



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

## **Influência do processo de desmonte na seleção, dimensionamento e otimização dos sistemas de carga e transporte em explorações a céu aberto**

**Bruno Alexandre Queirós Pacheco**



**isep** Instituto Superior de Engenharia do Porto

**P. PORTO**

**2022**

(página propositadamente em branco)



## Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

### **Influência do processo de desmonte na seleção, dimensionamento e otimização dos sistemas de carga e transporte em explorações a céu aberto**

*Influence of the blasting process on the selection, sizing and optimization of loading and transport systems in open-pit explorations*

**Bruno Alexandre Queirós Pacheco**

**1170854**

*Estágio apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizada sob a orientação do Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva, Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

## **Júri**

### **Presidente**

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé

*Professor Coordenador com Agregação, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva

*Professor Coordenador, Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto*

Doutor Alexandre Júlio Machado Leite

*Professor Associado, Departamento de Engenharia de Minas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*

---

*A dissertação de mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente (MEGG) foi apresentada e defendida em prova pública, por Bruno Alexandre Queirós Pacheco, em 25 de Julho de 2022 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de 15 (quinze) valores, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

---

*Dedico esta dissertação aos meus Pais por todo o apoio dado durante estes anos todos, sem eles não seria possível.*

(página propositadamente em branco)

## **Agradecimentos**

Agradeço a todos aqueles que me apoiaram e contribuíram para que este trabalho, que assinala mais um passo na minha formação académica e humana, tenha sido realizado. No entanto, quero fazer uma menção especial:

Ao meu orientador, Doutor João Paulo Meixedo (ISEP), por todas as horas despendidas e todo apoio disponibilizado para a realização deste trabalho; sem si não seria possível.

Ao Doutor José Fernandes (ISEP) e ao Doutor Luís Ramos (ISEP), pela disponibilidade demonstrada em me ajudar na elaboração e resolução de problemas que foram aparecendo durante esta redação.

Ao Dr. Jorge Costa, diretor-geral da pedreira Nicolau de Macedo, por me ter dado a oportunidade de estagiar nesta empresa, assim como todo o apoio prestado durante os últimos cinco meses.

Ao Engenheiro Rui Ferreira, diretor de produção da pedreira da Nicolau de Macedo SA, por me ter acompanhado durante este estágio e por todo o apoio dado durante a realização do mesmo, seja nos trabalhos efetuados ou na redação da tese, como na ajuda na ambientação ao ambiente empresarial.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto por todas as oportunidades proporcionadas e pelas amizades feitas. Foram 5 anos intensos, mas incríveis!

Aos meus Pais, por todo o incentivo que sempre me deram, os esforços que fizeram e todo o apoio que sempre me proporcionaram. São, sem dúvida alguma, os meus grandes pilares!

À minha namorada, Maria, pela paciência, carinho, preocupação constante e por todo o apoio dado nos últimos três anos, e em especial durante esta última fase do meu percurso académico, sem ti não seria possível.

Ao Engenheiro Daniel Ferreira, por toda a ajuda dada durante os dois anos que privamos no curso e em especial durante a realização desta dissertação, foi sem dúvida uma das grandes amizades que o curso me proporcionou.

À D. Amélia e ao Sr. Manuel, por terem tido a gentileza de me ceder a casa e por todo o apoio dado durante estes cinco meses.

A todos eles, o meu muito obrigado!

(página propositadamente em branco)

**Palavras-chave**

*Sistemas de carga e transporte, tempos de ciclo, frotas, geometria do diagrama de fogo*

**Resumo**

Atualmente, face ao constante aumento do custo das matérias-primas (seja o preço do aço, do explosivo, ou do próprio combustível), as pedreiras sentem a necessidade de aumentar o seu preçário, mas tentando sempre manter a sua competitividade quando comparadas com as restantes empresas do setor. Seguindo esta visão estratégica, a Nicolau de Macedo S.A., realizou um investimento avultado num novo sistema híbrido, composto por sistemas de transporte contínuo e descontínuo. Este novo método de transporte permitirá, na ótica da pedreira, reduzir substancialmente os gastos inerentes ao processo de transporte do material desde a frente de desmonte até aos pré-stocks que, posteriormente, irão alimentar as respetivas centrais de britagem. Assim, a presente tese tem como propósito estudar a solução adotada pela pedreira da Nicolau de Macedo, analisando os diferentes fatores que influenciam os sistemas de transporte do material (tais como a geometria do diagrama de fogo ou a capacidade dos equipamentos de transporte) e qual a melhor frota para alimentar a mesma. Analisando os diferentes cenários, verifica-se que, embora duas das frotas apresentem custos inferiores, uma terceira frota é a mais indicada, uma vez que é a que permite efetuar a menor alimentação possível do britador primário, garantindo assim a preservação dos equipamentos seguintes.

(página propositadamente em branco)

**Keywords**

*Hauling and loading systems, cycle times, fleet, fire diagram geometry*

**Abstract**

Due to the constant increase in the cost of raw materials (whether the price of steel, explosives, or the fuel itself), quarries need to increase their prices, but always try to maintain their competitiveness compared to other companies in the sector. Following this strategic vision, Nicolau de Macedo S.A., made a large investment in a new hybrid system composed of continuous and discontinuous transport systems. This new transportation method will allow, from the quarry's perspective, to reduce the costs inherent in transporting the material from the blasting front to the pre-stocks that will later feed the respective crushing plants. Therefore, the purpose of this thesis is to study the solution adopted by the Nicolau de Macedo quarry, analysing the varied factors that influence the material transportation systems (such as the geometry of the firing diagram or the capacity of the transportation equipment) and which is the best fleet to feed it. This way, it was possible to verify that, although two of the fleets present lower costs, a third fleet is the most suitable one since it is the one that allows the least possible feeding of the primary crusher, thus ensuring the preservation of the following equipment.

(página propositadamente em branco)

---

## Índice

Capítulo I .....	1
1. Enquadramento.....	3
1.1. Introdução.....	3
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Metodologia e importância do tema .....	4
1.4. Estrutura da dissertação .....	4
Capítulo II .....	5
2. Métodos de desmonte .....	7
2.1. Introdução.....	7
2.2. Agregados.....	8
2.2.1. Perfuração .....	9
2.2.2. Desmonte com recurso a substâncias explosivas .....	11
2.2.2.1. Teoria do rebentamento com explosivos.....	15
2.2.3. Geometria do diagrama de fogo .....	17
2.2.3.1. Controlo de fragmentação .....	18
3. Sistemas de carga e transporte.....	25
3.1. Introdução.....	25
3.2. Fatores que influenciam os sistemas de carga e transporte.....	26
3.3. Equipamentos .....	26
3.3.1. Unidades escavo-carregadoras .....	26
3.3.1.1. Carregadoras .....	26
3.3.1.2. Escavadoras.....	27
3.3.1.2.1. Retroescavadora.....	27
3.3.2. Unidades de transporte.....	28
3.3.2.1. Dumpers .....	28
3.3.2.2. Telas transportadoras .....	28
3.3.2.3. Transporte descontínuo versus transporte contínuo .....	30
3.4. Seleção dos equipamentos .....	31
3.4.1. Fatores naturais.....	31
3.4.1.1. Natureza do solo .....	32
3.4.1.2. Topografia .....	32
3.4.1.3. Pluviosidade .....	32
3.4.2. Fatores de projeto.....	32
3.4.2.1. Geometria do percurso .....	32
3.4.2.2. Volume a movimentar.....	33
3.4.2.3. Planos para trabalhos futuros .....	33
3.4.3. Fatores económicos .....	33
3.5. Produção dos equipamentos .....	34
3.5.1. Ciclo e tempo de ciclo .....	34
3.5.1.1. Tempo de ciclo mínimo ou efetivo.....	34
3.5.1.2. Produção de um equipamento.....	36

---

3.5.1.3.	Rendimento da operação .....	37
3.6.	Custo horário de um equipamento .....	37
3.6.1.	Custos de propriedade .....	37
3.6.1.1.	Depreciação .....	38
3.6.1.2.	Preço de entrega .....	39
3.6.1.3.	Valor residual na substituição .....	39
3.6.1.4.	Valor a ser recuperado com trabalho.....	40
3.6.1.5.	Juros de investimento .....	40
3.6.1.6.	Seguro e impostos .....	40
3.6.2.	Custos variáveis .....	41
3.6.2.1.	Consumo de combustível .....	41
3.6.2.2.	Lubrificantes .....	42
3.6.2.3.	Pneus .....	42
3.6.2.4.	Reservas para reparações e itens especiais de desgaste .....	42
4.	Influência do desmonte nos processos de carga e transporte .....	43
4.1.	Carga.....	43
4.2.	Transporte .....	44
Capítulo III	.....	47
5.	Objetivos .....	49
5.1.	A pedreira .....	50
5.2.	Geologia.....	51
Capítulo IV	.....	53
6.	Análise crítica .....	55
6.1.	Diagrama de fogo efetuado.....	55
6.2.	Sistemas de carga e transporte da pedreira .....	57
6.2.1.	Equipamentos de carga da pedreira .....	58
6.2.2.	Primário antigo vs. primário novo .....	58
6.2.3.	Frotas.....	64
6.2.3.1.	Primário 2 vs. Primário novo .....	68
6.2.3.2.	Primário 3 vs. Primário novo .....	69
6.2.3.3.	Escolha da frota .....	69
6.2.3.4.	Influência do desmonte.....	70
Capítulo V	.....	73
7.	Conclusões.....	75
8.	Perspetivas futuras.....	77
Referências Bibliográficas	.....	79
Anexos	.....	83

---

## Índice de figuras

Figura 1 - Classificação da escavabilidade de maciços rochosos, adaptado de Franklin et al. (1971) por Galiza et al. (2011) .....	7
Figura 2 - Sequência das diferentes etapas desde o desmonte de rocha até ao processo de valorização do material (adaptado de Rock Excavation Handbook, Sandvik Tamrock, 1999) .....	8
Figura 3 - Otimização dos custos de produção, retirado de Rock Excavation Handbook, Sandvik Tamrock, 1999.....	8
Figura 4 - Perfuradora Ranger DX700 (fotografia tirada na pedreira da Nicolau de Macedo) .....	9
Figura 5 - Relação entre o diâmetro do furo e a altura da bancada, retirado de Galiza et al. (2008) .....	10
Figura 6 - Índice de perfurabilidade das diferentes litologias, retirado de Góis et al. 2012).....	10
Figura 7 - Evolução dos explosivos ao longo do tempo (adaptado de Galiza et al., 2008) .....	11
Figura 8 - 1ª fase do rebentamento (retirado de Góis et al., 2012).....	15
Figura 9 - 2ª fase do rebentamento (retirado de Galiza et al., 2008) .....	15
Figura 10 - 3ª fase do rebentamento (retirado de Góis et al., 2012).....	16
Figura 11 - 4ª fase do rebentamento e respetiva legenda (retirado de Galiza et al., 2008).....	16
Figura 12 - Parâmetros do diagrama de fogo, adaptado de Galiza et al. (2008) .....	17
Figura 13 - Afastamento crítico (retirado de Galiza et al., 2008) .....	20
Figura 14 - Intervalo de tempos muito curtos (retirado de Galiza et al., 2008) .....	21
Figura 15 - Intervalos de tempo muito longos (retirado de Galiza et al., 2008) .....	21
Figura 16 - Inclinação da furação (retirado de Galiza et al., 2008) .....	22
Figura 17 - Desvios de furação (retirado de Galiza et al., 2008) .....	22
Figura 18 - Movimento da massa rochosa (retirado de Galiza et al., 2008) .....	23
Figura 19 - Sequência do rebentamento de rocha no desmonte em bancada (retirado de Galiza et al., (2008) .....	23
Figura 20 - Diagrama do processo de carga e transporte .....	25
Figura 21 - Pá-carregadora (fotografia tirada na pedreira da Nicolau de Macedo).....	26
Figura 22 - Retroescavadora (fotografia tirada na pedreira da Nicolau de Macedo) .....	27
Figura 23 - Dumper A40E (fotografia tirada na pedreira da Nicolau de Macedo) .....	28
Figura 24 - Componentes de uma correia transportadora (Fonte: Ckit) .....	29
Figura 25 - Faixas económicas de utilização dos equipamentos (retirado de Spínola, 1999) .....	33
Figura 26 - Gráfico para determinação da vida útil (retirado de Spínola, 1999) .....	38
Figura 27 - Curvas do Custo Total Anual e do Custo Médio Anual (retirado de Spínola, 1999) .....	39
Figura 28 - Localização geográfica da pedreira, retirado de Google Earth Pro.....	50
Figura 29 - Vista aérea da pedreira .....	50
Figura 30 - Enquadramento geológico da pedreira em estudo, adaptado da Carta 05-D da Carta Geológica de Portugal .....	51
Figura 31 - Malha de furos utilizada.....	55
Figura 32 - Localização do primário novo, retirado de Google Earth Pro .....	57
Figura 33 - Localização do primários atuais e do primário novo, retirado de Google Earth Pro .....	59
Figura 34 - Localização da bancada 10 da pedreira, retirado de Google Earth Pro .....	59
Figura 35 - Troço 1, retirado de Google Earth Pro .....	60
Figura 36 - Troço 2, retirado de Google Earth Pro .....	60
Figura 37 - Trajeto 3, retirado de Google Earth Pro.....	61
Figura 38 - Fluxograma dos diferentes trajetos possíveis de efetuar .....	61
Figura 39 - Diagrama de tratamento representativo do novo sistema de transporte .....	62

---

(página propositadamente em branco)

---

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Propriedades dos explosivos (adaptado de Galiza et al., 2008).....	12
Tabela 2 - Parâmetros que influenciam a escolha do explosivo (adaptado de Galiza et al, 2008)..	13
Tabela 3 - Principais tipos e características de detonadores, adaptado de Caldeira, 2016.....	14
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de detonadores, adaptado de Caldeira, 2016.....	14
Tabela 5 - Parâmetros do diagrama de fogo e respetiva fórmula (adaptado de Galiza et al., 2008) .....	18
Tabela 6 - Práticas a adotar para se obterem fragmentações de diferentes calibres (adaptado de Galiza et al., 2008).....	24
Tabela 7 - Legenda da figura 24 .....	29
Tabela 8 – Transporte descontínuo <i>versus</i> transporte contínuo .....	31
Tabela 9 - Relação entre a escavabilidade do material e o fator de enchimento do balde (Hall & Khorzoughi, 2016) .....	43
Tabela 10 - Propriedades dos explosivos utilizados na pega .....	55
Tabela 11 - Parâmetros da pega analisada .....	56
Tabela 12 - Frota da Nicolau de Macedo .....	58
Tabela 13 - Características dos equipamentos de transporte da pedreira.....	58
Tabela 14 - Comparação de distâncias entre as zonas de descarga .....	62
Tabela 15 - Tempo de ciclo dos Dumpers para os primários atuais .....	63
Tabela 16 - Tempo de ciclo dos Dumpers para o primário novo .....	63
Tabela 17 - Diferentes frotas analisadas.....	64
Tabela 18 - Custo horário para o conjunto das duas telas (335+115 metros).....	65
Tabela 19 - Custo por metro linear da tela transportadora.....	65
Tabela 20 - Custo horário para a tela de 335 metros.....	65
Tabela 21 - Custo horário das telas transportadoras dos primários atuais .....	66
Tabela 22 - Comparação da produção horário entre o sistema antigo e o sistema novo .....	66
Tabela 23 - Frotas de três camiões analisadas.....	67
Tabela 24 - Produções horárias de frotas compostas por três Dumpers.....	67
Tabela 25 - Comparação de custos entre o primário 2 e o primário novo .....	68
Tabela 26 - Comparação entre o custo da frota 4 para o primário 2 com o custo para o primário novo.....	68
Tabela 27 - Comparação de custos entre o primário 3 e o primário novo .....	69
Tabela 28 - Comparação entre o custo da frota 4 para o primário 3 com o custo para o primário novo.....	69
Tabela 29 - Produção horária da frota quando carrega material taqueado .....	70
Tabela 30 - Resumo dos parâmetros da pega analisada.....	75

---

(página propositadamente em branco)

---

**Índice de gráficos**

Gráfico 1 - Percentagem de espaços vazios (esquerda) e taxa de produção (direita) em função do índice de uniformidade (Singh & Narendrula, 2007) ..... 44

Gráfico 2 - Comparação de custos entre os primários atuais com o primário novo..... 76

---

(página propositadamente em branco)

---

## Índice de fórmulas

Equação 1 - Tempo de ciclo mínimo .....	36
Equação 2 - Tempo de ciclo efetivo .....	36
Equação 3 - Produção de um equipamento.....	36
Equação 4 - Produção máxima de um equipamento .....	36
Equação 5 - Produção efetiva de um equipamento.....	36
Equação 6 - Rendimento da operação .....	37
Equação 7 - Correlação entre o Custo Total Anual e o Custo Médio Anual.....	39
Equação 8 - Valor residual ou depreciação (retirado de Spínola, 1999).....	39
Equação 9 - Custo horário (retirado de Spínola, 1999).....	40
Equação 10 - Juros de investimento (retirado de Spínola, 1999) .....	40
Equação 11 - Custos de seguro (retirado de Spínola, 1999) .....	40
Equação 12 - Custos de impostos (retirado de Spínola, 1999) .....	41
Equação 13 - Consumo de combustível (retirado de Spínola, 1999).....	41
Equação 14 - Custo horário (retirado de Spínola, 1999).....	42
Equação 15 - Consumo de lubrificantes (retirado de Spínola, 1999).....	42
Equação 16 - Fator de enchimento do balde (retirado de Giles, 2016).....	43
Equação 17 - Custo por tonelada da tela transportadora.....	66

---

(página propositadamente em branco)

---

## Índice de anexos

Anexo 1.1 - Legenda da Carta 05-D da Carta Geológica de Portugal.....	85
Anexo 2.1 - Comparação entre o custo da frota 1 para o primário 2 com o custo para o primário novo.....	86
Anexo 2.2 - Comparação entre o custo da frota 2 para o primário 2 com o custo para o primário novo.....	86
Anexo 2.3 - Comparação entre o custo da frota 3 para o primário 2 com o custo para o primário novo.....	86
Anexo 2.4 - Comparação entre o custo da frota 5 para o primário 2 com o custo para o primário novo.....	87
Anexo 2.5 - Comparação entre o custo da frota 6 para o primário 2 com o custo para o primário novo.....	87
Anexo 2.6 - Comparação entre o custo da frota 7 para o primário 2 com o custo para o primário novo.....	87
Anexo 2.7 - Comparação entre o custo da frota 8 para o primário 2 com o custo para o primário novo.....	88
Anexo 2.8 - Comparação entre o custo da frota 9 para o primário 2 com o custo para o primário novo.....	88
Anexo 2.9 - Comparação entre o custo da frota 10 para o primário 2 com o custo para o primário novo.....	88
Anexo 3.1 - Comparação entre o custo da frota 1 para o primário 3 com o custo para o primário novo.....	89
Anexo 3.2 - Comparação entre o custo da frota 2 para o primário 3 com o custo para o primário novo.....	89
Anexo 3.3 - Comparação entre o custo da frota 3 para o primário 3 com o custo para o primário novo.....	89
Anexo 3.4 - Comparação entre o custo da frota 5 para o primário 3 com o custo para o primário novo.....	90
Anexo 3.5 - Comparação entre o custo da frota 6 para o primário 3 com o custo para o primário novo.....	90
Anexo 3.6 - Comparação entre o custo da frota 7 para o primário 3 com o custo para o primário novo.....	90
Anexo 3.7 - Comparação entre o custo da frota 8 para o primário 3 com o custo para o primário novo.....	91
Anexo 3.8 - Comparação entre o custo da frota 9 para o primário 3 com o custo para o primário novo.....	91
Anexo 3.9 - Comparação entre o custo da frota 10 para o primário 3 com o custo para o primário novo.....	91
Anexo 4.1 – Tempo necessário para o transporte de todo o material .....	92

---

(página propositadamente em branco)

---

**Capítulo I**  
**Enquadramento**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## **1. Enquadramento**

### ***1.1. Introdução***

O presente Estágio enquadra-se na unidade curricular “Dissertação/Estágio” do segundo ano do mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

A atual conjuntura socioeconómica, com o constante aumento do custo da matéria-prima e, de forma mais visível, do combustível, obriga as empresas a procurarem diferentes soluções no que ao transporte dos seus produtos diz respeito, de forma a conseguirem transportar mais material a um menor custo. Seguindo essa política, a Nicolau de Macedo, S.A., investiu fortemente numa solução que, segundo os responsáveis da empresa, trará reduções significativas ao custo do transporte dos materiais desde a frente de desmonte até aos diferentes pré-stocks que atualmente existem. Assim, a elaboração deste trabalho consiste na comparação e análise dos custos entre o sistema de carga e transporte atualmente utilizado pela pedreira com os custos inerentes ao novo sistema de carga e transporte a ser implementado, com o objetivo de se apurar se foi acertado o investimento feito na pedreira e, ainda, avaliar qual a melhor frota de equipamentos de transporte para alimentar este novo sistema.

Para tal, inicia-se o presente documento com uma breve revisão bibliográfica que servirá de suporte ao trabalho realizado posteriormente, tanto no campo como em gabinete. Nesta revisão abordam-se temas como o desmonte de maciços rochosos, os sistemas de carga e transporte e de que forma o primeiro influencia o rendimento do segundo, seja no processo de carga do balde ou no processo de carga do equipamento de transporte.

Seguidamente, enquadra-se geologicamente a pedreira da Nicolau de Macedo e analisa-se um desmonte realizado numa determinada bancada, verificando-se os diferentes parâmetros que a influenciam (sejam o tipo de explosivo ou a malha de fogo utilizada) e qual a quantidade de material resultante da mesma que necessitará de ser transportado.

Por fim, após analisada a pega efetuada, comparam-se os custos entre as diferentes combinações de frotas, verificando-se qual a mais indicada para realizar o transporte do material resultante do desmonte e de que forma o desmonte influencia a sua produção.

### ***1.2. Objetivos***

Atualmente, a Nicolau de Macedo, S.A., está a investir um novo sistema de carga e transporte, raro em Portugal, que engloba a instalação de um primário na zona de exploração da pedreira e uma

---

tela transportadora com mais de 370 metros de comprimento, bem como toda uma nova central de britagem.

Assim, o objetivo da presente tese é efetuar o estudo relativo à viabilidade da opção tomada pelos responsáveis da pedreira e qual a melhor frota de equipamentos para alimentar o referido sistema de transporte. Para tal, analisaram-se os tempos de ciclo dos diferentes equipamentos, assim como os diferentes parâmetros que influenciam os sistemas de carga e transporte.

### ***1.3. Metodologia e importância do tema***

A temática dos sistemas de carga e transporte apresenta-se como sendo de extrema importância para o funcionamento de uma pedreira. A necessidade de otimização das diferentes fases de operação de uma exploração a céu aberto obriga a que o dimensionamento da frota de equipamentos de carga e transporte seja efetuado da forma mais cuidada possível, proporcionando uma alimentação adequada aos diferentes equipamentos, de forma a garantir o seu funcionamento sem a ocorrência de interrupções.

### ***1.4. Estrutura da dissertação***

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos, estruturados da seguinte forma:

- No “Capítulo I” efetua-se o enquadramento do tema, abordando-se também os objetivos e a importância do mesmo.
- No “Capítulo II” aborda-se o estado da arte, apresentando-se a revisão bibliográfica com os aspetos científicos relevantes para o tema: métodos de desmonte para a obtenção de agregados e de rocha ornamental, sistemas de carga e transporte e influência do desmonte nos mesmos.
- Por outro lado, no “Capítulo III” apresentam-se os objetivos do caso de estudo adotado, assim como se enquadra a pedreira da Nicolau de Macedo, em termos geográficos e geológicos.
- Já no “Capítulo IV” apresentam-se os resultados obtidos, assim como são efetuadas correlações na procura da melhor solução possível.
- Por fim, no “Capítulo V” apresentam-se as considerações finais, analisando-se os resultados obtidos a partir dos estudos efetuados, assim como as perspetivas futuras.

---

## **Capítulo II**

### **Revisão bibliográfica**

---

---

(página propositadamente em branco)

## 2. Métodos de desmorte

### 2.1. Introdução

O desmorte não é mais do que a operação de destaque, do maciço rochoso, de uma parte mais ou menos representativa da rocha que o constitui (Galiza et al., 2008). Assim, o conhecimento geológico local apresenta-se como um domínio científico fundamental para a compreensão dos fenómenos envolvidos na fragmentação das rochas após a ação dos explosivos.

Um dos primeiros fatores a ter em consideração, a nível de projeto, diz respeito ao método de escavação. Entende-se por escavabilidade de um maciço rochoso a sua capacidade de resistência à ação proporcionada pelos equipamentos de escavação, sejam mecânicos ou explosivos, sendo esta apetência do maciço para ser desagregado um fator determinante nas fases de projeto e de execução (Bastos, 1998, Góis et al. 2012).

Normalmente, a presença de um maciço rochoso implica a realização da perfuração e o desmorte com explosivos, enquanto a presença de solos permite a escavação por meios mecânicos (figura 1).

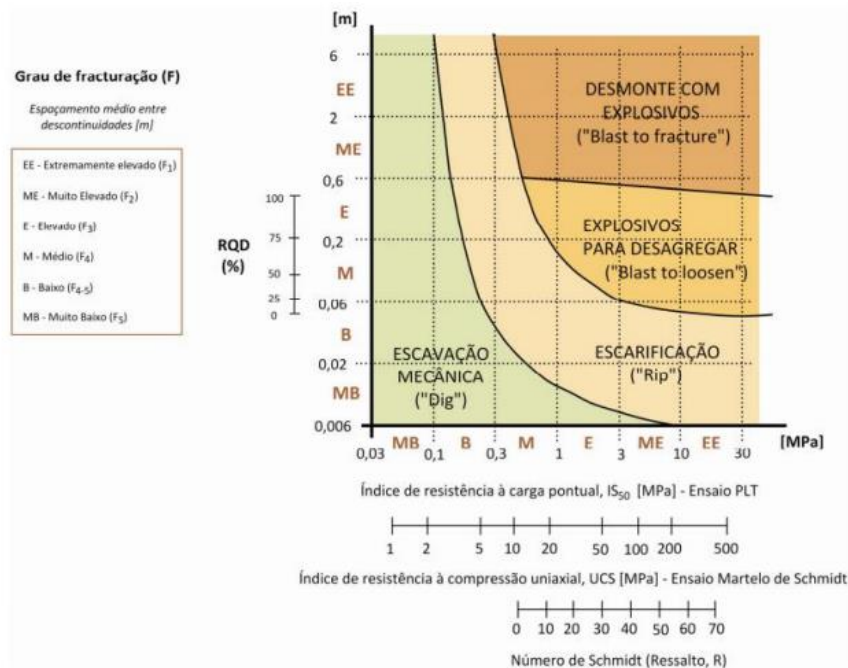


Figura 1 - Classificação da escavabilidade de maciços rochosos, adaptado de Franklin et al. (1971) por Galiza et al. (2011)

O critério de Franklin<sup>1</sup>, devido à sua data de conceção, não contempla todos os parâmetros que, por vezes, são necessários para se efetuar uma melhor caracterização do maciço rochoso, pelo que

<sup>1</sup> O critério de Franklin foi desenvolvido em 1971 e tem por base a classificação do maciço rochoso através de parâmetros obtidos em testemunhos de sondagens, relacionando o espaçamento médio entre fraturas com o índice de resistência à carga pontual (IS<sub>50</sub>).

deve ser complementado com outros parâmetros (tais como influência da água subterrânea ou orientação das fraturas), de forma que a escolha do método de escavação a utilizar seja o mais correto possível.

## 2.2. Agregados

O processo de desmonte de rocha com vista à produção de agregados é constituído por diversas operações interdependentes, havendo inúmeros fatores que condicionam direta e indiretamente a qualidade do desmonte de rocha.

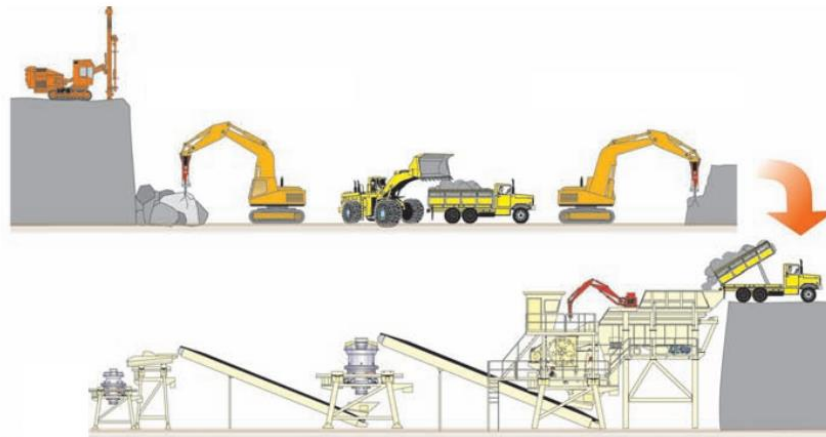


Figura 2 - Sequência das diferentes etapas desde o desmonte de rocha até ao processo de valorização do material (adaptado de Rock Excavation Handbook, Sandvik Tamrock, 1999)

A fragmentação resultante do desmonte do maciço afeta, através do custo e do tempo dispensado, todas as operações subsequentes. O tamanho mínimo e máximo dos fragmentos resultantes depende da abertura do britador primário, pelo que é necessário efetuar um desmonte que permita obter as dimensões necessárias para um bom funcionamento das operações seguintes.

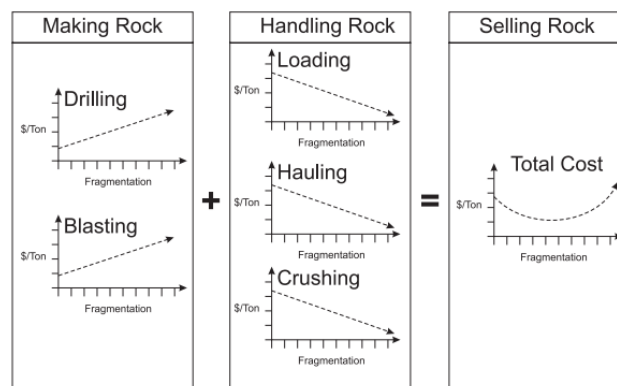


Figura 3 - Otimização dos custos de produção, retirado de Rock Excavation Handbook, Sandvik Tamrock, 1999

---

Como se pode observar na figura 3, para um dado maciço rochoso, o grau de fragmentação depende no tipo e quantidade de explosivo utilizados para desmontar cada metro cúbico de rocha, o que por sua vez influencia a quantidade de perfuração necessária (uma vez que o padrão de perfuração, a distância à frente e o espaçamento também afetam a fragmentação).

Por outro lado, quanto maior for a fragmentação pretendida, menor será o custo das operações de carga, transporte e britagem (pormenores, por exemplo, em Góis et al. 2012).

### 2.2.1. Perfuração

Tal como foi dito anteriormente, o desmonte de rocha é conseguido através de uma série de operações. A perfuração como primeira operação dessa sequência desempenha um papel fundamental na adequação do desmonte ao fim pretendido.



Figura 4 - Perfuradora Ranger DX700 (fotografia tirada na pedreira da Nicolau de Macedo)

Os principais componentes de um equipamento de perfuração (figura 4) são a perfuradora, os acessórios de perfuração (varas, encabadouros e uniões), bits e fluido de limpeza.

O processo de perfuração para desmonte de um maciço rochoso consiste na realização, seguindo uma determinada malha previamente estudada, de diversos furos. Como tal, para ser possível realizar uma boa perfuração é necessário ter em consideração diversos parâmetros, tais como:

- Comprimento e diâmetro do furo – Embora a escolha do diâmetro do furo dependa de diversos fatores (como a altura da bancada ou a dureza da rocha), deve-se sempre tentar utilizar o maior diâmetro de furo possível. Por outro lado, o comprimento do furo deve ser tido em conta devido à necessidade de ajustar esse comprimento ao diâmetro do furo. Na

figura a seguir apresentada encontra-se a relação entre o diâmetro do furo e a altura da bancada.

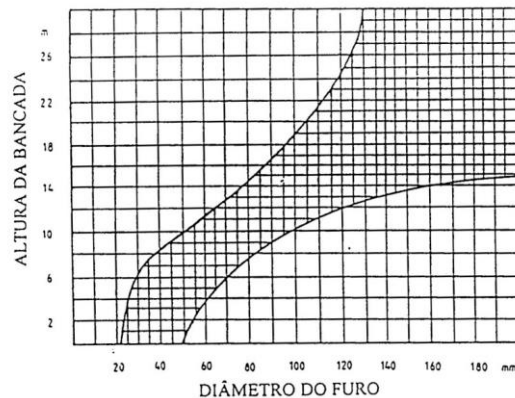


Figura 5 - Relação entre o diâmetro do furo e a altura da bancada, retirado de Galiza et al. (2008)

- Desvios de furação – Os desvios de furação ocorrem quando o furo não possui a direção desejada. A existência destes desvios depende, maioritariamente, do tipo de rocha a desmontar, do equipamento e método de perfuração utilizado, da inclinação dos furos e da experiência do manobrador.
- Estabilidade – Embora não seja um problema muito frequente, quando a rocha é muito fraturada podem ocorrer desmoronamentos.
- Propriedades da rocha – As diferentes propriedades da rocha (como a dureza ou resistência à compressão) influenciam a perfuração do maciço, uma vez que diferentes litologias apresentam diferentes índices de perfurabilidade (figura 6).

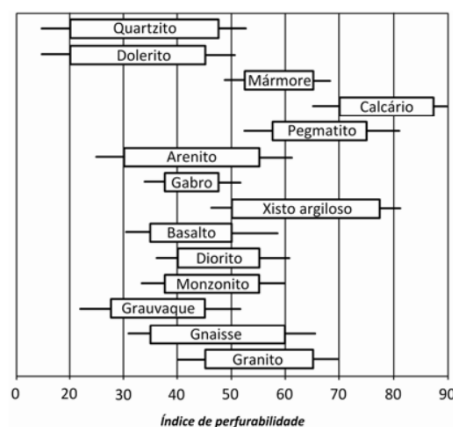


Figura 6 - Índice de perfurabilidade das diferentes litologias, retirado de Góis et al. (2012)

### 2.2.2. Desmonte com recurso a substâncias explosivas

Segundo Galiza et al. (2008), o explosivo é “um composto químico, constituído fundamentalmente por substâncias combustíveis (ricas em carbono) e substâncias comburentes (ricas em oxigénio), que quando ativadas por uma fonte de energia térmica ou mecânica (impacto, fricção ou choque) se decompõe bruscamente, libertando um elevado volume de gases e alta temperatura e pressão”. Através desta libertação de energia dá-se a rotura e fragmentação da rocha.

Ao longo dos anos, os explosivos sofreram alterações consideráveis tanto no seu tipo, como na sua composição. Assim, enquanto no século XIII se utilizava a fórmula da pólvora negra, atualmente existe não só uma panóplia de explosivos para as mais variadas situações (anfo, emulsão, hidrogel), mas também diversas opções no que a detonadores diz respeito (elétricos, não elétricos, eletrónicos), pormenores em Góis et al. (2012). Desta forma, na figura 7 encontra-se uma representação da evolução histórica dos explosivos ao longo dos anos.

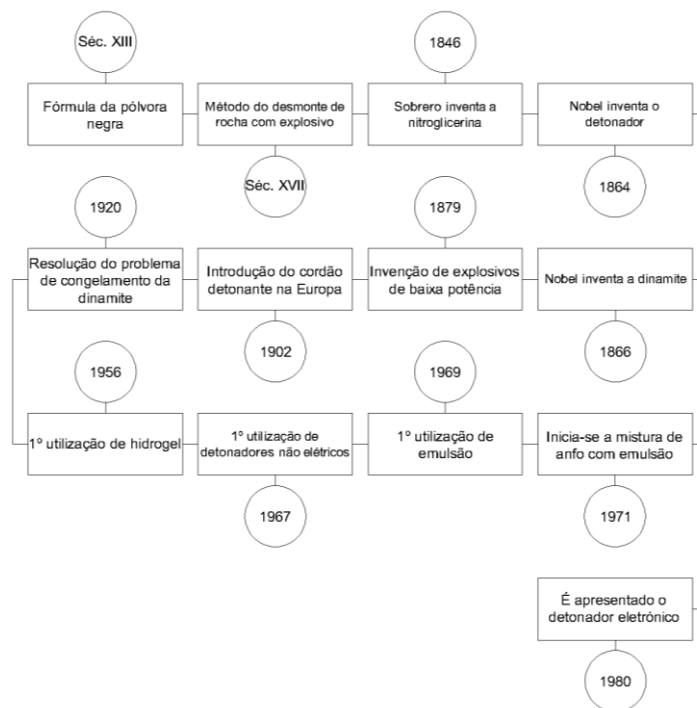


Figura 7 - Evolução dos explosivos ao longo do tempo (adaptado de Galiza et al., 2008)

No momento da seleção de um explosivo para um trabalho em específico, existe uma série de fatores que devem ser tidos em consideração. Assim, esta seleção deve realizar-se com base no conhecimento de propriedades básicas, presentes na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades dos explosivos (adaptado de Galiza et al., 2008)

<b>Propriedades dos explosivos</b>	
<b>Propriedades</b>	<b>Influência no comportamento do explosivo</b>
Velocidade de detonação	Um explosivo brisante provoca uma melhor fragmentação.
Força de um explosivo	Permite determinar a sua eficiência.
Sensibilidade	Importante para a segurança no seu manuseamento.
Densidade	Quanto maior a densidade de carga, maior a capacidade de fragmentação do explosivo.
Impedância	A impedância do explosivo a utilizar deverá ser a mais próxima da impedância acústica do maciço rochoso.
Segurança no manuseamento	Permite o transporte e carregamento da carga sem riscos de acidente.
Toxicidade dos fumos	Os gases produzidos na reação são mais ou menos tóxicos, causando um considerável mau estar às pessoas que os inalam.
Resistência à água	Os explosivos podem ser classificados consoante a sua resistência à água.
Resistência ao congelamento	Alguns explosivos podem ficar insensíveis em temperaturas negativas baixas.
Qualidades no armazenamento	Quando sujeitos a longos períodos de armazenamento, às vezes em condições deficientes, alguns explosivos vão perdendo as suas características, tais como a sensibilidade à iniciação e a aptidão à propagação da reação, reduzindo a sua eficácia.

Para além das propriedades dos explosivos, também é necessário ter em consideração outros fatores que influenciam a escolha dos mesmos. Assim, na tabela a seguir exposta encontram-se os principais fatores que influenciam a escolha do explosivo a utilizar.

Tabela 2 - Parâmetros que influenciam a escolha do explosivo (adaptado de Galiza et al, 2008)

<b>Parâmetros</b>	<b>Influência</b>
Presença de água nos furos	Os explosivos apresentam diferentes resistências à água, pelo que este parâmetro poderá ser limitativo do tipo de explosivo a utilizar.
Diâmetros dos furos	Alguns explosivos apresentam um diâmetro crítico, não sendo aconselhável a sua utilização abaixo desse diâmetro.
Tipo de maciço rochoso a desmontar	A escolha do explosivo depende das características dos maciços rochosos a desmontar, uma vez que os mesmos não possuem características padrão pelas quais se possa dizer qual o tipo de explosivo a utilizar.
Tipo de trabalho a efetuar	O produto final do rebentamento influencia a quantidade e a maneira de colocação dos explosivos nos furos.
Segurança dos explosivos	Assim como a forma de manuseamento e a utilização, também a resistência do explosivo ao choque condiciona a sua aplicação.
Toxicidade dos gases de explosão	A detonação dos explosivos produz sempre gases, podendo ser em maior ou menor quantidade tóxicos para o organismo humano, dependendo sobretudo da composição do explosivo e da quantidade de oxigénio.

A onde de choque oriunda da detonação dos equipamentos responsáveis pela detonação dos explosivos (como os detonadores ou o cordão detonante) é transmitida colocando em contacto os detonadores com o explosivo. A escolha de um certo tipo de detonador depende da finalidade do mesmo e das características do trabalho a realizar, pelo que é de elevada importância estudar as características dos diferentes tipos de detonadores (tabela 3).

Tabela 3 - Principais tipos e características de detonadores, adaptado de Caldeira, 2016

	<b>Tipos</b>	<b>Características</b>
Detonadores	Detonadores de mecha ou pirotécnicos	Constituído por um casquilho metálico de alumínio fechado num dos extremos. Na parte interior desse extremo fechado existe uma pequena quantidade de explosivo. Assim, o detonador inicia-se ligando-o a uma mecha de segurança que é introduzida pelo extremo aberto do detonador.
	Detonadores elétricos	Ativados por intermédio de energia elétrica, permitem fazer o rebentamento de um grande número de furos com maior segurança. Como praticamente não se alteram, apresentam um prazo de validade muito grande.
	Detonadores não elétricos	Funciona através de um tubo de plástico oco que tem no seu interior uma substância reativa que permite a transmissão da onda de choque. A sua iniciação realiza-se através de detonadores de mecha, cordão detonante, detonadores elétricos ou com explosores especiais que detonam uma pequena carga explosiva na zona de contacto com o tubo de propagação da onda de choque.
	Detonadores eletrónicos	Detonadores em que entra a componente eletrónica na constituição, componente esta que vem substituir o elemento temporizador existente nos detonadores elétricos e não elétricos. Podem ser programados até 8 000 ms depois de serem colocados no furo e de ter terminado toda a operação de carga do explosivo. Até que tal aconteça, o detonador não possui energia.

Por outro lado, na tabela 4 encontram-se as principais vantagens e desvantagens dos mesmos.

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de detonadores, adaptado de Caldeira, 2016

	<b>Tipos</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Detonadores	Detonadores de mecha ou pirotécnicos	Baixo custo e uso simples.	Não permite a iniciação de múltiplos detonadores; Maior risco de detonação prematura.
	Detonadores elétricos	Antes do rebentamento, cada detonador pode ser testado individualmente.	Alto risco de detonação prematura; Muito protocolo de segurança antes de iniciar a explosão.
	Detonadores não elétricos	Permite trabalhar em zonas muito húmidas; Insensível às correntes elétricas.	Não podem ser utilizados em trabalhos subterrâneos (existe a possibilidade de se produzirem atmosferas explosivas).
	Detonadores eletrónicos	Possibilidade de serem programados de forma individual; Grande precisão; Facilidade de utilização; Melhoria da fragmentação; Otimização da perfuração.	Custo do detonador e do sistema de temporização e disparo

### 2.2.2.1. Teoria do rebentamento com explosivos

De forma a ser possível assegurar que ocorre a fragmentação da rocha necessária ao desmonte, é fundamental estudar a apetência da rocha ao desmonte com explosivos, mais concretamente através da carga específica. Desta forma, os furos anteriormente mencionados têm como função criar um vazio para alojar a carga explosiva necessária ao desmonte, efetuando a distribuição dos explosivos pelo interior do maciço. Como tal, a teoria do rebentamento com explosivos procura explicar a forma como o explosivo detona dentro do furo e divide-se em quatro fases distintas. Na primeira fase, a coluna explosiva transforma-se numa coluna de gás animado a uma certa velocidade (figura 8). Como a pressão desenvolvida é muito superior à resistência à compressão do maciço, ocorre a destruição da estrutura intercrystalina, formando-se um anel de rocha triturada de maior ou menor diâmetro, conforme a pressão de detonação do explosivo (Góis et al., 2012). Assim, através de um correto tamponamento é possível controlar o efeito deste gás, garantindo que o mesmo não se perde para a superfície, prevenindo a ocorrência de projeções de rocha.

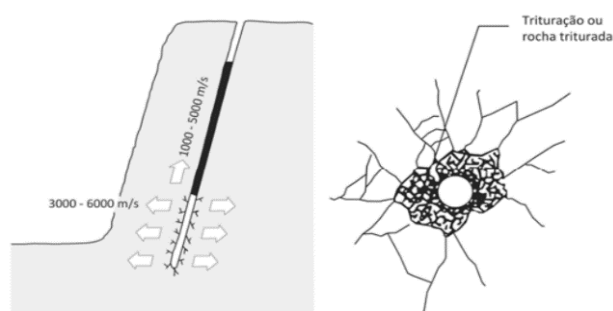


Figura 8 - 1ª fase do rebentamento (retirado de Góis et al., 2012)

Na segunda fase, a onda de choque propaga-se na rocha, degradando-se rapidamente. Entre seis e doze vezes o diâmetro do furo ultrapassa-se a zona de pré-rotura, introduzindo-se fissuras radiais (B) até um determinado limite, limite esse em que se entra na zona elástica (C) da rocha e onde a onda de choque atravessa o maciço, sem o destruir, à velocidade do som na rocha.

#### Fase 2 – Tempo $t_0 + 0,7$ ms

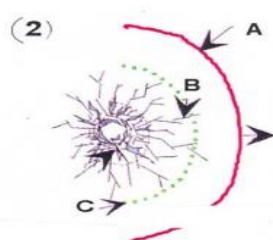


Figura 9 - 2ª fase do rebentamento (retirado de Galiza et al., 2008)

Na terceira fase, a onda de choque é refletida quando atinge uma superfície de descontinuidade (face livre da bancada), originando ondas de tensão que se propagam no interior do maciço. Como a onda refletida ultrapassa largamente a resistência à tração, esta provoca um fenómeno de fissuração sensivelmente paralelo à frente livre, enquanto amplia fraturas previamente criadas (figura 10). Praticamente em simultâneo, o gás residual penetra nas fissuras, alargando-as, e a pressão diminui rapidamente.

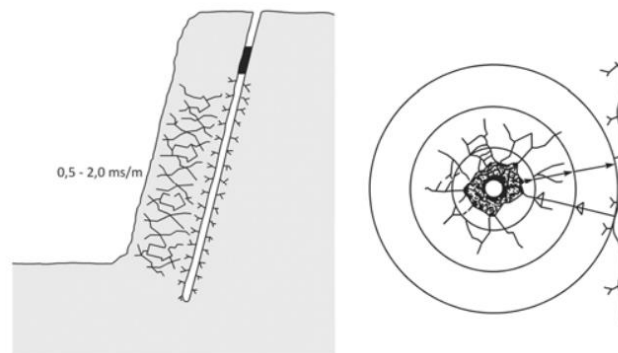


Figura 10 - 3ª fase do rebentamento (retirado de Góis et al., 2012)

Na quarta (e última) fase, a rocha, que já se encontra fragmentada devido ao efeito combinado da fracturação radial e da fracturação pela onda refletida, é empurrada para fora da cavidade pelo gás libertado pela detonação do explosivo (figura 11).

**Fase 4 – Tempo  $t_0 > 15$  ms**

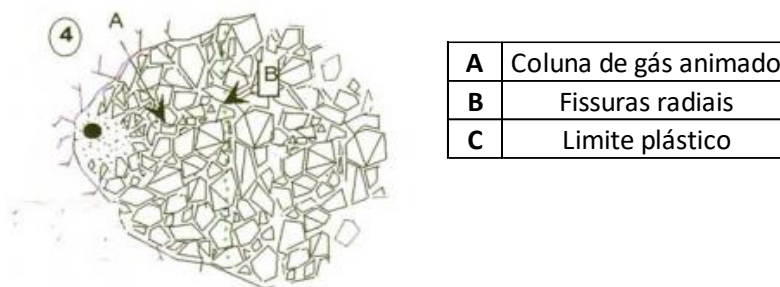


Figura 11 - 4ª fase do rebentamento e respetiva legenda (retirado de Galiza et al., 2008)

### 2.2.3. Geometria do diagrama de fogo

Um diagrama de fogo tem como objetivo proceder à escavação de um maciço rochoso de forma rentável e segura, dependendo de duas variáveis distintas: as que são impossíveis de controlar e as que se conseguem controlar. As primeiras prendem-se com a localização da pedreira (geologia do local ou a distância a edificações vizinhas) e obrigam a que o desmonte a efetuar seja estudado de forma a não criar projeções ou vibrações que possam colocar em perigo a vizinhança. Já as segundas referem-se, por exemplo, à malha utilizada na pega e ao tipo de explosivo utilizado, e têm como objetivo contrariar o efeito das primeiras, procurando garantir que o desmonte do material é efetuado de forma não só segura, mas também rentável para a empresa.

Assim, o diagrama de fogo é composto por um conjunto de furos, dispostos seguindo uma malha previamente estudada e carregados com um certo tipo e quantidade de explosivo, e procura fazer frente às restrições anteriormente apresentadas. No entanto, como existem inúmeras variáveis que influenciam o resultado do rebentamento, o estudo prévio da geometria do diagrama permite otimizar, procurando garantir sempre a segurança da pedreira e do meio envolvente, o desmonte do maciço rochoso, garantindo assim a rentabilidade da operação. O diagrama de fogo é composto por diferentes parâmetros, como se pode observar na figura 12.

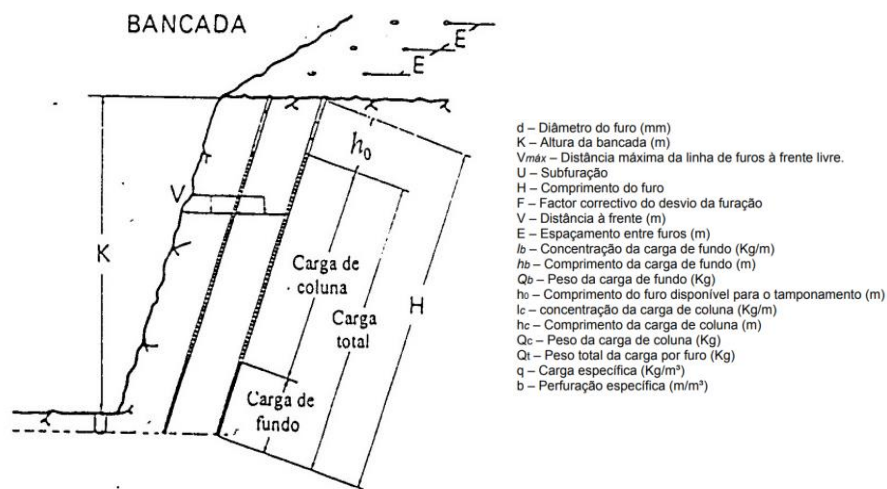


Figura 12 - Parâmetros do diagrama de fogo, adaptado de Galiza et al. (2008)

Na tabela 5 encontram-se as fórmulas de cálculo dos parâmetros anteriormente mencionados.

Tabela 5 - Parâmetros do diagrama de fogo e respetiva fórmula (adaptado de Galiza et al., 2008)

Símbolo	Designação	Uni.	Fórmula	
Vmáx	Distância máxima da linha de furos à frente livre	m	Emulsão	$Vmáx = 1,47 \times \sqrt{lb} \times R1 \times R2 \times R3$
			Anfo	$Vmáx = 1,45 \times \sqrt{lb} \times R1 \times R2 \times R3$
			Dinamite	$Vmáx = 1,35 \times \sqrt{lb} \times R1 \times R2 \times R3$
U	Subfuração	m	$U = 0,3 \times Vmáx$	
H	Comprimento do furo	m	3:1	$H = 1,05 \times (K + U)$
				$H = \frac{(K + U)}{\cos \alpha}$
F	Fator corretivo relativo aos desvios de furação	m	$F = \frac{d}{1000} + 0,03 \times H$	
V	Distância prática à frente	m	$V = Vmáx - F$	
E	Espaçamento entre furos	m	$E = 1,25 \times V$	
hb	Comprimento da carga de fundo	m	$hb = N^{\circ} \text{ de cartuchos CF} \times \text{comprimento do cartucho}$	
Qb	Peso da carga de fundo	kg	$Qb = N^{\circ} \text{ de cartuchos CF} \times \text{peso do cartucho}$	
lb	Concentração da carga de fundo	kg/m	$lb = \frac{Qb}{hb}$	
hc	Comprimento da carga de coluna	m	$hc = N^{\circ} \text{ de cartuchos CC} \times \text{comprimento do cartucho}$	
Qc	Peso da carga de coluna	kg	$Qc = N^{\circ} \text{ de cartuchos CC} \times \text{peso do cartucho}$	
lc	Concentração da carga de coluna	kg/m	$lc = \frac{Qc}{hc}$	
h <sub>o</sub>	Comprimento do furo disponível para tamponamento	m	$h_o = H - hb - hc$	
Qtot	Peso da carga total	kg	$Qtot = Qb + Qc$	
q	Carga específica	kg/m <sup>3</sup>	$q = \frac{Qtot}{\text{Volume desmontado}}$	
b	Perfuração específica	m/m <sup>3</sup>	$b = \frac{\text{Metros perfurados}}{\text{Volume desmontado}}$	

A geometria do diagrama de fogo influencia a fragmentação do material obtido no desmonte e, conseqüentemente, o rendimento dos equipamentos de carga e transporte. Um diagrama de fogo mal dimensionado, com a criação de blocos com dimensões superiores às que o equipamento de transporte consegue carregar, obriga a que seja necessário efetuar fragmentações secundárias (taqueamento), prejudicando o rendimento das máquinas e aumentando o custo de produção do material.

### 2.2.3.1. Controlo de fragmentação

Um diagrama de fogo que não seja previamente estudado pode provocar o encravamento do britador primário, na medida em que promove a criação de blocos de dimensões superiores às

---

admitidas pelo mesmo. Por outro lado, um diagrama de fogo que não seja previamente estudado e que não permita reduzir o material para calibres admissíveis pelos equipamentos de carga e transporte, obriga a que se efetue o taqueamento dos blocos, prejudicando o rendimento dos equipamentos de carga e transporte, e, conseqüentemente, de toda a pedreira. Desta forma, é importante maximizar ao máximo o desmonte efetuado, através do estudo dos diversos fatores que influenciam a fragmentação resultante do desmonte.

Desta forma, a fragmentação resultante do desmonte em bancada é influenciada pelos seguintes fatores (e.g., Galiza et al., 2008; Góis et al. 2012):

- Estado de fracturação natural do maciço;
- Características físico-mecânicas do maciço rochoso;
- Carga e perfuração específica;
- Afastamento crítico;
- Tipo de diagrama de fogo;
- Sequência de iniciação;
- Inclinação da furação e qualidade da mesma;
- Dimensão da pega;
- Movimento da massa rochosa.

#### Estado de fracturação natural do maciço

As diferentes propriedades do maciço rochoso podem originar uma fragmentação completamente diferente. Quando o maciço se apresenta muito fraturado, grande parte da energia libertada pelo explosivo (gases) perde-se através das fraturas, não provocando a fragmentação desejada. Assim, uma mudança no diagrama de fogo, através do uso de uma malha mais apertada, pode solucionar este problema, uma vez que permite assegurar uma melhor distribuição dos explosivos ao longo do maciço rochoso.

#### Características físico-mecânicas do maciço

As diferentes características físico-mecânicas do maciço influenciam a fragmentação resultante do desmonte. Propriedades como a densidade (uma rocha mais densa tende a ser mais difícil a fragmentar que uma rocha branda), ou como a dureza e fragilidade da rocha influenciam bastante

---

a fragmentação obtida no desmonte, pelo que é de elevada importância efetuar um correto estudo das mesmas antes de se elaborar um diagrama de fogo.

### Carga e perfuração específica

O aumento da carga específica conduz a uma maior fragmentação, uma vez que se coloca maior quantidade de explosivo nos mesmos metros de furo. No entanto, este aumento acarreta um maior perigo de projeções e a um maior espalhamento do material, pelo que deve ser um fator muito bem estudado. Assim, este aumento da carga específica deve ser conseguido através do aumento da carga de coluna, uma vez que a carga de fundo calculada é suficiente para realizar o trabalho de corte da base da bancada pretendido. Por outro lado, a perfuração específica encontra-se estritamente relacionada com o diâmetro do furo – quanto maior o diâmetro, menor será a perfuração específica para uma mesma carga específica. Assim, conclui-se que, se o volume a desmontar exigir um bom coeficiente de utilização do equipamento de perfuração (de forma a ser viável a realização desses furos), o uso de maiores diâmetros conduz a um desmonte mais barato. No entanto, se a exigência de calibres obrigar a uma operação mais volumosa de rebentamento secundário, esta economia será prejudicada, correndo o risco de deixar de ser viável.

### Afastamento crítico

Para que seja possível ocorrer o desmonte do maciço rochoso, é necessário que a distância à frente livre esteja de acordo com a carga explosiva alojada no furo. Assim, caso os furos presentes na bancada se encontrem a uma distância à frente livre superior à distância ótima, ocorre a criação de blocos de maior dimensão que, por sua vez, podem afetar o rendimento do britador primário e dos sistemas de carga e transporte. Por outro lado, se os furos se encontrarem a uma distância inferior à distância ótima, existe a possibilidade de ocorrência de projeções horizontais, projeções essas que colocam em risco tanto os equipamentos, como os funcionários da pedreira.

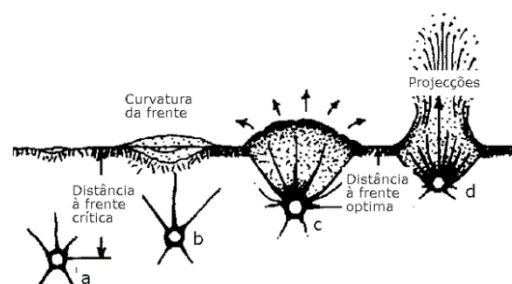


Figura 13 - Afastamento crítico (retirado de Galiza et al., 2008)

---

### Tipo de diagrama de fogo e sequência de iniciação

Habitualmente, nos diagramas de fogo verifica-se uma relação de  $E/V = 1.25$ , relação essa que apresenta bons resultados relativamente à fragmentação em pegas em que ocorre o rebentamento de fiadas múltiplas. No entanto, caso se pretenda obter uma melhor fragmentação, esta relação pode ser alterada até  $E/V = 8$  sem alterar a carga específica. Por outro lado, se se pretender obter uma grande percentagem de blocos de grandes dimensões, a mesma relação pode ser alterada para valores inferiores a 1.

Por outro lado, os intervalos de tempo entre os diferentes detonadores de uma mesma fiada e entre fiadas devem ser suficientemente grandes de forma a permitir que cada rebentamento (acompanhado pelo respetivo movimento de rocha) crie espaço suficiente para que ocorra a movimentação de rocha rebentada pelo tiro seguinte. Assim, se o intervalo de tempo for muito curto, existe a tendência para que o material da parte superior da bancada da segunda fiada sofra projeções verticais (figura 14).

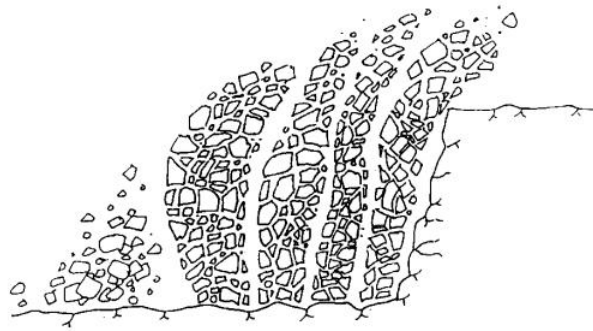


Figura 14 - Intervalo de tempos muito curtos (retirado de Galiza et al., 2008)

Por outro lado, se o intervalo de tempo for muito longo, existe o risco de ocorrência de projeções, uma vez que o rebentamento da segunda fiada terá um comportamento semelhante ao da primeira.

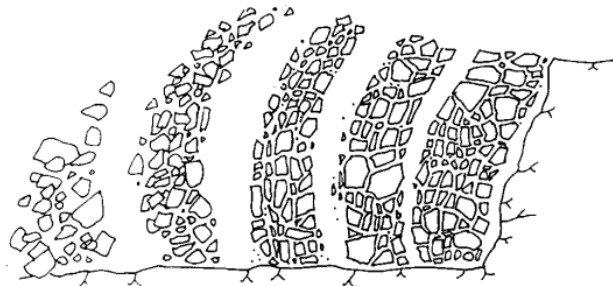


Figura 15 - Intervalos de tempo muito longos (retirado de Galiza et al., 2008)

---

### Inclinação da furação e qualidade da mesma

A realização de uma furação inclinada (aproximadamente de 1:3), reduz não só a quebra à retaguarda dos blocos, mas também a possibilidade de se criarem blocos de grandes dimensões oriundos da cabeça da bancada (figura 16).

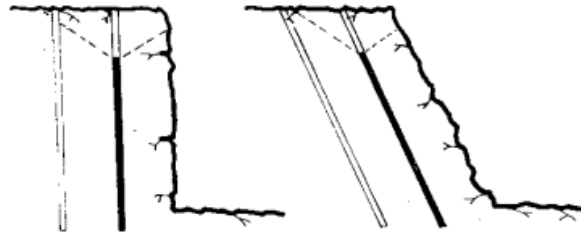


Figura 16 - Inclinação da furação (retirado de Galiza et al., 2008)

Assim, é muito importante para o resultado da pega que a perfuração seja o mais precisa possível. A falta de precisão (figura 17) provoca distâncias à frente irregulares e, conseqüentemente, a formação de blocos de maiores dimensões e a ocorrência de projeções desagradáveis.

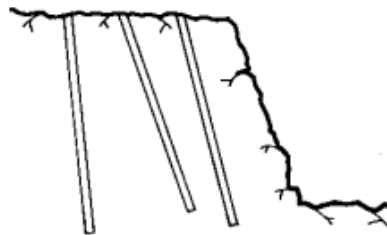


Figura 17 - Desvios de furação (retirado de Galiza et al., 2008)

### Dimensão da pega e movimento do maciço rochoso

Usualmente, os blocos de maiores dimensões são provenientes da primeira fiada da pega. Como tal, quanto maior for o número de fiadas, menor será a percentagem de blocos de grande dimensão na pilha.

Por outro lado, o movimento do maciço rochoso apresenta-se como o último estágio do processo de rebentamento. Nesta fase, a colisão que o material sofre durante o voo e no momento de impacto com o solo provoca o último estágio de fragmentação do mesmo. Como tal, é importante procurar evitar a ocorrência dessas projeção, não só para proteger os funcionários e equipamentos da pedreira, mas também para otimizar a fragmentação do material.

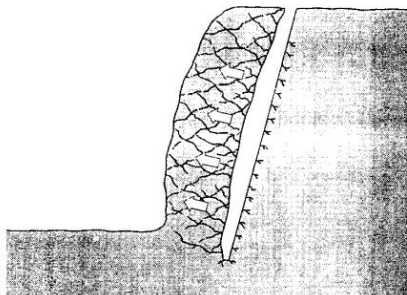


Figura 18 - Movimento da massa rochosa  
(retirado de Galiza et al., 2008)

Desta forma, o planeamento de uma pega deve ser realizado de forma a garantir que a primeira fiada se movimenta o suficiente, de forma a garantir que a segunda fiada possua espaço livre suficiente para o seu rebentamento, como se pode observar na figura 19.

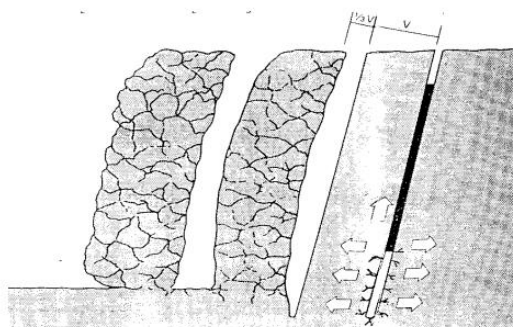


Figura 19 - Sequência do rebentamento de rocha  
no desmonte em bancada (retirado de Galiza et al.,  
(2008)

Assim, verifica-se que existem diferentes formas de influenciar a fragmentação obtida no desmonte de um maciço rochoso. Seja através de um aumento da carga específica (caso se pretenda uma fragmentação de maiores calibres), seja através de um redimensionamento da malha de fogo, através de um aumento da distância à frente (caso se pretenda obter blocos de maiores dimensões), são inúmeros os fatores que influenciam a fragmentação resultante. Como tal, na tabela 6 encontram-se algumas das diferentes práticas que podem ser adotadas para se obterem fragmentações de maior ou menor calibre.

---

Tabela 6 - Práticas a adotar para se obterem fragmentações de diferentes calibres (adaptado de Galiza et al., 2008)

<b>Fragmentação</b>	
<b>Menores calibres</b>	<b>Maiores calibres</b>
Aumento da carga específica	Redução da carga específica
Dedução do diâmetro dos furos	Maiores diâmetros de furo
Redução da distância à frente mantendo E x V constante	Aumento da distância à frente
Uso de micro-retardos	Rebentamento simultâneo de todos os tiros
Perfuração inclinada	Frentes inclinadas
Rebentamentos de várias fiadas por pega	Rebentamento de uma só fiada por pega

---

### 3. Sistemas de carga e transporte

#### 3.1. Introdução

A etapa de carga e transporte consiste no processo de interligação entre o desmonte do maciço rochoso em bancada e o processo de valorização industrial, seja através de britagem nos agregados ou de valorização com fins ornamentais.

Assim, é possível identificar três operações distintas:

- Carga (carregamento) – etapa na qual o material proveniente do desmonte é carregado por uma unidade escavo-carregadora para um equipamento de transporte;
- Transporte – movimentação da carga do local onde foi escavada/depositada até ao local de descarga através de um equipamento de transporte;
- Descarga.

Estas três operações repetem-se no tempo, pelo que ao conjunto das mesmas dá-se o nome de ciclo de operação, que se encontra presente na figura 20.

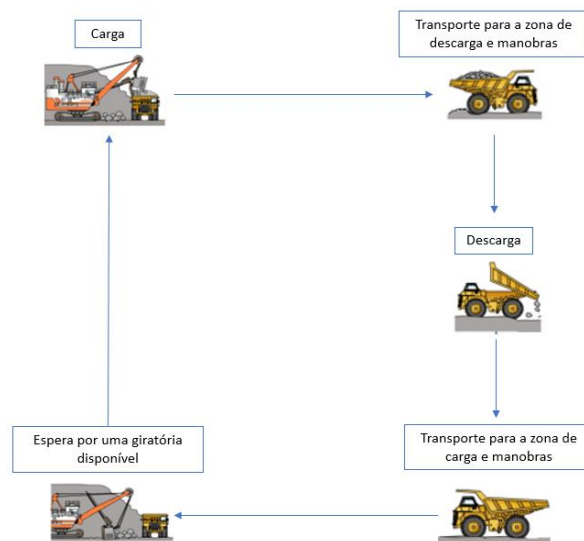


Figura 20 - Diagrama do processo de carga e transporte

---

### **3.2. Fatores que influenciam os sistemas de carga e transporte**

Os caminhões realizam ciclos de carregamento e descarga repetidamente, originando um custo elevado. Assim, de forma a minimizar o tempo de ciclo do equipamento e, conseqüentemente, um menor custo associado, é fundamental ter em conta alguns fatores, como:

- Perfuração e produção da instalação;
- Percurso a realizar desde a frente de desmonte até ao local de descarga e respetivas características (inclinações, raios de curvatura e condições de manutenção);
- Características das pás – versatilidade de manobras necessárias à operação de carga – e dos caminhões – versatilidade de manobras de parque para carga e descarga e tempo para realizar cada manobra;
- Velocidades atingidas pelos dumpers nas viagens em carga e vazio;
- Ocupação das unidades de carga a 100%;
- Dimensão máxima do produto a transportar;
- Experiência do operador.

### **3.3. Equipamentos**

A etapa de carga e transporte realiza-se através de unidades escavo-carregadoras e unidades de transporte.

#### **3.3.1. Unidades escavo-carregadoras**

As unidades escavo-transportadoras têm como função escavar e carregar o material sobre outra unidade que o transporta até ao local de descarga.

##### **3.3.1.1. Carregadoras**

As pás carregadoras podem ser montadas sobre pneus ou sobre rasto contínuo.



Figura 21 - Pá-carregadora (fotografia tirada na pedreira da Nicolau de Macedo)

---

Este equipamento pode realizar trabalho frontal (ou com um sistema que gira em torno de um chassis) e podem debitar o material tanto lateralmente como frontalmente. No entanto, como estas unidades se movimentam entre o material e o transportador, necessitam de realizar duas manobras para executar o carregamento, sendo cada uma delas constituída por dois movimentos à frente e dois à ré.

### 3.3.1.2. Escavadoras

As escavadoras são equipamentos que trabalham estacionados e que podem ser montadas em rasto contínuo ou sobre pneus (Spínola, 1999). Neste tipo de equipamentos é possível distinguir dois tipos de estruturas: infraestrutura e superestrutura. A primeira é composta por um chassis, apoiado nos rastos, que suporta a superestrutura móvel em torno de um eixo vertical. Já a superestrutura encontra-se soldada à roda de giro, de forma que a rotação do pinhão provoque a rotação de toda a superestrutura. Assim, consoante o fim que se pretende atingir, existem dois grupos distintos de escavadoras: de lança (lança com pá frontal ou “shovel”, retroescavadora, lança com balde de garras ou “clamshell” e lança com caçamba de arrasto ou “dragline”) ou de baldes.

#### 3.3.1.2.1. Retroescavadora

Como a pedreira em questão utiliza maioritariamente este equipamento para os trabalhos de escavação e carga, apenas este equipamento merecerá uma nota de destaque. Na figura 22 encontra-se um dos modelos utilizados na mesma.

A retroescavadora é constituída por uma lança articulada num ponto intermédio, no qual se encontra um braço articulado, e em cuja extremidade se fixa uma colher ou balde de grande resistência (munida de dentes salientes) com a sua abertura voltada para fora. Neste equipamento, o trabalho de escavação efetua-se de cima para baixo e de fora para dentro. Assim, à medida que a escavação vai prosseguindo, a máquina desloca-se para trás.



Figura 22 - Retroescavadora (fotografia tirada na pedreira da Nicolau de Macedo)

---

### 3.3.2. Unidades de transporte

Nas explorações a céu aberto, os meios de transporte de material mais frequente são os Dumpers e as telas transportadoras. O seu uso revolucionou a exploração mineira, uma vez que permitem aumentos consideráveis nas capacidades produtivas. Como tal, é importante estudar ambas, de forma a ser possível escolher a melhor unidade para realizar o transporte do material.

#### 3.3.2.1. Dumpers

A pedreira em análise utiliza maioritariamente este equipamento para os trabalhos de transporte, pelo que este será o único equipamento dos acima citados a merecer uma nota de destaque.

Os *Dumpers* são equipamentos montados sobre pneus e assemelham-se bastante aos camiões de fora de estrada, apresentando no entanto maior envergadura e uma estrutura mais reforçada (figura 23). Assim, estes são os equipamentos mais aconselháveis a laborar em pedreira devido à sua grande capacidade, alto rendimento e manobrabilidade.



Figura 23 - Dumper A40E (fotografia tirada na pedreira da Nicolau de Macedo)

#### 3.3.2.2. Telas transportadoras

As telas transportadoras são amplamente utilizadas para o transporte do material entre os diferentes estágios de fragmentação, constituindo um método de transporte de grandes volumes de material contínuo e económico. Estes equipamentos são os mais utilizados para o transporte de produtos secos, variando de acordo com o tipo de produto a transportar e com a distância e alturas que é necessário vencer. Como se pode observar na figura 24, os componentes básicos de uma correia transportadora são a própria correia de transporte, a armadura, as polias (ou tambores da cabeça e da cauda), estações ou roletes de transporte ou retorno, unidades de acionamento, conjuntos de alimentação e descarga, dispositivos de segurança, sistema de contrarrecuo, sistema

de proteção contra esmagamento, capas anti poeira, sistema de vedação e de autoalinhamento de retorno.

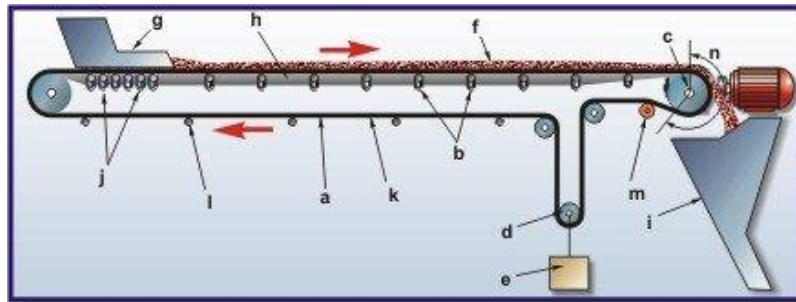


Figura 24 - Componentes de uma correia transportadora (Fonte: Ckit)

Na tabela 7 encontra-se a legenda da figura anterior.

Tabela 7 - Legenda da figura 24

<b>a</b>	Correia de transporte	<b>h</b>	Trajeto de carga
<b>b</b>	Roletes de carga	<b>i</b>	Caleiro para descarga
<b>c</b>	Polia da cabeça	<b>j</b>	Roletes de impacto
<b>d</b>	Polia deslizante	<b>k</b>	Trajeto de retorno
<b>e</b>	Peso tensionador	<b>l</b>	Roletes de retorno
<b>f</b>	Material a transportar	<b>m</b>	Polia de retorno
<b>g</b>	Caleiro para carga	<b>n</b>	Ângulo de viragem

Para uma correta escolha do tipo de tela utilizar, deve-se ter em conta as propriedades e características do material a tratar, a tonelagem horária a transportar, as características da rota de transporte e a frequência de mudança de condições.

#### Características do material e tonelagem a transportar

Parâmetros como a granulometria, densidade ou ângulo de repouso influenciam a escolha do tipo de tela a utilizar, uma vez que diferentes telas apresentam diferentes vantagens para diferentes tipos de material. Existem telas que não suportam determinadas granulometrias de material ou telas que, por serem inclinadas, dependem do ângulo de repouso do material para operar.

Por outro lado, o dimensionamento de uma tela transportadora deve ter em consideração, também, a tonelagem horária máxima, de forma a evitar paragens por sobrecarga e, conseqüentemente, a diminuição da produtividade dos equipamentos de carga.

---

### Características da rota de transporte

A escolha e dimensionamento de uma correia transportadora depende das características da rota de transporte. A distância de transporte que é necessário percorrer influencia o comprimento da tela, por exemplo. Por outro lado, os desníveis entre o ponto de carga e o ponto de descarga influencia o tipo de tela, uma vez que há telas que apresentam melhores produções para trajetos desnivelados que outras.

### Frequência de mudança de condições

No momento de escolha e dimensionamento da correia transportadora a utilizar, são definidas as características que a mesma deve possuir: largura e velocidade da tela, resistência ao movimento e potência de acionamento, tensões máximas, entre outros parâmetros.

Assim, se após algum período de utilização for necessário mudar as condições de utilização da mesma (seja através de maior velocidade para se obter uma maior produção, seja alargando o tapete), esta mudança implica, por vezes, mudanças no tipo de tela a utilizar, originando uma despesa para a pedreira. Como tal, é importantíssimo que, no momento da escolha da mesma, se realize uma cuidadosa planificação, de forma a se minimizar alterações futuras.

#### 3.3.2.3. *Transporte descontínuo versus transporte contínuo*

Para que uma pedreira apresente um bom rendimento produtivo, é necessário estudar se a melhor solução para o transporte do material é através de Dumpers ou através de correias transportadoras. Assim, na tabela 8 encontram-se as vantagens e desvantagens deste tipo de equipamentos. Analisando a referida tabela, verifica-se que as telas são mais aconselháveis para transportar material por longas distâncias, uma vez que os custos de operação são mais baixos. No entanto, se no futuro a pedreira pretender mudar a frente de exploração, os Dumpers apresentam mais flexibilidade, uma vez que não são um sistema de transporte fixo.

Tabela 8 – Transporte descontínuo *versus* transporte contínuo

<b>Dumpers</b>	<b>Correias transportadoras</b>
<b>Principais vantagens</b>	
1 – Grande capacidade; 2 – Grande raio de ação; 3 – Rapidez de carga; 4 – Maior flexibilidade para mudança de frente de lavra.	1 – Maior eficiência energética que os Dumpers; 2 – Custos de operação mais baixos; 3 – Menor emissão de poeiras; 4 – Manutenção de um fluxo de transporte constante; 5 – Maior segurança;
<b>Principais desvantagens</b>	
1 – Elevado custo de aquisição; 2 – Elevado custo operacional; 3 – Custos inerentes à manutenção do equipamento e da pista; 4 – Necessitam de equipamento adicional (como a pá-carregadora, por exemplo); 5 – Poluição derivada dos combustíveis.	1 – Exigem um maior investimento inicial; 2 – Pouco versáteis para aumentar ou modificar a produção; 3 – Pouca mobilidade do sistema.

### **3.4. Seleção dos equipamentos**

A seleção do equipamento ideal para os diversos trabalhos de carga e transporte reside na análise de todos os fatores que influenciam o seu desempenho. Estes fatores podem ser englobados em três grupos distintos: fatores naturais, fatores de projeto e os fatores económicos (Spínola, 1999).

#### *3.4.1. Fatores naturais*

Os fatores naturais são os que se encontram dependentes das condições naturais existentes no local, tais como a natureza do solo, a topografia, pluviosidade, entre outros.

---

#### 3.4.1.1. *Natureza do solo*

A natureza do solo consiste nas características físicas do solo, como a sua granulometria, a resistência ao rolamento ou a humidade natural. Quando o solo apresenta baixa capacidade de suporte, devido ao excesso de humidade, à presença de matéria orgânica ou existência de resistências ao rolamento elevadas, todas as soluções de equipamentos de pneus estão praticamente excluídas, uma vez que irão existir problemas de falta de aderência e de afundamento, que por sua vez irão conduzir a custos elevados. Assim, nestes casos recorre-se a máquinas de rastros, pela boa aderência que proporcionam neste tipo de terrenos.

#### 3.4.1.2. *Topografia*

A topografia do local é um fator importante no momento de seleção dos equipamentos de carga e transporte uma vez que a mesma influencia a inclinação das rampas. Existem equipamentos que, devido a falta de aderência ou de potência, não conseguem vencer as inclinações impostas, pelo que não podem ser utilizados neste trabalho. Para além disso, declives muito acentuados podem levar a condições de segurança pouco favoráveis, o que pode, mais uma vez, levar ao impedimento da sua utilização.

Desta forma, entre equipamentos do mesmo tipo, alguns, devido a características da sua construção, apresentam maiores possibilidades de aplicação em rampas acentuadas quando comparados com outros.

#### 3.4.1.3. *Pluviosidade*

Diferentes zonas do globo apresentam diferentes valores de pluviosidade. Como tal, a escolha do equipamento deve ter em consideração este fator, uma vez que a ocorrência de precipitação frequente se apresenta como um fator negativo na produtividade do equipamento e, conseqüentemente, nos custos dos serviços por ele realizados.

### 3.4.2. *Fatores de projeto*

Os fatores de projeto dependem das características geométricas do percurso que o equipamento terá de percorrer, como as distâncias de transporte, rampas e dimensões das plataformas, dos volumes de terra a transportar e dos planos existentes para trabalhos futuros na pedreira.

#### 3.4.2.1. *Geometria do percurso*

O custo do transporte do material é relativamente elevado quando comparado com as restantes operações de produção devido à geometria do percurso, uma vez que a mesma influencia os

---

tempos de ciclo dos equipamentos. A produção de um equipamento varia na proporção inversa ao tempo de ciclo, pelo que quanto maior for a distância de transporte, maior será o tempo de ciclo e menor será a produção.

### 3.4.2.2. *Volume a movimentar*

Os volumes a movimentar apresentam-se como um fator importante para a seleção dos equipamentos de carga e transporte uma vez que grandes volumes implicam a utilização ou de equipamentos de maior capacidade, ou de um maior número de equipamentos. Assim, a necessidade de transportar grandes volumes de material acarreta custos de produção mais elevados. Por outro lado, a movimentação de pequenos volumes pode permitir escolher equipamentos de menor capacidade, o que se traduz num menor custo de produção.

### 3.4.2.3. *Planos para trabalhos futuros*

Este é um fator cada vez mais importante uma vez que a escolha do equipamento efetua-se procurando uma maior amplitude de aplicação relativamente aos materiais durante o ano inteiro. Assim, é importante escolher equipamentos que permitam efetuar as operações de carga e descarga em todas as frentes da pedreira sem que sejam afetados pelos fatores anteriormente especificados e que, simultaneamente, sejam versáteis ao ponto de acompanhar a evolução da pedreira sem perderem o seu rendimento.

### 3.4.3. *Fatores económicos*

Por fim, os fatores económicos são os que definem qual equipamento utilizar. Este resume-se ao custo unitário do trabalho, que é o fator predominante e, frequentemente, decisivo na escolha a tomar. Desta forma, pode-se concluir que existe uma faixa de distâncias nas quais certos equipamentos são mais rentáveis que outros, podendo-se definir faixas de utilização económica para as diferentes máquinas (figura 25).

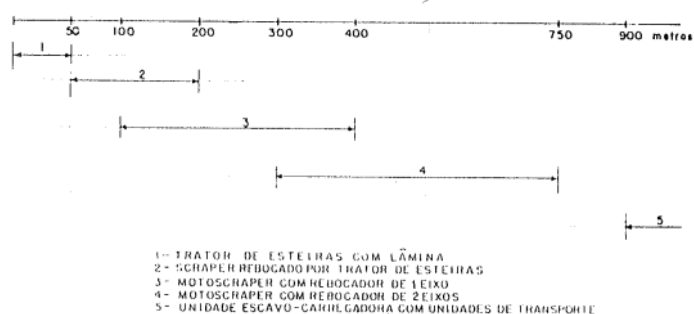


Figura 25 - Faixas económicas de utilização dos equipamentos (retirado de Spínola, 1999)

---

No entanto, a escolha do equipamento não pode ser só efetuada tendo por base o seu custo, uma vez que isso poderá acarretar diminuições de produção da pedreira. Assim, a sua escolha deve ser realizada tendo em consideração todos os parâmetros anteriormente anunciados.

### ***3.5. Produção dos equipamentos***

O conhecimento da produção de um equipamento de carga e transporte é de extrema importância, uma vez que permite selecionar quais os equipamentos mais adequados para realizar um determinado trabalho e, em simultâneo, verificar a rentabilidade económica das mesmas. São inúmeros os fatores que influenciam a produção dos equipamentos, como: os fatores de empolamento e densidade do material, eficiência e organização durante o trabalho, capacidade nominal do equipamento, entre outras. Assim, a estimativa da eficiência de uma operação permite aferir a produção média que um equipamento pode realizar num determinado período, possibilitando, ainda, estimar o custo de operação do mesmo.

#### *3.5.1. Ciclo e tempo de ciclo*

Tal como foi dito anteriormente, as operações básicas de carga e transporte do material realizam-se de forma cíclica, o que significa que, quando uma determinada sequência de operações termina, inicia-se outra com a mesma ordem que a anterior.

Desta forma, entende-se por ciclo como o conjunto de operações que um equipamento executa num certo espaço de tempo, voltando em seguida à posição inicial para recomeçá-las, e por tempo de ciclo como o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens consecutivas da máquina em qualquer ponto do ciclo. Assim, verifica-se que um ciclo pode ser decomposto numa série de movimentos elementares aos quais correspondem tempos elementares, tendo-se convencionado que o tempo de ciclo seja medido a partir do momento da escavação, até ao momento em que o equipamento retorna a essa posição inicial. Como tal, o tempo de ciclo pode ser dividido em duas parcelas: tempos fixos (tf) e tempos variáveis (tv). Os primeiros correspondem ao tempo necessário para que um equipamento possa carregar (ou, no caso dos dumpers, ser carregado), descarregar, realizar manobras, parar e iniciar um novo ciclo. Por outro lado, o segundo corresponde ao tempo necessário para que um equipamento se movimente do local de carregamento até à zona de descarga e retorne ao sítio inicial, dependendo portanto das distâncias a percorrer.

##### *3.5.1.1. Tempo de ciclo mínimo ou efetivo*

No que aos sistemas de carga e transporte diz respeito, o ideal seria que cada máquina desempenhasse as tarefas para as quais foi programada sem qualquer tipo de paragem. No

---

entanto, o que na realidade acontece é que ao conjunto de atividades deliberadas é necessário acrescentar uma série de outras atividades – não intencionais -, que se traduzem na existência de tempos em que os equipamentos param a sua atividade, prejudicando o seu rendimento (Meixedo, 2005).

Numa atividade cíclica como são estes sistemas, existem inúmeras situações que podem provocar a interrupção temporária da atividade de um equipamento. Por exemplo, quando um dumper regressa de uma viagem e se pretende posicionar para que seja carregado por uma pá-carregadora e encontra a totalidade das pás ocupadas a carregar outros camiões, não lhe resta outra possibilidade que não seja esperar que uma pá fique livre para o carregar. Assim, pode-se considerar que o ciclo mínimo do camião se define através da sequência viagem de ida, descarga, viagem de retorno, carga e o ciclo efetivo através da sequência viagem de ida, paragem, descarga, viagem de retorno, paragem e carga. O tempo de espera de um dumper, que ocorre quando o mesmo tem necessidade de aguardar junto à zona de carga ou de descarga e que provoca uma quebra no rendimento do referido equipamento, pode ocorrer devido a inúmeros fatores, tais como:

- Sobredimensionamento da frota, que ocorre quando existe um número excessivo de dumpers em comparação com o número de equipamentos de carga;
- Necessidade de aguardar que as unidades carregadoras concluam o arrumo do material que será carregado;
- Desajuste dos equipamentos, o que acontece quando o sistema de transportes é constituído por equipamentos de capacidades e características diferentes, provocando tempos de carga e de viagem diferentes;
- Desempenho inconstante do manobrador, que promove tempos de ciclo diferentes de viagem para viagem;
- Encravamento do britador, obrigando a que o equipamento de transporte fique parado enquanto aguarda pela resolução do problema.

No que aos atrasos operacionais diz respeito, estes podem ser classificados em fixos ou variáveis. Os atrasos fixos correspondem às atividades rotineiras (como o abastecimento dos equipamentos, a mudança de turnos ou o rebentamento de pegas) e podem ser antecipadamente previstos e cronometrados, sendo habitualmente excluídos do tempo de ciclo do dumper. Por outro lado, os atrasos variáveis encontram-se relacionados com imponderáveis diversos (como a necessidade de

---

se efetuar um ocasional taqueio ou a desobstrução da via), não sendo possíveis de antecipar nem de estimar a sua duração, pelo que normalmente são considerados no cálculo do tempo de ciclo.

Desta forma, considerando o que foi dito anteriormente, pode-se definir que o tempo de ciclo mínimo corresponde ao somatório dos tempos fixos com os tempos variáveis (equação 1).

$$tc_{min} = \sum tf + \sum tv$$

Equação 1 - Tempo de ciclo mínimo

Já o tempo de ciclo efetivo calcula-se através da seguinte equação:

$$tc_{ef} = \sum tf + \sum tv + \sum tp$$

ou

$$tc_{ef} = tc_{min} + \sum tp$$

Equação 2 - Tempo de ciclo efetivo

### 3.5.1.2. *Produção de um equipamento*

A produção de um equipamento corresponde ao volume escavado, transportado e descarregado por unidade de tempo, calculando-se multiplicando o volume solto na caçamba pelo número de ciclos efetuados.

$$Q = C \times f$$

Equação 3 - Produção de um equipamento

Como  $f = \frac{1}{tc_{min}}$ , então a produção máxima de um equipamento é dada pela equação 4.

$$Q = \frac{1}{tc_{min}}$$

Equação 4 - Produção máxima de um equipamento

Por outro lado, a produção efetiva calcula-se através da equação 5.

$$Q = \frac{1}{tc_{ef}}$$

Equação 5 - Produção efetiva de um equipamento

---

### 3.5.1.3. *Rendimento da operação*

O rendimento da operação (ou fator de eficiência) representa a relação entre o tempo de ciclo mínimo e o efetivo de um equipamento, como se pode observar na equação 6.

$$R = \frac{Q_{ef}}{Q_{máx}} = \frac{C_{máx} \times \frac{1}{T_{Cef}}}{C_{máx} \times \frac{1}{T_{Cmin}}} = \frac{T_{Cmin}}{T_{Cef}}$$

Equação 6 - Rendimento da operação

Analisando a equação anterior, é possível verificar que o rendimento depende dos valores assumidos pelos tempos de paragem, pelo que se o somatório destes tempos for nulo, o rendimento será igual à unidade (ou seja, a eficiência da operação será igual a 100%). Assim, pode-se concluir que o rendimento ou eficiência da operação dependem diretamente dos valores assumidos pelos tempos de paragem, sendo o aumento da produção conseguido à custa da diminuição destes.

## **3.6. *Custo horário de um equipamento***

O cálculo exato do custo horário de um equipamento revela-se como uma tarefa extremamente complicada (senão mesmo impossível), uma vez que é influenciado pelos mais variados fatores. Para além de existir uma imensa variedade de máquinas cujas características são muito distintas, também as condições de uso podem provocar um aumento ou uma diminuição dos custos. Como tal, a determinação prévia do custo horário de um equipamento apenas pode ser aferida sob a forma de estimativas, sendo, usualmente, classificados em três grupos:

- Custos de propriedade ou custos fixos;
- Custos de operação;
- Custos de manutenção.

### **3.6.1. *Custos de propriedade***

Os custos de propriedade, ou custos fixos, são os custos inerentes à aquisição do equipamento e que, independentemente da atividade do equipamento, pouco ou nada variam.

### 3.6.1.1. Depreciação

Após a aquisição de uma máquina, o passar do tempo e o desgaste provocam uma queda no seu valor. Esta queda pode ser encarada segundo dois aspetos fundamentais: aspeto contabilístico e aspeto económico.

#### Aspeto contabilístico

Ao fim de algum tempo, o equipamento sofre uma desvalorização que pode mesmo chegar a anular o seu valor. Quando esta situação ocorre, convém substituir por um novo, evitando gastos excessivos com o equipamento.

#### Aspeto económico

Neste caso, a depreciação encontra-se ligada à vida útil económica do equipamento, sendo esta vida útil definida pelo período de operação em condições económicas que permitam equilibrar as despesas.

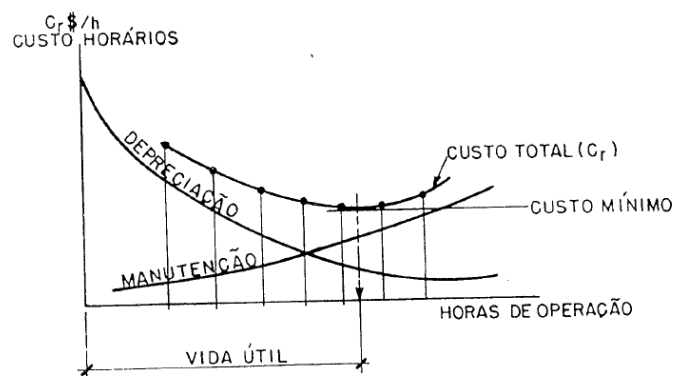


Figura 26 - Gráfico para determinação da vida útil (retirado de Spínola, 1999)

A melhor forma de determinar a vida útil de um equipamento é através do seu Custo Mínimo Horário, que considera que, à medida que as horas de trabalho aumentam, os custos de depreciação do equipamento diminuem, mas os de manutenção têm tendência a aumentar. Assim, define-se a vida útil do equipamento quando a soma dos dois custos atinge o seu valor mínimo.

Outra forma de estimar a vida útil de um equipamento consiste na comparação entre duas curvas: a do Custo Total Anual –  $C(t)$  – (que corresponde ao somatório entre os custos de manutenção e depreciação) e a curva do Custo Médio Anual –  $C(m)$ .

$$\frac{C(t)}{t} = C(m)$$

Equação 7 - Correlação entre o Custo Total Anual e o Custo Médio Anual

Neste caso, a vida útil do equipamento determina-se através do cálculo do ponto médio –  $C(m)$  – no ponto de encontro das duas curvas –  $t_0$  – que corresponde ao momento ideal para a substituição do equipamento usado por um novo.

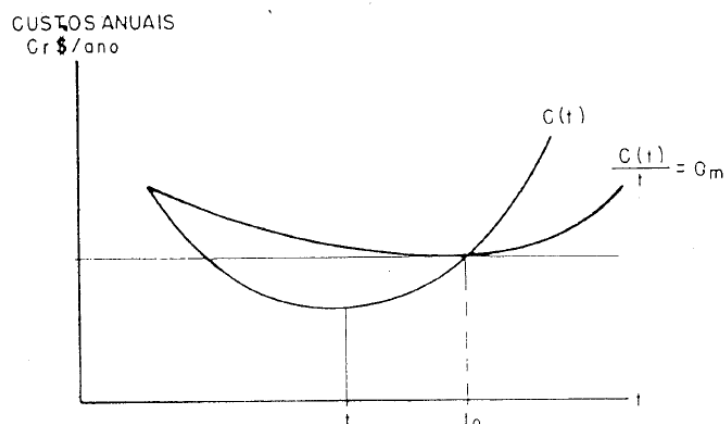


Figura 27 - Curvas do Custo Total Anual e do Custo Médio Anual (retirado de Spínola, 1999)

### 3.6.1.2. Preço de entrega

O preço de entrega (ou valor inicial) inclui todos os custos de colocação da máquina nas condições de funcionamento em obra, incluindo o transporte e as taxas de venda que lhe são aplicáveis.

### 3.6.1.3. Valor residual na substituição

Qualquer equipamento de carga e transporte possui um valor residual no momento da sua substituição. Para muitos proprietários, o valor que poderão obter na revenda do equipamento apresenta-se como um fator decisivo para a decisão de comprar ou não uma nova máquina, uma vez que é uma forma de reduzir o investimento que devem realizar. Assim, o cálculo do valor residual ou depreciação pode ser calculado através da equação 8.

$$V_d = V_0(1 - r)^N$$

Equação 8 - Valor residual ou depreciação (retirado de Spínola, 1999)

em que N corresponde ao número de anos de amortização.

---

#### 3.6.1.4. Valor a ser recuperado com trabalho

O valor a ser recuperado com trabalho obtém-se deduzindo o preço de entrega ao valor residual do equipamento. Assim, o valor do custo horário necessário para proteger o valor do investimento obtém-se através da equação 9.

$$\text{custo horário} = \frac{\text{valor a ser recuperado com trabalho}}{\text{total de horas de uso}}$$

Equação 9 - Custo horário (retirado de Spínola, 1999)

#### 3.6.1.5. Juros de investimento

Para além da depreciação, também se deve ter em consideração os juros de investimento. Como o valor inicial do investimento deprecia anualmente até se atingir o fim da vida útil do equipamento, deve-se então considerar o valor do investimento médio anual. Como tal, o valor do juro de investimento calcula-se através da seguinte equação:

$$J_i = \frac{\left(\frac{N+1}{2N} \times \text{preço de entrega}\right) \times \% \text{juro simples}}{\text{horas/ano}}$$

sendo

$$\frac{N+1}{2N} \times \text{preço de entrega} = \text{investimento médio anual}$$

Equação 10 - Juros de investimento (retirado de Spínola, 1999)

#### 3.6.1.6. Seguro e impostos

Existem duas formas distintas de se calcular os custos de seguro e impostos, dependendo se se conhece o custo anual ou não. Assim, se o custo anual for conhecido, este deve ser multiplicado pelo uso estimado do equipamento em horas por ano. Caso o custo com juros e impostos específicos para cada máquina seja desconhecido, utilizam-se então as seguintes fórmulas:

$$\frac{\text{Seguro}}{N} = \frac{\left(\frac{N+1}{2N} \times \text{preço de entrega}\right) \times \text{taxa do seguro}}{\text{horas/ano}}$$

Equação 11 - Custos de seguro (retirado de Spínola, 1999)

---

$$\frac{\text{Impostos}}{N} = \frac{\left(\frac{N+1}{2N} \times \text{preço de entrega}\right) \times \% \text{ de imposto}}{\text{horas/ano}}$$

Equação 12 - Custos de impostos (retirado de Spínola, 1999)

em que N corresponde ao número de anos.

### 3.6.2. Custos variáveis

Os custos variáveis (ou de operação) são os que ocorrem quando o equipamento realiza algum trabalho e são proporcionais às horas de trabalho. Assim, os principais custos de operação são os seguinte:

- Combustíveis;
- Lubrificantes;
- Pneu a material rolante;
- Reserva para reparações;
- Itens especiais de desgaste.

#### 3.6.2.1. Consumo de combustível

Atualmente, devido ao elevado preço do combustível, este custo é um dos fatores que mais encarece a utilização de um equipamento, sendo necessário fazer a sua estimativa com o máximo de previsão possível. Caso não seja possível determinar o consumo de combustível em obra, o mesmo pode ser previsto, desde que se conheça a aplicação da máquina seja conhecida. Uma análise inicial permite verificar que o consumo de combustível depende da potência nominal do motor e das condições de utilização, uma vez que os diferentes regimes de aceleração do motor se encontram relacionados com a potência consumida e, conseqüentemente, com o consumo de combustível.

Assim, quando não existem dados do fabricante, o consumo de combustível pode ser calculado recorrendo à equação 13.

$$C = 0.267 \times \frac{I}{h} \times \text{HP (motores de 4 velocidades)}$$

Equação 13 - Consumo de combustível (retirado de Spínola, 1999)

---

Por outro lado, para calcular o consumo horário de combustível utiliza-se a seguinte equação:

$$\text{Custo horário} = \text{Consumo horário} \times \text{Preço unitário de combustível}$$

Equação 14 - Custo horário (retirado de Spínola, 1999)

### 3.6.2.2. *Lubrificantes*

Os lubrificantes utilizados por um equipamento de carga e transporte compreendem:

- Óleo do “cárter” do motor;
- Óleo para a transmissão;
- Óleo para o comando final para o sistema hidráulico.

Assim, o consumo de lubrificantes pode ser calculado da seguinte forma:

$$C_l = 0.0036 \times \frac{I}{h} \times HP \times f \times \frac{C}{H}$$

Equação 15 - Consumo de lubrificantes (retirado de Spínola, 1999)

onde  $f$  corresponde ao fator de carga,  $C$  à capacidade dos reservatórios em óleo,  $H$  ao período de troca em horas e  $C_l$  ao consumo de lubrificantes em litros por hora.

### 3.6.2.3. *Pneus*

Normalmente, os pneus são adquiridos em conjunto com a máquina, sendo, conseqüentemente, incluídos no custo de aquisição. No entanto, como os mesmos apresentam um desgaste proporcional às horas de trabalho (ou seja, quanto mais horas a máquina operar, maior será o desgaste dos pneus), é preferível que sejam incluídos como um custo de operação, custo esse que se calcula subtraindo o valor dos pneus ao custo inicial da máquina.

### 3.6.2.4. *Reservas para reparações e itens especiais de desgaste*

Usualmente, as reparações, incluindo as peças e a mão de obra direta debitadas a uma determinada máquina, são o fator dos custos operacionais que acarreta maiores despesas. Assim, as despesas em reparações serão menores no início da vida útil do equipamento, aumentando ao longo do tempo.

Por outro lado, os itens especiais de desgaste incluem todas as peças de grande desgaste que não são incluídas nas reparações, tais como bandas cortantes, dentes de caçamba ou reforços internos da carroçaria. Assim, estes itens variam o seu custo em função da aplicação dada e das técnicas de operação do equipamento.

---

#### 4. Influência do desmonte nos processos de carga e transporte

A perfuração e o desmonte são os processos utilizados dentro do ciclo de exploração para fragmentar rocha para escavação. Para (Cornelius, 2017) (Hall & Khorzoughi, 2016), através de um desmonte eficiente é possível criar excelentes taxas de escavação (ou seja, uma boa fragmentação do material), provocando altos ciclos de produção entre os equipamentos de carga e transporte.

##### 4.1. Carga

O tamanho das partículas criadas pelo desmonte está diretamente relacionado com o tempo que o equipamento de carga demora a encher o balde (Giles, 2016). Assim, é possível calcular o fator de enchimento do balde através da seguinte fórmula:

$$BF_f = \frac{V_{M.L}}{V_N} \times 100$$

Equação 16 - Fator de enchimento do balde (retirado de Giles, 2016)

onde  $BF_f$  corresponde ao fator de enchimento do balde,  $V_{M.L}$  corresponde ao volume do material carregado no balde ( $m^3$ ) e  $V_N$  refere-se ao volume nominal do balde ( $m^3$ ).

Desta forma, é possível interpretar o fator de enchimento do balde, sob um ponto de vista qualitativo, através da tabela 9.

Tabela 9 - Relação entre a escavabilidade do material e o fator de enchimento do balde (Hall & Khorzoughi, 2016)

Escavabilidade do material	Fator de enchimento do balde
Escavação fácil	95 a 105%
Escavação média	90 a 100%
Escavação difícil	85 a 95%
Escavação muito difícil	80 a 90%

Se a granulometria gerada pelo desmonte for superior ao tamanho máximo que o equipamento consegue suportar, a mesma irá aumentar os custos em fragmentações secundárias (taqueamento) e manutenção das máquinas (Kanchibotla & Valery, 1998) e diminuirá a sua produtividade.

O rendimento dos equipamentos de carga está intimamente relacionado com o índice de uniformidade (Brunton, Thornton, Hodson, & Sprott, 2003). Quando as partículas que compõem o material do balde apresentam um alto nível de uniformidade (possuindo, portanto, bastante similaridade na sua granulometria), a eficiência de enchimento do balde é altamente prejudicada,

---

devido à criação de espaços vazios no mesmo. Esta criação de espaços vazias pode provocar uma menor produtividade dos equipamentos, na medida em que são carregadas menores quantidades de material em cada ciclo de carga.

Como tal, para um melhor rendimento do equipamento de carga é aconselhável que o material a ser carregado seja representado por uma grande gama de tamanhos de partículas, apresentando assim um baixo grau de uniformidade, permitindo reduzir os vazios dentro do balde e, conseqüentemente, aumentar a quantidade de material carregado em cada ciclo (“pazada”). Alguns estudos provaram que reduzir o fator de uniformidade de 1.5 para 0.5 aumenta o fator de enchimento do balde 15% (Cottee, 2001).

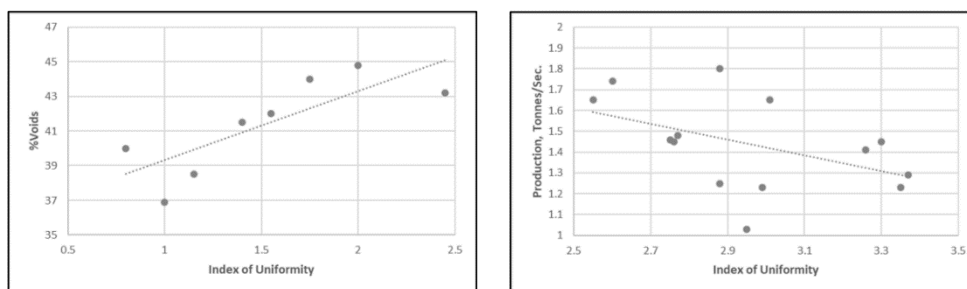


Gráfico 1 - Percentagem de espaços vazios (esquerda) e taxa de produção (direita) em função do índice de uniformidade (Singh & Narendrula, 2007)

Como se pode observar pelo gráfico 1, quanto maior o índice de uniformidade, maiores serão os espaços vazios dentro do balde e menor será a produção do equipamento.

Conclui-se, portanto, que quanto maior for o grau de fragmentação obtido, maior será o rendimento da operação de carga, uma vez que ocorrerá a diminuição do tempo necessário para encher o equipamento de transporte e o volume carregado por ciclo será superior (Hustrulid, 1999).

## **4.2. Transporte**

O transporte é projetado para deslocar vários baldes de rochas oriundos do equipamento de carga. Como tal, este equipamento encontra-se mais bem-adaptado para alocar material sobredimensionado do que a máquina de carga. No entanto, se o desmonte da rocha for mal-executado e criar grandes blocos de rocha, pode provocar problemas no equipamento de transporte. O impacto das rochas a bater na zona de carga pode causar sérios problemas mecânicos no viatura. Em alguns casos, de forma a combater este problema, é possível diminuir a capacidade dos equipamentos, mas essa redução pode provocar carga excêntrica, colocando peso excessivo sobre as rodas de um dos lados do veículo, causando assim problemas na sua suspensão.

---

Por outro lado, como os equipamentos de transporte deslocam materiais oriundos das máquinas de carga, então a diminuição do tempo do ciclo do equipamento de carga, proporciona também uma redução do tempo de ciclo do veículo de transporte.

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Capítulo III**

### **Caso de estudio**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## 5. Objetivos

Atualmente, a Nicolau de Macedo encontra-se numa fase de expansão da sua capacidade produtiva, de forma a conseguir responder à procura existente no mercado. Para tal, está a ser levada a cabo na pedreira a instalação de uma nova central de britagem, composta por um britador primário, dois moinhos e três crivos. O primário será construído na zona de exploração, mais concretamente na bancada 4 da pedreira, e alimentará uma tela transportadora com cerca de 370 metros de comprimento, que por sua vez irá alimentar a restante central, já fora da zona de exploração. A escolha por uma tela com tamanha dimensão justifica-se, segundo a empresa, pela redução dos custos em carga e transporte que a mesma acarreta.

Assim, o caso de estudo da presente tese será verificar se a solução adotada pela empresa foi a mais correta ou se deveriam ter adotado outra solução (como aumentar a frota de equipamentos, por exemplo) e qual a melhor frota para alimentar o respetivo primário. Para tal, serão analisados os diferentes parâmetros que influenciam esta escolha:

- Diagrama de fogo efetuado;
- Volume de material obtido;
- Trajeto efetuado pelos equipamentos de carga e transporte;
- Tempo de ciclo e produção dos equipamentos.

No entanto, como não é possível realizar este estudo para todas as bancadas da pedreira, a análise dos dados realizou-se a partir de uma pega (e respetivo tempo de carga e transporte) realizada na bancada 10, na qual se acompanhou o carregamento dos furos e, posteriormente, analisou-se os tempos de ciclo dos equipamentos.

---

### 5.1. A pedreira

A Nicolau de Macedo, S.A., é uma pedreira pertencente ao grupo ABB, com mais de 60 anos de existência, que se dedica à extração do Granito Azul de Guimarães para posterior transformação em:

- Agregados para a construção civil e obras públicas;
- Produtos ornamentais como cubos, guias, lajes, etc.

A Nicolau de Macedo encontra-se localizada na Rua de Choriz, nº. 680, na freguesia de Gondomar, concelho de Guimarães (figura 28).



Figura 28 - Localização geográfica da pedreira, retirado de Google Earth Pro

Composta por 13 bancadas com cerca de 12 metros cada, esta é uma pedreira que apresenta duas centrais de britagem (com outra em construção) e uma oficina de transformação. Na figura 29 encontra-se uma vista aérea da pedreira.



Figura 29 - Vista aérea da pedreira

## 5.2. Geologia

A pedreira da Nicolau de Macedo encontra-se numa zona composta por monzogranito de duas micas (mais conhecido como granito de Gonça) e monzogranito biotítico (mais conhecido por granito de Braga), como se pode observar na figura 30. No anexo 1 encontra-se a legenda da referida figura.

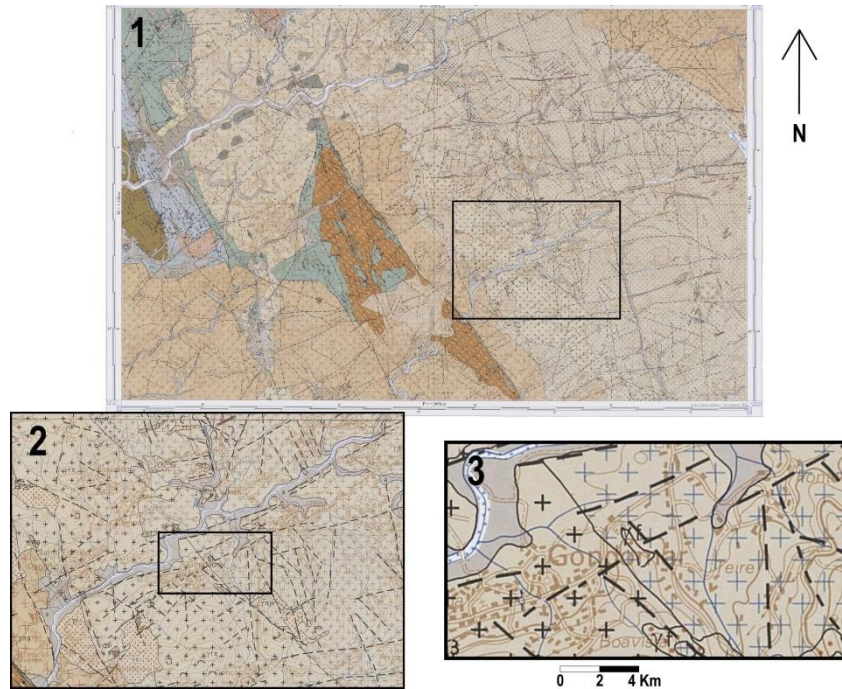


Figura 30 - Enquadramento geológico da pedreira em estudo, adaptado da Carta 05-D da Carta Geológica de Portugal

O primeiro corresponde a um monzogranito de duas micas, de tendência porfiróide de grão fino. Contém frequentes encraves metassedimentares centimétricos a decimétricos e pequenos encraves micáceos e os encraves microgranulares são muito raros ou estão ausentes. Este granito contém pequenos cristais de andaluzite e de silimanite, sendo que os megacristais são de feldspato potássico (relativamente raros) e definem uma orientação de fluxo pouco marcada. Devido às suas características de homogeneidade, granulometria e pouca frequência de megacristais, este granito é dos mais procurados para aplicações industriais mais nobres, como trabalhos de cantaria e estatuária.

Por outro lado, o denominado granito de Braga corresponde a um monzogranito biotítico com rara moscovite, de tendência porfiróide de grão médio a fino. Os seus fenocristais apresentam tendência euédrica e grande relação eixo maior eixo menor, conferindo-lhe um aspeto alongado correspondente a feldspato potássico. Este granito apresenta numerosos encraves de diferentes tipos, sendo que os mais abundantes são os microgranulares máficos. Contém igualmente encraves

---

metassedimentares de dimensão variável, contendo geralmente andalusite no seu interior, e pequenos encraves micáceos com andalusite e silimanite. Ocasionalmente aparece uma orientação N 40° W não generalizada na mancha granítica, que pode corresponder a fluxo magmático e que se encontra materializada pelo alinhamento dos megacristais, dos encraves e dos minerais micáceos.

---

## **Capítulo IV**

### **Análise crítica dos resultados**

---

---

(página propositadamente em branco)

## 6. Análise crítica

### 6.1. Diagrama de fogo efetuado

Para o estudo dos sistemas de carga e transporte, analisou-se o desmonte realizado na bancada 10 da pedreira. Para a pega em questão, utilizaram-se dois tipos de explosivos: Riodin HE e Riogel Troner XE. O primeiro utiliza-se como carga de fundo devido à sua maior força de explosão, enquanto o segundo é utilizado como carga de coluna.

Tabela 10 - Propriedades dos explosivos utilizados na pega

Carga de fundo		Carga de coluna	
Explosivo	Riodin HE	Explosivo	Riogel Troner XE
Diâmetro	50 mm	Diâmetro	60 mm
Comprimento	0,380 m	Comprimento	0,575 m
Peso	1,000 Kg	Peso	2,083 Kg
Concentração	2,63 Kg/m	Concentração	3,62 Kg/m

Esta pega compreendia a furação (e respetivo carregamento) de 153 furos divididos por três fiadas, como se pode observar na figura 31. De salientar que, de forma a se tornarem perceptíveis na figura, os furos representados não se encontram à escala dos restantes elementos da ilustração.

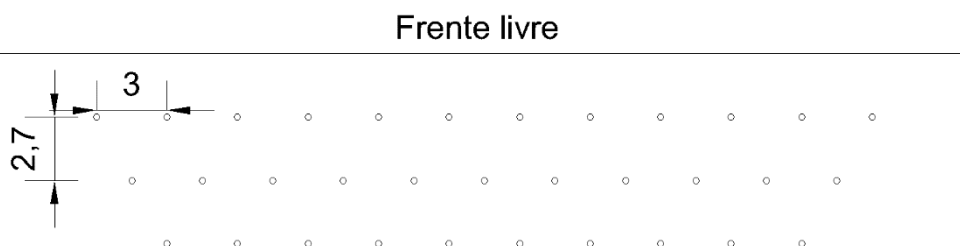


Figura 31 - Malha de furos utilizada

Como se pode observar na figura anterior, foi utilizada uma malha de 3 x 2,7 metros em pé-de-galinha.

Assim, na tabela 11 encontram-se os parâmetros do diagrama de fogo e respectivos valores.

Tabela 11 - Parâmetros da pega analisada

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valores</b>
p	Densidade de carga do explosivo no furo		1,45
	Diâmetro do explosivo carga de fundo	mm	50,00
	Diâmetro do explosivo carga de coluna	mm	60,00
	Número de furos	-	153,00
	Número de fiadas	-	3,00
	Número de furos por fiada		51,00
	Altura da bancada	m	9,50
s	Força do explosivo		0,18
c	constante da rocha		1,00
W	Largura da frente livre	m	153,00
d	diâmetro do furo	mm	76,00
	Metros perfurados	m	1 530,00
	Custo perfuração	€	4 590,00 €
H	Comprimento do furo	m	10,00
U	Subfuração	m	0,50
E	Espaçamento entre furos	m	3,00
	Distância à frente	m	2,70
	Volume desmontado por furo	m <sup>3</sup>	76,95
	Volume que realmente vamos desmontar	m <sup>3</sup>	11 773,35
		Ton	31 317,11
	Número de cartuchos para carga de fundo	-	1,00
	Número de cartuchos para carga de coluna	-	16,00
	Compactação do explosivo	-	0,10
lb	Concentração da carga de fundo	kg/m	2,63
hb	Comprimento da carga de fundo	m	0,38
Qbtot	Peso da carga de fundo	Kg	1,00
Qbtot	Peso da carga de fundo total	Kg	153,00
lc	Concentração da carga de coluna	kg/m	3,62
hc	Comprimento da carga de coluna	m	8,28
	Comprimento de carga	m	8,66
h0	Tamponamento	m	1,20
	Comprimento disponível no furo	m	0,14
Qc	Peso da carga de coluna	kg	33,33
Qctot	Peso da carga de coluna total	kg	5 099,18
Q	Peso da carga por furo	kg	34,33
	Concentração de carga por furo	kg/m	3,43
Qtot	Peso da carga total	kg	5 252,18
q	Carga específica	kg/m <sup>3</sup>	0,45
b	Perfuração específica	m/m <sup>3</sup>	0,13

Tal como se pode observar na tabela anterior, a pega realizada desmontou um volume de 31 317.11 toneladas de rocha, originando material de diferentes granulometrias (tanto finas, como grossas). No entanto, os blocos de maior dimensão, devido a possuírem granulometrias superiores às do balde de carregamento e superiores às dimensões máximas que o primário consegue suportar, é necessário recorrer ao taqueamento dos blocos. Este processo, embora reduza a dimensão do material até valores aceitáveis para o carregamento do material, provoca quebras na produtividade da operação global da pedreira, uma vez que limita a zona onde os equipamentos podem operar.

## 6.2. Sistemas de carga e transporte da pedreira

Atualmente, a Nicolau de Macedo, S.A. encontra-se a instalar um britador primário novo na zona de exploração da pedreira, mais concretamente na bancada 4 (figura 32). A realização desta obra justifica-se, segundo o ponto de vista dos responsáveis da pedreira, devido à necessidade de redução nos custos das operações de carga e transporte.



Figura 32 - Localização do primário novo, retirado de Google Earth Pro

A colocação deste britador primário (e respetiva tela transportadora) na bancada da zona de exploração da pedreira acarreta diferentes riscos:

- Obrigação de encerramento da bancada e respetiva frente de desmonte, uma vez que o uso de explosivos pode causar danos ao maciço rochoso que suporta o britador;
- Devido à grande extensão do tapete e à importância de preservar o mesmo, o primário não pode ser alimentado com a sua capacidade máxima.

---

Desta forma, devido aos riscos e consequências que este investimento acarreta, é importante estudar os ganhos de produção, de forma a ser possível perceber se efetivamente a sua construção é vantajosa ou não para a pedreira.

### 6.2.1. Equipamentos de carga da pedreira

As características dos diferentes equipamentos de carga provocam diferentes produções do primário, pelo que o seu estudo é de extrema importância. Como tal, na tabela 12 encontra-se listada a frota de equipamentos que operam na pedreira da Nicolau de Macedo. De notar que, como se pretende estudar as diferenças de produção oriundas da construção do novo primário, apenas serão analisados os equipamentos de transporte da pedreira.

Tabela 12 - Frota da Nicolau de Macedo

<b>Dumper</b>	<b>Dono</b>
A40D	ABB
A40E	Nicolau de Macedo
A40E	Nicolau de Macedo
A40G	ABB
A35D	ABB
A35D	Nicolau de Macedo

Como se pode observar na tabela anterior, dos seis equipamentos que operam na Nicolau de Macedo, três são propriedade da pedreira e a outra metade são propriedade da ABB. Na tabela 13 encontram-se as características dos equipamentos acima referidos.

Tabela 13 - Características dos equipamentos de transporte da pedreira

<b>Equipamento</b>	<b>Volvo A40D</b>	<b>Volvo A40E</b>	<b>Volvo A40G</b>	<b>Volvo A35D</b>
<b>Potência líquida</b>	414 hp (309 kW)	464 hp (346 kW)	445 hp (327 kW)	382 hp (285 kW)
<b>Peso bruto</b>	68,27 ton	69,20 ton	68,27 ton	60,80 ton
<b>Capacidade de carga</b>	37 000 Kg	39 000 Kg	39 000 Kg	32 500 Kg
<b>Velocidade máxima</b>	55 km/h	57 km/h	57 km/h	55 km/h

### 6.2.2. Primário antigo vs. primário novo

Após o estudo das diferentes características dos equipamentos de carga da pedreira, é necessário estudar as diferenças de produção entre os primários. Assim, na figura 33 encontram-se as localizações dos primários novo e antigo.



Figura 33 - Localização do primários atuais e do primário novo, retirado de Google Earth Pro

Para ser possível estudar as diferenças de produção entre primários, é necessário comparar as distâncias de viagem e os tempos de ciclo dos Dumpers para cada um dos primários. Tal como foi dito anteriormente, a análise dos sistemas de carga e transporte da pedra teve por base uma pega efetuada na bancada 10 da pedra (figura 34), na qual se desmontaram 31 317.11 toneladas de rocha.



Figura 34 - Localização da bancada 10 da pedra, retirado de Google Earth Pro

Atualmente, os Dumpers, para descarregar seja no primário 2 ou no primário 3, percorrem uma considerável distância. Assim, na figura 35 encontra-se o percurso a realizar para o primário 2.



Figura 35 - Troço 1, retirado de Google Earth Pro

Por outro lado, na figura 36 encontra-se o percurso a realizar para o primário 3.



Figura 36 - Troço 2, retirado de Google Earth Pro

Tal como foi dito anteriormente, no caso do primário novo, o transporte será efetuado de duas formas distintas: inicialmente será através de um Dumper e, posteriormente, será realizado através de uma tela transportadora. No caso da tela, a mesma subdivide-se em duas telas, que permitirão alimentar três centrais distintas. Assim, o material, após ser fragmentado no britador primário, é transportado por uma tela com 335 metros de comprimento para um crivo de seleção, onde são

retirados os finos ao material e o material cai no pré-stock, onde alimenta depois a central 3 da pedreira. No entanto, caso não se pretenda alimentar a central 3 (que se encontra no interior da pedreira) mas sim as outras, o material, após percorrer o tapete de 335 metros, passa pelo crivo e cai num outro tapete com 115 metros de comprimento, onde é transportado para a central 2 ou para a central que se encontra atualmente em construção. Na figura 37 encontra-se uma representação deste trajeto, sendo a linha azul representativa do percurso do Dumper, a linha amarela do trajeto do tapete com 335 metros e a linha verde do trecho do tapete com 115 metros.



Figura 37 - Trajeto 3, retirado de Google Earth Pro

Para uma melhor percepção do trajeto 3, na figura 38 encontra-se um esquema resumido deste mesmo percurso.

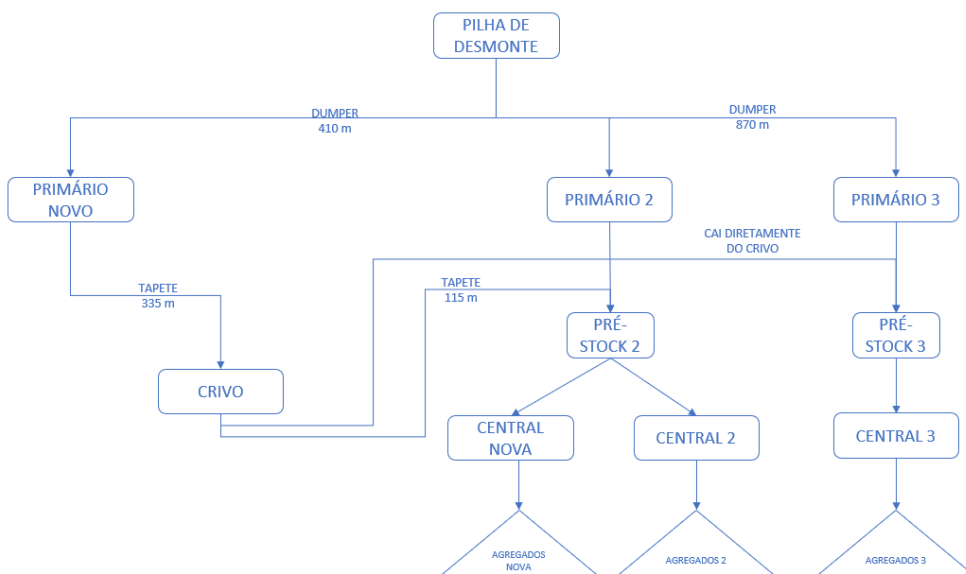


Figura 38 - Fluxograma dos diferentes trajetos possíveis de efetuar

Por outro lado, na figura 39 encontra-se o diagrama de tratamento representativo do transporte de material através do sistema híbrido.

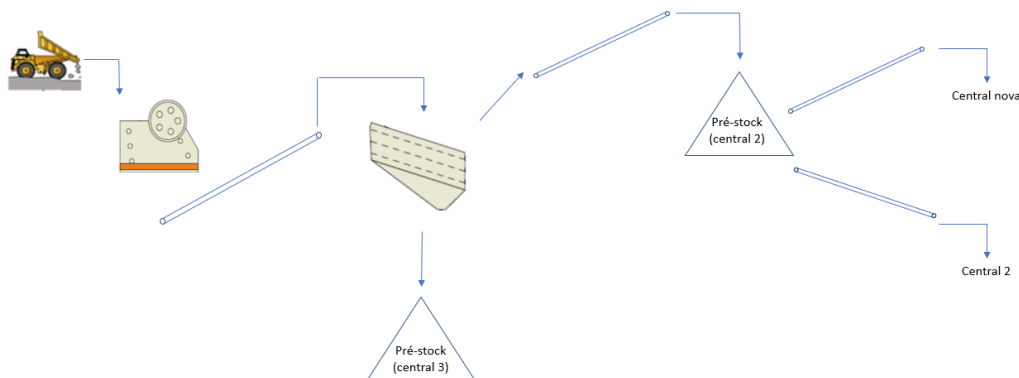


Figura 39 - Diagrama de tratamento representativo do novo sistema de transporte

Assim, após a definição dos trajetos que serão percorridos, é necessário comparar as distâncias de viagem entre a zona de carga e os diferentes primários (tabela 14).

Tabela 14 - Comparação de distâncias entre as zonas de descarga

Zona de descarga	Primário 2	Primário 3	Primário novo
Zona de carga	10	10	10
Distância	1750 m	1740 m	820 m

Observando a tabela anterior, verifica-se que o novo primário permite uma redução considerável da distância de transporte do material entre a frente de exploração e a zona de descarga, o que se poderá traduzir numa eventual diminuição dos custos nos sistemas de carga e transporte.

Posteriormente, para além das distâncias, é importante contabilizar o tempo que o equipamento de carga demora a realizar a viagem de ida desde a bancada 10 até ao primário, onde descarrega o material, e posterior viagem de volta para ser novamente carregado. No entanto, como os primários 2 e 3 (os que atualmente se encontram em funcionamento) se encontram frente a frente, como a figura 33 demonstra, os tempos de ciclo para cada um dos primários será igual. Assim, tabela 15 encontram-se os valores do tempo de ciclo do Dumper para a viagem desde a bancada 10 até aos primários atuais.

Tabela 15 - Tempo de ciclo dos Dumpers para os primários atuais

Tempo de ciclo					
Parado	Manobras	Enchimento	Ida ao primário e voltar	Tempo de ciclo	
				Mínimo	Efetivo
00:00:00	00:00:32	00:03:51	00:10:46	00:15:09	00:15:09
00:00:00	00:00:40	00:03:56	00:11:31	00:16:07	00:16:07
00:01:10	00:00:35	00:03:15	00:15:06	00:18:56	00:20:06
00:00:00	00:01:04	00:03:47	00:10:40	00:15:31	00:15:31
00:00:00	00:00:28	00:03:29	00:12:32	00:16:28	00:16:28
00:00:00	00:00:29	00:03:24	00:12:05	00:15:59	00:15:59
00:04:40	00:00:50	00:03:34	00:11:20	00:15:44	00:20:24
00:01:30	00:01:17	00:03:50	00:10:52	00:16:00	00:17:30
00:00:00	00:00:35	00:03:32	00:21:02	00:25:09	00:25:09
00:00:00	00:00:25	00:04:16	00:14:15	00:18:56	00:18:56
00:00:00	00:01:25	00:04:34	00:15:13	00:21:12	00:21:12
00:00:00	00:00:30	00:03:52	00:14:44	00:19:06	00:19:06
00:00:00	00:00:30	00:04:05	00:14:18	00:18:53	00:18:53
00:00:00	00:00:30	00:04:19	00:12:45	00:17:34	00:17:34

Através dos valores presentes na tabela anterior, observa-se que o tempo de ciclo médio de viagem dos Dumpers é de 00:10:49. Por outro lado, os valores dos tempos de ciclo dos Dumpers na viagem desde a bancada 10 até ao primário novo encontram-se na tabela 16.

Tabela 16 - Tempo de ciclo dos Dumpers para o primário novo

Tempo de ciclo							
Parado	Manobras	Enchimento	Ida ao primário e voltar			Tempo de ciclo	
			Ida	Volta	Total	Mínimo	Efetivo
00:00:00	00:00:38	00:03:51	00:02:40	00:02:25	00:05:05	00:09:34	00:09:34
00:00:00	00:00:32	00:03:51	00:03:47	00:02:18	00:06:06	00:10:29	00:10:29
00:00:00	00:00:40	00:03:56	00:02:25	00:02:56	00:05:21	00:09:57	00:09:57
00:01:10	00:00:35	00:03:15	00:03:24	00:02:31	00:05:54	00:09:44	00:10:54
00:00:00	00:01:04	00:03:47	00:02:30	00:02:42	00:05:11	00:10:02	00:10:02
00:00:00	00:00:28	00:03:29	00:02:45	00:02:24	00:05:09	00:09:06	00:09:06
00:00:00	00:00:29	00:03:24	00:02:35	00:02:04	00:04:39	00:08:32	00:08:32
00:04:40	00:00:50	00:03:34	00:02:32	00:02:10	00:04:41	00:09:05	00:13:45
00:01:30	00:01:17	00:03:50	00:02:51	00:01:45	00:04:36	00:09:43	00:11:14
00:00:00	00:00:35	00:03:32	00:02:47	00:03:00	00:05:47	00:09:54	00:09:54
00:00:00	00:00:25	00:04:16	00:02:16	00:04:19	00:06:35	00:11:16	00:11:16
00:00:00	00:01:25	00:04:34	00:02:36	00:04:52	00:07:28	00:13:27	00:13:27
00:00:00	00:00:30	00:03:52	00:02:46	00:03:24	00:06:10	00:10:32	00:10:32
00:00:00	00:00:30	00:04:05	00:02:48	00:04:44	00:07:32	00:12:07	00:12:07
00:00:00	00:00:30	00:04:19	00:02:45	00:03:48	00:06:33	00:11:22	00:11:22

---

Observando a tabela 15, verifica-se que o tempo de ciclo médio de viagem dos Dumpers é de 00:18:26, sendo consideravelmente inferior (41.3%) ao tempo de ciclo quando os camiões se deslocam para o primário atual. É importante referir que o tempo necessário para realizar as manobras de descarga do material nos primários encontra-se englobado nos tempos de viagem de “ida ao primário e voltar”, presentes tanto na tabela 15 como na tabela 16.

### 6.2.3. Frotas

As frotas de uma pedreira compreendem o conjunto de equipamentos responsáveis pelo transporte do material desde a frente de desmonte até ao local de descarga. Tal como foi dito anteriormente, atualmente a pedreira da Nicolau de Macedo tem à sua disposição seis Dumpers. Assim, foram definidas as oito possíveis frotas, presentes na tabela 17, capazes de alimentar o britador primário.

Tabela 17 - Diferentes frotas analisadas

<b>Frota</b>	<b>Dumper 1</b>	<b>Dumper 2</b>
1	A40E	A40E
2	A40E	A35D
3	A40G	A40D
4	A40D	A35D
5	A35D	A35D
6	A40D	A40E
7	A40E	A40G
8	A40G	A35D

A definição das frotas influencia a produção da tela transportadora, uma vez que são elas que irão alimentar o tapete. Assim, uma correta análise de cada uma das frotas permite verificar qual a opção mais rentável para alimentar o primário novo, seja do ponto de vista técnico (com a tonelagem máxima horária do primário), como do ponto de vista económico. Como tal, é também importante estimar o custo horário dos diferentes Dumpers e da tela, uma vez que o mesmo influencia a escolha da frota que deve atuar para alimentar o primário novo. Os Dumpers A40D, A40E e A40G têm um custo operatório de 75€/h, enquanto os Dumpers A35D têm um custo operatório de 65€/h.

Por outro lado, a tela, de acordo com informações fornecidas pelos responsáveis da pedreira, implicou um investimento de 800.000€, que serão amortizados em 8 anos. No entanto, como a mesma se divide em duas telas, é necessário efetuar o cálculo não só do custo horário para o conjunto completo (utilizado quando é necessário alimentar a central 2), mas também para o custo

horário da tela com 335 metros de comprimento (utilizada para alimentar a central 3). Assim, na tabela 18 encontra-se o custo horário para o conjunto das duas telas.

Tabela 18 - Custo horário para o conjunto das duas telas (335+115 metros)

<b>Tela transportadora</b>	
	<b>Investimento</b> 800.000,00 €
	<b>Tempo</b> 8 anos
<b>Amortização</b>	<b>Custo anual</b> 100.000,00 €/ano
	<b>Custo mensal</b> 8.333,33 €/mês
	<b>Custo diário</b> 378,79 €/dia
	<b>Custo horário</b> 37,88 €/h
	<b>Energia e manutenção</b> 37,88 €/h
<b>Custo total horário</b> 75,76 €/h	

Por outro lado, e como o custo de uma tela transportadora é determinado por metro linear de tela, através do investimento inicial foi possível calcular esse custo (tabela 19), valor esse que engloba o custo de todos os elementos que compõem a tela.

Tabela 19 - Custo por metro linear da tela transportadora

<b>Comprimento</b>	450 m
<b>Custo total</b>	800.000,00 €
<b>Preço por metro</b>	1.777,78 €/m

Multiplicando o preço por metro da tela pelos 335 metros de extensão que a primeira tela possui, obteve-se um custo de 595.555,56€, sendo a partir deste valor que se calcula o custo horário da referida tela (tabela 20).

Tabela 20 - Custo horário para a tela de 335 metros

<b>Tela transportadora</b>	
	<b>Amortização</b> 595.555,56 €
<b>Amortização</b>	<b>Tempo</b> 8 anos
	<b>Custo anual</b> 74.444,44 €/ano
	<b>Custo mensal</b> 6.203,70 €/mês
	<b>Custo diário</b> 281,99 €/dia
	<b>Custo horário</b> 28,20 €/h
<b>Energia e manutenção</b> 28,20 €/h	
<b>Custo total horário</b> 56,40 €/h	

Por fim, é necessário calcular o custo horário das telas que atualmente transportam o material desde os britadores primários operacionais até os pré-stocks existentes. Segundo informações fornecidas, o metro linear destas telas é similar ao das que se encontram a construir, pelo que o

preço adotado foram os 1.777,78€/m. Assim, como as mesmas possuem 30 metros de extensão, apresentam um custo de investimento de 53.333,33€, correspondendo, portanto, a um custo horário de 5,05€/h (tabela 21).

Tabela 21 - Custo horário das telas transportadoras dos primários atuais

		<b>Tela transportadora</b>	
		<b>Custo</b>	53.333,33 €
		<b>Tempo</b>	8 anos
<b>Amortização</b>	<b>Custo anual</b>	6.666,67 €/ano	
	<b>Custo mensal</b>	555,56 €/mês	
	<b>Custo diário</b>	25,25 €/dia	
	<b>Custo horário</b>	2,53 €/h	
	<b>Energia e manutenção</b>	2,53 €/h	
<b>Custo total horário</b>		5,05 €/h	

Observando as tabelas anteriores, verifica-se que o custo para a energia e manutenção das telas encontra-se elevado, o que se justifica devido a este primário ainda não estar operacional e este valor ser uma estimativa feita pelo responsável da pedreira, não sendo o valor real da mesma (na realidade será inferior, pelo que para a análise em estudo pouco influencia). Já o custo por tonelada transportada no tapete depende da produção horária da frota, calculando-se com recurso à equação 17.

$$\text{Custo por tonelada} = \frac{\text{Produção horária da frota}}{\text{Custo total horário da tela}}$$

Equação 17 - Custo por tonelada da tela transportadora

Como para ambos os casos estudados as frotas são iguais, então apresentarão produções horárias similares. Assim, na tabela 22 encontram-se as produções horárias obtidas por cada uma das frotas.

Tabela 22 - Comparação da produção horário entre o sistema antigo e o sistema novo

<b>Frota</b>	<b>Produção horária</b>	
	<b>Primários atuais</b>	<b>Primário novo + tela</b>
1	253,89 ton/h	432,67 ton/h
2	232,73 ton/h	396,61 ton/h
3	247,38 ton/h	421,57 ton/h
4	226,22 ton/h	385,52 ton/h
5	211,57 ton/h	360,55 ton/h
6	247,38 ton/h	421,57 ton/h
7	253,89 ton/h	432,67 ton/h
8	232,73 ton/h	396,61 ton/h

No entanto, através da tabela anterior verifica-se que a frota com maior produção não consegue transportar a quantidade de material mínima para o britador primário trabalhar (460 ton/h). Como tal, a solução passa por conjugar frotas de três Dumpers, tal como apresentado na tabela 23.

Tabela 23 - Frotas de três camiões analisadas

<b>Frota</b>	<b>Dumper 1</b>	<b>Dumper 2</b>	<b>Dumper 3</b>
1	A40D	A40E	A40E
2	A40E	A40E	A35D
3	A40E	A35D	A35D
4	A40D	A35D	A35D
5	A40G	A35D	A35D
6	A40E	A40E	A40G
7	A40D	A40E	A40G
8	A40D	A40E	A35D
9	A40D	A40G	A35D
10	A40E	A40G	A35D

Esta nova combinação de equipamentos de carga permite aumentar significativamente a produção horária da pedreira, como se pode observar na tabela 24.

Tabela 24 - Produções horárias de frotas compostas por três Dumpers

<b>Frota</b>	<b>Produção horária</b>	
	<b>Primários atuais</b>	<b>Primário novo + tela</b>
1	380,83 ton/h	649,00 ton/h
2	359,67 ton/h	612,94 ton/h
3	338,52 ton/h	576,89 ton/h
4	332,01 ton/h	565,79 ton/h
5	338,52 ton/h	576,89 ton/h
6	380,83 ton/h	649,00 ton/h
7	374,32 ton/h	637,90 ton/h
8	353,16 ton/h	601,85 ton/h
9	353,16 ton/h	601,85 ton/h
10	359,67 ton/h	612,94 ton/h

Tal como foi dito anteriormente, o novo britador primário em construções apresenta uma capacidade de alimentação de 460 a 600 toneladas por hora. Como tal, ultrapassar o valor máximo não é uma opção válida, uma vez que isso irá originar a que o mesmo fique na sua capacidade máxima, provocando tempos de paragem para os Dumpers. Assim, e observando a tabela anterior, verifica-se que as únicas frotas que permitem alimentar o referido fragmentador são as frotas três, quatro e cinco.

### 6.2.3.1. Primário 2 vs. Primário novo

Tal como foi dito anteriormente, o novo sistema de transporte de material permite alimentar três centrais de britagem distintas. No entanto, como a alimentação do pré-stock da central nova (e da central 2 também) recorre a duas telas transportadoras (uma com 335 metros e outra com 115 metros, sendo esta última o equivalente a um aumento de apenas 5 metros de viagem ao Dumper), é importante estudar quais as reduções de custo que daí resultam. Para tal, recorre-se à fórmula anterior, que através do custo por tonelada, permite comparar as diferentes frotas, verificando-se se a pedreira realizou um bom investimento e, também, qual a melhor frota para alimentar este sistema de transporte. Assim, na tabela 25 encontram-se os custos obtidos para as diferentes frotas da pedreira.

Tabela 25 - Comparação de custos entre o primário 2 e o primário novo

Frota	Custo	
	Primário 2	Primário novo + tela
1	0,60 €/ton	0,46 €/ton
2	0,61 €/ton	0,47 €/ton
3	0,62 €/ton	0,49 €/ton
4	0,63 €/ton	0,50 €/ton
5	0,62 €/ton	0,49 €/ton
6	0,60 €/ton	0,43 €/ton
7	0,61 €/ton	0,47 €/ton
8	0,62 €/ton	0,48 €/ton
9	0,62 €/ton	0,48 €/ton
10	0,61 €/ton	0,47 €/ton

De forma a exemplificar o modo de cálculo dos custos acima apresentados, na tabela 26 encontram-se os custos para a frota quatro e no anexo 2 encontram-se os cálculos efetuados para as restantes frotas.

Tabela 26 - Comparação entre o custo da frota 4 para o primário 2 com o custo para o primário novo

		Primário 2		Primário novo + tela	
Dumper		A40D	A35D	A40D	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Capacidade		37 ton	33 ton	37 ton	33 ton
Nº equipamentos		1	2	1	2
Custo horário		75 €/h	130 €/h	75 €/h	130 €/h
Produção horária		332,01 ton/h		565,79 ton/h	
Custo/tonelada		0,62 €/ton		0,36 €/ton	
Tela	Custo total horário	5,05 €/h		75,76 €/h	
	Custo por tonelada	0,02 €/ton		0,13 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,63 €/ton		0,50 €/ton	

### 6.2.3.2. Primário 3 vs. Primário novo

Na teoria, supõe-se que o novo sistema acarrete uma redução ainda mais significativa para o transporte do material até ao pré-stock da central 3 que a verificada quando comparado com o transporte até ao pré-stock 2. No entanto, é necessário verificar se tal realmente ocorre ou não, como a tabela 27 demonstra.

Tabela 27 - Comparação de custos entre o primário 3 e o primário novo

Frota	Custo	
	Primário 3	Primário novo + tela
1	0,60 €/ton	0,43 €/ton
2	0,61 €/ton	0,44 €/ton
3	0,62 €/ton	0,45 €/ton
4	0,63 €/ton	0,46 €/ton
5	0,62 €/ton	0,45 €/ton
6	0,60 €/ton	0,43 €/ton
7	0,61 €/ton	0,44 €/ton
8	0,62 €/ton	0,45 €/ton
9	0,62 €/ton	0,45 €/ton
10	0,61 €/ton	0,44 €/ton

Tal como no caso anterior, também se apresenta um exemplo da forma como estes custos foram calculados (tabela 28), estando os cálculos correspondentes às outras frotas presentes no anexo 3.

Tabela 28 - Comparação entre o custo da frota 4 para o primário 3 com o custo para o primário novo

		Primário 3		Primário novo + tela	
		A40D	A35D	A40D	A35D
Dumper	Dumper				
	Tempo de ciclo	00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
	Capacidade	37 ton	33 ton	37 ton	33 ton
	Nº equipamentos	1	2	1	2
	Custo horário	75 €/h	130 €/h	75 €/h	130 €/h
	Produção horária	332,01 ton/h		565,79 ton/h	
	Custo/tonelada	0,62 €/ton		0,36 €/ton	
Tela	Custo total horário	5,05 €/h		56,40 €/h	
	Custo por tonelada	0,02 €/ton		0,10 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,63 €/ton		0,46 €/ton	

### 6.2.3.3. Escolha da frota

A escolha da frota mais indicada para alimentar o referido sistema de carga e transporte depende dos objetivos da pedreira para o referido britador primário. Neste caso, a Nicolau de Macedo pretende alimentar o primário com a menor quantidade de material possível, de forma a preservar

não só a tela transportadora (qualquer reparação para a referida tela acarreta encargos financeiros elevados), mas também os britadores secundários e terciários responsáveis por fragmentar ainda mais o material. Assim, à partida só existem três frotas que permitem alimentar o primário - frotas três, quatro e cinco -, uma vez que todas as restantes ultrapassam a capacidade máxima de produção que o referido britador possui. No entanto, quando se compara os custos operacionais dessas frotas com as produções que as mesmas apresentam, verifica-se que a frota mais indicada para alimentar o sistema híbrido é a frota quatro - embora as restantes frotas apresentem um custo 0,01€/ton inferior (o que é desprezável) -, uma vez que esta frota permite alimentar o primário com uma quantidade de material inferior, o que permite preservar os equipamentos de toda a central.

#### 6.2.3.4. *Influência do desmonte*

Tal como foi dito, o desmonte influencia o processo de carga dos diferentes equipamentos, provocando ganhos ou perdas de produção consoante a qualidade do mesmo. Como tal, e como na pega analisada resultaram blocos que necessitaram de sofrer fragmentação secundária, é necessário analisar, concretamente, a influência que a operação de taqueio tem sobre a produção global da pedreira. Para tal, e como a pedreira da Nicolau de Macedo também vende material taqueado, estimou-se o peso volúmico aparente deste tipo de matéria-prima através da carga efetuada pelo camião e, a partir desse valor, foi possível estimar a produção horária da frota escolhida para alimentar o britador primário quando a mesma transporta material taqueado (tabela 29).

Tabela 29 - Produção horária da frota quando carrega material taqueado

	<b>A40D</b>	<b>A35D</b>
<b>Peso de carga</b>	17,38 ton	17,38 ton
<b>Capacidade da caixa do camião</b>	10 m <sup>3</sup>	10 m <sup>3</sup>
<b>Peso volúmico aparente</b>	1,74 ton/m <sup>3</sup>	1,74 ton/m <sup>3</sup>
<b>Capacidade do Dumper</b>	16,9 m <sup>3</sup>	15,2 m <sup>3</sup>
<b>Toneladas que o Dumper carrega numa viagem</b>	29,37 ton	26,42 ton
<b>Número de viagens</b>	1260	1477
<b>Tempo de ciclo</b>	00:10:49	00:10:49
<b>Número de equipamentos</b>	1	2
<b>Produção horária</b>	456,00 ton/h	
<b>Custo/tonelada</b>	0,45 €/ton	

Analisando a tabela anterior, verifica-se que a produção horária da referida frota é substancialmente inferior quando comparada com a sua produção quando carregada com material

---

da pega (565,79 ton/h) e, conseqüentemente, o custo por tonelada é superior. Isto deve-se ao facto do material taqueado apresentar dimensões uniformes, promovendo a criação de espaços vazios na caixa do Dumper. Desta forma, é necessário tomar medidas que permitam diminuir a necessidade de recorrer ao taqueamento dos blocos. Uma medida que pode diminuir a operação de desmonte secundário é efetuar um estudo geotécnico da zona, de forma a determinar-se as descontinuidades (tanto horizontais como verticais) presentes nas bancadas da pedreira. Um correto estudo das descontinuidades permite efetuar uma perfuração perpendicular às mesmas, permitindo reduzir substancialmente a criação de blocos.

Outra medida possível de se adotar e que permite reduzir a criação dos referidos blocos é apertar a malha do desmonte, aumentando para isso a carga específica. Um aumento da carga específica significa que a quantidade de explosivo por volume de rocha aumenta, provocando assim uma melhor fragmentação da mesma e uma diminuição da criação de blocos de maior dimensão.

Para além das medidas anteriormente descritas, também é possível melhorar a fragmentação obtida através de uma temporização (obtida utilizando micro-retardos) que promova intervalos de tempo suficientemente grandes que permitam que cada rebentamento, acompanhado pelo movimento de rocha correspondente, crie espaço para a movimentação de rocha rebentada pelo furo seguinte.

---

(página propositadamente em branco)

---

## **Capítulo V**

### **Conclusões e Perspetivas futuras**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## 7. Conclusões

O estudo dos sistemas de carga e transporte de uma exploração a céu aberto é de extrema importância, uma vez que o mesmo permite otimizar ao máximo as diferentes fases de produção até à obtenção do produto final. Como tal, a presente tese teve como objetivo estudar a viabilidade do novo sistema de carga e transporte que está atualmente a ser implementado. Para tal, analisou-se um desmonte efetuado na bancada 10 da pedreira, tendo-se verificado que o mesmo produziu um volume de 31.317,11 toneladas de material, como se pode observar na tabela a seguir exposta.

Tabela 30 - Resumo dos parâmetros da pega analisada

<b>Comprimento do furo</b>	10,00 m
<b>Altura da bancada</b>	9,50 m
<b>Espaçamento</b>	3,00 m
<b>Distância à frente</b>	2,70 m
<b>Tamponamento</b>	1,20 m
<b>Volume desmontado</b>	31.317,11 ton
<b>Quantidade de explosivo</b>	5.252,18
<b>Carga específica</b>	0,45
<b>Perfuração específica</b>	0,13

Analisando o material resultante da pega, verificou-se que foi necessário efetuar a fragmentação secundária do material, o que por si só já provocou uma quebra no rendimento global da pedreira, uma vez que limitou a zona onde os equipamentos poderiam operar.

Posteriormente à análise da pega, analisou-se as distâncias e os tempos de ciclo que os equipamentos de transporte necessitam para percorrer os diferentes percursos até ao local de descarga do material, tendo-se concluído que o tempo de ciclo médio do Dumper era de 18min26s para percorrer o percurso desde a bancada 10 até aos primários atuais e de 10min49s para percorrer o percurso desde a referida bancada até ao primário novo. Através de diferentes tabelas, foi possível comparar os custos de transporte do material por cada um dos dois tipos de sistemas de transporte e para cada um dos primários. Desta forma, a comparação entre o custo de transporte para o primário novo com o custo de transporte para os primários atuais resultou nos gráficos a seguir apresentados.

Analisando os referidos gráficos, verifica-se que, de facto, o novo sistema de carga e transporte apresentado pela pedreira permite reduzir substancialmente os custos na operação de movimento do material desde a frente de desmonte até aos dois pré-stocks em estudo. Por outro lado, observando o mesmo gráfico verifica-se que as frotas três e cinco são as que permitem obter uma maior poupança face ao sistema anterior.

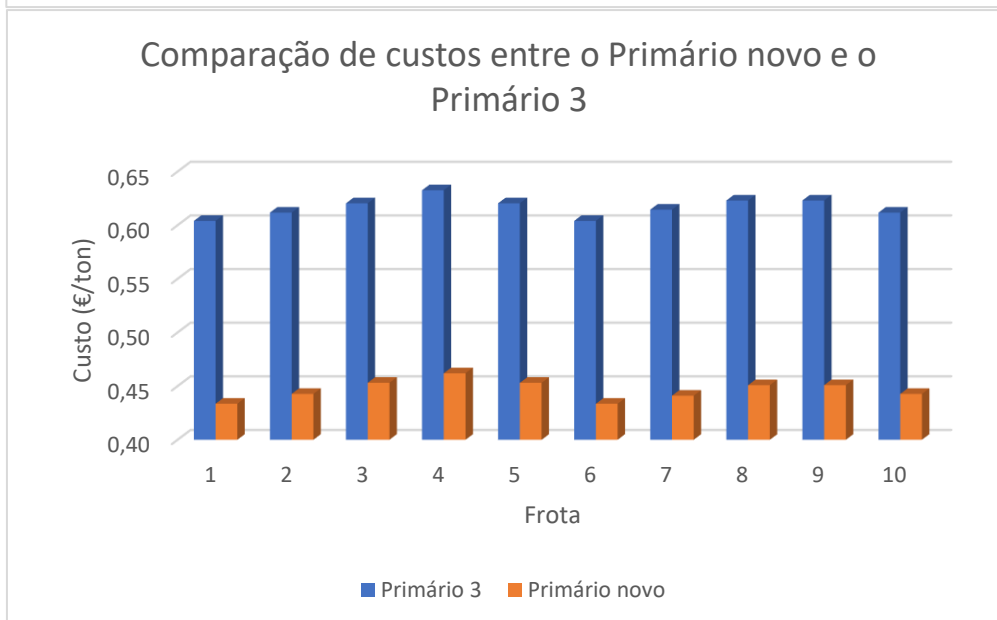
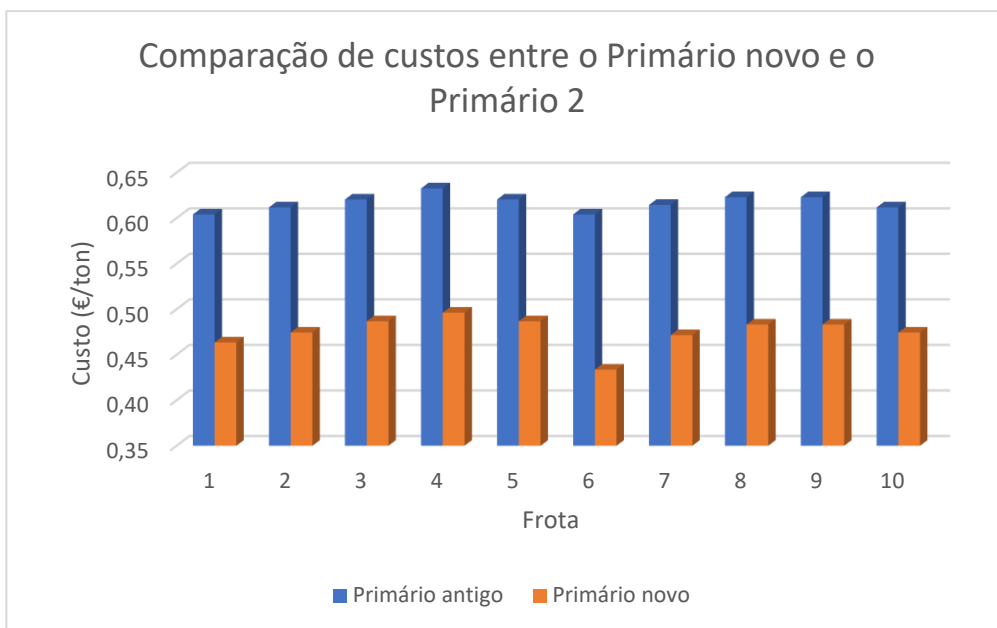


Gráfico 2 - Comparação de custos entre os primários atuais com o primário novo

No entanto, embora sejam as frotas que permitam uma maior redução de custos, as mesmas não são as frotas ideais para alimentar o primário novo, uma vez que se pretende alimentar o primário novo com a menor quantidade de material possível, de forma a ser possível preservar tanto a tela transportadora, como os fragmentadores da central. Assim, a melhor frota para alimentar este sistema é a frota número quatro, necessitando de 55 horas para realizar o transporte de todo o material desmontado (anexo 4).

---

Por fim, verificou-se que um diagrama de fogo inadequado, que origine a formação de blocos que necessitem de fragmentação secundária, provoca uma quebra no rendimento do sistema, uma vez que ocorre a formação de espaços vazios no interior da caçamba do Dumper.

## **8. Perspetivas futuras**

No futuro, de forma a melhorar e complementar os resultados obtidos durante a realização deste trabalho, sugere-se:

- Analisar mais tempos de ciclo dos Dumpers, de forma a ter as médias dos tempos de ciclo o mais próximas possível dos tempos reais;
- Efetuar uma análise global aos custos de produção da pedreira, desde a fase de perfuração até à transformação em produto final;
- Analisar o problema numa ótica *Mine to Mill*, correlacionando todas as etapas tendo em vista a melhor otimização possível de todo o sistema operacional da pedreira;
- Estudar a viabilidade de investimento num novo equipamento de transporte de material com menor capacidade e verificar se o mesmo proporciona uma alimentação ao britador primário mais correspondente ao que os responsáveis da pedreira procuram.

---

(página propositadamente em branco

---

## **Referências Bibliográficas**

---

---

(página propositadamente em branco)

---

## Referências Bibliográficas

- Bernardo, P. (2014). Os detonadores eletrónicos no contexto das obras de escavação mineira. In: XI Jornadas da ANIET.
- Brunton, I., Thornton, D., Hodson, R., & Sprott, D. (2003). Impact of Blast Fragmentation on Hydraulic Excavator Dig Time. Fifth Large Open Pit Mining Conference, p. 10.
- Caldeira, J.F. (2016). Análise comparativa da qualidade técnico-económica da utilização de detonadores não elétricos e eletrónicos no desmonte de maciços rochosos. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto (Dissertação de mestrado).
- Cardoso, J. G. (2015). Estudo comparativo entre diversas técnicas de desmonte para optimização económica e ambiental. Lisboa.
- Cornelius, Matthew. 2017. Mine Production Improvement through Haulage Optimisation. Queensland: The University of Queensland.
- Costa, T. A. (2014). Desmonte de Maciços Rochosos: optimização da perfuração. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto (Dissertação de mestrado).
- Cottee, S. (2001). Impact of fragmentation on truck and loader productivity. The University of Queensland.
- Francisco, M.A.R. (2002). Sistemas de Desmonte: Carga e Transporte. Estudo na pedreira da Malaposta. FEUP, Porto. (Relatório de Estágio). <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/59256>
- Ferreira, N.; Dias, G.; Meireles, C.A.P.; Braga, M.A.S. (2000). Nota explicativa da folha 5-D Braga, Carta Geológica de Portugal. Instituto Geológico e Mineiro, IGM, Lisboa.
- Galiza, A.; Rodrigues A.V. & Lisoarte, A. (2008). Desmonte de Maciços Rochosos I. ISEP, Porto (Policopiado).
- Góis, J., Rodrigues A.V., Galiza, A. C., Bernardo, P., Gomes, C., Chaminé, H.I. (2012). Manual do operador de produtos explosivos. Um guia de apoio para a formação. ANIET, 169 pp.
- Galiza, A. C., Ramos, L., Fonseca, L., & Chaminé, H. I. (2011). Geotecnia mineira de maciços rochosos fraturados para o controlo da qualidade do desmonte. Revista Ingenium, Ordem Engenheiros, pp. 76-80.
- Geologia, L. N. (2014). GeoPortal. Obtido de <https://geoportal.ineg.pt/>
- Giles, E. (2016). Improving quarry production rates by reducing bucket fill time. International Society of Explosives Engineers, p. 9.
- Hall, R., & Khorzoughi, M. B. (2016). Diggability assessment in open pit mines: a review. International Journal of Mining and Mineral Engineering 7(3):181 - 209.
- Hustrulid, W. A. (1999). Blasting Principles for Open Pit Mining. Rotterdam.
- Jimeno, C.L., Lopez Jimeno, E., Manglano Alonso, S., Toledo Santos, J.M., 1991. Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto. Cartografía Madrid, S.A., pp. 139 – 162.
- Jimeno, C. L., Llera, J., Urbina, F., & Jimeno, E. (2003). Manual de perforacion y voladura de rocas. ETSIM, UPM, Madrid
- Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., & Bermúdez, P. G. (2017). Manual de perforación, explosivos y voladuras: minería y obras públicas. ETSI Minas y Energía, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.

- 
- Kanchibotla, S., & Valery, W. (1998). Exploring the Effect of Blast Design on SAG Mill Throughput at KCGM. Mine to Mill Conference, p. 17.
- Knoya, C. J. & Walter, E. J. (1990). Surface Blast Design. USA: Prentice Hall Inc.
- Louro, A.F (2009) Novas formulações para leis de propagação de vibrações, em maciços rochosos, baseadas nas propriedades termodinâmicas dos explosivos. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, (Dissertação de mestrado).
- Machado, F. H. (2016). Desmonte de rocha: Influência da orientação das frentes de trabalho no desempenho da fragmentação. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto (Dissertação de mestrado).
- Meixedo, J. P. (2005). Em torno da dinâmica não-linear de sistemas discretos de carga e transporte. FEUP, Porto (Tese de Doutoramento).
- Monteiro, D. F. T. (2014). Alternativas ao sistema de transporte tradicional em explorações a céu aberto. Caso de estudo: pedreira de Fornelo. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto (Dissertação de mestrado).
- Panzo, M. B. (2017). Contributo para Estimação de Custos em Exploração a Céu Aberto: Agregados em Angola. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa (Dissertação de mestrado).
- Radowski, J. K. (1988). In-Pit Crushing and Conveying as an alternative to an all truck system in open pit mines. University of Mining and Metallurgy.
- Silva, A. M. (2010). Estudo da influência da carga específica na fragmentação de rocha granítica no desmonte em bancada. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto (Dissertação de mestrado).
- Singh, S., & Narendrula, R. (2007). Factors affecting the productivity of loaders in surface mines. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 20(1):20-32.
- Spínola, S. (1999). Movimento de Terras. ISEP, Porto. (Policopiado).
- Tamrock, S. (1999). Rock Excavation Handbook. Tamrock.
- Teotónio, R. M. (2010). Estudo da influência da fragmentação no custo da produção de agregados graníticos. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto (Dissertação de mestrado).

---

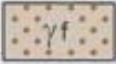
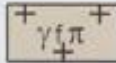
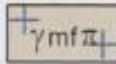
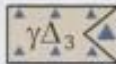
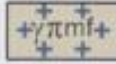
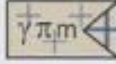
**Anexos**

---

---

(página propositadamente em branco)

Anexo 1 – Legenda da carta 05-D da Carta Geológica de Portugal

<b>LEGENDA</b>	
ROCHAS GRANÍTICAS HERCÍNICAS	
Tardi a Pós-Tectónicas relat. a F3	 <p>Leucogranito moscovítico-biotítico, de grão fino (Granito de Briteiros)</p>
Complexo Granítico de Braga	 <p>Monzogranito de duas micas, com tendência porfiróide, de grão fino (Granito de Gonça)</p>  <p>Monzogranito biotítico, com rara moscovite, tendência porfiróide, de grão médio a fino (Granito de Braga)</p>  <p>Granodioritos, quartzomonzodioritos e monzodioritos, de grão fino e médio. Gabronoritos de grão médio (*)</p>
Tarditectónicas relat. a F3 Complexo Granítico de Póvoa de Lanhoso	 <p>Monzogranito biotítico, com rara moscovite, porfiróide, de grão médio a fino (Granito de Pousadela)</p>  <p>Monzogranito biotítico, com rara moscovite, porfiróide, de grão médio (Granito de Agrela); com frequentes grãos de quartzo globular (*)</p>

Anexo 1.1 - Legenda da Carta 05-D da Carta Geológica de Portugal

## Anexo 2 – Comparação de custos entre o primário 2 e o novo primário

Anexo 2.1 - Comparação entre o custo da frota 1 para o primário 2 com o custo para o primário novo

		Primário 2		Primário novo + tela	
Dumper		A40D	A40E	A40D	A40E
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	39 ton	39 ton	39 ton
	Nº equipamentos	1	2	1	2
	Custo horário	75 €/h	150 €/h	75 €/h	150 €/h
	Produção horária	380,83 ton/h		649,00 ton/h	
	Custo/tonelada	0,59 €/ton		0,35 €/ton	
	Custo total horário	5,05 €/h		75,76 €/h	
Tela	Custo por tonelada	0,01 €/ton		0,12 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,60 €/ton		0,46 €/ton	

Anexo 3.2 - Comparação entre o custo da frota 2 para o primário 2 com o custo para o primário novo

		Primário 2		Primário novo + tela	
Dumper		A40E	A35D	A40E	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	32,5 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	2	1	2	1
	Custo horário	150 €/h	65 €/h	150 €/h	65 €/h
	Produção horária	359,67 ton/h		612,94 ton/h	
	Custo/tonelada	0,60 €/ton		0,35 €/ton	
	Custo total horário	5,05 €/h		75,76 €/h	
Tela	Custo por tonelada	0,01 €/ton		0,12 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,61 €/ton		0,47 €/ton	

Anexo 4.3 - Comparação entre o custo da frota 3 para o primário 2 com o custo para o primário novo

		Primário 2		Primário novo + tela	
Dumper		A40E	A35D	A40E	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	32,5 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	1	2	1	2
	Custo horário	75 €/h	130 €/h	75 €/h	130 €/h
	Produção horária	338,52 ton/h		576,89 ton/h	
	Custo/tonelada	0,61 €/ton		0,36 €/ton	
	Custo total horário	5,05 €/h		75,76 €/h	
Tela	Custo por tonelada	0,01 €/ton		0,13 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,62 €/ton		0,49 €/ton	

Anexo 5.4 - Comparação entre o custo da frota 5 para o primário 2 com o custo para o primário novo

		Primário 2		Primário novo + tela	
Dumper		A40G	A35D	A40G	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	32,5 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	1	2	1	2
	Custo horário	75 €/h	130 €/h	75 €/h	130 €/h
	Produção horária	338,52 ton/h		576,89 ton/h	
	Custo/tonelada	0,61 €/ton		0,36 €/ton	
Tela	Custo total horário	5,05 €/h		75,76 €/h	
	Custo por tonelada	0,01 €/ton		0,13 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,62 €/ton		0,49 €/ton	

Anexo 6.5 - Comparação entre o custo da frota 6 para o primário 2 com o custo para o primário novo

		Primário 2		Primário novo + tela	
Dumper		A40E	A40G	A40E	A40G
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	39,0 ton	39 ton	39,0 ton
	Nº equipamentos	2	1	2	1
	Custo horário	150 €/h	75 €/h	150 €/h	75 €/h
	Produção horária	380,83 ton/h		649,00 ton/h	
	Custo/tonelada	0,59 €/ton		0,35 €/ton	
Tela	Custo total horário	5,05 €/h		75,76 €/h	
	Custo por tonelada	0,01 €/ton		0,12 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,60 €/ton		0,46 €/ton	

Anexo 7.6 - Comparação entre o custo da frota 7 para o primário 2 com o custo para o primário novo

		Primário 2			Primário novo + tela		
Dumper		A40D	A40E	A40G	A40D	A40E	A40G
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	37 ton	39 ton	39 ton	37 ton	39 ton	39 ton
	Nº equipamentos	1	1	1	1	1	1
	Custo horário	75 €/h	75 €/h	75 €/h	75 €/h	75 €/h	75 €/h
	Produção horária	374,32 ton/h			637,90 ton/h		
	Custo/tonelada	0,60 €/ton			0,35 €/ton		
Tela	Custo total horário	5,05 €/h			75,76 €/h		
	Custo por tonelada	0,01 €/ton			0,12 €/ton		
Custo tapete + Dumper		0,61 €/ton			0,47 €/ton		

Anexo 8.7 - Comparação entre o custo da frota 8 para o primário 2 com o custo para o primário novo

		Primário 2			Primário novo + tela		
Dumper		A40D	A40E	A35D	A40D	A40E	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	37 ton	39 ton	32,5 ton	37 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	1	1	1	1	1	1
	Custo horário	75 €/h	75 €/h	65 €/h	75 €/h	75 €/h	65 €/h
	Produção horária	353,16 ton/h			601,85 ton/h		
	Custo/tonelada	0,61 €/ton			0,36 €/ton		
Tela	Custo total horário	5,05 €/h			75,76 €/h		
	Custo por tonelada	0,01 €/ton			0,13 €/ton		
Custo tapete + Dumper		0,62 €/ton			0,48 €/ton		

Anexo 9.8 - Comparação entre o custo da frota 9 para o primário 2 com o custo para o primário novo

		Primário 2			Primário novo + tela		
Dumper		A40D	A40E	A35D	A40D	A40E	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	37 ton	39 ton	32,5 ton	37 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	1	1	1	1	1	1
	Custo horário	75 €/h	75 €/h	65 €/h	75 €/h	75 €/h	65 €/h
	Produção horária	353,16 ton/h			601,85 ton/h		
	Custo/tonelada	0,61 €/ton			0,36 €/ton		
Tela	Custo total horário	5,05 €/h			75,76 €/h		
	Custo por tonelada	0,01 €/ton			0,13 €/ton		
Custo tapete + Dumper		0,62 €/ton			0,48 €/ton		

Anexo 10.9 - Comparação entre o custo da frota 10 para o primário 2 com o custo para o primário novo

		Primário 2			Primário novo + tela		
Dumper		A40E	A40G	A35D	A40E	A40G	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	39 ton	32,5 ton	39 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	1	1	1	1	1	1
	Custo horário	75 €/h	75 €/h	65 €/h	75 €/h	75 €/h	65 €/h
	Produção horária	359,67 ton/h			612,94 ton/h		
	Custo/tonelada	0,60 €/ton			0,35 €/ton		
Tela	Custo total horário	5,05 €/h			75,76 €/h		
	Custo por tonelada	0,01 €/ton			0,12 €/ton		
Custo tapete + Dumper		0,61 €/ton			0,47 €/ton		

### Anexo 3 – Comparação de custos entre o primário 3 e o novo primário

Anexo 11 - Comparação entre o custo da frota 1 para o primário 3 com o custo para o primário novo

		Primário 3		Primário novo + tela	
Dumper		A40D	A40E	A40D	A40E
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	39 ton	39 ton	39 ton
	Nº equipamentos	1	2	1	2
	Custo horário	75 €/h	150 €/h	75 €/h	150 €/h
	Produção horária	380,83 ton/h		649,00 ton/h	
	Custo/tonelada	0,59 €/ton		0,35 €/ton	
	Tela	Custo total horário	5,05 €/h		56,40 €/h
	Custo por tonelada	0,01 €/ton		0,09 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,60 €/ton		0,43 €/ton	

Anexo 12 - Comparação entre o custo da frota 2 para o primário 3 com o custo para o primário novo

		Primário 3		Primário novo + tela	
Dumper		A40E	A35D	A40E	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	32,5 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	2	1	2	1
	Custo horário	150 €/h	65 €/h	150 €/h	65 €/h
	Produção horária	359,67 ton/h		612,94 ton/h	
	Custo/tonelada	0,60 €/ton		0,35 €/ton	
	Tela	Custo total horário	5,05 €/h		56,40 €/h
	Custo por tonelada	0,01 €/ton		0,09 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,61 €/ton		0,44 €/ton	

Anexo 13 - Comparação entre o custo da frota 3 para o primário 3 com o custo para o primário novo

		Primário 3		Primário novo + tela	
Dumper		A40E	A35D	A40E	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	32,5 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	1	2	1	2
	Custo horário	75 €/h	130 €/h	75 €/h	130 €/h
	Produção horária	338,52 ton/h		576,89 ton/h	
	Custo/tonelada	0,61 €/ton		0,36 €/ton	
	Tela	Custo total horário	5,05 €/h		56,40 €/h
	Custo por tonelada	0,01 €/ton		0,10 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,62 €/ton		0,45 €/ton	

Anexo 14 - Comparação entre o custo da frota 5 para o primário 3 com o custo para o primário novo

		Primário 3		Primário novo + tela	
Dumper		A40G	A35D	A40G	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	32,5 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	1	2	1	2
	Custo horário	75 €/h	130 €/h	75 €/h	130 €/h
	Produção horária	338,52 ton/h		576,89 ton/h	
	Custo/tonelada	0,61 €/ton		0,36 €/ton	
Tela	Custo total horário	5,05 €/h		56,40 €/h	
	Custo por tonelada	0,01 €/ton		0,10 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,62 €/ton		0,45 €/ton	

Anexo 15 - Comparação entre o custo da frota 6 para o primário 3 com o custo para o primário novo

		Primário 3		Primário novo + tela	
Dumper		A40E	A40G	A40E	A40G
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	39,0 ton	39 ton	39,0 ton
	Nº equipamentos	2	1	2	1
	Custo horário	150 €/h	75 €/h	150 €/h	75 €/h
	Produção horária	380,83 ton/h		649,00 ton/h	
	Custo/tonelada	0,59 €/ton		0,35 €/ton	
Tela	Custo total horário	5,05 €/h		56,40 €/h	
	Custo por tonelada	0,01 €/ton		0,09 €/ton	
Custo tapete + Dumper		0,60 €/ton		0,43 €/ton	

Anexo 16 - Comparação entre o custo da frota 7 para o primário 3 com o custo para o primário novo

		Primário 3			Primário novo + tela		
Dumper		A40D	A40E	A40G	A40D	A40E	A40G
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	37 ton	39 ton	39 ton	37 ton	39 ton	39 ton
	Nº equipamentos	1	1	1	1	1	1
	Custo horário	75 €/h	75 €/h	75 €/h	75 €/h	75 €/h	75 €/h
	Produção horária	374,32 ton/h			637,90 ton/h		
	Custo/tonelada	0,60 €/ton			0,35 €/ton		
Tela	Custo total horário	5,05 €/h			56,40 €/h		
	Custo por tonelada	0,01 €/ton			0,09 €/ton		
Custo tapete + Dumper		0,61 €/ton			0,44 €/ton		

Anexo 17 - Comparação entre o custo da frota 8 para o primário 3 com o custo para o primário novo

		Primário 3			Primário novo + tela		
Dumper		A40D	A40E	A35D	A40D	A40E	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	37 ton	39 ton	32,5 ton	37 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	1	1	1	1	1	1
	Custo horário	75 €/h	75 €/h	65 €/h	75 €/h	75 €/h	65 €/h
	Produção horária	353,16 ton/h			601,85 ton/h		
	Custo/tonelada	0,61 €/ton			0,36 €/ton		
	Custo total horário		5,05 €/h			56,40 €/h	
Tela	Custo por tonelada	0,01 €/ton			0,09 €/ton		
Custo tapete + Dumper		0,62 €/ton			0,45 €/ton		

Anexo 18 - Comparação entre o custo da frota 9 para o primário 3 com o custo para o primário novo

		Primário 3			Primário novo + tela		
Dumper		A40D	A40E	A35D	A40D	A40E	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	37 ton	39 ton	32,5 ton	37 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	1	1	1	1	1	1
	Custo horário	75 €/h	75 €/h	65 €/h	75 €/h	75 €/h	65 €/h
	Produção horária	353,16 ton/h			601,85 ton/h		
	Custo/tonelada	0,61 €/ton			0,36 €/ton		
	Custo total horário		5,05 €/h			56,40 €/h	
Tela	Custo por tonelada	0,01 €/ton			0,09 €/ton		
Custo tapete + Dumper		0,62 €/ton			0,45 €/ton		

Anexo 19 - Comparação entre o custo da frota 10 para o primário 3 com o custo para o primário novo

		Primário 3			Primário novo + tela		
Dumper		A40E	A40G	A35D	A40E	A40G	A35D
Tempo de ciclo		00:18:26	00:18:26	00:18:26	00:10:49	00:10:49	00:10:49
Dumper	Capacidade	39 ton	39 ton	32,5 ton	39 ton	39 ton	32,5 ton
	Nº equipamentos	1	1	1	1	1	1
	Custo horário	75 €/h	75 €/h	65 €/h	75 €/h	75 €/h	65 €/h
	Produção horária	359,67 ton/h			612,94 ton/h		
	Custo/tonelada	0,60 €/ton			0,35 €/ton		
	Custo total horário		5,05 €/h			56,40 €/h	
Tela	Custo por tonelada	0,01 €/ton			0,09 €/ton		
Custo tapete + Dumper		0,61 €/ton			0,44 €/ton		

---

## Anexo 4 – Tempo necessário para o transporte de todo o material

### Anexo 20.1 – Tempo necessário para o transporte de todo o material

<b>Equipamento</b>	Dumper A40D	Dumper A35D
<b>Capacidade</b>	37 000 Kg	32 500 Kg
<b>Nº de equipamentos</b>	1	2
<b>Local de carga</b>	Bancada 10	Bancada 10
<b>Local de descarga</b>	Primário novo	Primário novo
<b>Turnos</b>	10:00:00	
<b>Volume a transportar</b>	31 317 110 Kg	
<b>Viagens necessárias</b>	308	
<b>Distância a percorrer</b>	820 m	
<b>Tempo de ciclo (média)</b>	00:10:49	
<b>Tempo de trabalho</b>	55:30:09	
<b>Nº de turnos</b>	6	