bancadas é de 7 minutos, 3 minutos, respetivamente, totalizando um tempo de processo de 10 minutos. Isto convertendo para horas corresponde a 0,17 horas. No caso do mármore da talhada T1, o tempo médio do processo que envolve o tomba bancadas foi de 10 minutos.

Tabela 5-24 - Cálculo do tempo total de processo e a produção de resíduos de mármore nas operações de derrube.

Talhada	Tempo de derrube (h)			Quantidade total de resíduos (m ³)
	Colchão de água	Braço extensível	Tempo morto	Taxa de aproveitamento (%)
T1DRBPB	0,210	0,167	0,167	15%
Total	0,544			208,250

Nota: o código T1DRBPB refere-se a uma talhada com o número T1, onde DRB define o tipo de operação que está a ser aplicado, neste caso, derrube e o PB, como já foram descritas é a localização da talhada, Piso B.

Usando então esta metodologia foi feito o mesmo cálculo dos tempos de processo e quantidade de resíduos produzidos com o derrube de cada talhada. O resultado deste cálculo bem como o somatório é apresentado na tabela seguinte:

Tabela 5-25 - Cálculo final do tempo de processo e a estimativa da produção de resíduos de mármore para todas as talhadas observadas na operação de derrube.

Talhada	Equipamento Utilizado	Taxa de aproveitamento (%)	Quantidade de resíduos produzidos		Tempo total de perfuração
			Volume (m ³)	Toneladas (ton)	Horas (h)
T01DRBPC	Colchões de água + Tomba bancadas	30%	171,500	454,475	0,527
T02DRBPC	Colchões de água + Tomba bancadas	20%	280,000	742,000	0,527
T03DRBPB	<i>Reaper</i>	10%	100,800	267,120	0,460
T1DRBPB	Colchões de água + Tomba bancadas	15%	208,250	584,325	0,544
T2DRBPA	Colchões de água + Tomba bancadas	30%	156,800	415,520	0,527
T3DRBPB	<i>Reaper</i>	50%	106,400	281,960	0,460
T4DRBP0	Colchões de água + Tomba bancadas	10%	360,000	954,000	0,626
T5DRBPC	Colchões de água + Tomba bancadas	60%	176,400	467,460	0,760
T6DRBP0	Colchões de água + Tomba bancadas	10%	230,400	610,560	0,626
T7DRBPC	Colchões de água + Tomba bancadas	65%	294,000	779,100	0,760
Total			2084,550	5524,058	6,304

De acordo com a Tabela 5-25, é possível ter noção que é a partir desta etapa do ciclo produtivo de extração de mármore que inicia a grande produção de resíduos de mármore, neste caso de escombros. Por vezes estes desperdícios são necessários de forma a abrir caminho para aceder a bancadas com um interesse comercial melhor.

Estimou-se um volume total de resíduos das dez talhadas observadas de 2096,800 m³ que corresponde a 5556,520 t.

Em relação ao tempo de processo total de derrube das talhadas existentes, o valor obtido foi de 6,304 h e convertendo em formato H:M:S fica 06:18:14.

Atendendo que as talhadas têm dimensões diferentes foi calculado um tempo médio da operação de corte que foi de 0,573 horas ou 00:34:22 (H:M:S).

5.6.4 Esquadrejamento

Depois de as fórmulas criadas, foram calculados os tempos do processo, quantidade de “natas” de mármore produzidas e a quantidade de escombros por bloco nas operações de esquadrejamento. No caso do tempo de operação, ao ser aplicado a uma certa quantidade de cortes ao bloco, o tempo de processo é o somatório desses tempos. De acordo com o exemplo do **B10**, foram executados quatro cortes ao bloco, ao longo de comprimento e da largura e os resultados estão expostos na Tabela 5-26.

De realçar que no caso do bloco **B10**, o mesmo não foi virado para mudar a sua orientação de modo a que a anterior medida altura se transforme em largura e que assim possa ser cortado. Esta técnica na etapa do esquadrejamento foi observada poucas vezes porque a manobra de viragem com recurso a uma pá-carregadora não é um trabalho simples. Mais à frente, nos monofios, com a existência de um vira bloco e com a ajuda dos pórticos esta manobra já se torna mais fácil e eficaz.

Tabela 5-26 - Cálculo exemplo do tempo total de processo nas operações de esquadrejamento.

Bloco	Tempo de corte (h)			
	Corte Vertical Largura 1	Corte Vertical Largura 2	Corte Vertical Comprimento 1	Corte Vertical Comprimento 2
B10ESQPB	1,2	1,2	0,60	0,60
Total	3,60			

Nota: o código **B10ESQPB** refere-se a um dum bloco com o número **B10**, onde **ESQ** define o tipo de operação que está a ser aplicado, neste caso o esquadrejamento e o **PB**, como já foram descritos é a proveniência do bloco, neste caso piso B.

De acordo com a tabela anterior consegue-se ter uma noção que o bloco **B10** demorou sensivelmente 3,60 h a ser esquadrejado, 06:36:00 (H:M:S), a uma velocidade de corte de 10 m²/h. De realçar que os tempos mortos não foram contabilizados. Os resíduos totais por bloco

foram quantificados de acordo com as fórmulas já descritas e explicadas anteriormente. Os resultados destes cálculos são apresentados na Tabela 5-27 para a quantificação de produção de “natas” no esquadrejamento e a quantificação de escombro de mármore na Tabela 5-28.

Tabela 5-27 - Cálculo exemplo da produção de “natas” nas operações de esquadrejamento.

Bloco	Produção de “natas” (m ³)			
	Corte Vertical Largura 1	Corte Vertical Largura 2	Corte Vertical Comprimento 1	Corte Vertical Comprimento 2
B10ESQPB	0,071	0,074	0,071	0,074
Total	0,288			

Tabela 5-28 - Cálculo exemplo da produção de escombro nas operações de esquadrejamento.

Bloco	Produção de escombro (m ³)			
	Secção Vertical Largura 1	Secção Vertical Largura 2	Secção Vertical Comprimento 1	Secção Vertical Comprimento 2
B10ESQPB	3,236	2,362	3,236	2,362
Total	11,196			

Interpretando as tabelas anteriores, foi calculado e estimado que o bloco **B10** teve uma produção de “natas” na operação de esquadrejamento de 0,288 m³, que corresponde a 0,762 t. Relativamente à produção de escombro, foi estimado que o valor seria por volta de 11,196 m³ e 29,669 t. Fazendo o somatório, a quantidade de resíduos que este bloco de mármore produziu foi de 11,483 m³ e 30,431 t.

Esta metodologia foi aplicada nos restantes blocos observados. Na tabela 5-29 é possível observar os valores calculados e os respetivos somatórios. Ao longo de sensivelmente 1 semana, foram esquadrejados vinte e nove blocos, com uma média de 4,2 blocos por dia. Resumindo, o volume total de “nata” produzido por este universo de blocos foi de 7,373 m³ e 19,538 t. No cálculo da quantificação total de escombro de mármore é possível concluir que foi produzido 296,450 m³ e 785,592 t. No total foram gerados 303,823 m³ e 805,130 t de resíduos de mármore durante as operações de esquadrejamento.

Em relação ao tempo total de esquadrejamento dos vinte e nove blocos foi obtido um valor de 78,058 h ou, convertendo em formato H:M:S, 78:03:29.

Este tempo total de esquadrejamento não está contabilizado os tempos mortos, por exemplo, o tempo de manobra duma pá-carregadora para pegar no bloco e mudar de orientação para o corte seguinte e também o tempo que se esperou para haver uma pá-carregadora disponível para assistir ao trabalho de esquadrejamento.

Outra particularidade que não foi inserida na metodologia da estimativa de tempo de processo, é que os blocos nem sempre são logo cortados. Por vezes tiveram de aguardar que a máquina de corte de fio diamantado se tivesse disponível para realizar a operação de esquadrejamento. Isto fez com que o processo não fosse contínuo.

Atendendo a que os blocos têm dimensões diferentes foi estimado um tempo médio de operação de esquadrejamento. Aplicando um cálculo de média aos vinte e nove blocos, o resultado foi que um bloco demora em média, 2,692 h ou 02:41:31 (H:M:S).

Tabela 5-29 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo deste estudo.

Código	Produção de “Natas”		Produção de Escombros		Quantidade Total de Resíduos		Tempo de processo (h)
	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	
B1ESQPL	0,223	0,590	10,875	28,819	11,098	29,409	2,3
B2ESQPC	0,253	0,670	11,000	29,150	11,253	29,820	2,9
B3ESQPL	0,228	0,603	9,540	25,281	9,768	25,884	2,5
B4ESQPL	0,238	0,632	10,010	26,527	10,248	27,158	2,7
B5ESQPC	0,271	0,717	11,800	31,270	12,071	31,987	3,1
B6ESQPC	0,140	0,371	1,653	4,382	1,793	4,753	1,2
B7ESQPA	0,335	0,889	16,174	42,861	16,509	43,750	4,1
B8ESQPA	0,200	0,531	3,035	8,043	3,235	8,574	2,2
B9ESQPL	0,172	0,457	5,120	13,568	5,292	14,025	1,6
B10ESQPB	0,288	0,762	11,196	29,669	11,483	30,431	2,7
B11ESQPB	0,172	0,456	7,173	19,007	7,344	19,463	1,9
B12ESQPA	0,194	0,515	7,480	19,822	7,674	20,337	1,9
B13ESQPA	0,255	0,676	11,224	29,744	11,479	30,419	3,1
B14ESQPC	0,283	0,751	12,320	32,648	12,603	33,399	3,5
B15ESQPA	0,130	0,345	1,650	4,373	1,780	4,718	0,9
B16ESQPO	0,167	0,442	5,005	13,263	5,172	13,705	1,7
B17ESQPC	0,307	0,813	12,053	31,940	12,360	32,753	3,0
B18ESQPC	0,362	0,959	14,308	37,915	14,669	38,874	3,6
B19ESQPC	0,234	0,620	7,705	20,418	7,939	21,038	1,9
B20ESQPC	0,273	0,722	10,828	28,695	11,101	29,418	2,7
B21ESQPC	0,329	0,871	17,644	46,756	17,972	47,627	3,6
B22ESQPO	0,294	0,780	9,750	25,838	10,044	26,617	2,2
B23ESQPC	0,193	0,511	7,518	19,923	7,711	20,434	2,0
B24ESQPC	0,323	0,856	13,350	35,378	13,673	36,234	3,5
B25ESQPC	0,253	0,669	11,197	29,671	11,449	30,340	3,2
B26ESQPO	0,356	0,943	17,603	46,648	17,959	47,591	3,6
B27ESQPC	0,261	0,693	11,440	30,316	11,701	31,009	3,1
B28ESQPC	0,334	0,885	13,508	35,796	13,842	36,681	3,5
B29ESQPC	0,304	0,806	14,293	37,875	14,597	38,682	4,1
Total	7,373	19,538	296,450	785,592	303,823	805,130	78,058

5.6.5 Monofios

Neste subcapítulo, serão apresentados e interpretados os resultados totais dos blocos que entraram na linha dos monofios.

Como exemplo desta metodologia, serão calculados inicialmente, os tempos do processo, quantidade de “natas” de mármore produzida e a quantidade de escombros dos blocos **EXT4** e **B18**.

No caso do tempo de operação, ao ser realizada uma certa quantidade de cortes ao bloco, o tempo de processo é o somatório dos tempos da totalidade dos cortes. De acordo com o exemplo do bloco **EXT4**, foram executados seis cortes ao bloco, ao longo do comprimento, largura e um corte à altura. Em relação ao bloco **B18** foram realizados três cortes. Os resultados estão expostos na Tabela 5-23.

Tabela 5-30 - Cálculo exemplo do tempo total de processo nas operações de aparelhamento.

Bloco	Tempo de corte (h)					
	Corte 1	Corte 2	Corte 4	Corte 4	Corte 5	Corte 6
B18MNPC	0,3	0,3	0,5	-	-	-
EXT4MNEXT	0,2	0,2	0,5	0,5	0,1	0,5
Total	1,1 + 2 = 3,1					

Nota: o código **B18MNPC** refere-se a um bloco com o número **B18**, onde **MN** define o tipo de operação que está a ser aplicado, neste caso o aparelhamento nos monofios e o **PC**, como já foram descritos é proveniência do bloco, neste caso piso C.

De acordo com a tabela anterior, consegue-se ter uma noção que o bloco **B18** demorou sensivelmente 1,1 horas na linha dos monofios, 01:06:00 (H:M:S), a uma velocidade de corte de 12 m²/h. O bloco **EXT4** demorou 2,0 horas nas operações de aparelhamento, 02:00:00(H:M:S). De realçar que os tempos mortos não foram contabilizados.

Os resíduos totais por bloco foram quantificados de acordo com as fórmulas já descritas e explicadas anteriormente. Os resultados destes cálculos são apresentados na Tabela 5-31 para a quantificação de produção de “natas” na linha de monofios, e a quantificação de escombro de mármore na Tabela 5-32.

Tabela 5-31 - Cálculo exemplo da produção de “natas” nas operações de aparelhamento.

Bloco	Produção de “natas” (m ³)					
	Corte 1	Corte 2	Corte 4	Corte 4	Corte 5	Corte 6
B18MNPC	0,040	0,071	0,040	-	-	-
EXT4MNEXT	0,026	0,026	0,063	0,063	0,063	0,017
Total	0,205 + 0,178 = 0,383					

Tabela 5-32 - Cálculo exemplo da produção de escombro nas operações de aparelhamento.

Bloco	Produção de escombro (m ³)		
	Volume inicial	Volume final	Total
B18MNPC	10,709	3,812	6,896
EXT4MNEXT	4,560	0,764	3,796

De acordo com a demonstração anterior do cálculo, obtiveram-se os resultados de produção de “natas” de mármore para o bloco **B18** de 0,205 m³, 0,543 toneladas e para o bloco **EXT4**: 0,178 m³, 0,472 toneladas. Em relação à produção de escombro, foi estimado que o valor seria por volta de 6,896 m³, 18,274 toneladas para o bloco **B18** e 3,796 m³, 10,059 toneladas para o bloco **EXT4**. Fazendo o somatório, a quantidade de resíduos que os blocos produziram foram:

- **B18**: 7,101 m³ e 18,818 toneladas;
- **EXT4**: 3,974 m³ e 10,531 toneladas.

5.6.6 Monolâmina

Foi quantificado a produção de resíduos de mármore e os tempos de processo para a linha de aparelhamento da monolâmina. O número total de blocos que entraram neste sector foi de quatro.

Usando então esta metodologia foi feito o mesmo cálculo dos tempos de processo e quantidade de resíduos produzidos com o derrube de cada talhada. O resultado deste cálculo bem como o somatório é apresentado na tabela seguinte:

Tabela 5-33 - Cálculo final do tempo de processo e a estimativa da produção de resíduos de mármore para todas as talhadas observadas na operação de serragem na monolâmina.

Código	Produção de “Natas”		Produção de Escombros		Quantidade Total de Resíduos		Tempo de processo (h)
	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	
B1-26391	0,168	0,446	0,505	1,338	0,673	1,784	3,408
B2-1822717	0,003	0,007	0,020	0,053	0,023	0,060	0,802
B3-26455	0,068	0,179	0,203	0,538	0,270	0,717	1,523
B4-26393	0,049	0,130	0,147	0,390	0,196	0,520	1,491
Total	0,288	0,762	0,875	2,318	1,162	3,080	7,224

Estimou-se um volume total de quatro blocos observadas durante as operações de serragem da monolâmina de 14.848 m³ que corresponde a 39,347 t. Desse volume total, a produção total de “natas” foi 0,288 m³ que corresponde a 0,762 t. A produção de escombro foi calculado e obteve-se valores de 0,875 m³, 2,318 t. Realizando o somatório para o cálculo da quantidade total de resíduos de mármore foi de 1,162 m³ e 3,080 t.

Em relação ao tempo de processo total de aparelhamento dos blocos na monolâmina, o valor obtido foi de 7,224 h e convertendo em formato H:M:S fica 07:13:26.

Atendendo que os blocos têm dimensões diferentes foi calculado um tempo médio da operação de aparelhamento que foi de 1,806 horas ou 01:48:22 (H:M:S).

5.6.7 Engenhos multilâminas

Neste subcapítulo, serão apresentados e interpretados os resultados totais da serragem de blocos no sector de engenhos multilâminas.

Como exemplo desta metodologia, serão calculados inicialmente, os tempos do processo, quantidade de “natas” de mármore produzida e a quantidade de escombros ao longo dos cinco engenhos que estiveram em funcionamento durante a recolha de dados. As empresas detêm seis engenhos, mas um destes engenhos, no nº3 não estava a funcionar.

As tabelas estão distribuídas sequencialmente em relação aos números de engenhos e os parâmetros de corte que foram designados a cada bloco.

Tabela 5-34 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise dos engenhos multilâminas.

Engenho N°1							
Código BL	Produção de “Natas”		Produção de Escombros		Quantidade Total de Resíduos		Tempo de processo (h)
	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	
26115	0,208	0,551	0,052	0,138	0,260	0,689	12,60
26128	0,162	0,430	0,110	0,292	0,273	0,722	9,42
26118	0,138	0,366	0,052	0,137	0,190	0,504	7,60
26321	0,192	0,509	0,050	0,134	0,242	0,642	7,60
26371	0,330	0,874	0,082	0,219	0,412	1,093	15,15
26367	0,196	0,521	0,064	0,169	0,260	0,690	11,60
Total	1,227	3,251	0,411	2,177	1,638	4,340	65,630

Tabela 5-35 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise dos engenhos multilâminas.

Engenho Nº2							
Código BL	Produção de “Natas”		Produção de Escombros		Quantidade Total de Resíduos		Tempo de processo (h)
	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	
1822384	0,924	2,449	0,100	0,264	1,024	2,713	15,42
1822652	0,314	0,833	0,567	1,502	0,881	2,335	11,78
26381	0,432	1,146	0,703	1,862	1,135	3,008	12,15
1822717	0,255	0,677	0,330	0,874	0,585	1,551	7,60
1822697	0,073	0,195	0,018	0,049	0,092	0,243	7,15
26385	0,706	1,870	0,060	0,159	0,766	2,029	12,78
26449	0,802	2,126	0,030	0,079	0,832	2,205	13,78
Total	3,508	9,297	1,807	4,788	5,315	14,085	80,674

Tabela 5-36 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise dos engenhos multilâminas.

Engenho Nº4							
Código BL	Produção de “Natas”		Produção de Escombros		Quantidade Total de Resíduos		Tempo de processo (h)
	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	
1822716	0,119	0,315	0,045	0,118	0,163	0,432	6,33
1822718	0,165	0,438	0,079	0,209	0,244	0,648	7,06
26416	0,133	0,354	0,019	0,049	0,152	0,403	6,78
26414	0,332	0,878	0,044	0,117	0,376	0,996	11,69
26412	0,375	0,993	0,050	0,134	0,425	1,127	12,69
1822730	0,371	0,984	0,035	0,094	0,407	1,078	13,06
26420	0,232	0,614	0,048	0,128	0,280	0,741	12,51
26443	0,355	0,941	0,030	0,078	0,385	1,020	14,06
26444	0,302	0,801	0,025	0,067	0,328	0,868	13,06
Total	2,384	6,318	0,375	0,994	2,759	7,312	97,243

Tabela 5-37 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise dos engenhos multilâminas.

Engenho N°5							
Código BL	Produção de “Natas”		Produção de Escombros		Quantidade Total de Resíduos		Tempo de processo (h)
	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	
1822396	1,055	2,795	0,246	0,652	1,301	3,447	12,91
1822564	0,570	1,511	0,253	0,672	0,824	2,183	13,75
1822397	1,116	2,957	0,527	1,395	1,643	4,353	12,83
1822684	0,517	1,370	0,266	0,704	0,783	2,074	13,75
26458	0,375	0,993	0,050	0,134	0,425	1,127	11,66
26424	0,696	1,844	0,297	0,786	0,992	2,630	15,66
26421	1,046	2,772	0,409	1,084	1,455	3,856	12,66
26445	0,487	1,290	0,385	1,021	0,872	2,312	12,58
26386	1,050	2,783	0,158	0,420	1,208	3,202	12,50
1822720	0,644	1,706	0,085	0,225	0,729	1,931	12,91
Total	7,555	20,021	2,677	0,652	10,232	27,114	118,303

Tabela 5-38 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise dos engenhos multilâminas.

Engenho N°6							
Código BL	Produção de “Natas”		Produção de Escombros		Quantidade Total de Resíduos		Tempo de processo (h)
	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	
26423	0,806	2,137	0,058	0,153	0,864	2,290	17,00
26441	0,798	2,115	0,057	0,151	0,855	2,266	16,16
26389	1,086	2,877	0,164	0,434	1,250	3,311	12,83
26446	0,740	1,961	0,160	0,423	0,900	2,384	12,58
1822705	0,593	1,572	0,137	0,362	0,730	1,934	12,33
1822380	1,109	2,938	0,143	0,380	1,252	3,318	14,08
26366	0,700	1,854	0,157	0,417	0,857	2,271	14,08
26447	1,270	3,364	0,137	0,363	1,406	3,727	15,88
Total	7,101	18,818	1,012	2,682	8,113	21,500	114,935

De acordo com os dados apresentados é possível verificar que uns engenhos produziram mais resíduos do que os outros, isto justifica-se que alguns receberam mais blocos do que os outros. Na tabela 5-39 é possível visualizar o resumo destes cálculos.

Tabela 5-39 - Resumo da produção de resíduos de mármore durante os dias 19 a 22 de Junho.

Resíduos de mármore produzidos nos Engenhos multilâminas nos dias 19 - 22 de Junho:		
Nº de Engenho:	(m ³)	(ton)
ENGENHO 1	1,638	4,340
ENGENHO 2	5,315	14,085
ENGENHO 3	2,759	7,312
ENGENHO 5	9,503	25,184
ENGENHO 6	8,113	21,500
Total:	27,329	72,421
Média por Dia:	9,110	24,140
Total de Blocos que entraram nos Engenhos (m³):		138,222
Total de nata produzida nos 4 dias (m³)		21,775

De acordo com a tabela anterior, é possível concluir que o engenho que mais produziu nos quatro dias foi o engenho número cinco, com 9,503 m³ e 25,184 t de resíduos de mármore. Neste cálculo esta incluído tanto a produção de “natas” que foi 7,555 m³ e a quantidade de rejeitados de mármore ou material que foi para a escombreira 2,677 m³.

No total, os cinco engenhos produziram 27,329 m³, que corresponde a 72,421 t de resíduos. A média por dia corresponde a 9,110 m³ e 24,140 t como é possível observar na tabela apresentada. De realçar que a nata produzida nos quatro dias foi de 21,775 t.

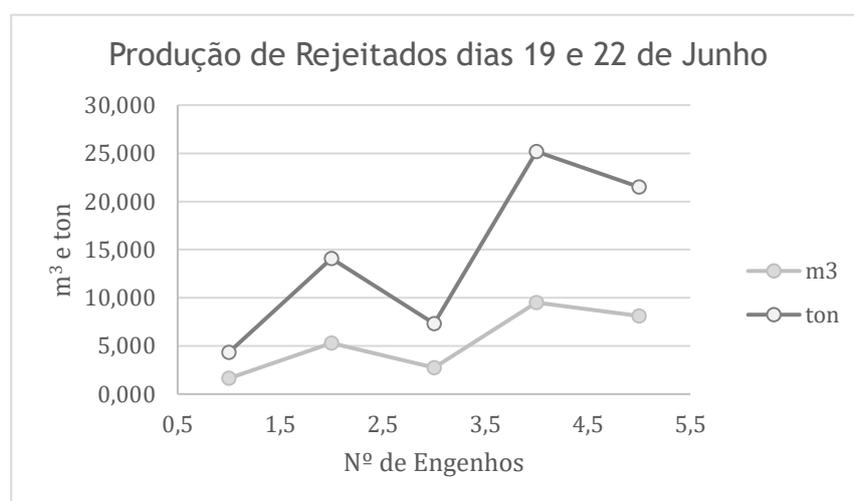


Figura 5-40 - Produção de resíduos de mármore nos engenhos multilâminas.

Relativamente ao tempo calculado para os engenhos multilâminas de acordo com a metodologia elaborada, foram obtidas as estimativas do tempo total de processo para cada engenho e foi aplicado os resultados apresentam-se na seguinte tabela:

Tabela 5-40 - Resumo da produção de resíduos de mármore durante os dias 19 a 22 de Junho.

<i>Nº de Engenho:</i>	<i>Tempo total do Processo (h)</i>	<i>Tempo Médio de Processo por Bloco (h)</i>
ENGENHO 1	65,630	5,966
ENGENHO 2	80,674	11,525
ENGENHO 3	97,243	10,805
ENGENHO 5	118,303	13,122
ENGENHO 6	114,935	14,367
Total (h)	476,785	55,785
Média (h)	95,357	11,157

Foi possível calcular um tempo médio de processo por bloco, dum engenho multilâminas. Este valor é de 11,157 h. A totalidade dos engenhos durante os dias que foram acompanhados tiveram um tempo médio de processo de serragem de blocos de 55,785 h.

Outro pormenor que foi verificado, é que os engenhos juntos trabalharam na totalidade 476,785 h durante os 4 dias que foram observadas as operações de serragem do bloco.

5.6.8 Linha de chapas

De acordo com a metodologia elaborada na linha de produção de chapas, os resultados do cálculo dos tempos das operações observadas foram os apresentados na tabela seguinte.

Tabela 5-41 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise da linha de chapas.

Código BL	Produção de “Natas”		Tempo de processo
	(m ³)	(ton)	(h)
26429	0,324	0,860	54,035
26414	0,166	0,439	33,772
26412	0,187	0,497	29,269
1822730	0,186	0,492	38,275
26420	0,116	0,307	20,263
26443	0,178	0,471	27,018
26444	0,151	0,401	27,018
1822396	0,510	1,351	65,293
1822564	0,261	0,693	37,149
1822397	0,504	1,336	63,041
1822684	0,237	0,628	37,149
26458	0,187	0,497	29,269
26424	0,327	0,868	36,024
26421	0,489	1,297	65,293
26445	0,210	0,555	34,898
26386	0,516	1,367	64,167
1822720	0,322	0,853	40,527
26423	0,403	1,068	47,281
26441	0,399	1,057	47,281
26389	0,534	1,414	64,167
26446	0,362	0,958	48,407
1822705	0,289	0,765	41,652
1822380	0,545	1,445	66,419
26366	0,341	0,904	43,904
26447	0,624	1,653	64,167
Total	8,367	22,174	1125,739

De acordo com a Tabela 5-41, a produção total de “natas” na linha de polimento das chapas, foi de 8,367 m³ que corresponde a 22,174 t.

Em relação ao tempo calculado de todas as chapas que entraram na linha de polimento de chapas e outros tratamentos superficiais aplicados nas chapas, o valor obtido foi de 1125,739 h e convertendo em formato H:M:S fica 1125:44:21. Este valor corresponde em média a 47 dias de trabalho na linha de produção de chapas.

Atendendo que as chapas têm dimensões diferentes foi calculado um tempo médio do somatório dos vários processos existentes na linha de produção de chapas. O resultado foi de 45,030 horas ou 45:01:48 (H:M:S).

5.6.9 Linha de produção de bandas

Usando a metodologia descrita no subcapítulo anterior, foi efetuado cálculo dos tempos de processo e a quantidade de resíduos gerados para cada chapa na linha de produção de bandas. O resultado deste cálculo, bem como o somatório, é apresentado na tabela seguinte:

Tabela 5-42 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise da linha de produção de bandas.

Código BL	Produção de “Natas”		Produção de Escombros		Quantidade Total de Resíduos		Tempo de processo (h)
	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	(m ³)	(ton)	
26115	0,0215	0,057	0,1518	0,402	0,1733	0,459	2,567
26128	0,0210	0,056	0,4314	1,143	0,4524	1,199	2,513
1822716	0,0235	0,062	0,0524	0,139	0,0759	0,201	2,810
1822718	0,0311	0,082	0,4531	1,201	0,4842	1,283	3,716
26118	0,0241	0,064	0,0147	0,039	0,0388	0,103	2,880
26321	0,0335	0,089	0,3265	0,865	0,3600	0,954	4,000
1822652	0,0232	0,062	0,0517	0,137	0,0749	0,198	2,773
26381	0,0322	0,085	0,1410	0,374	0,1733	0,459	3,850
1822717	0,0339	0,090	0,3309	0,877	0,3648	0,967	4,053
1822697	0,0137	0,036	0,0965	0,256	0,1102	0,292	1,632
26416	0,0262	0,069	0,1288	0,341	0,1550	0,411	3,132
26371	0,0282	0,075	0,6245	1,655	0,6527	1,730	3,373
26367	0,0210	0,056	0,0242	0,064	0,0451	0,120	2,508
Total	0,333	0,883	2,827	7,492	3,160	8,375	39,808

De acordo com a Tabela 5-42 a produção total de “natas” de todas as chapas, que entraram na linha de produção de bandas foi 0,333 m³ que corresponde a 0,883 t. A produção de escombros foi calculada e obtiveram-se valores de 2,827 m³ e 7,492 t. O somatório para o cálculo da quantidade total de resíduos de mármore foi de 3,160 m³ e 8,375 t.

Em relação ao tempo de processo total na linha de produção de banda, o valor obtido foi de 39,808 h e convertendo em formato H:M:S fica 39:48:29.

Atendendo que as chapas têm dimensões diferentes, foi calculado um tempo médio da operação de corte na linha de produção de bandas, que foi de 3,062 horas ou 03:37:12 (H:M:S).

5.6.10 Linha de produção de ladrilho

Depois de as fórmulas criadas, foram calculados os tempos do processo, quantidade de “natas” de mármore produzidas e a quantidade de escombros por banda na linha de produção de ladrilhos.

No caso do tempo de operação, ao ser aplicado a uma certa quantidade de cortes ao bloco, o tempo de processo é o somatório desses tempos.

Tabela 5-43 - Cálculo e somatório de produção “natas”, escombros, quantidade total de resíduos e o tempo de processo para cada bloco que foi observado ao longo da análise da linha de produção de bandas.

Código BL	Nº de Bandas disponíveis para corte	Produção de “Natas” (m ³) (total - bandas)		Produção de Escombros (m ³)	Quantidade Total de Resíduos		Tempo de processo (h)
		Operação de corte	Redução de espessura		(m ³)	(ton)	
26115	44	0,015	0,462	0,143	0,620	1,643	5,133
26128	13	0,009	0,226	0,018	0,253	0,671	0,838
1822716	15	0,008	0,253	0,105	0,366	0,970	0,937
1822718	20	0,011	0,305	0,053	0,369	0,978	1,396
26118	16	0,009	0,259	0,136	0,404	1,070	0,960
26321	20	0,013	0,360	0,088	0,461	1,222	1,333
1822652	32	0,018	0,499	0,146	0,663	1,757	1,849
26381	50	0,022	0,693	0,456	1,171	3,103	2,567
1822717	32	0,011	0,365	0,284	0,659	1,747	1,351
1822697	12	0,005	0,147	0,004	0,156	0,413	0,544
26416	18	0,010	0,282	0,088	0,380	1,008	1,044
26371	44	0,020	0,607	0,381	1,008	2,672	2,249
26367	38	0,013	0,451	0,482	0,946	2,507	1,672
Total	354		5,073	2,384	7,457	19,761	21,872

De acordo com a Tabela 5-43 a produção total de “natas” de todas as bandas, que entraram na linha de produção de ladrilho foi 5,073 m³ que corresponde a 13,443 t. A produção de escombros foi calculado e obteve-se valores de 2,384 m³ e 6,318 t. Realizando o somatório para o cálculo da quantidade total de resíduos de mármore foi de 7,457 m³ e 19,761 t.

Em relação ao tempo de processo total na linha de produção de ladrilhos, o valor obtido foi de 21,872 h e convertendo em formato H:M:S fica 21:52:19.

Atendendo que as bandas têm dimensões diferentes, foi calculado um tempo médio da operação de corte na linha de produção de ladrilhos, que foi de 1,682 horas ou 01:40:55 (H:M:S).

5.6.11 Resultados gerais

Nesta parte do trabalho será realizado um estudo geral relativamente à quantificação dos rejeitados de mármore durante o seu ciclo produtivo e a estimativa do cálculo de tempos de operações, tanto da pedraira como na fábrica.

Foram elaboradas tabelas e gráficos para demonstrar o somatório dos resultados obtidos através da metodologia de cálculo criada ao longo deste trabalho. A primeira demonstração será da pedraira, e de seguida da unidade de transformação de mármore situada na fábrica da empresa António Galego & Filhos, Lda. Por último será feito um somatório geral aos valores obtidos, para ser possível refletir e tirar conclusões no capítulo seguinte.

5.6.11.1 Pedreira

Tabela 5-44 - Quantificação de resíduos de mármore na pedraira da empresa António Galego & Filhos, Lda.

Quantificação de resíduos de mármore por processo na pedraira		
Processos	Metros cúbicos (m ³)	Toneladas (ton)
Perfuração	1,355	3,589
Corte	17,364	46,013
Derrube	2254,650	5974,823
Esquadrejamento	303,823	805,130
Monofios	95,794	253,855
Total	2672,985	7083,410

Tabela 5-45 - Cálculo dos tempos de processos na pedraira da empresa António Galego & Filhos, Lda.

Cálculo dos tempos de processos na pedraira				
Processos	Tempo médio de um bloco por processo		Tempo total dos blocos por processo	
	(h)	(H:M:S)	(h)	(H:M:S)
Perfuração	10,187	10:11:13	101,870	101:52:12
Corte	15,785	15:47:06	157,850	157:52:30
Derrube	0,573	00:34:22	6,304	6:18:14
Esquadrejamento	2,692	02:41:31	78,058	78:03:29
Monofios	0,850	00:32:28	18,696	18:41:46
Total	30,087	30:05:13	362,778	362:48:41

De acordo com os resultados obtidos na pedraira, relativamente às talhadas inicialmente seleccionadas, foi produzido um total de 2672,985 m³ e 7083,410 t.

Relativamente ao tempo total das operações na pedraira, obteve-se um valor de 362,778 h e convertendo em formato H:M:S 362:48:41.

Mesmo tendo em conta que ao longos das etapas analisadas do ciclo extrativo as talhadas e os blocos terem dimensões diferentes, foi possível o cálculo de um tempo médio de um bloco por processo e obteve-se um valor de 362,778 h e H:M:S 362:48:41.

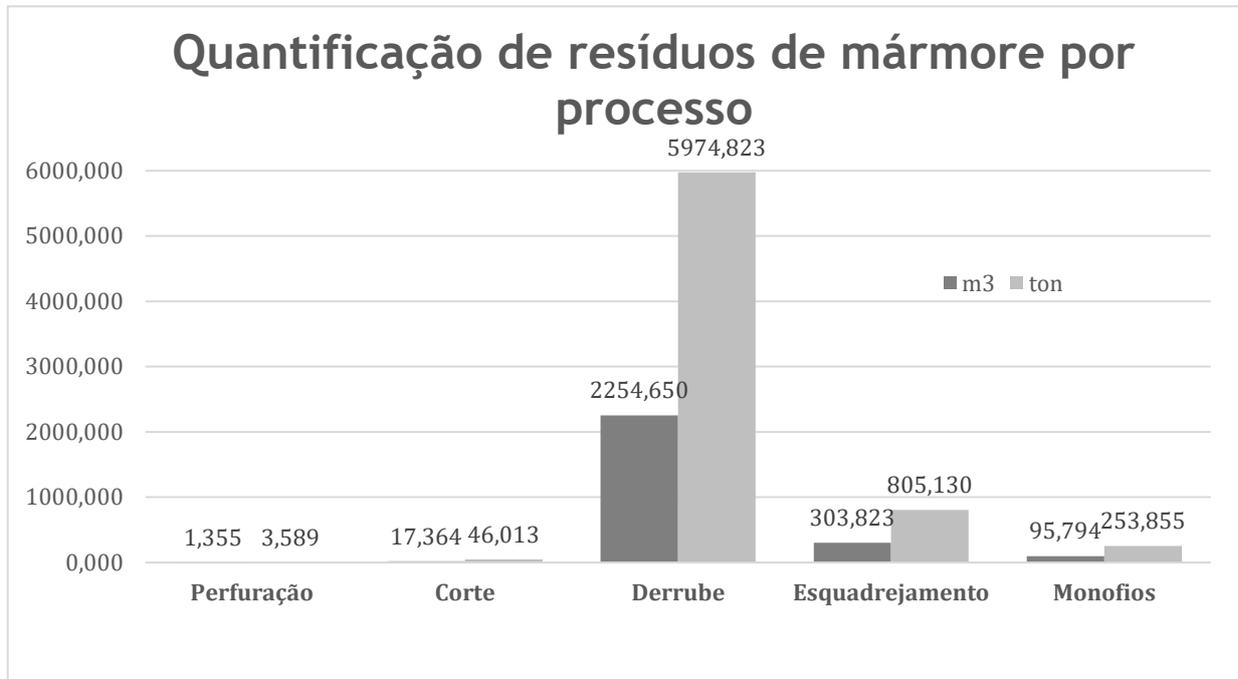


Figura 5-41 - Histograma de resíduos de mármore por processo na pedreira da empresa António Galego & Filhos, Lda.

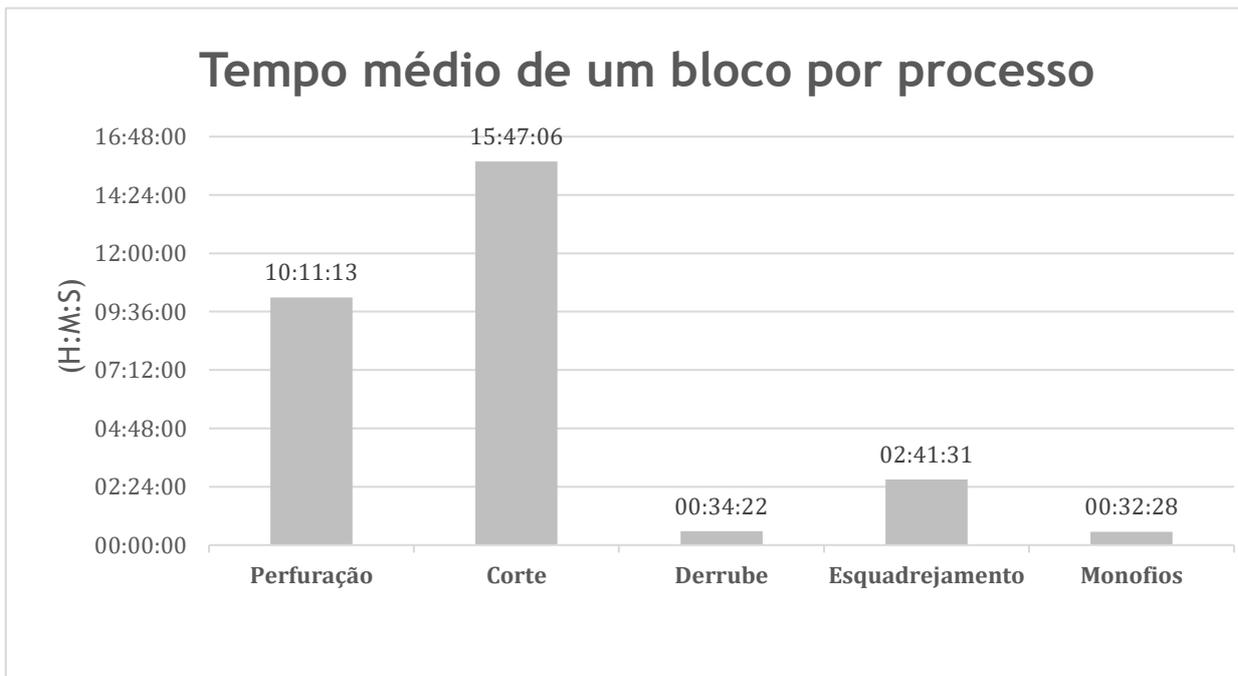


Figura 5-42 - Histograma dos tempos médios de um bloco por processo na empresa António Galego & Filhos, Lda.

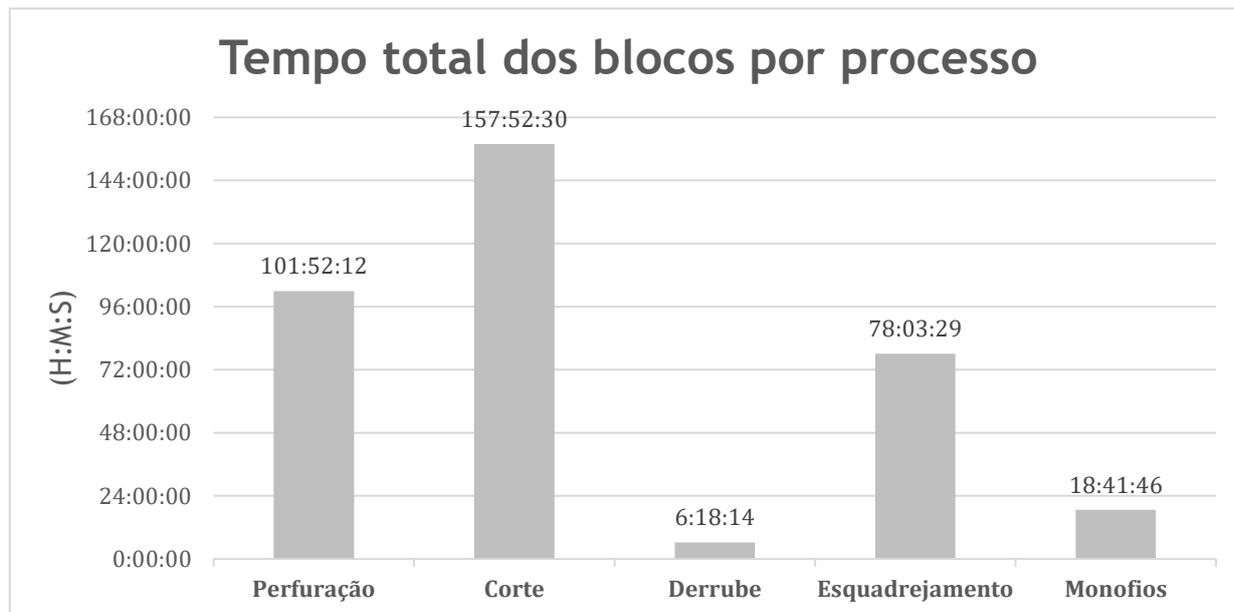


Figura 5-43 - Histograma do tempo total dos blocos por processo na empresa António Galego & Filhos, Lda.

5.6.11.2 Fábrica – Unidade de transformação de rocha ornamental

Tabela 5-46 - Quantificação de resíduos de mármore da unidade de transformação de rocha ornamental da empresa.

Quantificação de resíduos de mármore por processo na unidade de transformação		
Processos	Metros cúbicos (m ³)	Toneladas (ton)
Monolâmina	1,162	3,080
Engenhos	27,329	72,421
Bandas	3,160	8,375
Ladrilhos	7,457	19,761
Chapas	8,367	22,174
Total	47,476	125,811

Tabela 5-47 - Quantificação de resíduos de mármore na unidade de transformação de rocha ornamental da empresa.

Cálculo dos tempos de processos na unidade de transformação				
Processos	Tempo médio por processo		Tempo total dos blocos por processo	
	(h)	(H:M:S)	(h)	(H:M:S)
Perfuração	1,806	1:48:22	7,224	7:13:26
Corte	11,157	11:09:25	476,785	476:47:06
Derrube	3,062	03:03:43	39,808	39:48:29
Esquadrejamento	1,682	01:40:55	21,872	21:52:19
Monofios	45,030	45:02:48	1125,739	1125:44:21
Total	62,737	62:44:13	1671,427	1671:25:37

De acordo com os resultados obtidos na unidade de transformação da empresa, foi produzido um total de 47,476 m³ e 125,811 t.

Relativamente ao tempo total das operações na unidade de transformação de rocha, obteve-se um valor de 1671,427 h e convertendo em formato H:M:S 1671:25:37.

Mesmo tendo em conta que ao longo das etapas analisadas do ciclo de transformação do mármore, os blocos que chegaram à fábrica terem dimensões diferentes, foi possível o cálculo de um tempo médio por processo e obteve-se um valor de 62,737 h e H:M:S 62:44:13.

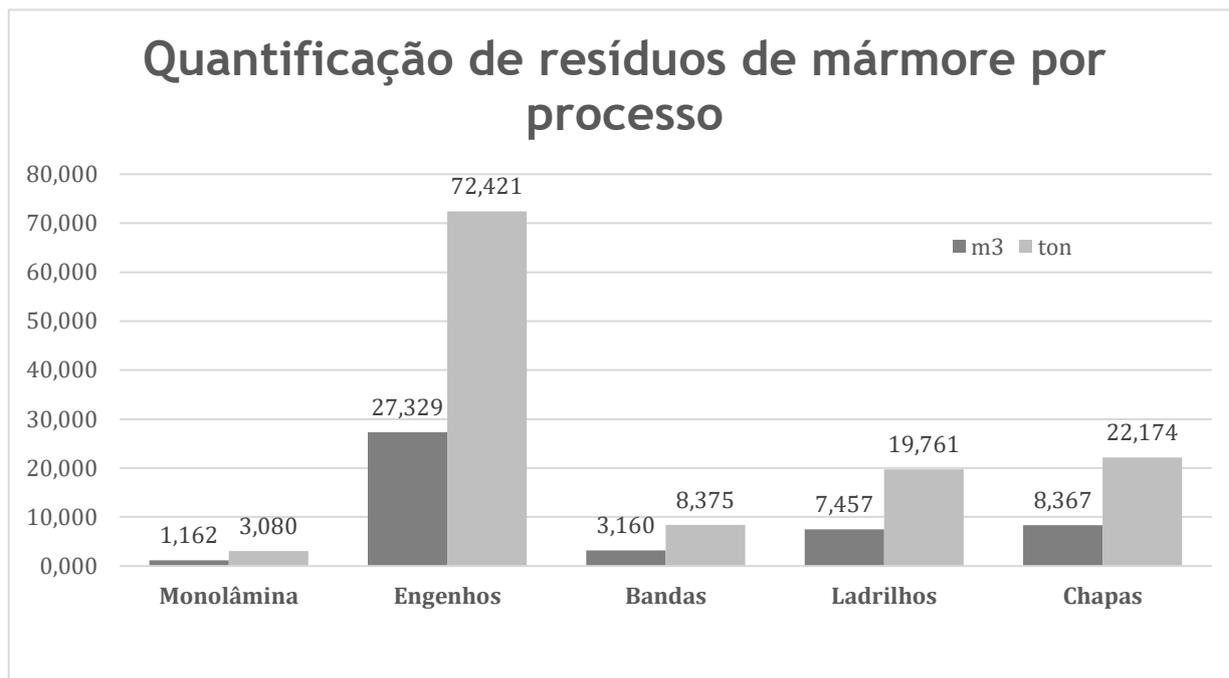


Figura 5-44 - Histograma de resíduos de mármore por processo na unidade de transformação de rocha ornamental da empresa António Galego & Filhos, Lda.

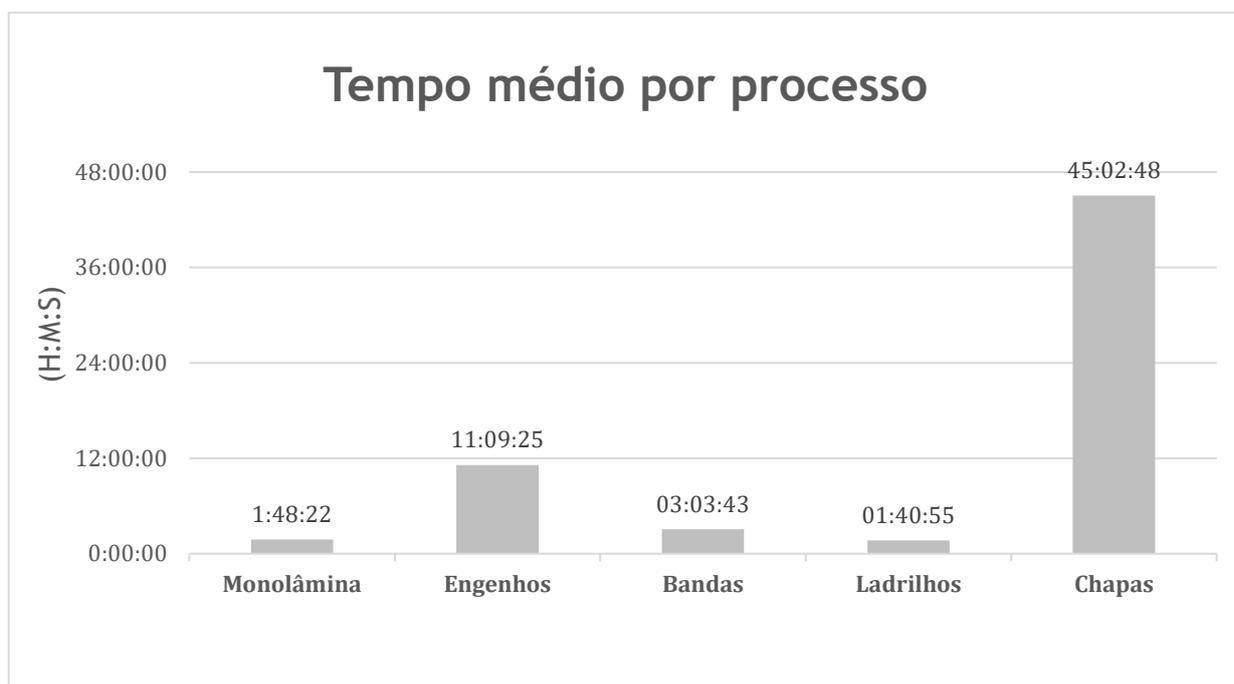


Figura 5-45 - Histograma de resíduos de mármore por processo na unidade de transformação de rocha ornamental da empresa António Galego & Filhos, Lda.

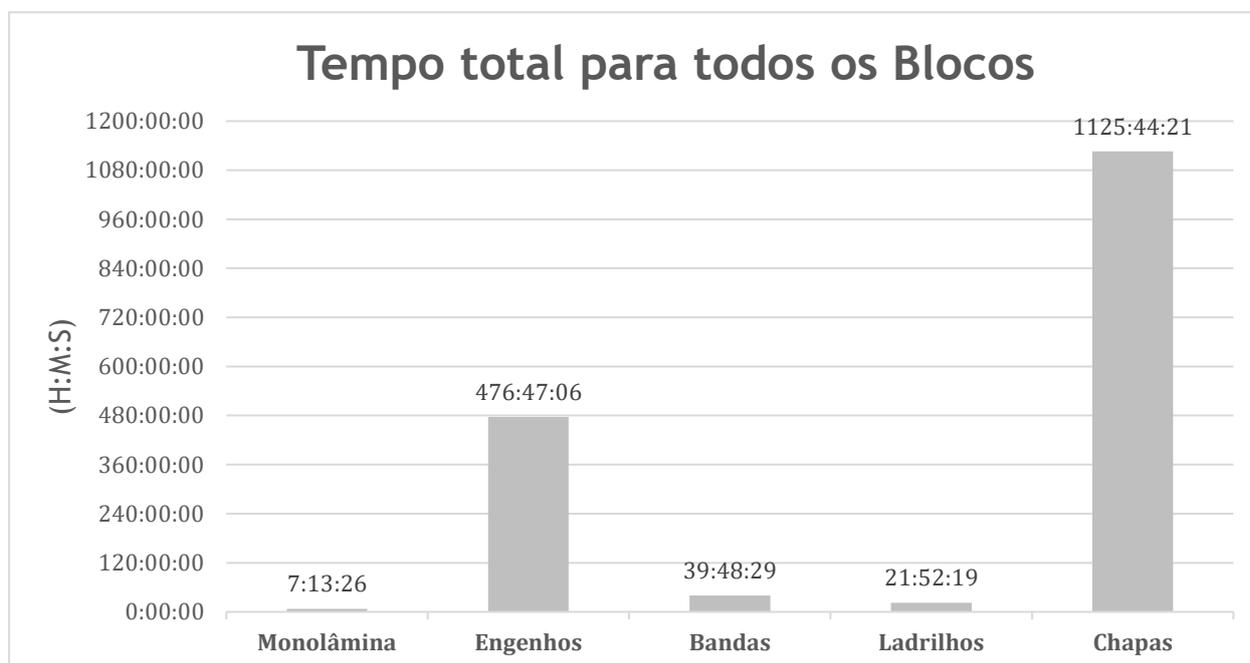


Figura 5-46 - Histograma de resíduos de mármore por processo na unidade de transformação de rocha ornamental da empresa António Galego & Filhos, Lda.

6 Proposta de Modelo

6.1 Introdução

Como proposta de otimização dos trabalhos e operações da respetiva empresa, foi criado um modelo interativo através do software Excel. A elaboração desta ferramenta só foi possível de acordo com a metodologia da automação de cálculo estabelecido ao longo deste trabalho.

O modelo tem como objetivo o cálculo automático da respetiva estima da quantidade de resíduos de mármore produzidos por um bloco assim que entra na unidade de transformação de rocha ornamental. Como complemento, é possível ter uma estimativa dos tempos de operações ao longo do ciclo de transformação do bloco. Esta quantificação está dependente do produto final a produzir com o bloco de rocha ornamental submetido a processos de transformação.

Foi verificado na empresa onde foi elaborada este modelo, que é efetuado diariamente uma listagem em Excel, de todos os blocos que entram na fábrica. Sendo um software já utilizado pela empresa, um dos objetivos é juntar este modelo como complemento ou uma ferramenta adicional de modo ao operador e à empresa recolherem o máximo de informação possível dum bloco de rocha ornamental.

O modelo seria utilizado por um operador da empresa e este teria de preencher alguns “*inputs*” na folha de cálculo de Excel. Estas variáveis são relevantes para o funcionamento do modelo e estão apresentadas em forma de pergunta de modo ao operador poder inserir a informação necessária. No Anexo 1 deste trabalho, apresenta-se uma simulação do modelo para os vários produtos finais e os vários parâmetros que terão de ser preenchidos (A 1-1).

6.2 Procedimentos do Modelo

Nos parâmetros definidos foram tidas em conta a natureza e as características do trabalho realizado na empresa AGF. No caso de outras empresas, os parâmetros podem variar, bem como os métodos de cálculo e teriam de se realizar algumas mudanças ao modelo.

Inicialmente o modelo apresenta dois parâmetros a preencher. Estes dois parâmetros são de natureza informativa e de nada influenciam os cálculos seguintes. Um desses parâmetros seria a designação subjetiva ao bloco, como **B1**, ou **BN2** ou outra designação. A segunda designação é o código do bloco. Para blocos extraídos nas pedreiras da empresa é atribuído os códigos **AGF**, para blocos extraídos da pedreira mais antiga, **AGF-2** aplica-se para a segunda pedreira da empresa, adquirida recentemente. No caso de blocos adquiridos noutras pedreiras que não sejam da empresa, as duas designações anteriores não são aplicadas. Depois é atribuído o resto do código ao bloco.

Por exemplo, no caso dum bloco com o código **AGF 18 100**, os últimos cinco dígitos fornecem a informação que o bloco foi o centésimo bloco a ser extraído da pedreira no ano de 2018. Nas figuras seguintes é possível visualizar em formato de pergunta os dois parâmetros e imagens dos *inputs* a inserir no modelo realizado em Excel:

- *Qual a designação do bloco?*
- *Qual o código do bloco?*

	A	B	C	D	E
1	Perguntas:		Inputs		
2	Designação		B10		
3	Código		1822717		

O parâmetro seguinte a preencher são as dimensões do bloco. As dimensões consistem no comprimento, altura e a largura. Para efeito de cálculo estas medidas têm de ser em centímetros. Depois de preencher o modelo com as medidas do bloco de rocha ornamental é calculado automaticamente o volume de blocos em metros cúbicos. A seguir é apresentado um exemplo desta etapa, no modelo criado:

- *Quais as dimensões do bloco (cm)?*

	Dimensões (cm)	Comprimento	Altura	Largura	(m3)
4					
5		190	80	105	1,596

De seguida o operador terá de preencher a informação da espessura pretendida da chapa a ser serrada no setor de engenhos multilâminas. Na empresa AGF os blocos são cortados a 2 cm ou a 3 cm. Dos seis engenhos que a empresa detém, só o Engenho 1 é que corta a 3 cm, os restantes serram as chapas a 2 cm. Esta decisão normalmente é tomada tendo em conta as características iniciais do bloco de rocha ornamental e também as características desejadas do produto final.

- *Qual a espessura da chapa a serrar nos engenhos (cm)?*

Espessura da chapa a serrar nos Engenhos (cm)	2
--	----------

O operador, de acordo com as características iniciais do bloco de rocha ornamental e tendo já em vista a comercialização do mesmo tem de decidir qual o produto final desejado. Normalmente, na empresa os produtos finais consistem em bloco vendido à tonelada, chapas polidas ou não polidas e ladrilhos.

Existem também produtos finais obtidos através de trabalhos por medida e de cantaria. Igualmente há a possibilidade de as bandas serem designadas como produto final, mas esta realidade ocorre só em alguns casos.

No modelo só irão ser abordados os produtos finais: Bandas, Ladrilhos e Chapas. Se, por exemplo, a decisão for para fazer ladrilhos como produto final, o operador terá de inserir um “1” no espaço abaixo onde diz “Ladrilhos”, e preencher com “0” nos restantes produtos finais. Assim o modelo vai fazer o cálculo automaticamente, da quantidade de rejeitados de mármore, do tempo total de transformação e da percentagem de aproveitamento do bloco inicial. No caso de ser desejado produto final chapas ou possivelmente bandas, o procedimento é o mesmo anteriormente explicado. Abaixo são exemplificados os parâmetros em forma de pergunta e uma imagem detalhada do modelo elaborado:

- Qual o produto final que se pretende?
 - Bandas;
 - Ladrilhos;
 - Chapas.

7		Bandas	Ladrilhos	Chapas
8	Produto final	0	0	1

O critério seguinte a preencher pela empresa são as dimensões finais de uma banda, quando as chapas entram na linha de produção de bandas. No caso de o produto final desejado ser ladrilhos, o operador pode decidir, *à priori*, na linha de produção de bandas, qual as medidas que as bandas terão de ter, para se atingir o produto final desejado.

Os campos a preencher no modelo nesta fase (comprimento, largura, espessura), para efeito de cálculo, terão de ser introduzidos em metros e o modelo automaticamente preenche a espessura que a banda terá de ter, pois se uma chapa for cortada a 2 cm, a banda também terá essa medida. Normalmente na linha de produção de bandas são retirados os topos da chapa (altura) e a largura, dependendo da configuração que é configurada na máquina de corte ponte.

Para o funcionamento correto deste modelo é necessário indicar quantas chapas entram numa vez só, na linha de produção de bandas. Esta indicação resulta da observação *in situ* desta etapa de transformação. Observou-se que por norma entram na linha três a cinco chapas (dependendo das medidas iniciais do bloco) numa palete. Portanto a transformação não é feita chapa a chapa e isso é significativo para os cálculos finais.

- Quais as dimensões da Banda (m)?
- Quantas chapas entram numa vez na linha de produção de bandas (uni)?

Dimensões Bandas (m)		Comprimento	Largura	Espessura
		1,9	0,8	0,02
Quantas chapas entram numa vez na linha de produção de Bandas?		4		

A próxima etapa de preenchimento consiste na indicação pretendida para os ladrilhos. Este parâmetro é preenchido no modelo em metros, tanto o comprimento, largura e espessura.

- Qual a dimensão pretendida dos ladrilhos (m)?

Dimensão pretendida Ladrilhos (m)		Comprimento	Largura	Espessura
12		0,4	0,6	0,02
13				

De realçar que a pergunta “Houve algum rejeitado observado fora das linhas de produção (m³)?” existe para o caso de o operador ter observado, nas várias linhas de produção, algum tipo de rejeitado fora do processo produtivo, como por exemplo, alguma chapa que se partiu durante o transporte ao sair dos engenhos ou durante as operações de polimento de chapa, entre outros. Como o modelo tem o objetivo de ser usado numa parte inicial, antes de se dar início aos processos de transformação, esta pergunta é deixada em branco. A resposta teria de ser dada, se possível em metros cúbicos, de modo a ser possível fazer o somatório com os resultados obtidos.

- Houve algum rejeitado observado fora das linhas de produção (m³)?

14	Rejeitado observado fora das linhas produção (m3)	12
----	---	----

Depois do operador preencher todos os campos e responder ao resto das perguntas, preenchendo a informação no modelo, carrega no botão “OK” e o processo de cálculo é iniciado automaticamente e são apresentados logo os seguintes resultados:

- Quantidade de resíduos sólidos produzidos (m³);
- Quantidade de resíduos pastosos - “nata” - produzidos (m³);
- Total de resíduos de rocha ornamental produzidos (m³).

		(ton)
15	Quantidade de resíduos sólidos produzidos (m3)	0,087
16	Quantidade de resíduos pastoso - “nata” - produzidos (m3)	0,328
17	Total de rejeitados de rocha ornamental produzidos (m3)	0,415
		1,100

Relativamente ao primeiro resultado, quantidade de resíduos sólidos produzidos, refere-se ao desperdício em forma sólida de rocha ornamental ao longo dos processos de transformação.

Um dos exemplos deste tipo de resíduos que já foi tratado neste trabalho, observado na respetiva empresa, consiste em chapas partidas durante o trabalho no setor de engenhos multilâminas ou então no corte da banda em ladrilhos, onde o resíduo sólido é a parte que sobra da banda.

O segundo critério é relativo às lamas que o processo de transformação do bloco vai produzir ao longo do setor dos engenhos multilâminas, na linha de produção de bandas, na linha de produção de ladrilhos e na linha de polimento de chapas. Este resíduo está mais associado a processos de serragem, corte, polimento e de calibragem.

De seguida, aparece o resultado que consiste no somatório dos resíduos pastosos e dos resíduos sólidos, que o processo de transformação do bloco de rocha ornamental irá produzir na unidade de transformação da empresa. Igualmente foi criada uma ferramenta “*Check Sum*”, de modo a confirmar se o cálculo está a ser realizado corretamente. Se este resultado for diferente do resultado de “Total de rejeitados de rocha ornamental produzidos (m³)”, isto indica que o cálculo não está a ser bem aplicado.

Outro resultado, que é possível obter com esta ferramenta de cálculo, é o tempo total de processo. Este critério consiste no tempo estimado que o bloco irá demorar a ser transformado em cada operação, desde a serragem nos engenhos multilâminas até à produção de ladrilhos, se for este o produto final desejado. A maioria dos tempos mortos não foram contabilizados para o cálculo de tempos. O resultado é fornecido em horas:

- Tempo total de processo (h)

Tempo total de processo (h)	61,638
------------------------------------	---------------

O modelo proposto permite também dar uma estimativa da quantidade de produtos finais que se consegue obter. Como é possível ver na figura seguinte, o modelo consegue dizer o número de chapas que se obtém no final da transformação do bloco. Igualmente, o modelo fornece o número de ladrilhos que será obtido no final da linha de produção.

Isto foi possível de acordo com o cálculo e a metodologia elaborada ao longo da dissertação, onde foi observada, e avaliada, a quantidade de material que entrava nos equipamentos e depois através dum cálculo automático, o material que saía dos equipamentos. O modelo automaticamente indica, nesta etapa, qual o tipo de produto final a ser quantificado, tendo em conta que nos inputs anteriores, é definido o tipo de produto final desejado.

- Nº Total de: Chapas; Ladrilhos ou Bandas.

19	Nº Total de:	Chapas	40
----	---------------------	---------------	-----------

Por último consegue-se, através do cálculo de volumes iniciais e finais dos blocos, chapas, bandas e ladrilhos, chegar ao valor da percentagem de material que foi aproveitado. No caso da produção de chapas, no setor de engenhos multilâminas, há um melhor aproveitamento do bloco inicial. No caso de transformar o bloco em ladrilhos, há mais desperdício de material, levando a um menor aproveitamento de rocha.

Apresenta-se de seguida a taxa de aproveitamento dum bloco de rocha ornamental, do qual foi decidido, produzirem-se chapas. Neste caso, o material desaproveitado ronda 26% do bloco inicial.

20	% Aproveit.	74,000%
----	-------------	---------

Os valores calculados também são apresentados em forma de histogramas, que são gerados automaticamente, como se pode visualizar no Anexo 1. O primeiro gráfico (A-2) fornecido, é o total de rejeitados de rocha ornamental produzidos por processo. Esta informação é obtida através do somatório dos resíduos pastosos com os resíduos sólidos. O modelo apresentado no gráfico (A-3) refere-se à com a produção de “natas”, ou resíduos pastosos em cada processo de transformação. Igualmente, é fornecido automaticamente um histograma (A-4) com a quantidade de resíduos sólidos produzidos por cada bloco ao longo dos processos.

O último gráfico, Anexo 1 - A-5, apresenta o tempo total que o bloco irá demorar a ser transformado. É também possível comparar os tempos obtidos, através da simulação da transformação do bloco, com os tempos médios por processo, recolhidos na empresa em análise.

Igualmente foi criada uma ferramenta “*Check Sum*”, de modo a se confirmar se o cálculo está a ser realizado corretamente. Se este resultado for diferente do resultado de “Total de rejeitados de rocha ornamental produzidos (m³)”, isto indica que o cálculo não está a ser bem aplicado.

Outra possibilidade deste modelo é que, assim que o operador carrega no botão “*OK*”, as informações do bloco são listadas automaticamente numa folha de cálculo separada. Nessa mesma folha de cálculo do Excel, é feito o somatório dos resultados da quantidade de resíduos produzidos, tempos de processo, % de aproveitamento, etc., ao longo da listagem dos blocos como é possível ver no Anexo 1, Figura A-6.

Depois da listagem, os campos da folha de cálculo principal são automaticamente limpos, de modo a serem preenchidos de novo.

7 Avaliação do trabalho realizado

7.1 Objetivos realizados

O presente estudo vem finalizar um ciclo de avaliações realizadas com o intuito de quantificar durante algumas semanas, a produção total de resíduos de mármore na empresa António Galego & Filhos - Mármore S.A., e nos vários processos existentes desde o ciclo de extração, até ao da transformação.

Um dos objetivos principais de realizar a quantificação em, pelo menos, quatro regiões das empresas da região do triângulo de mármore não foi conseguida devido a vários fatores, tais como falta de disponibilidade e de apoio. Portanto, não houve a possibilidade de ter um ponto de comparação entre empresas, caracterizando os equipamentos e os seus processos.

7.2 Limitações e Trabalho Futuro

Uma das limitações deste trabalho, senão a primeira a ser confrontada, foi que os processos do ciclo produtivo do mármore em teoria são contínuos, mas, na prática existem muitas discontinuidades ao longo das operações. Foi observado várias vezes, que por mais que um bloco seja de boa qualidade, este ficava parado no meio da pedreira aguardando oportunidade de ser comercializado.

Outra limitação consiste no cálculo inicial dos volumes dos blocos na pedreira. Mesmo tendo sido elaborado um sistema de escala e a utilização da técnica de esquadria, os valores não correspondem totalmente à realidade. Esta situação foi comprovada mais na linha dos monofios, onde os blocos, que eram comercializados noutras pedreiras vizinhas, chegavam com formas muito irregulares, dificultando o cálculo de volumes.

O tempo disponível para este estudo não foi o suficiente, visto que a amostra obtida, apesar de ser relevante em termos de quantificação de resíduos e cálculo de tempos não deixa de ser uma amostra pequena do universo da empresa. Como trabalho futuro recomenda-se uma análise mais prolongada e apoiada do ciclo produtivo de mármore ou doutras rochas ornamentais e industriais.

No contexto dos resíduos de mármore, outra recomendação é a elaboração de trabalhos focado exclusivamente em sectores dos ciclos mais específicos, tais como a elaboração de um estudo da quantificação de resíduos de mármore no sector de engenhos multilâminas ou na linha de produção de ladrilhos, devido ao facto de serem focos de grande produção de resíduos, especialmente “nata” de mármore.

Recomenda-se como trabalho futuro, a utilização do software *Wipfrag* para a quantificação dos resíduos de mármore produzidos essencialmente na etapa do derrube de talhada.

Inicialmente, a ficha de recolha de dados, elaborada à priori ao estudo na pedreira e na fábrica revelou-se insuficiente e pouco prática. Ao longo do trabalho a ficha sofreu várias alterações, mas, como futuro trabalho, seria interessante uma otimização da ficha de recolha de dados ou a criação doutra de raiz. No Anexo 2 deste trabalho, apresenta-se a versão inicial desta ficha.

7.3 Apreciação Final

A exploração de rocha ornamental, principalmente o ramo da extração de mármore, continua a ser uma atividade de grande importância na economia portuguesa. Para além deste contexto económico, a indústria portuguesa tem vindo a acompanhar a evolução do mercado nacional e internacional, ocupando os lugares de topo dos países produtores e exportadores de rocha ornamental.

De acordo com o sector da indústria de extração e transformação de mármore, perspectiva-se nos próximos anos um aumento de produção, se a demanda se mantiver constante.

Isto, por um lado, implica que a produção de resíduos de mármore aumente. A necessidade de se arranjam soluções para esta matéria prima é um desafio no presente, e pode ser mais desafiante no futuro. Uma otimização dos processos e equipamentos característicos, desta indústria, pode ser uma solução pertinente. Os contributos de melhoramento podem ser aplicados tanto a montante como a jusante do ciclo produtivo de mármore.

Referências

- [1] ASSIMAGRA. (2016), “Barómetro do Mármore 2016 - Posicionamento das empresas e perspectiva de evolução.” - Disponível em <http://www.assimagra.pt/barometro/wp-content/uploads/2017/02/Relato%CC%81rio-Barometro-economia-e-mercados-1.pdf>
- [2] Bonito, N.M.P., (2010), “Sustentabilidade na Indústria da Rocha Ornamental. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica”, Universidade de Évora.
- [3] Brodtkom, F. (200): “As Boas Práticas Ambientais na Indústria Extrativa: Um Guia de Referência”, Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro.
- [4] Casal Moura, A; Carvalho, C; Almeida, I; Saúde, J.; Ramos, J.; Augusto, J., Rodrigues, J.; Carvalho, J.; Martins, L.; Matos, M.; Machado, M.; Sobreiro, M.; Peres, M.; Martins, N., Bonito, N.; Henriques, P., Sobreiro, S.; (2007), “Mármore e Calcários Ornamentais de Portugal”, INETI.
- [5] Casal Moura, A, (2006), “A Pedra Natural em Portugal e as suas Características Gerais - Nota Breve”.
- [6] CETEM. (2014) - “Tecnologia de Rochas Ornamentais: Pesquisa, lavra e beneficiamento.” - Brasil.
- [7] Costa, C.; Rodrigues, M.J.; Pinelo, A., (1992), “Caracterização das Escombreiras das Explorações de Mármore da Região de Estremoz-Borba-Vila Viçosa. 1º estudo”, LNEC, Lisboa.
- [8] Cruz, I.; (2015), “Avaliação de volume de blocos e sua correlação com a recuperação em pedreiras em mármore. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia geológica e de Minas”, UTL, IST.
- [9] - DGEG. (2006), Boletim de Minas.
- [10] - DGEG. (2017), Boletim de Minas.
- [11] Guerreiro, H., (2000), “Exploração Subterrânea de Mármore - Aspectos Geotécnicos. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Georecursos”, UTL, IST.
- [12] INETI. (2008), “Cartografia Temática do Anticlinal - Zona dos Mármore”.
- [13] INETI. (2001), “Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI) - Guia Técnico do Sector da Pedra Natural”, Lisboa.
- [14] Instituto Geológico y Mineiro de España, (1998), “Programa Nacional de Estudios Geoambientales Aplicados a la Mineira”, Série: Geologia Ambiental, Madrid.
- [15] LNEG. (2012), “Pedras portuguesas a caminho da Índia” - Disponível em <http://www.lneg.pt/divulgacao/noticias-tecnicocientificas/37>.

[16] Lopes, L.; Cristo N.; Peres M.; Bonito N.; Martins R.; Dieb A.; Carvalho J.; (2012) “O Cluster da Pedra Natural - Estratégia Económica e Dinamização das Rochas Ornamentais em Portugal”.

[17] Risto, D.; Latifi E.; Stojkoski G.; Kostoski Z.; (2013) “*Advanced Modern Techniques for Explotation of Dimension Stones*” - Bulgaria.

Anexo 1

	A	B	C	D	E	F
1	Perguntas:					
2	Designação					
3	Código					
4	Dimensões (cm)					
5			Comprimento	Altura	Largura	(m3)
6			190	80	105	1,596
7	Espessura da chapa a serrar nos Engenheiros (cm)					
8	Produto final					
9	Dimensões Bandas (m)					
10			Comprimento	Largura	Espessura	
11			1,9	0,8	0,02	
12	Quantas chapas entram numa vez na linha de produção de Bandas?					
13			4			
14	Dimensão pretendida Ladrilhos (m)					
15			Comprimento	Largura	Espessura	
16			0,4	0,6	0,02	
17	Rejeitado observado fora das linhas produção (m3)					
18			0	(ton)		
19	Quantidade de resíduos sólidos produzidos (m3)					
20			0,087	0,230		
21	Quantidade de resíduos pastoso - "nata" - produzidos (m3)					
22			0,328	0,870		
23	Total de rejeitados de rocha ornamental produzidos (m3)					
24			0,415	1,100		
25	Tempo total de processo (h)					
26			61,638			
27	Nº Total de: Chapas					
28			40			
29	% Aproveit.					
30			74,000%			
31	OK					
32	Check SUM:					

Figura A-1 - Campos preenchidos da ferramenta criada para este trabalho de modo a quantificar os resíduos de rocha ornamental, os tempos médios por processo e os tempos de processo por bloco.

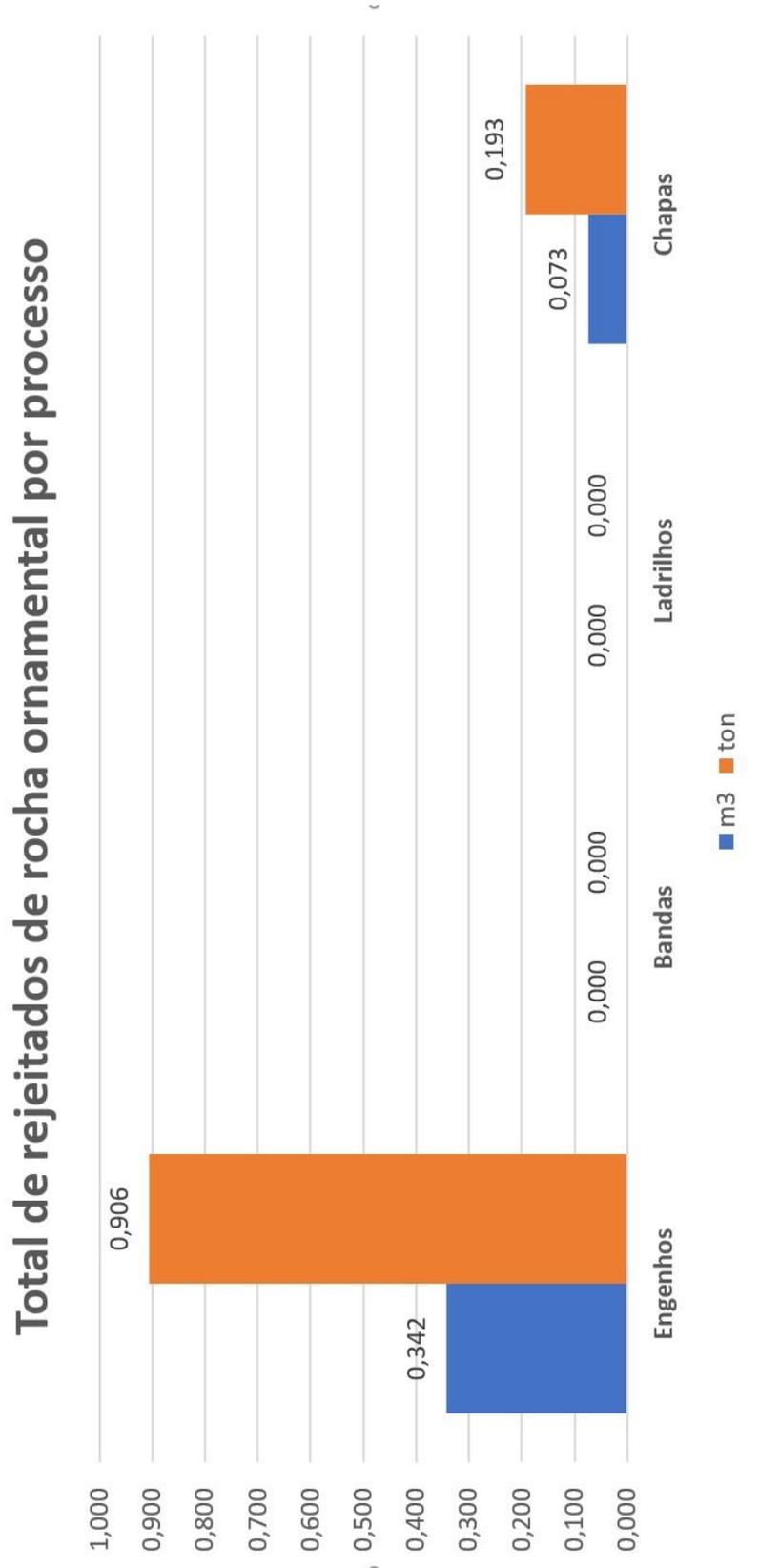


Figura A-2 - Histograma “Total de rejeitados de rocha ornamental por processo” no caso de o produto final ser chapas.

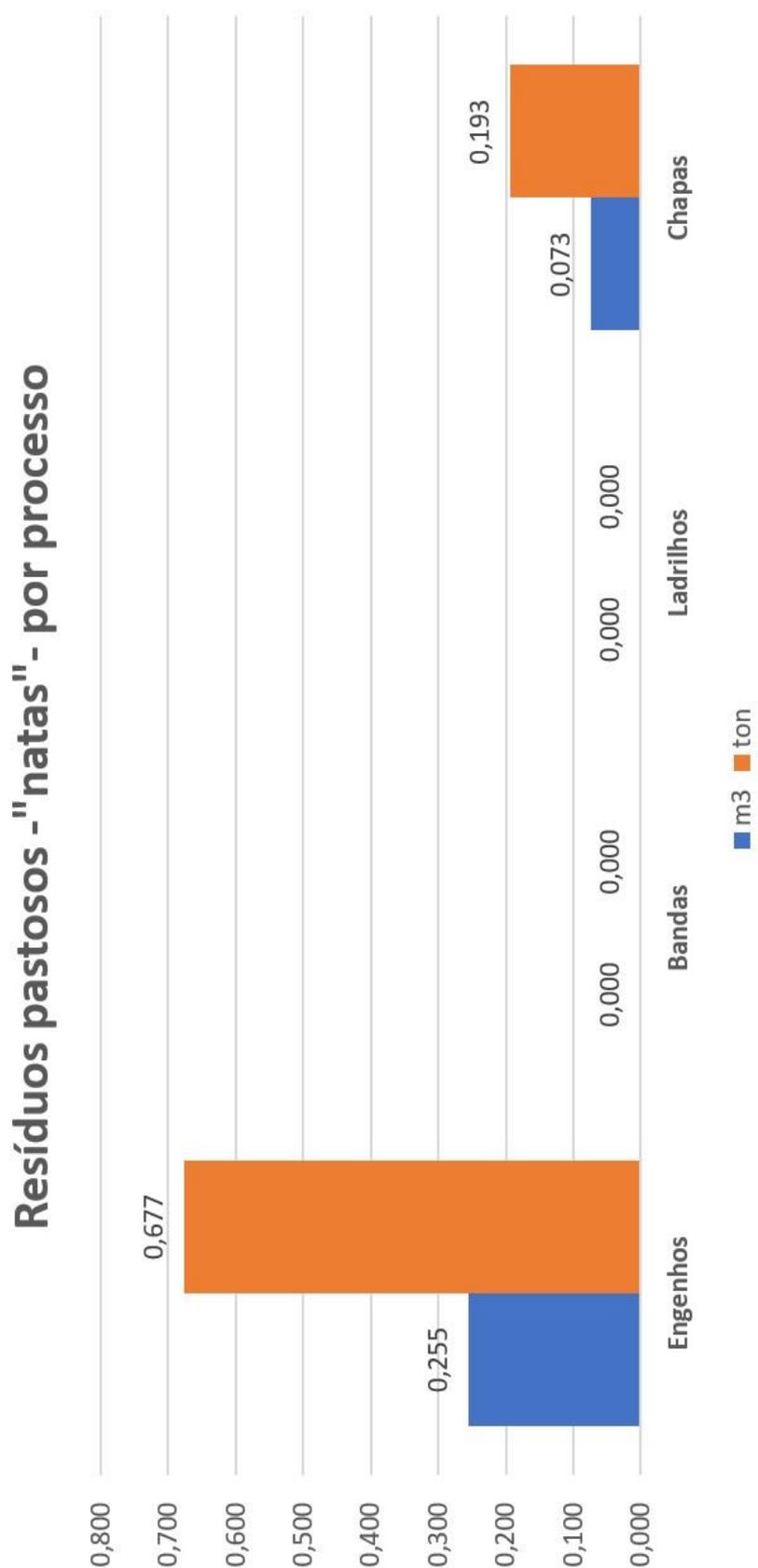


Figura A-3 - Histograma "Resíduos pastosos - "natas" - por processo" no caso de o produto final ser chapas.

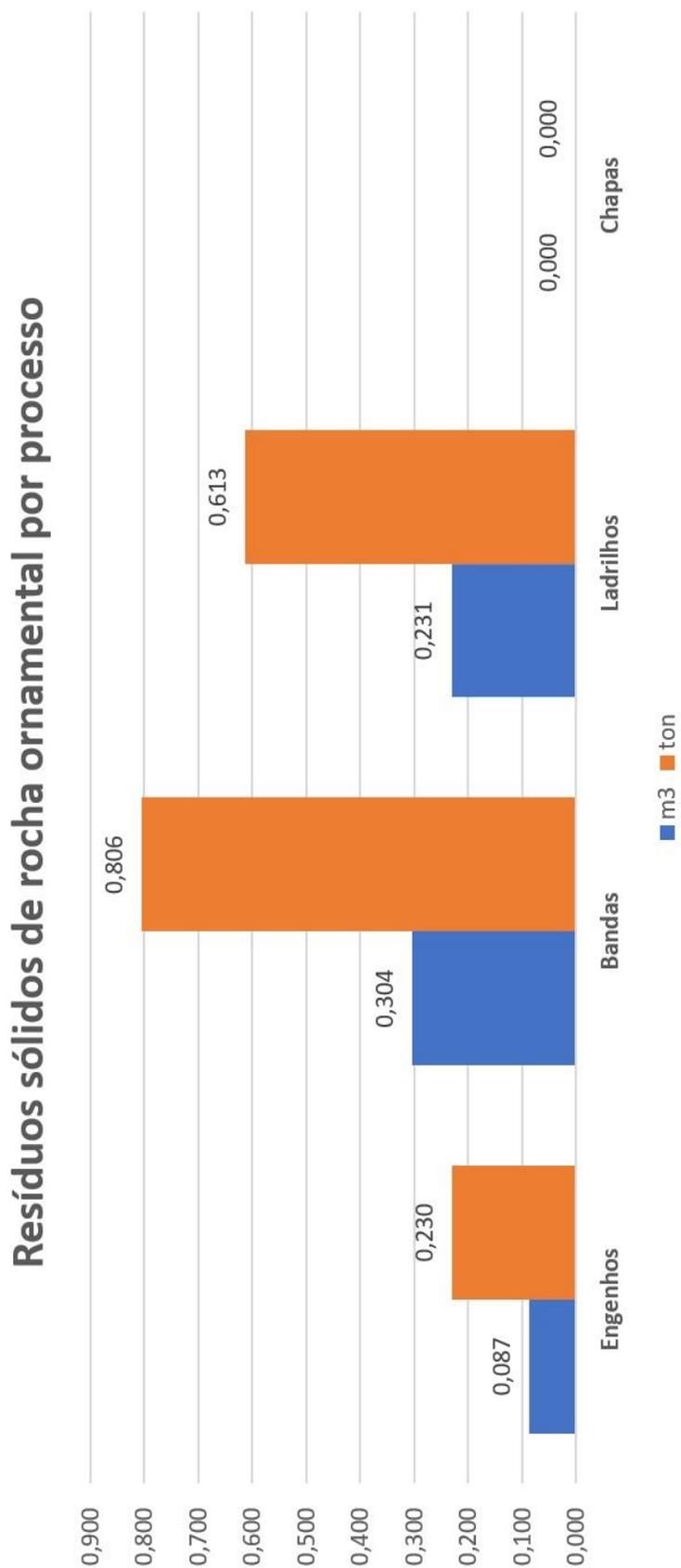


Figura A-4 - Histograma “Resíduos pastosos - “natas” - por processo” no caso de o produto final ser ladrilhos.

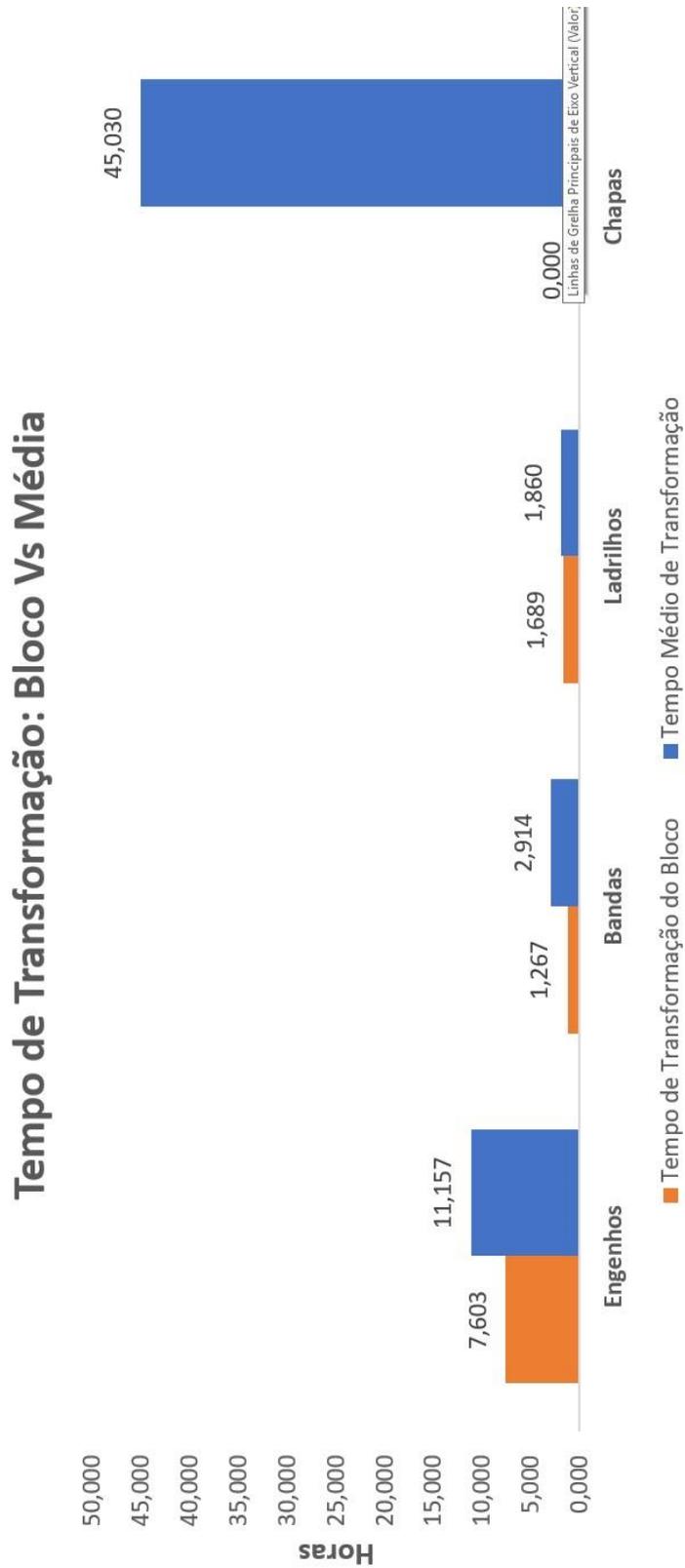


Figura A-5 - Histograma “Tempo de Transformação: Bloco Vs Média” no caso de o produto final ser ladrilhos.

Anexo 2



Pedreira/Fábrica:	Nome:
Local:	Designação Rejeitado:
Processo:	Medidas:
Nº de Trabalhadores envolvidos:	Tipo de Equipamento utilizado:
Tempo:	Marca:
Produção de Rejeitados:	
Cálculo utilizado:	
Observações:	

Ficha elaborada por Tiago dos Santos Ferreira

Figura A-7 - Primeira versão da ficha de recolha de dados para efeitos deste trabalho.

Anexo 3

Tabela A-1 - Exportações de mármore por países por destino (Janeiro a Junho de 2017 - Valores preliminares). [9]

[10]

Mármore e outras rochas carbonatadas:		
País	Tonelada (ton)	Mil Euros (10^{^3}€)
Total:	391 842	109 277
<i>do qual: EU</i>	94 581	44 175
<i>França</i>	30 497	13 211
<i>Reino Unido</i>	16 885	10 283
<i>Espanha</i>	13 433	4 803
<i>Itália</i>	5 666	2 712
<i>Alemanha</i>	6 366	2 357
<i>Bélgica</i>	6 638	2 187
<i>Suécia</i>	2 781	2 054
<i>Irlanda</i>	3 390	1 900
<i>Países Baixos</i>	4 515	1 328
<i>Áustria</i>	854	1 116
<i>Luxemburgo</i>	1 850	1 083
<i>Dinamarca</i>	889	597
<i>Outros países</i>	817	541
<i>China</i>	195 221	19 643
<i>Arábia Saudita</i>	28 426	13 068
<i>Estados Unidos da América</i>	8 878	9 118
<i>Catar</i>	5 388	2 549
<i>Índia</i>	4 616	2 125
<i>Argélia</i>	14 026	1 717
<i>Emirados Árabes Unidos</i>	2 475	1 620
<i>Angola</i>	1 435	1 409
<i>Perú</i>	1 171	1 018
<i>Marrocos</i>	3 916	945
<i>Hong-Kong</i>	2 810	945
<i>Coreia do Sul</i>	1 770	840
<i>Líbano</i>	3 725	781
<i>Taiwan</i>	3 734	778
<i>Kuwait</i>	1 380	725
<i>Brasil</i>	1 451	567
<i>México</i>	1 293	694
<i>Rússia</i>	1 207	494
<i>Australia</i>	369	492
<i>Brunei Darussalam</i>	539	412
<i>Outros países</i>	12 503	4 572

Tabela A-2 - Níveis de Produção e Receitas Comerciais de Rochas ornamentais e de mármore e calcários. (1999-2016)

Anos	Rochas ornamentais	
	(Tonelada)	(10 ³ €)
1999	2739167,30	148390,73
2000	2865973,36	152229,41
2001	3297021,75	172237,90
2002	2919750,56	160479,82
2003	2792544,68	151691,11
2004	2950190,86	161446,05
2005	2948732,48	166335,62
2006	3122357,54	180863,52
2007	3201534,63	176196,81
2008	3201534,63	176196,81
2009	2696385,07	137427,31
2010	2395208,52	132632,07
2011	2816730,87	176228,36
2012	2618332,32	152672,17
2013	2743507,17	150592,51
2014	2918199,04	165830,70
2015	2830817,57	165597,37
2016	2887075,51	165956,57

Anos	Mármore e Calcários	
	(Tonelada)	(10 ³ €)
1999	875469,30	76735,73
2000	881204,36	79876,41
2001	880591,75	84197,90
2002	801516,56	78157,82
2003	705130,68	70888,11
2004	748571,29	72572,14
2005	751628,81	77863,59
2006	836674,04	83495,87
2007	741232,71	76398,34
2008	739651,84	62761,09
2009	663663,39	61574,63
2010	893631,54	102272,11
2011	773335,91	84814,10
2012	885101,48	88611,51
2013	999176,70	101733,00
2014	820585,77	92097,98
2015	834806,92	90485,05
2016	833751,40	92862,63

Fonte: Boletim de Minas 2006 e 2017 - DGEG

