



Análise do Processo de Serragem através de Engenhos de Lâminas Diamantadas

Miguel António Simões Frazão

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em

Engenharia Geológica e de Minas

Orientadora: Professora Doutora Ana Paula Alves Afonso Falcão Neves

Júri

Presidente: Professor Doutor António Jorge Gonçalves de Sousa

Orientadora: Professora Doutora Ana Paula Alves Afonso Falcão Neves

Vogal: Professora Doutora Maria Matilde Mourão de Oliveira Carvalho Horta Costa e
Silva

Novembro de 2015

I. Agradecimentos

No final deste trabalho, pretendo manifestar o meu sincero agradecimento a todos aqueles que de algum modo contribuíram para a sua execução.

À Professora Doutora Ana Paula Falcão Neves, por ter assumido a orientação deste trabalho, pela colaboração, incentivo, simpatia e apoio que me tem proporcionado ao longo deste percurso.

Ao Engenheiro Gustavo Paneiro pelo seu empenho, disponibilidade e apoio prestado, fundamental para o desenrolar deste projeto.

A todos os professores da Secção de Minas e Georrecursos pelos ensinamentos partilhados.

À colaboração da Geoinveste, S.A., nomeadamente ao Engenheiro Américo Parreirão Gomes pela sua disponibilidade, opiniões e pela partilha de conhecimento. À colaboração da Solubema, S.A. / ETMA, S.A., especialmente ao Engenheiro Óscar Frazão, pela sua cooperação e orientação durante o estágio e ao Engenheiro Hugo Primo pela disponibilidade.

Aos responsáveis da Frazão Rochas, S.A. pelo apoio prestado na recolha de dados, nomeadamente ao Engenheiro Nuno Galvão e ao Engenheiro Rui Ribeiro, pela disponibilidade e partilha de conhecimentos.

Aos meus amigos, nomeadamente ao João Ferreira pelo apoio e ajuda prestada e aos colegas de curso, a quem agradeço a amizade nestes anos de percurso académico.

À minha família, especialmente aos meus pais e irmão, realçando a ajuda prestada pelo meu pai, numa área que bem conhece.

II. Resumo

A Indústria da transformação de rocha ornamental encontra-se destacada no cenário nacional de exportações, sendo já uma referência a nível mundial no setor das rochas ornamentais. Contudo atravessa um período de estabilização, pelo que o controlo e a otimização dos processos produtivos se tornam imperativos no sentido de redução de custos.

A presente dissertação foi desenvolvida em colaboração com a empresa *Frazão Rochas, S.A.* e ainda com o apoio das empresas *Geoinveste, S.A.* e *ETMA, S.A.* Como objetivo pretendeu-se estudar a fenomenologia do corte de rocha, através do engenho multilâmina, analisando a influência de diversos parâmetros relacionados com a interação das ferramentas de corte (diamante) e o tipo de rocha. Em ambiente fabril foram recolhidos dados operacionais de serragem no sentido de os relacionar com o resultado final da produção de chapa.

A resistência à compressão uniaxial revelou-se como o parâmetro geomecânico que melhor correlação apresenta com a profundidade de indentação. Um modelo de regressão linear múltipla foi idealizado, apresentando uma correlação de aproximadamente 100% entre as variáveis e que passou em vários testes de significância. Como resultado o modelo indicou uma equação explicativa relativa à produção horária do engenho, incluindo os seguintes parâmetros: comprimento do bloco, largura do bloco, velocidade de serragem e resistência à compressão uniaxial.

Palavras-Chave: Engenho multilâmina; Produção horária; Profundidade de indentação; Serrabilidade; Ferramentas diamantadas; Modelo de regressão linear múltipla.

III. Abstract

The ornamental stone processing industry is an important sector in the national exports scenario as being a reference worldwide. However, it has reached a period of stabilization, whereby it is necessary to focus attention in production optimization in order to reduce costs.

This work was developed in collaboration with *Frazão Rochas, S.A.* and with the support of *Geoinveste, S.A.* and *ETMA, S.A.*. Operational parameters, involved in the production of slabs, were collected in the field, with the main objective of carrying out, a deep revision of stone sawability by the multiblade gangsaw, correlating the interaction between diamond tools, machine characteristics and stone parameters.

The correlation between indentation depth and stone parameters, showed good results, for the uniaxial compressive strength. In order to predict the production of slabs per hour, a multiple linear regression model showed a correlation approximately of 100% between variables and has passed several significance tests. As final result, the model indicated an explanatory equation with the most important parameters of the cutting process: block length, block width, vertical sawing speed and uniaxial compressive strength.

Key Words: Multiblade gangsaw; Hourly production; Indentation depth; Sawability; Diamond tools; Multiple linear regression model.

IV. Índice

I.	Agradecimentos.....	iii
II.	Resumo	v
III.	Abstract.....	vii
IV.	Índice	ix
V.	Lista de Figuras	xi
VI.	Lista de Tabelas	xiii
1.	Introdução.....	1
1.1.	Objetivos da Dissertação.....	2
1.2.	Estrutura e Conteúdo da Dissertação	2
2.	Setor das Rochas Ornamentais	3
3.	Enquadramento na Transformação.....	5
3.1.	Fases de Transformação.....	6
4.	A Serragem de Rochas Ornamentais	9
4.1.	Disco Circular Diamantado.....	14
4.2.	Engenho Multilâmina	17
4.2.1.	Segmento Diamantado	20
4.2.2.	Lâmina Diamantada	26
4.3.	Serragem através de Lâminas Diamantadas	27
5.	Caso de Estudo	33
5.1.	Caracterização das Rochas Ornamentais Analisadas	33
5.1.1.	Relvinha, Moca-Creme e Creme Alcanede.....	33
5.1.2.	Azul Valverde.....	34
5.1.3.	Atáija creme.....	34
5.1.4.	Rosal.....	35
5.1.5.	Branco do Mar	36
5.1.6.	Branco Estremoz	36
5.2.	Metodologia	37
5.2.1.	Parâmetros Operacionais.....	38
5.2.2.	Parâmetros de Observação.....	39

5.2.3.	Propriedades Geomecânicas das Rochas	39
5.2.4.	Previsão da Produção Horária do Engenho Multilâmina.....	42
6.	Resultados e Discussão	45
6.1.	Correlações entre a profundidade de indentação e as propriedades mecânicas das rochas .	45
6.2.	Modelo de Regressão Linear Múltipla para Previsão da Produção Horária.....	48
7.	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	57
	Referências Bibliográficas	59
	Anexos.....	63
	Anexo 1: Dados Recolhidos de Serragem.	64
	Anexo 2: Resultados dos Modelos de Regressão Linear.	72
	Anexo 3: Características do Engenho A. J. Figueiredo SB 80L.....	84

V. Lista de Figuras

Figura 1 - Fases de transformação da pedra natural.....	5
Figura 2 – Moca creme serrado “contra” (a) e a “favor” (b).	6
Figura 3 – Atuação elementar de uma ferramenta individual de corte. (Oyanguren P. et al., 1987)....	10
Figura 4 – Sucessões elementares de corte. (Oyanguren, P. et al., 1987)	10
Figura 5 – Diferentes tipos de curvas força-deslocamento e respetivos modelos de fragmentação da rocha por penetração de uma cunha (Gnirk, P. F. e Cheatham, J. B., 1965).....	12
Figura 6 – Força de corte em função da profundidade de corte a velocidade constante. (Adaptado de Demou, S. G. et al., 1983 in Oyanguren, P. et al., 1987).....	12
Figura 7 – Interação mecânica entre o segmento diamantado e a rocha durante o processo de serragem (adaptado de Tönshoff, H. K. et al., 2002).	13
Figura 8 – Diagrama de forças de um disco durante a serragem. (Adaptado de Robleda, A. S. e Castro, J. T., 2009)	14
Figura 9 – O efeito do diâmetro do disco (esquerda) e profundidade de corte (direita) na máxima espessura das lascas de serragem. (Adaptado de Konstanty, J., 2002).....	15
Figura 10 – Espessura máxima dos detritos (h_{max}) na serragem de rocha ornamental (Konstanty, J., 2002).....	16
Figura 11 – Engenho multilâmina (http://www.mks.com.tr/en/products-2/gangsaw-machines).	18
Figura 12 – Engenho de balancé.	18
Figura 13 - Descrição de um engenho de balancé. (Adaptado de Robleda, A. S. e Castro, J. T., 2009)	19
Figura 14 – Pormenor do segmento diamantado (x) incrustado na lâmina. (http://www.diamant-boart.com/pt/gang-saw-blades/gang-saw-blades/)	20
Figura 15 – Efeito da constituição da matriz na força vertical (adaptado de Anjinho, C. et al., 2013).	21
Figura 16 – Tendência típica para o desgaste de uma ferramenta como função da velocidade. (Adaptado de Tamrock, 1999).....	23
Figura 17 – Secção de Lâmina Diamantada em pormenor (adaptado de Robleda, A. S. e Castro, J. T., 2009).....	26
Figura 18 – Representação do passo da uma lâmina (adaptado de Robleda, A. S. e Castro, J. T., 2009)	27
Figura 19 – Movimento da lâmina na serragem em relação ao comprimento do golpe gerado com o tempo de corte (adaptado de Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).	28
Figura 20 – Detalhe da lâmina utilizada nos ensaios (adaptado de Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).	28
Figura 21 – Profundidade de corte de alguns segmentos de acordo com o tempo de corte (adaptado de Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).	29
Figura 22 – Grãos de diamante efetivos (GDE) de vários segmentos de acordo com o tempo de corte (adaptado de Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).....	29
Figura 23 – Relação entre os grãos de diamante efetivos e o tempo de corte para várias velocidades de serragem (adaptado de Wang, C. e Clausen, R., 2003).....	30

Figura 24 – Variação das forças de corte (normais e tangenciais), em diferentes segmentos, com o tempo de serragem (adaptado de Wang, C. e Clausen, R., 2003).	30
Figura 25 – Média das forças de corte (verticais e horizontais) realizadas por cada um dos segmentos da lâmina (adaptado de Wang C. e Clausen R., 2003).	31
Figura 26 – Zona de corte em serragem através de lâminas diamantadas (adaptado de Konstanty, J., 2002).	31
Figura 27 - Esquema de corte da lâmina sobre o bloco de rocha (Konstanty, J., 2002).	32
Figura 29 - Relvinha, Moca-Creme e Creme Alcanede.	34
Figura 30 – Azul Valverde.	34
Figura 31 – Ataija Creme.	35
Figura 32 – Rosal.	35
Figura 33 – Branco do Mar.	36
Figura 34 – Branco Estremoz.	36
Figura 35 – Relação entre a profundidade de indentação e a resistência à compressão uniaxial.	46
Figura 36 – Relação entre a profundidade de indentação e a resistência à compressão uniaxial, excluindo o bloco de Branco Estremoz.	46
Figura 37 – Relação entre a profundidade de indentação e a resistência ao desgaste.	47
Figura 38 – Relação entre a profundidade de indentação e a porosidade aberta.	47
Figura 39 – Relação entre a profundidade de indentação e a resistência à flexão.	48
Figura 40 – ln (produção real) comparativamente ao ln (produção estimada) para o modelo 4.	51
Figura 41 – Histograma dos resíduos studentizados para o modelo 4.	51
Figura 42 – Resíduos studentizados como função da velocidade de serragem (a) e resistência à compressão uniaxial (b).	52
Figura 43 – Variação da produção horária com a resistência à compressão uniaxial.	54
Figura 44 – Relação entre produção horária, velocidade de serragem e o tipo de rocha.	55

VI. Lista de Tabelas

Tabela 1 – Propriedades físicas e mecânicas (valores médios \pm desvio-padrão) dos dois tipos de matriz (adaptado de Anjinho, C. et al., 2013).....	21
Tabela 2 – Defeitos dos segmentos e sua descrição (adaptado de Leal, F., 2011).....	24
Tabela 3 – Fatores influenciadores do processo de serragem. (Adaptado de Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).....	37
Tabela 4 – Características do equipamento e ferramentas de corte.	38
Tabela 5 - Resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial segundo a norma EN 1926:2006.	40
Tabela 6 – Resultados do ensaio de resistência à flexão segundo a norma EN 12372:2006.	40
Tabela 7 - Resultados do ensaio de resistência ao desgaste segundo a norma EN 14157:2004.	41
Tabela 8 - Resultados do ensaio de medição da porosidade aberta segundo a norma EN 1936:2006.	41
Tabela 9 - Resultados do ensaio de medição da densidade aparente segundo a norma EN 1936:2006.	41
Tabela 10 – Parâmetros de serragem e geomecânicos de oito blocos, dos vários tipos de rocha estudados.	45
Tabela 11 – Modelos de regressão linear múltipla considerados no estudo.	49
Tabela 12 – Análise da variância (ANOVA) para os modelos com correlações superiores a 95%.	50
Tabela 13 – Análise de significância estatística dos parâmetros estimados para o modelo de regressão 4.	53

1. Introdução

Um dos pontos mais relevantes da valorização industrial dos recursos minerais portugueses, diz respeito ao desenvolvimento tecnológico, para incremento da eficiência dos processos de transformação das rochas ornamentais. Para isso, é necessário que tal desenvolvimento tecnológico, seja suportado num conhecimento mais aprofundado e preciso, dos mecanismos que presidem aos fenómenos de corte, tão importantes para tais processos de transformação.

São realizados inúmeros processos, envolvidos na transformação de rocha ornamental, desde o momento que o bloco chega à fábrica, até se obter um produto final. A serragem em chapas é uma das primeiras etapas, sendo o engenho multilâmina, o equipamento mais utilizado para este efeito. O engenho corresponde a um equipamento de grandes dimensões, cujo corte é proporcionado por um conjunto de lâminas diamantadas, dispostas paralelamente, que realizam um movimento horizontal alternado e constante. O contacto com o bloco acontece através da subida da plataforma, incluindo o bloco ou da descida da grade sobre o mesmo.

As condições de funcionamento dos equipamentos de serragem, no que diz respeito à aplicação das forças sobre as rochas a serrar, são fundamentais para se obter uma boa eficiência na operação de corte. O corte é realizado por um esforço de indentação das ferramentas (de corte), em conjunto com o seu arrastamento (depois de indentadas), pela superfície da rocha, conduzindo à rotura do material. A eficiência corresponde à otimização da operação, no que diz respeito à energia total gasta no processo e na minimização do desgaste das ferramentas.

A previsão da produção dos equipamentos é essencial para a organização dos processos de transformação, bem como do estudo de custos/consumos relativos de equipamentos/ferramentas. Um correto entendimento do funcionamento de todos os mecanismos, de cada equipamento, é uma mais-valia na fase correspondente de transformação da rocha ornamental, procurando uma melhor otimização e resposta às necessidades das empresas.

A utilização de modelos matemáticos de regressão linear múltipla é vista como a melhor solução para correlacionar dados de naturezas diversas. Desta maneira, o recurso ao *software matlab*, será a forma de obter uma expressão que melhor caracterize o processo de serragem e assim permita prever a produção de um determinado equipamento.

O processo de serragem é afetado pelos parâmetros operacionais do equipamento, pelas características das ferramentas de corte e pelos parâmetros geomecânicos da rocha. Desta maneira a melhor avaliação desta temática será em operações industriais, nomeadamente em empresas do setor, assunto que será discutido com maior detalhe nos capítulos seguintes.

1.1. Objetivos da Dissertação

A presente dissertação tem como objetivo, o estudo dos processos de serragem na transformação de rochas ornamentais. O foco será sobre o engenho multilâmina, equipamento preferencialmente utilizado no corte do bloco em chapa. Para o efeito é necessária uma análise da interação rocha-ferramenta, caracterizando a serrabilidade da rocha para determinar as melhores condições de trabalho.

É proposta a definição de uma metodologia, que permita estimar a produção horária de um engenho, para efeitos de controlo e organização de uma unidade transformadora. Para tal, há que ter em conta a relação entre as variáveis da produção e as características geomecânicas da rocha ornamental, utilizando para isso, modelos para a previsão da serrabilidade, incluindo a análise de modelos de regressão linear múltipla.

Pretende-se realizar uma abordagem de detalhe da temática envolvendo aspetos científicos e tecnológicos da operação mecânica de serragem e corte das rochas, cujo domínio tecnológico-económico é fundamental para a garantia da competitividade e sobrevivência da indústria nela baseada.

1.2. Estrutura e Conteúdo da Dissertação

A presente dissertação é composta por sete capítulos principais, incluindo alguns subcapítulos.

No primeiro capítulo, a Introdução, é abordado o tema a estudar, os objetivos propostos e apresenta-se a estrutura e conteúdo do trabalho.

O segundo capítulo corresponde ao Setor das Rochas Ornamentais, onde se faz uma breve descrição, da Indústria de transformação no mercado nacional e da competição dos mercados emergentes.

O terceiro capítulo corresponde ao Enquadramento na Transformação do engenho multilâmina, onde é também descrito todo o processo de transformação.

O quarto capítulo corresponde à Serragem de Rochas Ornamentais, contendo vários subcapítulos, onde é descrito a fenomenologia do corte, através de vários tipos de ferramentas.

No quinto capítulo apresenta-se o Caso de Estudo, incluindo um subcapítulo para a Caracterização das Rochas Ornamentais Analisadas e outro para a Metodologia utilizada.

No sexto capítulo, Resultados e Discussão, contendo ainda dois subcapítulos, foram analisados os resultados obtidos pela recolha dos dados.

No sétimo e último capítulo, Conclusões e Trabalhos Futuros, é apresentado um resumo acerca do objetivo da dissertação, bem como as principais conclusões da investigação realizada. São ainda descritas algumas sugestões para um desenvolvimento posterior do tema.

2. Setor das Rochas Ornamentais

A transformação da pedra natural permite a sua valorização, sendo o maior interesse comercial o estético (daí o termo rochas ornamentais). Os mármore e os calcários são matérias-primas de origem mineral, utilizadas como material de construção, com funções essencialmente decorativas. Estes tipos de rochas carbonatadas, sedimentares e metamórficas, respetivamente, derivam da sedimentação e respetiva consolidação dos estratos para o caso dos calcários ou correspondem a calcários sujeitos a altas condições de pressão e temperatura (mármore).

O setor das rochas ornamentais e industriais engloba uma série de atividades desde a sua extração, seguida de transformação até à aplicação final. Assim, a divisão é feita em atividades extrativas e transformadoras. As primeiras fazem a extração da rocha, sob a forma de blocos de várias dimensões, enquanto que as segundas, a trabalham, de forma a ser utilizada nos diferentes fins a que se destina (Spínola, S.,1998).

Atualmente em Portugal o setor da pedra natural divide-se em dois sub-setores:

- Sub-setor das rochas ornamentais – inclui empresas de extração de mármore, calcários, granitos e outras rochas siliciosas e pedras xistosas. Inclui ainda empresas de transformação que procedem ao trabalho da pedra. Fazem parte ainda o caso de empresas que integram os dois processos, a extração e transformação, utilizando como matéria-prima os blocos das próprias pedreiras e/ou adquiridos no mercado.
- Sub-setor das rochas industriais – as empresas integrantes contemplam extração e transformação de calcários, mármore ou granitos, isto acontece porque o produto final (agregados) exige sempre transformação (britagem).

A emancipação de países muito competitivos onde os custos de extração, produção e transformação são muito baixos comparativamente com países mais desenvolvidos, provoca a queda do preço dos produtos manufaturados. Esta situação prejudicou os países “tradicionais” da indústria, que terão que tomar medidas para se impor (Palma, F. *et al.*, 2014). Assim, no caso particular português, dada a grande concorrência seria muito importante melhorar a competitividade do setor através da redução dos custos de produção e diminuição de desperdícios.

Portugal destaca-se nesta indústria através das seguintes características (Adaptado de Palma, F. *et al.*, 2014):

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

3. Enquadramento na Transformação

Decorre um longo percurso desde a extração na pedreira dos blocos de rocha, até estes darem entrada nas fábricas, dando início ao processo de transformação, que termina no acondicionamento dos produtos acabados para transporte.

As fábricas de transformação devem localizar-se o mais próximo possível dos locais de extração e/ou de consumo, ter uma área significativa (só o parque de blocos e a escombreira ocupam cerca de 50% do espaço total), disporem de boas vias de comunicação e fácil acesso a energia elétrica e água.

Na Figura 1 apresenta-se um esquema, referente aos processos que a pedra sofre, em todas as suas fases.

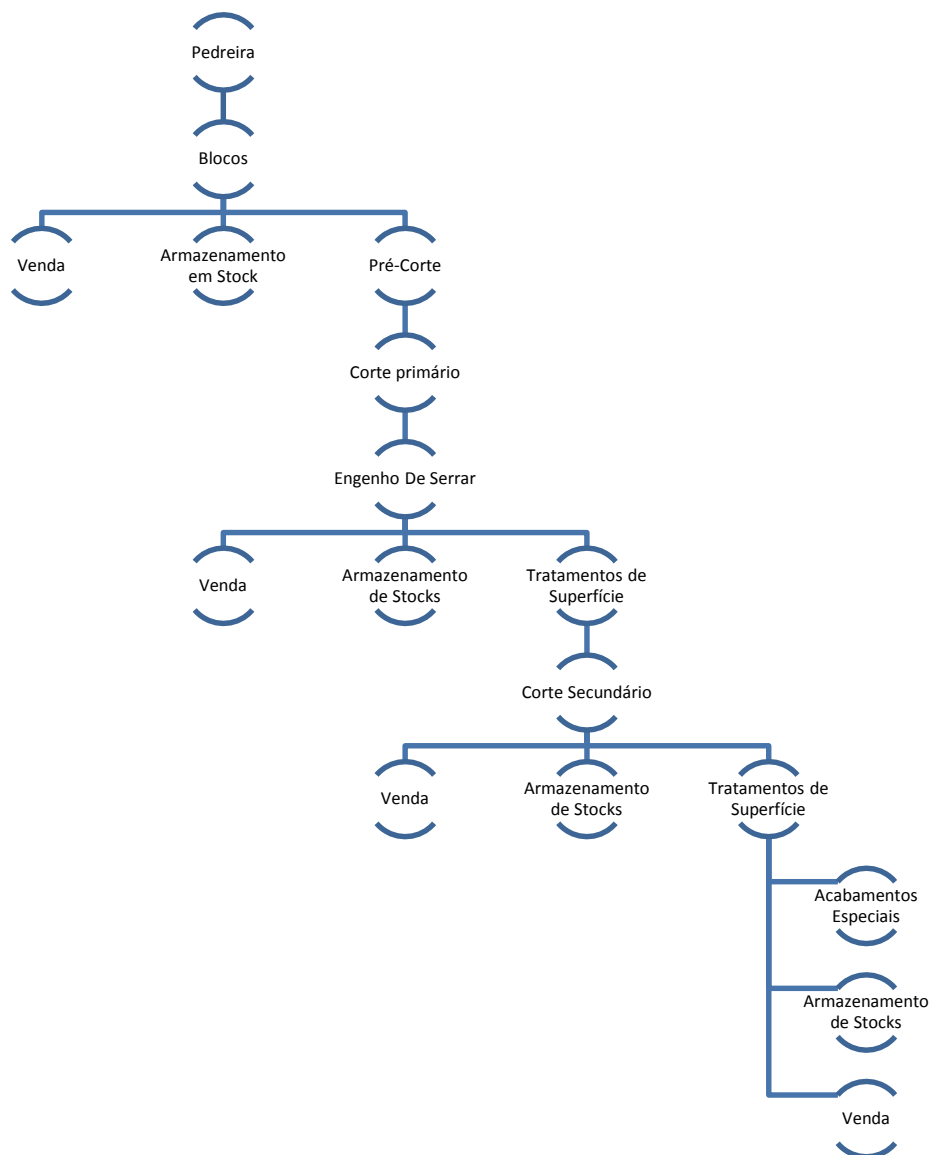


Figura 1 - Fases de transformação da pedra natural.

3.1. Fases de Transformação

1) Receção e Preparação do Bloco

Esta fase corresponde à chegada do bloco à fábrica e no final já se deverá ter a decisão de qual o seu destino. Primeiramente efetua-se a lavagem do mesmo para uma melhor visualização da sua superfície, ação que tem implicância no passo seguinte, a inspeção visual, onde se pretende detetar eventuais defeitos presentes. Uma das principais diferenciações para a posterior serragem de calcários (sobretudo nos estratificados) é a definição do seu corte “a favor” ou “contra”. Esta norma relaciona-se com o sentido do corte em relação à orientação da deposição das camadas de sedimentos (“favor”), ou perpendicularmente ao sentido dessa deposição (“contra”) (Figura 2).

No corte “contra” (Figura 2a) podem observar-se claramente as camadas de deposição, paralelas entre si, no entanto a sua aplicação está dependente da coesão da rocha, já que o seu plano de clivagem é geralmente no sentido a “favor”. Assim existem tipos de calcário que apenas podem ser serrados a favor.



Figura 2 – Moca creme serrado “contra” (a) e a “favor” (b).

2) Pré-Corte

Os blocos quando chegam à fábrica de transformação nem sempre possuem dimensões adequadas, sendo nestes casos, necessário proceder ao seu esquadreamento (regularização da sua forma). Esta operação permite melhorar o rendimento da operação subsequente, o corte-primário.

Nesta etapa o corte deverá, se possível, excluir desde logo, o máximo possível de defeitos que se denotam à primeira vista. O tipo de maquinaria utilizada nesta fase poderá ser um monofio, monolâmina ou uma máquina de cinta.

3) Corte Primário

A fase de transformação propriamente dita inicia-se com o corte primário, correspondente à serragem dos blocos em chapas. Esta fase corresponde à utilização de engenhos (objeto de estudo desta dissertação). Podem ainda ser utilizados talha-blocos, no caso de o produto final pretendido ser de

dimensões variadas. A serragem em chapa está hoje em dia, principalmente ligada à utilização de engenhos, isto porque permitem obter um maior rendimento, associado a menores custos de produção.

4) Corte Secundário

Nesta fase o corte das chapas será realizado com a medida final de expedição. Por já se encontrar na espessura pretendida, o corte tem de ser muito preciso. Para isso são utilizadas discos diamantados, realizando cortes transversais e longitudinais. Geralmente são utilizados nesta fase, e dependendo do grau de automatização do sistema, máquinas de ponte ou CNC. As máquinas de ponte foram as mais utilizadas até surgir o CNC, esta máquina está ligada a um sistema informático, permitindo tirar uma radiografia da chapa, que depois com acesso a um programa informático, o operador seleciona a zona a cortar, informação que é transmitida ao equipamento, que realiza o corte de forma automática.

5) Tratamento Superficial e Acabamentos Finais

Esta fase pode suceder ao corte primário ou corte secundário dependendo do produto final pretendido.

A retificação de serragem é sempre realizada para os produtos de rocha com as dimensões finais. Esta operação é executada por maquinaria, inicialmente por calibradoras e depois por biseladoras que completam o processo de corte, de modo a homogeneizar os produtos finais.

O tipo de tratamento superficial depende das preferências do cliente e, tendo em conta a área de aplicação. Os tratamentos mais comuns são: polido, amaciado, escovado, bujardado, flamejado ou areado.

Nesta fase, e de acordo com o destino do produto final, o material pode ainda ser sujeito a uma série de acabamentos especiais, cujo objetivo é de lhe conferir melhor aparência e funcionalidade. O tipo de maquinaria que trabalha a pedra evoluiu muito nos últimos anos, sendo que hoje em dia já se dispõe de equipamentos que realizam trabalhos a três dimensões, permitindo uma vasta gama de possibilidades.

6) Acondicionamento

O acondicionamento ocorre geralmente em caixotes de madeira feitos por medida, com revestimento na sua superfície com espumas e entre as superfícies acabadas.

7) Expedição / Transporte

No final da linha, os caixotes poderão ser transportados em contentores, essencialmente quando o seu destino é o estrangeiro, ou camiões para menores distâncias de transporte (quando o transporte terrestre é viável).

4. A Serragem de Rochas Ornamentais

Foram muitos os estudos que já se realizaram em relação aos fenómenos de serragem com discos diamantados, contudo, as pesquisas relativamente ao engenho ainda são muito limitadas e existem poucos trabalhos publicados. Os estudos teóricos acerca da rocha ornamental iniciaram-se nos finais do séc. XX, sendo Ertingshausen, W. (1985) que primeiramente referiu um modelo de corte, também aceite por Tönshoff H. K. *et al.* (2002) *in* Robleda A. S. e Castro J. T. (2009).

As operações de corte, entendidas por serragem, são utilizadas desde a exploração até à transformação e, são muitos os equipamentos e ferramentas possíveis para realizar esta operação: discos, revestidos a diamante na periferia; lâminas, revestidas a diamante na zona de contacto com a rocha; e fios diamantados, formados por um cabo de aço com pérolas de diamantes intercalados com molas, para um apropriado tensionamento.

O instrumento mais importante na serragem, comum a todas ferramentas e que realiza o corte propriamente dito, é o diamante, que será assim também incluído no estudo. As ferramentas incluem o diamante através do segmento diamantado, composto maioritariamente por uma liga metálica (matriz) que se vai desgastando progressivamente, expondo os grãos de diamante, que realizam o corte. Vários autores, Buyuksagis, I.S. (2010) *in* Bayram, F. (2012), avaliaram as características do segmento diamantado (concentração e granulometria de diamantes e composição e dureza da matriz) no desempenho de serragem e verificaram a sua importância em relação a esta operação.

A maior dificuldade do estudo da serragem e corte de rocha reside na interpretação dos fenómenos de rotura da rocha, que ocorrem durante o processo. As interpretações teóricas recorrem geralmente a grandes simplificações em relação à realidade, em particular consideram comportamentos do material rochoso tipicamente elásticos até à rotura, o que em muitos casos se afigura insuficiente para o processo explicativo do fenómeno (Oyanguren, P. *et al.*, 1987).

A serrabilidade, fenómeno relativo à capacidade de uma ferramenta realizar o corte numa superfície (rochosa), depende das propriedades e características das rochas, que influem no trabalho de serragem, tais como: a abrasividade, a dureza, a resistência à compressão simples, a resistência à tração, anisotropia e mineralogia. No entanto, como todas estas propriedades se manifestam simultaneamente em todas as rochas, podendo estar reunidas das maneiras mais diversas, é praticamente impossível utilizar os valores característicos isolados para definir as oposições que as rochas oferecem à serragem (Falcão Neves, P., 1993).

Nas serragens com fios ou com lâminas, os esforços normais são proporcionados pelas tensões de montagem desses fios ou pela força exercida, contra os blocos a serrar, a que as lâminas são sujeitas. Os esforços longitudinais derivam dos esforços de tração dos fios ou resultantes dos movimentos alternativos das grades dos engenhos (Oyanguren, P. *et al.*, 1987).

Num corte com disco, o esforço normal resulta do movimento de translação da pedra contra o disco ou do disco contra a pedra e o longitudinal corresponde ao esforço tangencial exercido pelo disco no seu movimento de rotação (Oyanguren, P. *et al.*, 1987).

Wright, D. N. e Cassapi, V. B. (1985) correlacionaram as análises petrográficas e as propriedades físicas com os resultados de serragem, concluindo que as forças de corte tinham uma correlação próxima para estes parâmetros.

Hausberger, P. (1989) realizou um estudo relativamente à serragem de rochas, com uma vasta proporção de minerais, com planos de clivagem bem definidos e concluiu que nestes casos o corte é facilitado.

O processo de indentação pode definir-se como uma atua o elementar de uma das ferramentas individuais de corte (diamante emergindo de uma pérola ou de um segmento diamantado), representando-se esquematicamente (e numa primeira aproxima o), como resultando da aço simultânea de uma força normal, f_1 , e de uma força longitudinal, f_2 , em rela o   superfície de corte, obrigando ao destacamento de um fragmento de rocha, p (Figura 3). (Falcão Neves, P., 1993)

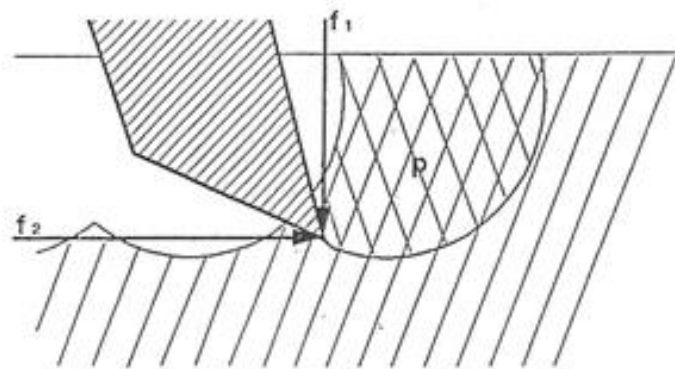


Figura 3 – Atua o elementar de uma ferramenta individual de corte. (Oyanguren P. *et al.*, 1987)

Numa opera o de corte pode dizer-se que este resulta da sobreposi o de sucessões de atua es elementares (Figura 4).

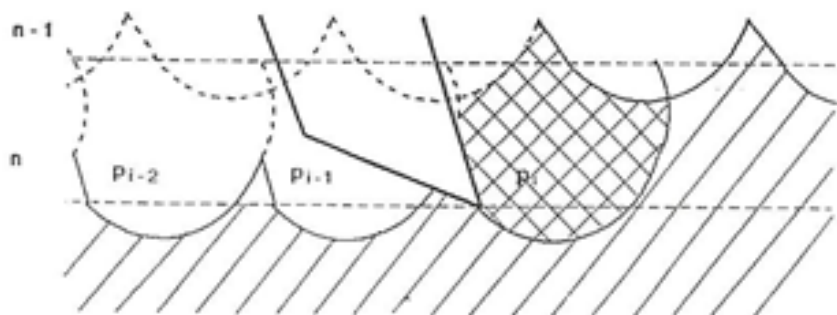


Figura 4 – Sucessões elementares de corte. (Oyanguren, P. *et al.*, 1987)

Esta análise plana aproximada, está no entanto longe de corresponder ao que se passa na realidade, onde há que ter em conta que os cortes têm uma certa largura imposta pelas espessuras dos segmentos diamantados. Este facto confere às sobreposições de sucessões de atuações elementares, um carácter tridimensional que aumenta a sua complexidade e dificulta a sua análise (Falcão Neves, P., 1993).

O corte através de lâminas diamantadas é diferente dos outros mecanismos de corte, principalmente devido ao movimento alternativo de vai e vem e ao facto das forças aplicadas, durante a serragem, não serem exercidas de uma forma constante. Devido a estas condições, torna-se difícil mensurar as forças de corte e os estudos realizados são limitados. Contudo, pode ser afirmado que a força normal exercida entre o bloco e a lâmina é, geralmente, 3 a 3,5 vezes superior à força tangencial (Robleda, A. S. e Castro J. T., 2009).

Nishimatsu (1972) *in* Falcão Neves, P. *et al.* (2012) observando o processo de rotura da rocha durante o corte, e tendo em conta a similaridade com o processo de corte de metal, presenciou a formação de uma zona de rocha compactada, junto à área de contato com o diamante. O autor também descreve o início de fissuração, levando à formação das lascas de serragem, correspondente ao valor máximo da força de corte aplicada. Esta força de corte atingida é responsável pela alteração do estado de tensão na rocha, conduzindo à formação e propagação de fissuras, no ponto em que a tensão de corte e normal satisfazem o critério de rutura de Mohr-Coulomb. Estando a forma e tamanho das lascas dependentes, das características da rocha, da intensidade das forças aplicadas e da ferramenta utilizada.

Estudos feitos por Dragain, F. *et al.* (2006), indicam que o corte de rocha, está associado a modos de rotura dúctil ou frágil, dependendo da profundidade de indentação. A rotura frágil ocorre quando se atingem profundidades de indentação limite, levando à propagação de fraturas, devido à ação de forças de tração.

Os mecanismos de penetração de cunha podem ajudar a esclarecer os fenómenos, quando uma ferramenta de corte é aplicada em rocha. Gnirk, P. F. e Cheatham, J. B. (1965) investigaram a penetração de uma cunha em rocha, variando as pressões de confinamento exercidas sobre a superfície, estabeleceram que, em geral, o mecanismo de penetração é de carácter frágil/quebradiço a pressões de confinamento baixas e de natureza dúctil/plástica a pressões de confinamento altas, com uma zona de transição entre ambas. A relação força-deslocamento é linear, quando o modo de penetração é dúctil, mas é descontínua e escalonada quando se destacam lascas, da superfície da rocha (Figura 5).

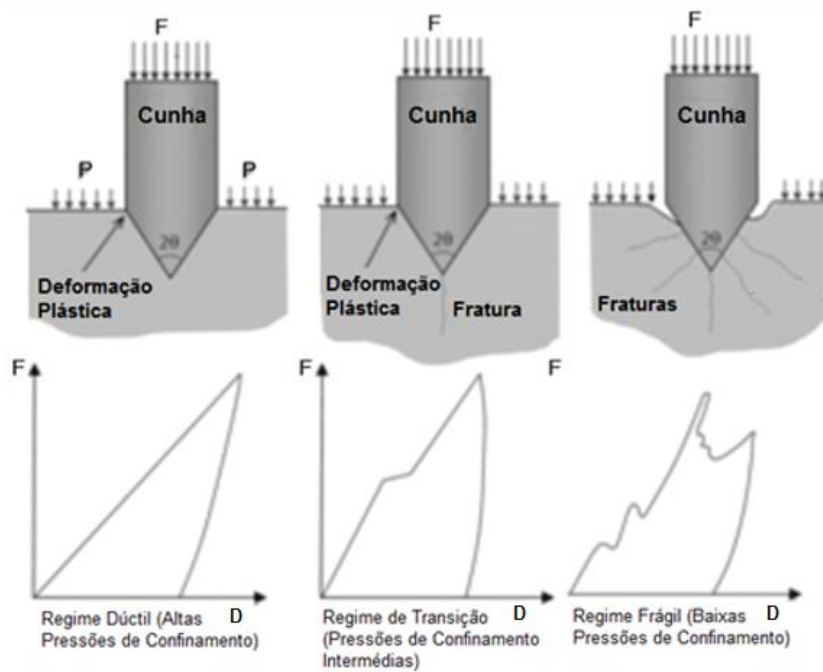


Figura 5 – Diferentes tipos de curvas força-deslocamento e respectivos modelos de fragmentação da rocha por penetração de uma cunha (Gnirk, P. F. e Cheatham, J. B., 1965).

Para que se obtenha uma boa eficiência na progressão dos cortes, os fragmentos de rocha deverão ter dimensões razoáveis, o que exige convenientes profundidades de indentação, proporcionadas por aplicação de forças de corte elevadas, tal como se observa na Figura 6. Nas operações industriais, a melhor eficiência, consegue-se à custa dum balanço entre a ação dinâmica que provoca a escamação e o esforço que origina as indentações. As velocidades associadas a estas ações são, em geral, limitadas por razões de índole operacional (resistência mecânica dos equipamentos, vibrações indesejadas, condições de arrefecimento e desgaste) (Oyanguren, P. et al., 1987).

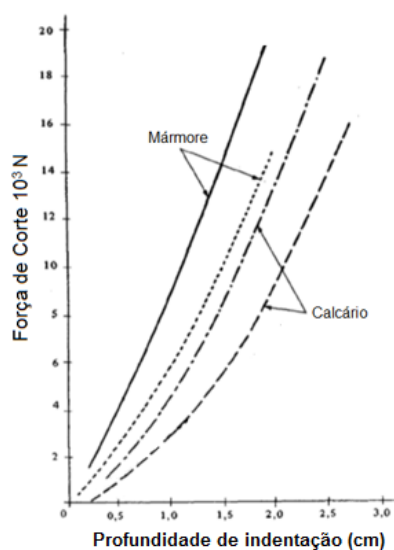


Figura 6 – Força de corte em função da profundidade de corte a velocidade constante. (Adaptado de Demou, S. G. et al., 1983 in Oyanguren, P. et al., 1987)

No corte através da lâmina diamantada, Nishimatsu (1972), Ertingshausen, W. (1985) e Tonshoff, H. K. *et al.* (2002), descrevem o processo de serragem, com modelos baseados em geometrias simples das superfícies de corte, fazendo uma divisão em dois mecanismos: formação primária e secundária de lascas (Figura 7). Nestes modelos, o processo é influenciado por vários fatores tais como: as propriedades da rocha, distribuição das forças entre a rocha e o diamante, tensões na rocha e temperatura na superfície rocha-ferramenta.

Na superfície de contato entre o diamante e a rocha, a força tangencial modifica o estado de tensão na vizinhança. Assim esta região fica sujeita a esforços de tração e de compressão. Surge, desta maneira, uma zona de material rochoso esmagado e compactado, denominada de formação primária de lascas.

Até se atingir uma certa espessura no corte, durante o processo de indentação da rocha, o comportamento elástico mantém-se até atingir a resistência máxima. Após se atingir o limite elástico da rocha ocorrem deformações, devendo-se principalmente a forças compressivas que atuam no contacto do diamante com a rocha. Quando a tensão de compressão começa a diminuir, o estado de tensão altera-se surgindo tensões críticas de tração, originando condições de rotura frágil. Este mecanismo é denominado de formação secundária de lascas.

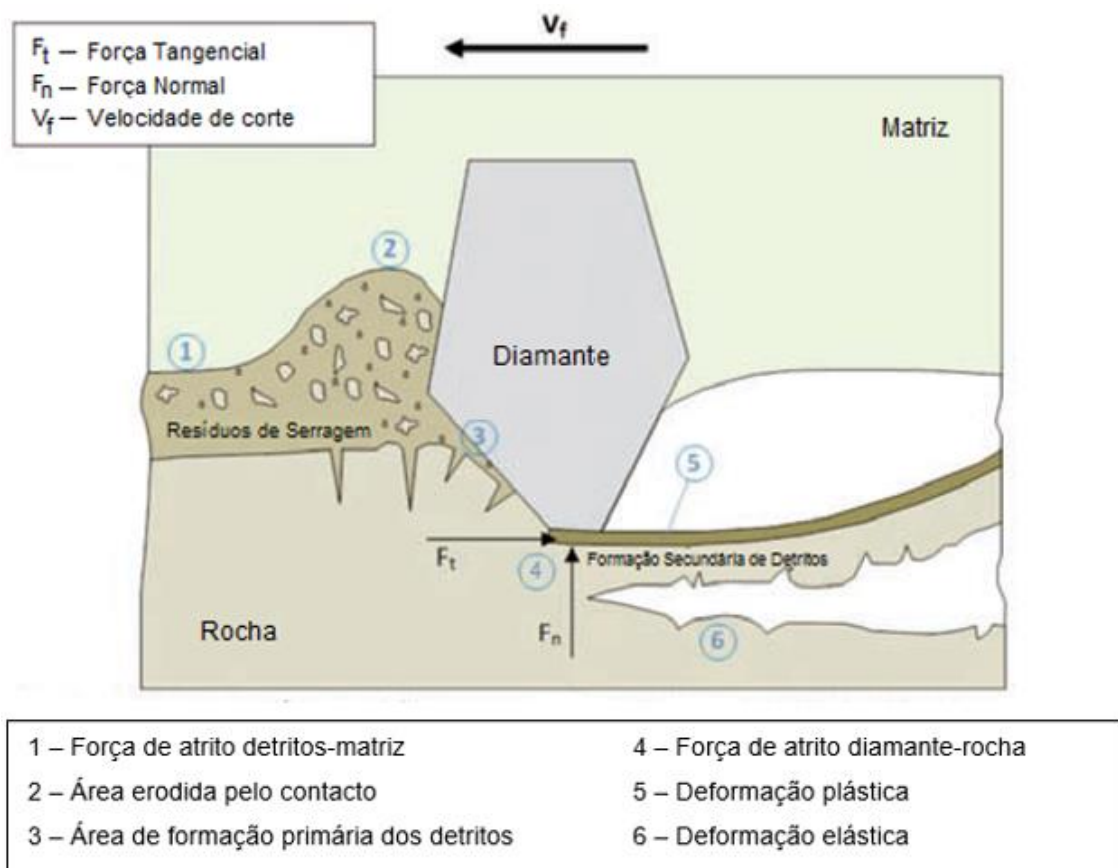


Figura 7 – Interação mecânica entre o segmento diamantado e a rocha durante o processo de serragem (adaptado de Tönshoff, H. K. *et al.*, 2002).

Para além da eficiência das operações de corte interessa muitas vezes considerar a respetiva economia, que depende logicamente da energia necessária para o corte. A energia consumida por unidade de volume de rocha escavada denomina-se por energia específica. De notar que esta grandeza não deve ser considerada como uma constante de cada rocha, pois depende das condições em que são feitos os cortes, em especial das dimensões dos fragmentos. Robleda, A. S. e Castro, J. T. (2009) definiram quais os fatores que afetam o consumo específico de energia (direta e indiretamente): os parâmetros de corte; tipo, tamanho e estrutura dos grãos diamantados; propriedades da rocha; condições do equipamento e condições ambientais.

4.1. Disco Circular Diamantado

O disco diamantado é composto por uma liga de aço com segmentos diamantados soldados na periferia. Pode estar associado a vários tipos de equipamentos, mas geralmente está incluído em sistemas de ponte que realizam movimentos horizontais e verticais. É um mecanismo de corte que tanto permite a serragem dos blocos em chapas, ou estas em ladrilhos ou bandas. Assim, a vantagem desta ferramenta corresponde à possibilidade de serrar em dimensões não standardizadas (Mello Mendes, F., 1979).

Representado na Figura 8, estão os principais parâmetros para o corte com disco diamantado: velocidade de rotação (V_s), velocidade de corte (V_w), profundidade de corte (a_p), força vertical (F_v), força horizontal (F_h), força normal (F_n) e força tangencial (F_t) (Robleda, A. S. e Castro, J. T., 2009).

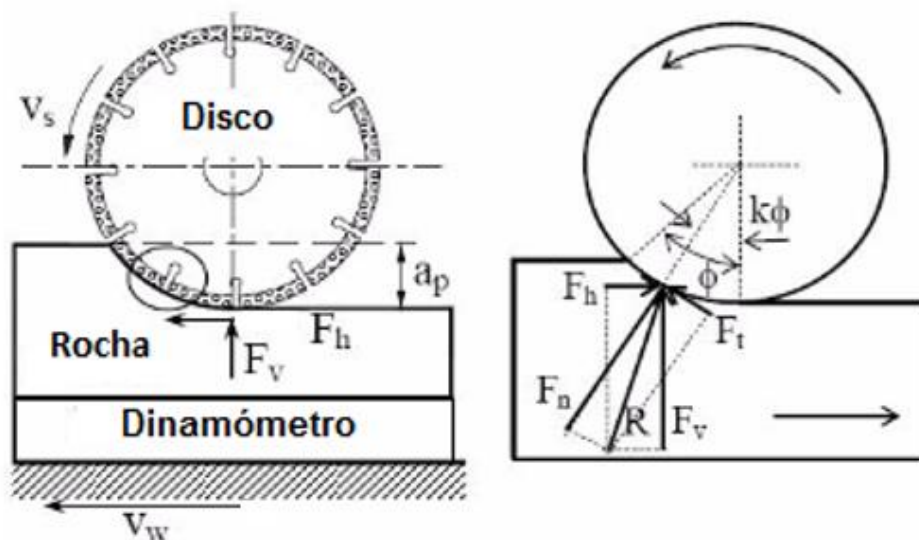


Figura 8 – Diagrama de forças de um disco durante a serragem. (Adaptado de Robleda, A. S. e Castro, J. T., 2009)

O sistema de corte pelo disco é resultado da rotação, numa direção constante, associada a uma elevada velocidade periférica que promove a rápida remoção dos detritos de rocha e possibilitando a

retenção dos diamantes devido à acumulação de matriz na parte posterior ao diamante, e que tem um efeito de apoio durante o corte (Konstanty, J., 2002).

Como já referido (Konstanty, J., 2002 e Tonshoff, H. K. *et al.*, 2002) a espessura dos detritos tem um papel fundamental para o processo de serragem, dependendo essencialmente da concentração e granulometria do diamante e da estrutura da ferramenta de corte. Pela Figura 9 mostra-se a dependência entre o diâmetro do disco, a profundidade de corte e a dimensão máxima das lascas de serragem.

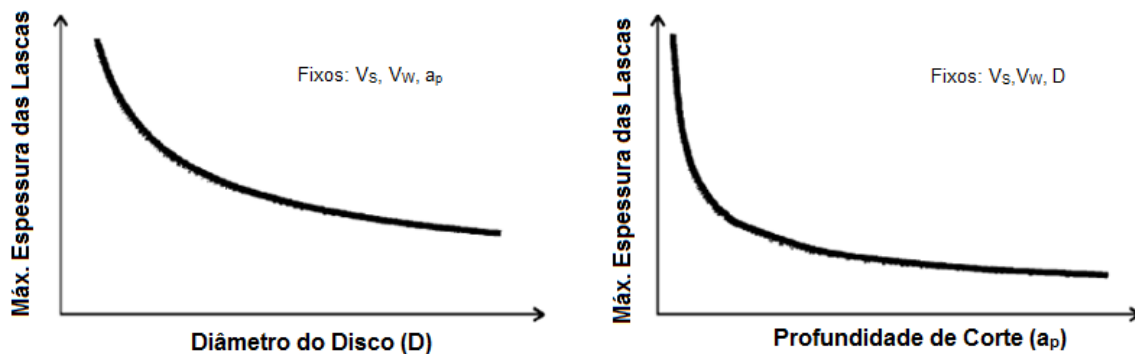


Figura 9 – O efeito do diâmetro do disco (esquerda) e profundidade de corte (direita) na máxima espessura das lascas de serragem. (Adaptado de Konstanty, J., 2002)

Quando, para espessura de chapas de rocha, velocidades de rotação e velocidade de corte fixas, a serragem é efetuada por discos de menor diâmetro, os segmentos ficam sujeitos a maiores forças fazendo com que a profundidade de indentação de cada diamante na rocha seja maior produzindo lascas de grande dimensão. Contrariamente, nos casos de maiores diâmetros do disco, a indentação na rocha é menor, originando lascas de menor espessura. Foram observados os mesmos resultados para diferentes profundidades de corte, considerando constantes a velocidade de rotação, a velocidade de corte e o diâmetro do disco (Konstanty, J., 2002).

A Figura 10 apresenta um esquema representante da espessura máxima serrada por um disco diamantado. Konstanty, J. (2002) definiu uma equação para estimar a espessura das lascas produzidas pelos diamantes que efetuam o corte, a partir da espessura média dos detritos produzidos continuamente pelo disco, denominando de espessura equivalente dos detritos (h_{eq}) (μm):

$$h_{eq} = \frac{5 v_f}{3 v_p} d \quad \text{Equação 1}$$

Onde v_f corresponde à velocidade de corte (cm/min), v_p à velocidade de rotação (m/s) e d à profundidade de corte (cm).

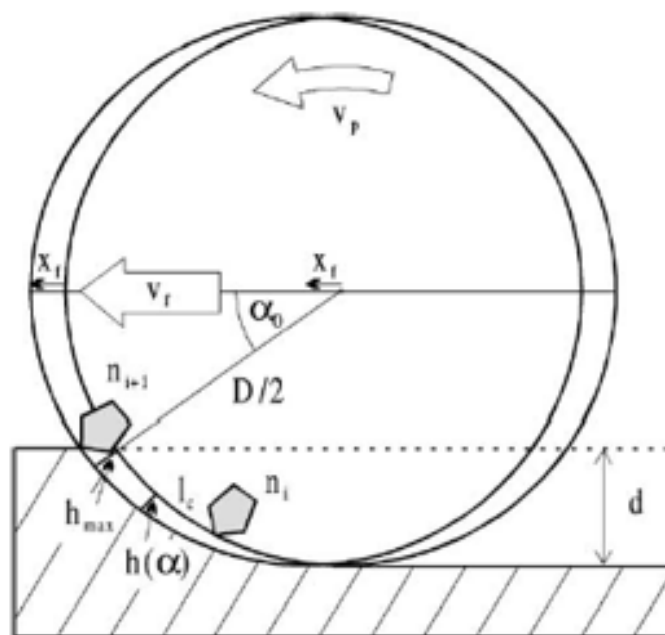


Figura 10 – Espessura máxima dos detritos (h_{max}) na serragem de rocha ornamental (Konstanty, J., 2002).

Vários autores, desenvolveram vários métodos, para estimar a produção horária de discos diamantados, a partir de regressões entre parâmetros técnicos e características das rochas a serrar. Burgess, R. B. (1978) propôs um modelo de regressão para a serragem, baseado na composição mineralógica, dureza, granulometria e resistência à abrasão. Guney, A. (2011), definiu modelos, onde a partir da dureza superficial e da granulometria dos minerais, efetuou uma previsão para a produção horária de chapa de rochas carbonatadas utilizando discos de grandes dimensões.

Kahraman, S. *et al.* (2004) realizaram um estudo, onde foi testada a possibilidade de prever a serrabilidade de rochas carbonatadas, utilizando modelos de regressão curvilínea múltipla. Segundo os autores a serrabilidade depende das características do equipamento, do tipo e diâmetro dos diamantes, da profundidade de indentação, do rendimento da serragem, do desgaste de ferramentas e das propriedades da rocha.

O trabalho prático, consistiu na observação e registo da serragem de blocos em chapa, através de discos diamantados, em fábricas de transformação. Assim foi realizada uma recolha de dados, sobre os parâmetros de serragem, para discos circulares (diâmetro, velocidade de rotação, velocidade de corte, profundidade de corte, dimensão das chapas e produção horária), bem como a realização de testes geomecânicos das rochas (resistência à compressão uniaxial e triaxial, teste brasileiro, teste do martelo de Schmidt, teste de carga pontual, teste de resistência ao impacto, teste de abrasão de Los Angeles e teste da velocidade das ondas P).

A validação dos modelos foi considerada pelo coeficiente de determinação (R^2), teste-t, teste-f e pelos gráficos de produção estimada versus produção observada. Utilizando como variável dependente, a

produção horária (m²/h), na serragem de chapa através de um disco diamantado, chegou-se à expressão que melhor representou os dados:

$$P = 0,096 \frac{R^{0,84} d^{0,80} ISI^{1,19}}{D^{0,41} \sigma_t^{0,43}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde R corresponde à velocidade de corte (cm/s), D ao diâmetro do disco (mm), d à profundidade de corte (cm), ISI a resistência ao impacto (%) e σ_t a resistência à tração (MPa).

Outros métodos de regressão múltipla foram aplicados, utilizando outras variáveis da rocha e do equipamento, contudo foi o modelo apresentado o que obteve a melhor correlação, com um valor de 98%.

4.2. Engenho Multilâmina

Wang, C. Y. e Clausen, R. (2003) definiram os principais fatores, que afetam o processo de serragem, no engenho multilâmina:

- Dimensões da grade, segmentos e rocha;
- Valor de pré-tensão das lâminas;
- Desempenho do segmento diamantado (resistência, concentração da matriz, granulometria e concentração do diamante);
- Propriedades da rocha (mineralogia, dureza e planos de clivagem);
- Parâmetros operacionais do engenho: número de batidas (número de vezes que a grade passa num mesmo ponto) e curso (comprimento máximo do movimento longitudinal e que está dependente do sistema biela-manivela).

O engenho multilâmina (Figura 11) consiste numa estrutura em forma de pórtico, metálica ou em betão armado, onde está suspenso, nas extremidades, um quadro metálico bastante rígido (grade) onde se fixa um conjunto de lâminas de aço dispostas paralelamente. O movimento é gerado pela rotação do volante de um motor, que controla os movimentos alternativos do quadro, através de duas manivelas ligadas ao eixo do volante pelas extremidades e que transmitem o movimento à grade, através de duas bielas.



Figura 11 – Engenho multilâmina (<http://www.mks.com.tr/en/products-2/gangsaw-machines>).

O corte é realizado num movimento horizontal de vai e vem da grade (com as lâminas incorporando os segmentos diamantados), de velocidade constante (dependente das características do equipamento) e de um movimento ascensional do bloco, assente numa plataforma horizontal (zorra), à qual é impressa uma velocidade variável (definida pelo operador). Ao processo de serragem está também ligado um sistema indispensável, a dispersão de água pelas lâminas, que tem um efeito refrigerador (permitindo manter as condições ótimas de corte) e que serve ainda para a remoção dos detritos da zona de corte.

Existem dois outros tipos de engenhos, que têm diferentes modos de serragem. Num dos sistemas, denominado de engenho de balancé, a grade horizontal desce em relação ao bloco a serrar, que está fixo (Figura 12). O movimento retilíneo da grade é assegurado por guias apropriadas, em geral amortecidas hidraulicamente. Nestes casos a biela de transmissão é geralmente bastante longa para não forçar essas mesmas guias (Mello Mendes F., 1979).



Figura 12 – Engenho de balancé.

Existe outro tipo de engenho que utiliza um sistema em que a grade se move num plano vertical e os blocos são pressionados, horizontalmente, contra as lâminas. As vantagens pretendidas para esta

conceção são as possibilidades de reduzir a suscetibilidade à flexão das lâminas, através da utilização de lâminas de menor comprimento, de as arrefecer mais facilmente com menor utilização de água e de obter melhor evacuação dos detritos de serragem. Contudo, este tipo de engenho parece ter causado dificuldades por exigir uma excepcional ancoragem dos blocos (para que não fiquem sujeitos a elevar-se). Além disso, sendo os cortes mais extensos (embora de menor comprimento), os riscos de desvios na serragem são superiores (Mello Mendes F., 1979). Por estas razões estes engenhos encontram-se atualmente em desuso.

Na Figura 13, está representado um esquema com a descrição detalhada dos componentes de um engenho de balancé, o mais utilizado até surgirem recentemente os engenhos de serragem ascensional.

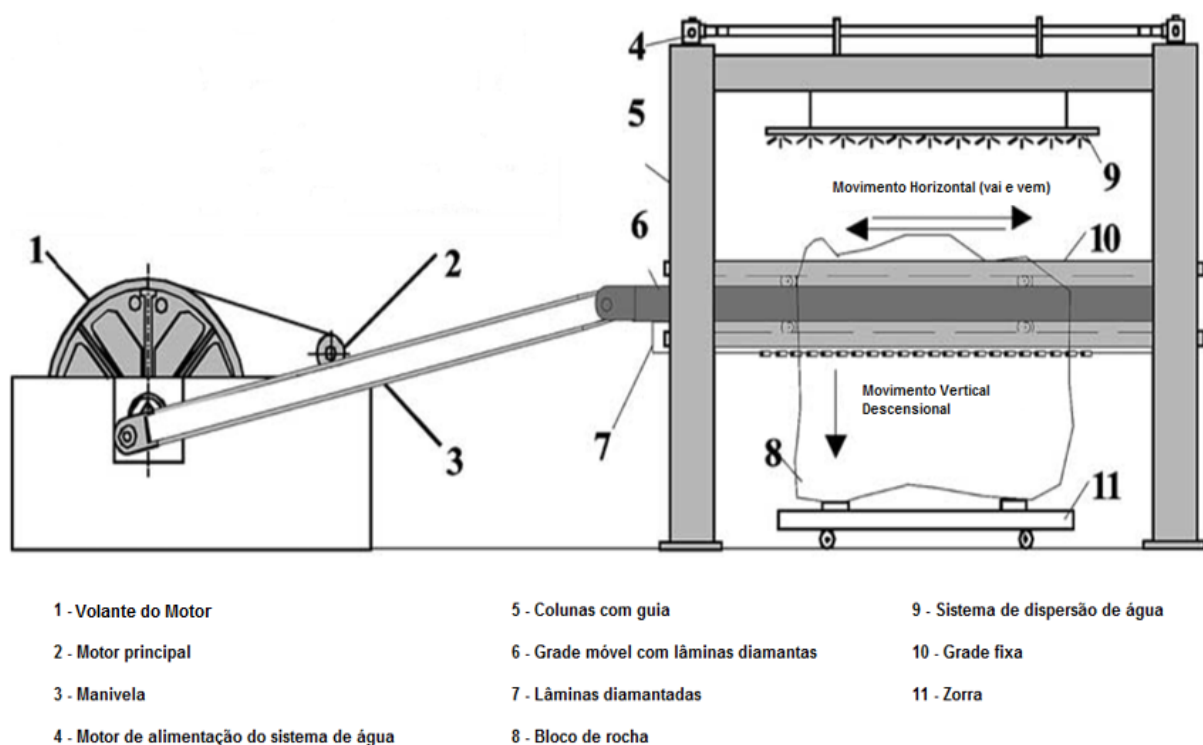


Figura 13 - Descrição de um engenho de balancé. (Adaptado de Robleda, A. S. e Castro, J. T., 2009)

Os principais constituintes do engenho, e que intervêm diretamente na serragem são a armadura, o quadro porta-lâminas, as bielias e as lâminas. A armadura é uma estrutura robusta constituída: por quatro colunas unidas por travessas simples e reticulares de aço; uma estrutura fixa por meio de fundação de betão armado e uma estrutura que suporta o marco porta-lâminas e o grupo de rega. O quadro porta-lâminas (grade móvel) é uma estrutura de aço mais ou menos retangular, de elevada resistência e cujos dois extremos permitem manter as lâminas tencionadas e paralelas para que não ocorram deformações durante o movimento. Este componente está ligado, pela manivela, ao sistema de rotação do motor, realizando movimentos alternados de vai e vem (Leal, F., 2011).

Sob o local de instalação do engenho existe uma bacia para recolha da mistura de água, abrasivo e finos provenientes da serragem. Esta mistura é canalizada para uma fossa, de onde é bombeada para

um sistema de ciclonagem e decantação, o qual faz o reaproveitamento das águas (Mello Mendes, F., 1979).

Algumas empresas utilizam algumas técnicas otimizadoras do processo de corte, bastante rudimentares, das quais, ainda hoje, se obtém resultados muito satisfatórios. Algumas delas passam pela redução da velocidade inicial de serragem, durante o contacto rocha-lâmina. Estas ações têm em vista garantir um corte retilíneo, sem possíveis desvios. Ainda no âmbito de realizar uma correta serragem, são tomados em conta outros procedimentos, tais como: colocar cunhas entre as chapas, verificar a correta refrigeração das lâminas e verificar periodicamente o poder de corte dos segmentos.

4.2.1. Segmento Diamantado

Segundo Konstanty, J. (2002), a manufatura dos segmentos diamantados depende de alguns fatores que podem ser imprevisíveis, mas também de alguns que já se tem em conta, tais como:

- Propriedades da rocha (composição mineralógica, dureza, resistência e granulometria)
- Forças envolvidas entre o equipamento, a ferramenta de corte e a rocha a serrar;
- Temperatura gerada e a sua distribuição na zona de corte.

Os segmentos (Figura 14) têm geralmente comprimentos totais de 20 a 40 mm e alturas até 10 mm, dos quais apenas cerca de 5 mm, são efetivamente ligas diamantadas. No entanto este valor não é fixo e vai depender da respetiva liga e do tipo, granulometria e concentração de diamantes (Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).



Figura 14 – Pormenor do segmento diamantado (x) incrustado na lâmina. (<http://www.diamant-boart.com/pt/gang-saw-blades/gang-saw-blades/>)

Existem vários processos de manufatura dos segmentos, dependendo da metodologia de cada produtor. Contudo a sua constituição básica é, geralmente, sempre a mesma. Assim sendo: cobalto, cobaltite, diamante e bronze são combinados em diferentes proporções para atingir a melhor abrasão da rocha consoante as suas características.

Anjinho, C. *et al.* (2013) testaram o corte através de diferentes tipos de matriz, mantendo a mesma porção e granulometria do diamante e as mesmas condições de serragem. Utilizaram uma mais

corrente, composta por cobalto e outra utilizando nióbio, defendida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil) in Anjinho, C. *et al.* (2013).

A diferença no comportamento dos dois tipos de matriz, utilizados, foi testada por comparação das forças verticais (Figura 15). Foi possível verificar que a ferramenta utilizando a matriz de cobalto, demonstrou menores forças verticais. Os autores relacionaram este resultado com uma melhor retenção do diamante no segmento, baseando-se na possibilidade de existir uma maior resistência ao desgaste e/ou uma maior capacidade para reter os grãos de diamante (enquanto estes penetram a rocha). Esta suposição, esteve de acordo com a caracterização das propriedades mecânicas de ambas as matrizes (Tabela 1), onde a matriz de Co, demonstra maior dureza e menor porosidade, o que explica a maior capacidade para reter os diamantes, resultando numa taxa superior de diamantes “ativos”, e que conseqüentemente se traduz numa menor força necessária para realizar o corte (Anjinho, C. *et al.*, 2013).

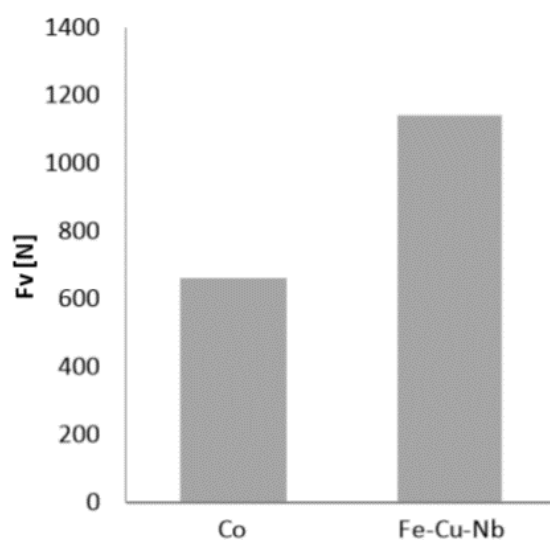


Figura 15 – Efeito da constituição da matriz na força vertical (adaptado de Anjinho, C. *et al.*, 2013).

Tabela 1 – Propriedades físicas e mecânicas (valores médios \pm desvio-padrão) dos dois tipos de matriz (adaptado de Anjinho, C. *et al.*, 2013).

Matriz	Co	Fe-Cu-Nb
Densidade (g/cm ³)	8,52 \pm 0,05	7,57 \pm 0,05
Porosidade (%)	1,0 \pm 0,5	11,5 \pm 0,6
Dureza (MPa)	2762 \pm 70	1048 \pm 25
Resistência à Flexão (MPa)	1522 \pm 83	258 \pm 30
Módulo de Young (GPa)	215 \pm 1	95 \pm 2

Segundo Konstanty, J. (2002) na serragem através de engenhos multilâmina, o movimento de vai e vem das lâminas, atrasa a remoção dos detritos de corte e causa um maior desgaste nas ferramentas de corte. Já na serragem através de disco, o movimento rotacional, numa direção constante, melhora a remoção dos detritos e produz uma melhor ação dos grãos de diamante. As forças aplicadas aos diamantes são muito diferentes no corte com disco e com lâminas. Para as lâminas, que geralmente atuam a baixas velocidades (cerca de 2 m/s), o impacto sobre os diamantes é baixo, ao passo que nos discos, que atuam a grandes velocidades rotacionais (geralmente nunca inferiores a 25 m/s), apresenta um maior impacto. Estes factos fazem com que a resistência do diamante tenha diferentes prioridades na escolha da composição do segmento diamantado, relativamente ao tipo de desgaste expectável.

Um fenómeno característico da serragem é, como já referido, o desgaste da ferramenta de corte, sendo este função da interação ferramenta-rocha. Sendo a rocha a “constante” do processo, é necessário adaptar a ferramenta. Esta tem em conta várias características da rocha: conteúdo de minerais abrasivos, granulometria, resistência à fratura e dureza. Outras variáveis como a temperatura gerada no contacto, as forças de corte e o tipo de contacto (deslizamento ou impacto) têm influência indireta (podem ser controladas).

O desgaste das ferramentas de corte pode ser definido como a remoção microscópica ou macroscópica, ou ainda a fratura dos componentes da ferramenta, pela superfície de trabalho, provocada por meios mecânicos. Mais especificamente, qualquer fator de redução do tempo de vida da ferramenta (Tamrock, 1999).

A superfície rochosa que contacta com a ferramenta de corte impõe diferentes tipos de desgaste, que podem ser abrasivos ou adesivos. Nos primeiros a resistência da rocha é alta, provocando a deterioração da ferramenta, geralmente a temperaturas não muito elevadas (inferiores a 500 °C). Já nos segundos a resistência oferecida pela rocha é baixa, o que muitas vezes pode dever-se a dificuldades de refrigeração, gerando temperaturas muito elevadas, que provocam um desgaste por fusão dos constituintes da ferramenta (Tamrock, 1999).

A velocidade de corte da ferramenta tem responsabilidades comprovadas relativamente ao desgaste, é sabido que para cada rocha há uma velocidade de serragem crítica que ao ser ultrapassada aumenta o desgaste (aumento da temperatura). A velocidade crítica é uma característica dependente da profundidade de indentação, da forma e constituição do elemento cortante (especialmente o tamanho do grão pelas propriedades condutoras de calor que representa esta característica) e da abrasividade da rocha (Figura 16) (Tamrock, 1999).

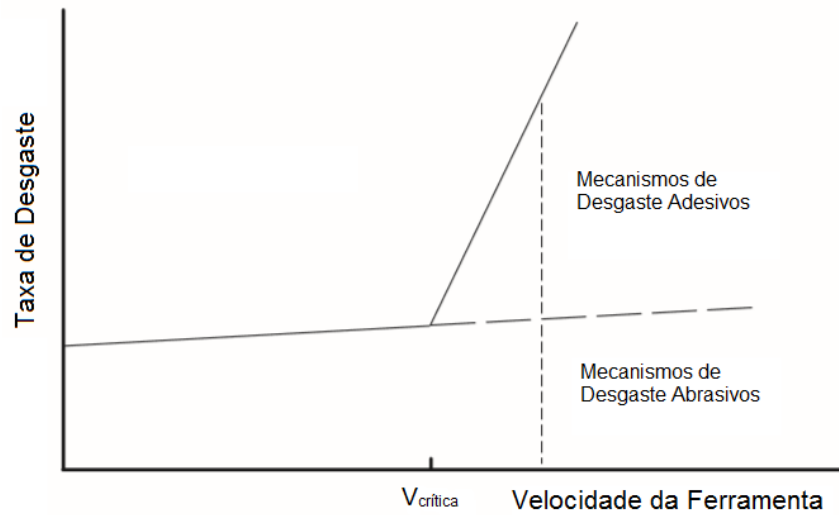





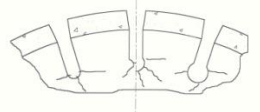



Figura 16 – Tendência típica para o desgaste de uma ferramenta como função da velocidade. (Adaptado de Tamrock, 1999)

Tendo em conta a importância do desgaste sofrido pela ferramenta de corte, devido maioritariamente a utilizações inadequadas, Leal, F. (2011) elaborou uma síntese de diferentes tipos de anomalias mais comuns dos segmentos diamantados e suas causas e consequências (Tabela 2).

Tabela 2 – Defeitos dos segmentos e sua descrição (adaptado de Leal, F., 2011).

Anomalias Segmentos	Diagrama representativo	Razões	Consequências
“Alisamento” do segmento com polimento dos diamantes		<ul style="list-style-type: none"> • Elevado índice de resistência ao impacto; • Liga demasiado dura; • Excessiva velocidade periférica; • Baixa abrasividade do material a cortar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do poder de corte; • Sobreaquecimento; • Vibrações; • Distensionamento do suporte metálico.
Diamante polido		<ul style="list-style-type: none"> • Resistência ao impacto elevada; • Alta concentração de diamante; • Insuficiente impacto sobre os diamantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perda gradual do poder de corte; • Desvios de corte; • Aumento de temperatura.
Diamante excessivamente fraturado		<ul style="list-style-type: none"> • Baixo índice de friabilidade / dimensão exagerada do diamante; • Vibrações excessivas devido a folgas na máquina; má fixação da pedra ou excentricidade da ferramenta; • Esforço abusivo do corte (operador); • Excessiva dureza do material a serrar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do poder de corte; • Dependendo da liga utilizada.
Sobreexposição de diamantes		<ul style="list-style-type: none"> • Baixa resistência à abrasividade da liga; • Excessiva abrasividade do material a cortar (para a liga utilizada); • Baixa concentração diamantada e ou tipo de liga inadequada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Boa velocidade de corte; • Baixa durabilidade das lâminas.

<p>Elevada perda de diamantes</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Resistência ao impacto elevada; • Má retenção dos diamantes devido a: excessiva porosidade incorrecta densidade da liga; • Má refrigeração da ferramenta; • Má distribuição do diamante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perda de poder de corte.
<p>Fraturas no aço</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Defeito de fabrico do suporte; • Excessiva de temperatura de soldadura; • Excessivo esforço de corte; • Excessivas vibrações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de vigilância constante.
<p>Perda parcial do segmento</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente fabrico dos segmentos; • Exagerado esforço de corte; • Empeno dos discos; • Defeito de soldadura; • Problemas do sistema equipamento/zorra (Excessivas forças laterais). 	<ul style="list-style-type: none"> • Se o número de segmentos partidos for exagerado haverá um desgaste prematuro; • Aumento de vibrações.

4.2.2. Lâmina Diamantada

As lâminas são formadas por uma chapa em aço, com espessuras variando entre 2 e 5 mm normalmente. Segundo Wang, C. Y. e Clausen, R. (2003) o aço constituinte é geralmente do tipo laminado, com alto teor em carbono, cuja resistência média à tração ronda entre os 5 e os 6 GPa. Ao longo do seu comprimento estão soldados os segmentos diamantados (Figura 14).

Nas extremidades das lâminas, encontram-se orifícios com cerca de 20 mm de diâmetro (Figura 17–e), que servem para a fixação nas grades dos engenhos, assentando sobre dois apoios, que irão permitir a fixação nos esticadores do engenho, permitindo assim o seu tensionamento.

Cada lâmina é estirada no seu eixo central de modo a criar uma deflexão, assim quando ela é esticada no engenho as extremidades das lâminas ficarão com tensões superiores às do eixo central. Este processo de fabrico é defendido pelos fabricantes como uma importante técnica para melhorar o processo de corte a qual, segundo eles, afeta de forma significativa, o desempenho do corte (Antunes, J., 2003).

Na Figura 17 apresenta-se um esquema da lâmina diamantada, que, como se observa, representa numa chapa alongada de aço de comprimento L_1 , altura F e espessura E , a qual serve de suporte a segmentos diamantados (b), ocupando o comprimento L_2 , espaçados entre si por uma distância variável L_3 (Robleda, A.S. e Castro, J.T., 2009).

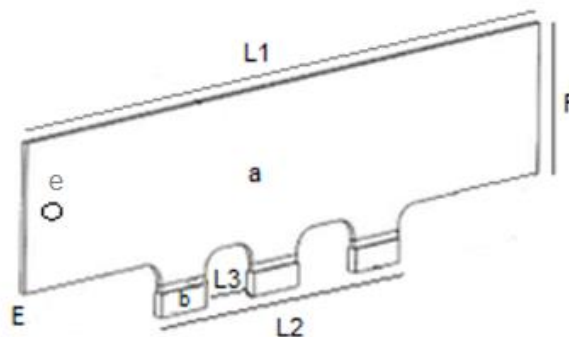


Figura 17 – Secção de Lâmina Diamantada em pormenor (adaptado de Robleda, A. S. e Castro, J. T., 2009).

Na Figura 18 está representado, em maior detalhe, a distância entre segmentos, variável, denominada tecnicamente de passo, sendo frequentemente a alternância de dois passos, P1 e P2. Esta alternância de passos destina-se, pelo menos em teoria, a eliminar vibrações relativas à ressonância entre a frequência de passagem dos segmentos e a frequência própria de vibração da lâmina, perpendicularmente ao seu plano. (Robleda, A. S. e Castro, J. T., 2009)

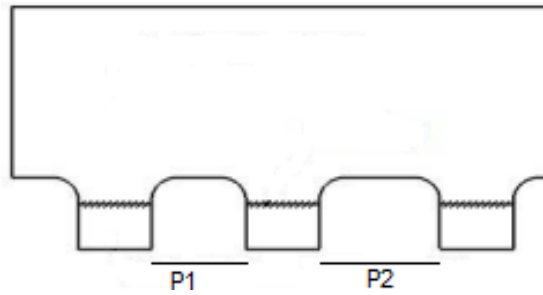


Figura 18 – Representação do passo da uma lâmina (adaptado de Robleda, A. S. e Castro, J. T., 2009)

4.3. Serragem através de Lâminas Diamantadas

O movimento horizontal (x) e vertical (y) descrito ao longo do processo de serragem, por lâminas, pode ser obtido através da Equação 3 e Equação 4 (Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003):

$$x = \frac{l_h}{2} [1 - \cos(2\pi \times n_k \times t_s)] \quad \text{Equação 3}$$

$$y = \frac{V_f}{60} \times t_s \quad \text{Equação 4}$$

Onde V_f corresponde à velocidade de serragem, l_h ao comprimento do corte, n_k à velocidade de rotação do volante do motor e t_s ao tempo decorrido por cada passagem das lâminas.

Os autores Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003 realizaram um estudo acerca do processo de serragem através de lâminas diamantadas. O tipo de rocha estudada, para o efeito, foi um mármore denominado Thassos, proveniente da Grécia. As especificações de serragem foram uma velocidade de serragem (V_f) de 10 mm/min e a velocidade de vai e vem de 90 batidas/min. Relativamente à ferramenta de corte, a lâmina foi incorporada com segmentos com uma fração de 22,72% de grãos de diamante.

No gráfico da Figura 19 está representado o movimento de vai e vem de uma lâmina, que foi simplificado, através de um referencial definido pelos investigadores, com corte para a frente e corte para trás, bem como o ponto de viragem entre os dois, correspondendo ao mecanismo de corte produzido.

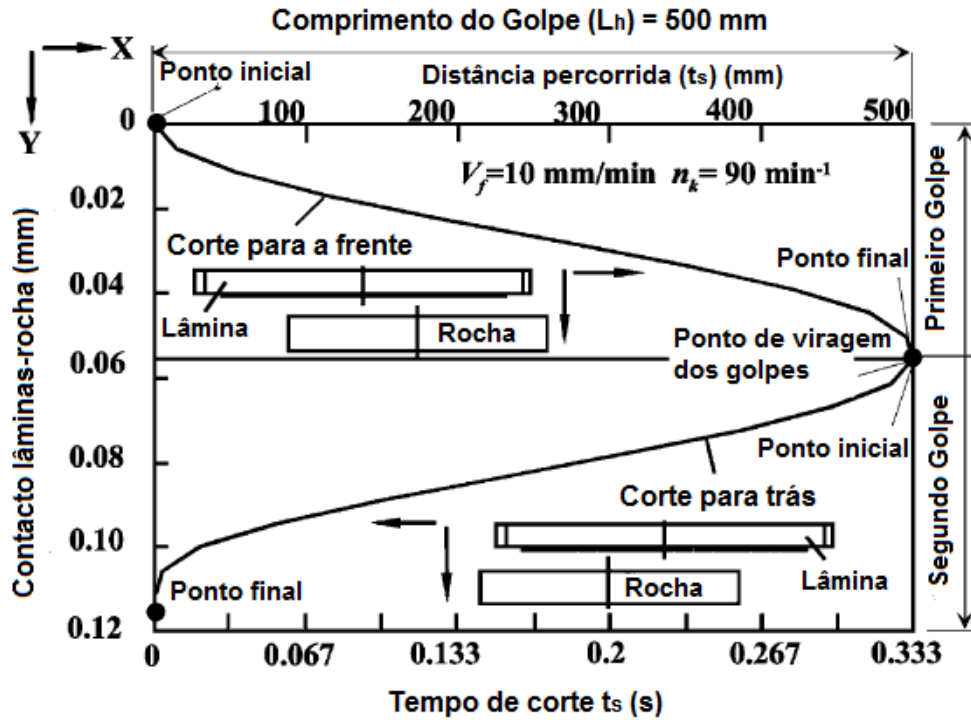


Figura 19 – Movimento da lâmina na serragem em relação ao comprimento do golpe gerado com o tempo de corte (adaptado de Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).

Na Figura 20 apresenta-se o modelo da lâmina utilizada para os ensaios realizados, na qual foram individualizados 3 de 30 segmentos, os quais correspondem a posições periféricas e a uma posição mediana. Sobre estes segmentos, realizaram-se estudos acerca da área de contacto com a rocha, profundidade serrada e forças envolvidas no corte.

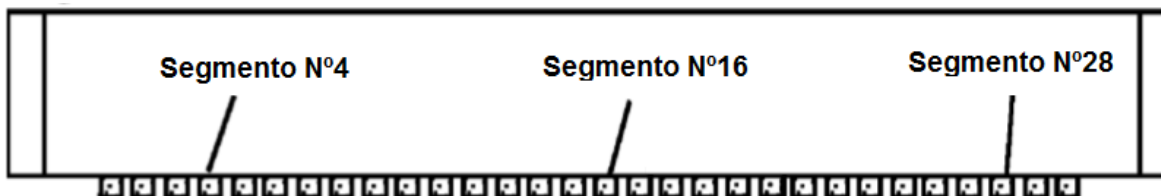


Figura 20 – Detalhe da lâmina utilizada nos ensaios (adaptado de Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).

Na Figura 21 representa-se a profundidade de corte, por segmento, de acordo com o tempo de serragem. Os segmentos demonstram diferentes profundidades de corte, no mesmo intervalo de tempo, devido às suas diferentes posições, ainda assim verificando-se uma tendência para o aumento da profundidade de corte com o tempo. Enquanto os segmentos se movem dentro de um bloco, a profundidade de corte aumenta de quase zero para o máximo, e retorna para zero quando os mesmos se encontrem fora do bloco, pela Figura 20 e Figura 21 é facilmente perceptível, que apenas os segmentos nº4 e 28 (segmentos periféricos) se deslocam em posições fora do bloco.

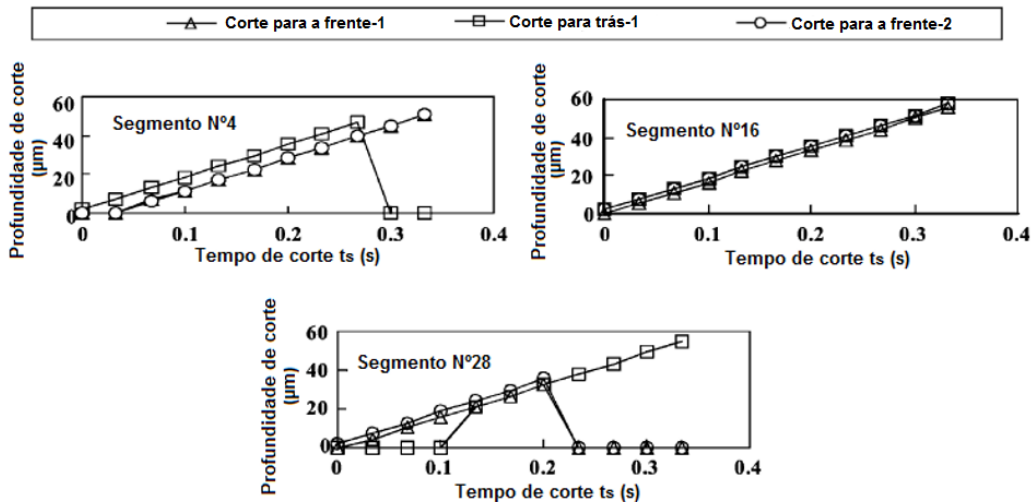


Figura 21 – Profundidade de corte de alguns segmentos de acordo com o tempo de corte (adaptado de Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).

Os autores fizeram uma individualização para o caso dos grãos de diamante que compõem os segmentos. Devido ao facto de a sua localização ser aleatória na superfície do segmento, as suas posições determinam a profundidade efetiva de corte por grão de diamante. A importância de cada grão está associada ao seu peso específico comparativamente ao grão mais solicitado na superfície do segmento. É também dependente da velocidade de serragem, da posição do grão de diamante na superfície do segmento, do percurso das lâminas e do comprimento do bloco.

Como demonstrado na Figura 22, o número de grãos que realiza o corte, denominados de diamantes efetivos (GDE), aumenta com o tempo de corte, embora a profundidade de corte por grão seja diferente. O segmento n°16 apresenta um aumento gradual do número de GDE até ao máximo, mantendo esse valor para as seguintes passagens das lâminas. Os segmentos n°4 e n°28 demonstram um aumento mais irregular dos GDE na primeira passagem, bem como nas seguintes devido ao seu contacto cíclico com o bloco.

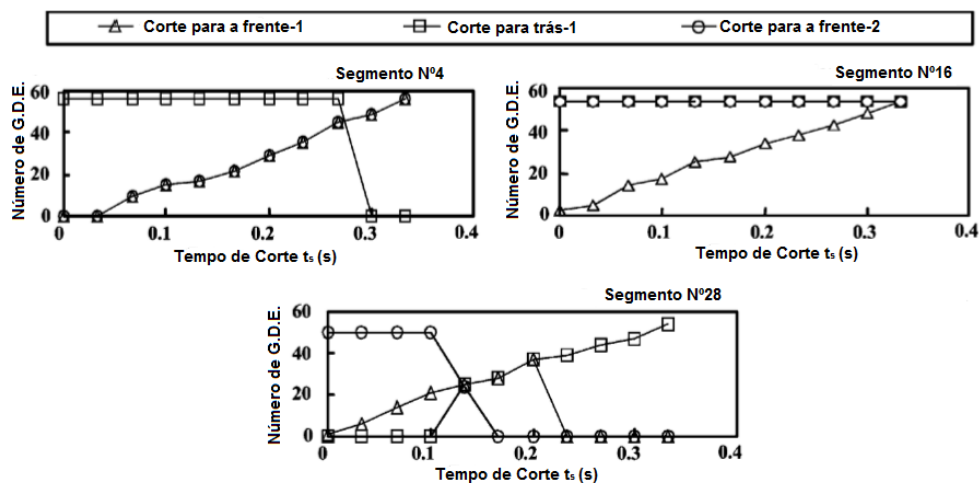


Figura 22 – Grãos de diamante efetivos (GDE) de vários segmentos de acordo com o tempo de corte (adaptado de Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).

Na Figura 23, estão representados os efeitos da velocidade de serragem, nos processos de corte pelos grãos de diamante efetivos, de acordo com o tempo de corte. O resultado foi a constatação de que o número de GDE aumenta com a velocidade de serragem (Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003).

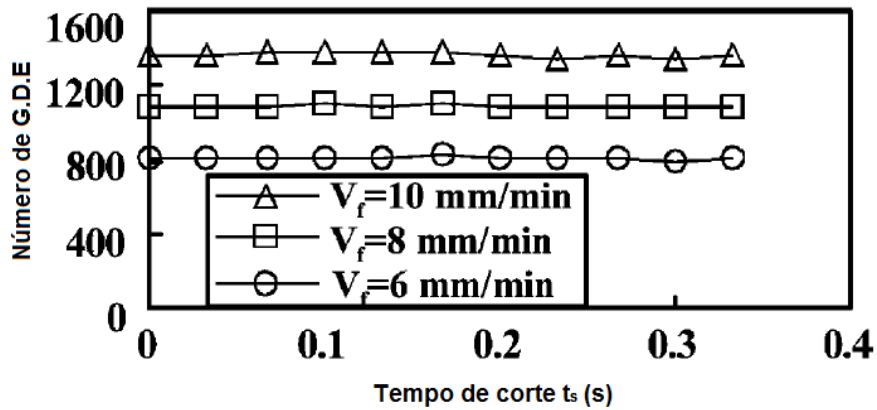


Figura 23 – Relação entre os grãos de diamante efetivos e o tempo de corte para várias velocidades de serragem (adaptado de Wang, C. e Clausen, R., 2003).

As forças dependem da profundidade de corte realizada por cada segmento. Na Figura 24 estão representadas as forças de corte de vários segmentos de acordo com o tempo de serragem. Durante este processo, foi observado que as forças têm um aumento gradual com o tempo, sendo que no ponto de viragem do movimento a força é anulada. O segmento nº16 apresentou as maiores forças de corte exercidas (cerca de 5N).

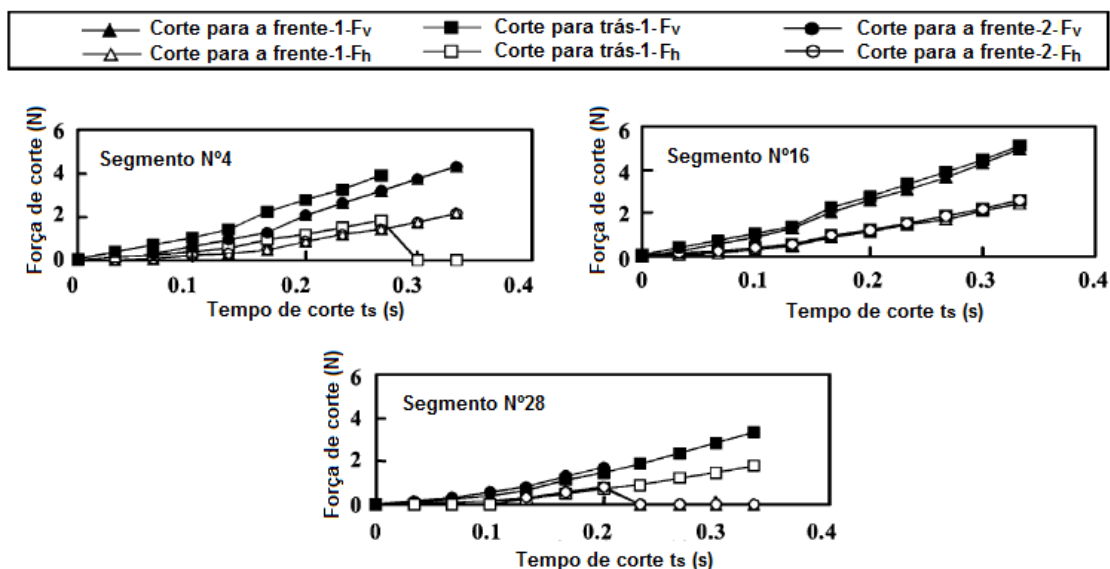


Figura 24 – Variação das forças de corte (normais e tangenciais), em diferentes segmentos, com o tempo de serragem (adaptado de Wang, C. e Clausen, R., 2003).

O gráfico da Figura 25, apoiado pela Figura 24, permite verificar em primeiro lugar que a força normal (F_v) é muito superior à força exercida tangencialmente (F_h) e ainda que o corte para a frente-1 inflige forças de corte, tanto normais como tangenciais, muito inferiores aos seguintes. Ficando comprovado que a otimização do processo de corte, só surge após uma primeira passagem das lâminas.

Constata-se também que os segmentos intermédios apresentam maiores forças de corte (têm maiores solicitações).

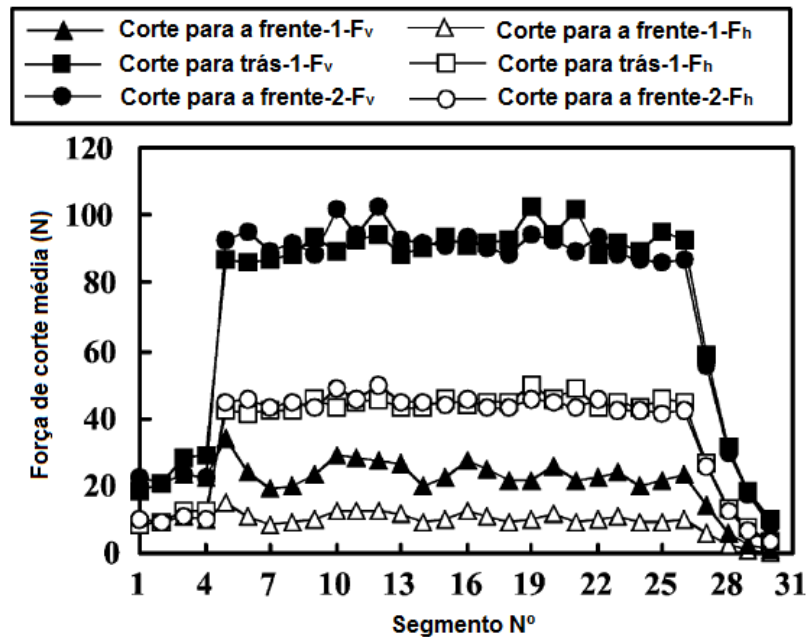


Figura 25 – Média das forças de corte (verticais e horizontais) realizadas por cada um dos segmentos da lâmina (adaptado de Wang C. e Clausen R., 2003).

Os autores Anjinho, C. *et al.* (2013) também realizaram um estudo acerca do fenómeno de corte com lâminas, onde realizaram uma experiência que consistiu na serragem de uma pequena chapa de calcário moleanos através de uma mesma lâmina diamantada, fazendo variar a velocidade de serragem, com o objetivo de obter a leitura das forças normais e tangenciais envolvidas. Os resultados obtidos estiveram de acordo com Wang, C. e Clausen, R. (2003).

Konstanty, J. (2002) em analogia com o processo de serragem através do disco diamantado e considerando que o bloco de rocha é serrado por uma lâmina que contém uma linha de diamantes efetivos da mesma largura e altura (Figura 26), aferiu algumas características do processo de serragem.

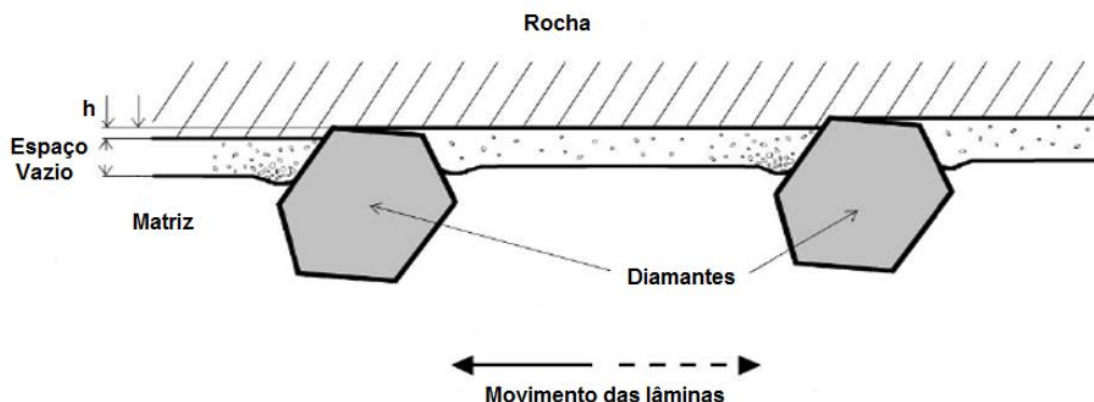


Figura 26 – Zona de corte em serragem através de lâminas diamantadas (adaptado de Konstanty, J., 2002).

Konstanty, J. (2002) definiu que a velocidade (horizontal) média da grade (mm/s) poderia ser expressa por:

$$\bar{v}_h = \frac{rpm}{30} \times l_s \quad \text{Equação 5}$$

Onde l_s é o comprimento do golpe (mm) e rpm são as rotações promovidas pela biela que transmite o movimento à grade (Figura 27).

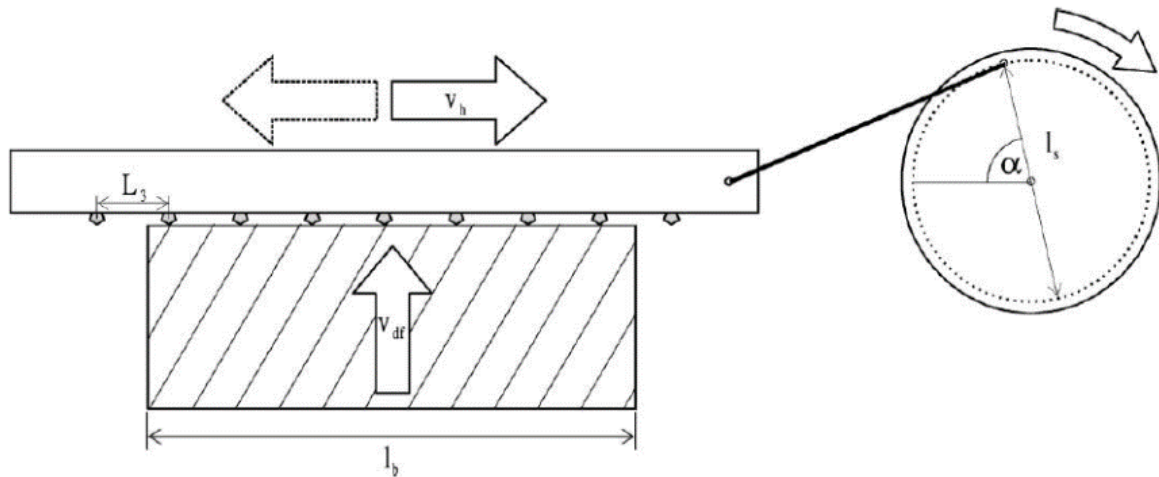


Figura 27 - Esquema de corte da lâmina sobre o bloco de rocha (Konstanty, J., 2002).

A espessura máxima dos detritos é atingida aquando da alteração do movimento, tal como determinado para o corte com disco (Konstanty, J., 2002), assim a espessura equivalente dos detritos (h_{eq}) (mm) pode ser determinada por:

$$h_{eq} = \frac{10^2 v_{df}}{36 \bar{v}_h} l_b \quad \text{Equação 6}$$

Onde v_{df} é a velocidade de serragem (cm/h), \bar{v}_h a velocidade média horizontal (mm/s) e l_b o comprimento do bloco (mm).

5. Caso de Estudo

Neste trabalho foi feita uma avaliação e interpretação dos fenómenos que interferem com o processo de serragem, com equipamentos diamantados, tendo como objetivo, a definição de um modelo de regressão linear múltipla que permitisse estimar a produção horária de chapas através de um engenho multilâmina.

Os dados de serragem foram recolhidos na empresa *Frazão Rochas, S.A.*, sediada na região das Serras de Aire e Candeeiros, mais especificamente em Pé da Pedreira (Alcanede, Santarém). A proximidade com a zona de exploração e o facto de pertencer a um grupo de empresas que incluem extração de rocha ornamental facilita a aquisição da matéria-prima.

A fim de adquirir conhecimento na área da transformação, foram ainda realizados estágios em duas empresas transformadoras de rocha ornamental, A *Geoinveste, S.A.* e a *ETMA, S.A.* localizadas em Estremoz e Vila Viçosa (respetivamente), na região do Anticlinal de Estremoz – Borba – Vila Viçosa.

5.1. Caracterização das Rochas Ornamentais Analisadas

Foram realizadas observações e registos de produção da serragem de 246 blocos, de oito tipos de rochas ornamentais portuguesas, 7 rochas calcárias e 1 mármore, cujos nomes comerciais são: Relvinha, Moca-Creme, Creme Alcanede, Azul Valverde, Atáija Creme, Rosal, Branco do Mar e Branco Estremoz. As informações de cada tipo de rocha foram obtidas a partir do trabalho de Carvalho, J. *et al.* (2012) e no site www.globalstoneportal.com, que seguidamente se descrevem com mais pormenor.

5.1.1. Relvinha, Moca-Creme e Creme Alcanede

A Relvinha, o Moca-Creme e o Creme Alcanede (Figura 28) são três tipos de calcário cuja cor varia entre várias tonalidades de creme, caracterizados por uma veia paralela e fundo uniforme. Mineralogicamente são absolutamente dominados por calcite. Pertencem à época entre o Batoniano inferior e médio (Jurássico médio). A sua origem é semelhante, oriundas do Maciço Calcário Estremenho (Orla Mesocenozóica Ocidental), mais especificamente da formação de Valverde, são aflorantes em Pé da Pedreira, a norte de Alcanede (Santarém), na terminação do sudoeste do Planalto de Santo António.

O Moca Creme apresenta as variedades de grão grosso, médio e fino. A variedade Relvinha é muito semelhante ao moca creme de grão fino mas difere deste por apresentar uma grande regularidade de laminações sedimentares paralelas entre si e por uma maior homogeneidade granulométrica. Já o Creme Alcanede caracteriza-se por uma granulometria fina, algo semelhante ao Relvinha, associado a uma presença mais abundante de elementos fossilíferos.



Figura 28 - Relvinha, Moca-Creme e Creme Alcanede.

5.1.2. Azul Valverde

O Azul Valverde (Figura 29) é um tipo de calcário azul-escuro / acinzentado, que apresenta uma variância do grão entre fino e médio. Pode apresentar zonas mais claras e outras mais escuras com um tom acastanhado em algumas partes. Apresenta uma composição mineralógica típica dos calcários, com uma presença de calcite de 93%, contudo varia pela presença de dolomite (aprox. 3%) e os cerca de 4% restantes de quartzo, feldspato, fluorite e óxidos de ferro. Oriundo da formação de Montejunto, datada do Jurássico Superior (Oxfordiano médio a superior), localiza-se na zona de Covão Alto, a norte de Alcanede, num prolongamento para Este da mancha de afloramentos da depressão da Mendiga.



Figura 29 – Azul Valverde.

Este tipo de calcário apresenta planos de clivagem bem pronunciados no sentido da sua deposição, daí que apenas a serragem a favor apresenta bons resultados.

5.1.3. Ataija creme

A Ataija Creme (Figura 30) é um calcário bege claro, de grão fino e fundo uniforme. Apresenta algumas variações, tais como zonas mais claras e outras mais escuras. É basicamente constituído por calcite (aprox. 99%) com vestígios de quartzo. Pertence à unidade de calcários dos Moleanos, mais

propriamente no núcleo da Ataija, onde ocorre conjuntamente com o vidro de Ataija Azul. É datado da época do Caloviano Inferior-médio (Jurássico Médio).

Comercialmente é valorizado o corte efetuado paralelamente em relação às laminações sedimentares (corte a “favor”).



Figura 30 – Ataija Creme.

5.1.4. Rosal

O Rosal (Figura 31) é um calcário bege claro, de grão fino e fundo uniforme. Mineralogicamente é constituído por calcite. Oriundo da unidade de calcários do Codaçal, as camadas exploradas integram-se na Formação Valverde, de idade Batoniana (Jurássico Médio), largamente representada no Maciço Calcário Estremenho (Orla Mesocenozóica Ocidental).

É uma rocha que apresenta laminações sedimentares pouco vincadas, mas de atitude pouco uniforme, pelo que o corte final é feito a “favor” dessas laminações.



Figura 31 – Rosal.

5.1.5. Branco do Mar

O Branco do Mar, também conhecido como semi-rijo do Arrimal (Figura 32), é um calcário esbranquiçado de grão fino, composto integralmente por calcite. O corte é geralmente efetuado a “favor” da laminação sedimentar. As camadas em exploração pertencem à Formação Moleanos, mais propriamente no núcleo de Salgueiras, a qual faz parte do Maciço Calcário Estremenho (Orla Mesocenozóica Ocidental). A respetiva idade geológica é Caloviana Inferior (Jurássico Médio).



Figura 32 – Branco do Mar.

5.1.6. Branco Estremoz

O Branco Estremoz (Figura 33) é um mármore branco, com a predominância de um grão que vai de fino a médio e com uma ligeira veia acastanhada, podendo ainda, por vezes, apresentar algumas áreas mais claras de cor rosa ou acastanhada. Apresenta algumas variações que vão depender do tamanho da veia, bem como da variação do branco e da textura do fundo. A sua estrutura mineralógica apresenta 95% de calcite, sendo os restantes 5% ocupados por quartzo, feldspato, moscovite e alguns minerais opacos. A idade geológica prevê-se que seja o Câmbrio Inferior, integrando-se no flanco SW do anticlinal de Estremoz- Borba- Vila Viçosa.



Figura 33 – Branco Estremoz.

5.2. Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho foi organizada em três etapas: primeiro foram recolhidos dados relativos à operação de serragem de chapas, a partir de blocos, através de um engenho multilâmina; uma segunda etapa onde se fizeram cálculos e se avaliaram correlações entre as variáveis; e por último numa terceira etapa, a definição de um modelo de regressão linear para estimar a produção horária.

Os dados foram recolhidos tendo como base alguns parâmetros envolvidos no sistema ferramenta de corte – rocha, definidos por Wang, C. Y. e Clausen, R. (2003) (Tabela 3):

Tabela 3 – Fatores influenciadores do processo de serragem. (Adaptado de Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003)

Características dos Influenciadores de Serragem			
Lâmina	Segmento Diamantado	Condições de Corte	Rocha
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Comprimento da lâmina; ➤ Comprimento efetivo de corte da lâmina; ➤ Tensão da lâmina; ➤ Número de Segmentos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mistura metálica; ➤ Concentração do diamante; ➤ Comprimento do segmento; ➤ Espaçamento entre segmentos; 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Velocidade de serragem; ➤ Velocidade de vai e vem; ➤ Profundidade de indentação; ➤ Raio do volante do motor; ➤ Líquido refrigerador. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Propriedades da rocha; ➤ Dimensões do bloco; ➤ Posição do bloco na zorra.
Resultados de Serragem			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forças de corte da lâmina e dos segmentos. ▪ Desgaste da lâmina e dos segmentos. ▪ Deformação da lâmina. ▪ Qualidade das chapas. 			

Os dados recolhidos na fábrica de transformação, relativamente à serragem das rochas anteriormente descritas pelo engenho multilâmina, foram classificados em três categorias:

- Parâmetros Operacionais:
 - Características operacionais do engenho;
 - Características das ferramentas de corte.
- Parâmetros de Observação:
 - Medidas dos blocos de entrada;
 - Velocidade de serragem;
 - Tempo de serragem.

- Propriedades geomecânicas das Rochas:
 - Ensaios laboratoriais para análise das rochas serradas.

5.2.1. Parâmetros Operacionais

Os blocos de rocha ornamental foram serrados num engenho de uma fabricante portuguesa, a A. J. Figueiredo, modelo SB 80 L, com sistema de serragem ascendente (da plataforma incluindo o bloco).

Na Tabela 4 estão representadas as características do engenho e da ferramenta de corte, utilizadas durante a serragem das rochas estudadas:

Tabela 4 – Características do equipamento e ferramentas de corte.

Características		
Engenho	Velocidade de vai e vem (Batidas p/ minuto)	90
	Distância entre lâminas (cm)	2
	Velocidade máxima de serragem (cm/h)	40
	Consumo ótimo energético (A)	60
Lâminas	Número	80
	Curso (cm)	80
	Comprimento (m)	4,2
	Altura (cm)	10
	Tensão aplicada (MPa)	45
Segmentos Diamantados	Quantidade	28
	Dimensões	
	Comprimento (cm)	2
	Largura (cm)	0,8
	Espessura (cm)	0,6
	Composição	
	Cobalto (%)	30
	Cobaltite (%)	30
	Bronze (%)	15
	Diamante	(%)
Granulometria (mm)		0,35

Tal como referido anteriormente, a composição do segmento diamantado faz parte da “receita” de cada produtor, daí que os valores percentuais fornecidos são valores aproximados indicados pelo fornecedor, pertencente à empresa *Fabrimar, S.A.* (www.fabrimar.net).

5.2.2. Parâmetros de Observação

Todos os dados recolhidos por observação do processo de serragem nas fábricas permitiu chegar a detalhes mais pormenorizados (Anexo 1).

Ao dar entrada no engenho multilâmina, são registadas as medidas dos blocos (comprimento, largura e altura). De seguida o equipamento é ativado, iniciando o movimento de vai e vem da grade. O contacto ferramenta-rocha ocorre a uma velocidade de serragem mais lenta, sendo depois configurada para a velocidade que apresenta o consumo ótimo, definida pelo fabricante (60 A).

Para chegar aos valores da produção horária, é necessário determinar a área serrada por unidade de tempo:

$$P_{horária} = \frac{\text{Área Serrada}}{\text{Tempo de Serragem}} \quad \text{Equação 7}$$

Onde a área serrada corresponde à área de corte efetuada por cada uma das lâminas, e o tempo de serragem ao período decorrido durante o corte.

Outra variável calculada foi a profundidade de indentação (P_i), isto é, a profundidade que é atingida por cada passagem das lâminas:

$$P_i = \frac{\text{Velocidade de Serragem}}{\text{Velocidade de vai e vem}} \quad \text{Equação 8}$$

5.2.3. Propriedades Geomecânicas das Rochas

No que respeita às rochas estudadas, foram utilizados resultados de ensaios laboratoriais da empresa *Frazão Rochas, S.A.*, específicos para pedra natural (Normas Portuguesas, NP). Do conjunto foram selecionados os seguintes dados: resistência à flexão, resistência à compressão uniaxial, resistência ao desgaste, porosidade aberta e a densidade aparente para cada um dos tipos rochas serradas. As amostras de rocha, para caracterização mecânica e física, foram obtidas a partir de blocos representativos, de todos os tipos de rocha aqui estudados.

Ensaio de Compressão Uniaxial

Os ensaios de compressão uniaxial, resumidos na Tabela 5, realizaram-se em amostras cúbicas, com as dimensões 50 x 50 x 50 (mm), segundo a norma EN 1926:2006. As amostras foram carregadas até se atingir a rotura, a um carregamento constante entre 0,5 e 1 MPa/s, sendo assim possível determinar a resistência à compressão uniaxial (R) pela fórmula:

$$R = \frac{F}{A} \quad \text{Equação 9}$$

Onde F corresponde à força de rotura e A relativa à área da secção carregada.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial segundo a norma EN 1926:2006.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL (MPa)				
ROCHA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
MOCA CREME	73	97,3	90	8
AZUL VALVERDE	98	206	145	38
BRANCO ESTREMOZ	95,1	77,3	94	8,9
RELVINHA	86	91	89	2
CREME ALCANEDE	85	120	108	11
ROSAL SV	60	94	81	10,2
ATAÍJA CREME	130	221,6	162	33,8
BRANCO DO MAR	64	107	86	17

Resistência à Flexão

Os ensaios de resistência à flexão, resumidos na Tabela 6, foram realizados segundo a norma EN 12372:2006, em provetes com as dimensões médias de 300 x 50 x 50 (mm) a um carregamento constante de 0,25 ± 0,05 MPa/s. A determinação da resistência à flexão (R_f), deu-se pelo carregamento da amostra até atingir a rotura, pela fórmula:

$$R_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad \text{Equação 10}$$

Onde F corresponde à força de rotura, l ao comprimento da amostra, b à largura da amostra e h à espessura da amostra.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de resistência à flexão segundo a norma EN 12372:2006.

RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa)				
ROCHA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
MOCA CREME	11,4	15,9	14	1,3
AZUL VALVERDE	15,9	22,9	19,1	2,1
RELVINHA	9	14,6	12,4	1,8
BRANCO ESTREMOZ	27	19,8	20,4	3,1
CREME ALCANEDE	10,4	12,6	11,7	0,9
ROSAL SV	6,2	8,1	7,2	0,6
ATAÍJA CREME	9,8	19,4	13	3,1
CREME DO MAR	11,4	13,2	12,3	0,7

Resistência ao Desgaste

A resistência ao desgaste, segundo o método de Capon, foi medida em provetes de rocha com as dimensões 150 x 150 x 30 (mm), segundo a norma EN 14157:2004. Os resultados simplificados apresentam-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados do ensaio de resistência ao desgaste segundo a norma EN 14157:2004.

RESISTÊNCIA AO DESGASTE (mm)				
ROCHA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
MOCA CREME	21	25	24	1,4
AZUL VALVERDE	20,5	22,5	21,5	0,8
RELVINHA	28	31,5	29	1,4
BRANCO ESTREMOZ	22,78	20,4	20,9	0,6
BRANCO ALCANEDE	22	26	24,5	1,5
ROSAL SV	27,5	31,5	29	1,6
ATAÍJA CREME	19,5	22,8	21,6	1
CREME DO MAR	27,5	29	28	0,7

Porosidade Aberta e Densidade Aparente

Os ensaios de porosidade aberta e densidade aparente, apresentados simplificados na Tabela 8 e na Tabela 9, foram realizados em conjunto, em amostras de rocha cúbicas (50 × 50 × 50) (mm), de acordo com a norma EN 1936:2006.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de medição da porosidade aberta segundo a norma EN 1936:2006.

POROSIDADE ABERTA (%)				
ROCHA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
MOCA CREME	7,1	8,9	7,9	0,7
AZUL VALVERDE	2,4	3,1	2,8	0,2
RELVINHA	9,4	10,2	9,7	0,3
BRANCO ESTREMOZ	0,23	0,17	0,19	0,02
BRANCO ALCANEDE	8,7	9,7	9,2	0,4
ROSAL SV	13,6	14,2	13,8	0,2
ATAÍJA CREME	1,5	1,7	1,65	0,08
CREME DO MAR	9,3	10,7	10,1	0,4

Tabela 9 - Resultados do ensaio de medição da densidade aparente segundo a norma EN 1936:2006.

DENSIDADE APARENTE (Kg/m³)				
ROCHA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
MOCA CREME	2410	2460	2440	19
AZUL VALVERDE	2590	2610	2600	5,8
RELVINHA	2360	2390	2370	10
BRANCO ESTREMOZ	2710	2718	2713	3,6
BRANCO ALCANEDE	2380	2400	2390	10
ROSAL SV	2200	2230	2220	10
ATAÍJA CREME	2657	2670	2660	5,8
CREME DO MAR	2330	2380	2350	16

5.2.4. Previsão da Produção Horária do Engenho Multilâmina

Para estimar a produção horária (m^2/h), foi realizada uma análise de regressão, referente aos dados de serragem dos 246 blocos registados (Anexo 1), selecionada a partir de vários modelos de regressão linear múltipla. Estes modelos consideram, como variável dependente, a produção horária de chapa, prevista a partir de diferentes parâmetros quantitativos.

Utilizando o *software Matlab*, foi definido um modelo de previsão que consiste em fatores quantitativos e da variável dependente, obtidos pela recolha de dados efetuada. Após a remoção das variáveis colineares, através da respetiva análise de colinearidades, foram definidas as seguintes variáveis:

- Parâmetros quantitativos: comprimento do bloco, largura do bloco, velocidade de serragem, profundidade de indentação e resistência à compressão uniaxial.
- Variável dependente: produção horária de chapa.

A relação matemática entre os parâmetros quantitativos e a variável dependente pode ser genericamente definida por:

$$P_h = f(C_b, L_b, V_s, P_i, RCU) \quad \text{Equação 11}$$

Onde P_h representa a produção horária (m^2/h), C_b e L_b representam, respetivamente, o comprimento e largura do bloco (m), V_s a velocidade de serragem (cm/h), P_i a profundidade de indentação e RCU a resistência à compressão uniaxial (MPa).

Foram experimentados vários modelos de regressão linear múltipla, aproximados à função dada pela Equação 11, com as variáveis originais e/ou transformadas:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \epsilon \quad \text{Equação 12}$$

Onde $y = P$, $y = \ln(P)$ ou $y = \text{Boxcox}(P)$; $X_1 = C_b$ ou $X_1 = \ln(C_b)$; $X_2 = L_b$ ou $X_2 = \ln(L_b)$; $X_3 = V_s$ ou $X_3 = \ln(V_s)$; $X_4 = P_i$ ou $X_4 = \ln(P_i)$ e $X_5 = RCU$ ou $X_5 = \ln(RCU)$.

A transformação Box-Cox identifica automaticamente uma transformação da família de transformações de y , representadas pela forma (Kutner, M. H., 2005) :

$$Y' = Y^\lambda \quad \text{Equação 13}$$

Onde λ é o parâmetro a ser determinado a partir dos dados. O procedimento utilizado pelo Box-Cox recorre ao método da máxima verosimilhança, para estimar λ (Kutner, M. H., 2005).

Após o processo de inserção dos dados e da definição das variáveis, as variáveis quantitativas serão representadas por uma matriz retangular (X), de tamanho $n \times k$, em que cada linha da matriz representa uma observação. O número de colunas, k , da matriz, é igual à soma do número de parâmetros quantitativos.

A singularidade do resultado e a qualidade do exercício de previsão dos parâmetros, através de modelos de regressão linear múltipla, pela aplicação do método dos mínimos quadrados, é extremamente dependente da detecção e eliminação de colinearidades, da perfeita relação linear entre as colunas da matriz X (colunas linearmente dependentes) ou de colunas fortemente correlacionadas (valor absoluto dos coeficientes de correlação maior ou igual a 0,99) (Kutner, M. H. *et al.*, 2005; Draper, N. R. e Smith, H., 1998).

Uma técnica simples, utilizada neste estudo, para a identificar e eliminar colinearidades, é baseada na construção de uma matriz quadrada (C), $k \times k$, dos coeficientes de correlação entre os pares de colunas da matriz X. Aqui, uma coluna dos pares de colunas que tenha valores absolutos maiores que 0,99, é removida da matriz X. Uma outra técnica alternativa consiste na aplicação do método de eliminação de Gauss-Jordan (Strang, G., 1988), com a redução da matriz X à forma de matriz linha, através da identificação da linearidade das colunas independentes pela classificação automática da matriz X.

As análises de regressão de dados podem ser realizadas por proposta e validação de vários modelos de regressão linear múltipla. A validação de cada modelo candidato inclui a significância estatística dos parâmetros estimados, a adequação do modelo ajustado pela análise da variância (decomposição da soma total dos quadrados dos resíduos) e a qualidade estatística do modelo de regressão por análise residual.

Os coeficientes estimados do modelo de regressão são a solução para o problema de otimização, também conhecidos como o problema dos mínimos quadrados (Ju, S. H., 2007; Kutner, M. H. *et al.*, 2005):

$$\min SQR = \sum_{i=1}^n (y_i - (X\beta)_i)^2 \quad \text{Equação 14}$$

Onde, y_i é o valor observado da variável dependente na i -ésima observação, β o vetor coluna cujos elementos são os coeficientes do modelo e $(X\beta)_i$ é a i -ésima linha do vetor $X\beta$.

Se as colunas da matriz X forem linearmente independentes, a solução $\hat{\beta}$, que minimiza o erro da função da soma dos quadrados, é a única solução do sistema não-singular de equações lineares:

$$(X^T X)\hat{\beta} = X^T y \quad \text{Equação 15}$$

Onde y inclui as n observações do vetor da variável dependente.

A solução de $\hat{\beta}$ pode ser representada por:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y \quad \text{Equação 16}$$

Os valores esperados, \hat{y}_i , $i = 1, 2, \dots, n$ são obtidos por:

$$\hat{y}_i = (X\hat{\beta})_i, i = 1, 2, \dots, n \quad \text{Equação 17}$$

Em análise de regressão, existem alguns critérios para a avaliação da adequação do modelo, no que diz respeito aos dados recolhidos no terreno. Estes critérios também têm a capacidade de avaliar a capacidade de generalização desses modelos, quando são utilizados para fins de previsão.

Neste caso de estudo, os critérios de avaliação dos modelos utilizados, foram:

- 1) Os coeficientes de determinação (R^2 e R^2 ajustado);
- 2) Análise dos resíduos com transformação t-student;
- 3) Análise da estatística F;
- 4) Significância das variáveis (Valor $p_{\text{coef.}} \leq 0,05$);
- 5) Critérios de informação de Akaike e Schwarz-Bayesiano (AIC e SBIC).

A análise cuidada e individual, em conjunto com os critérios anteriormente descritos, resulta na obtenção do melhor modelo candidato, com a melhor generalização dos dados.

6. Resultados e Discussão

Os dados foram recolhidos tendo em vista a caracterização do processo de serragem do engenho multilâmina em estudo, com o objetivo final de caracterizar a produção horária. Desta maneira e tendo em vista relacionar a interação ferramenta de corte – rocha, foi analisada inicialmente a profundidade de indentação, a cada passagem das lâminas, para cada tipo de rocha, como se descreve de seguida.

6.1. Correlações entre a profundidade de indentação e as propriedades mecânicas das rochas

Uma característica da fenomenologia do contacto ferramenta-rocha é a profundidade de indentação do segmento na rocha, dependente da velocidade de serragem e da velocidade de vai e vem (Equação 8) e que, conseqüentemente, vai depender também dos parâmetros geomecânicos da rocha. Deste modo, foi selecionado do conjunto total de 246 blocos serrados (Anexo 1), oito blocos (um de cada tipo de rocha, identificado pelo número) com dimensões aproximadas, de modo a simular um contacto ferramenta-rocha análogo, para efetuar a análise entre os parâmetros descritos (Tabela 10).

Tabela 10 – Parâmetros de serragem e geomecânicos de oito blocos, dos vários tipos de rocha estudados.

Tipo de Rocha	P_i (mm)	P_h (m^2/h)	RF (MPa)	RCU (MPa)	RD (mm)	PA (%)	DA (Kg/m^3)
Ataíja Creme 4	0,022	8,4	13	161,8	21,6	1,65	2390
Azul Valverde 2	0,019	7,6	19,1	145	21,5	2,8	2370
Branco do Mar 13	0,046	16,9	12,3	86	28	10,1	2390
Creme Alcanede 42	0,033	9,4	11,7	108	24,5	9,2	2390
Branco Estremoz 1	0,027	9,8	27	94	20,9	0,18	2370
Moca Creme 28	0,043	10,7	14	90	24	7,9	2390
Relvinha 6	0,043	14,9	12,4	89	29	9,7	2390
Rosal 15	0,043	13,9	7,2	81	29	13,8	2390

Pelo gráfico da Figura 34, onde está representada a correlação entre a profundidade de indentação (P_i) e a resistência à compressão uniaxial (RCU), verifica-se, através de um reta aproximada aos dados, que as variáveis são inversamente proporcionais, sendo que P_i decresce com a RCU. Foi também observado que o ponto no gráfico, correspondente ao Branco Estremoz, diferenciou-se ligeiramente da tendência apresentada pelos restantes dados, facto que também demarca a diferença entre os calcários e o mármore. Com uma correlação linear entre os dados de 73% para este conjunto, foi realizada uma análise posterior para verificar qual o comportamento sem a inclusão do Branco Estremoz (Figura 35). Para este caso, foi obtida uma correlação de 91% entre as rochas calcárias, o que demonstrou uma melhor aproximação das características de serrabilidade para estas rochas relativamente à RCU.

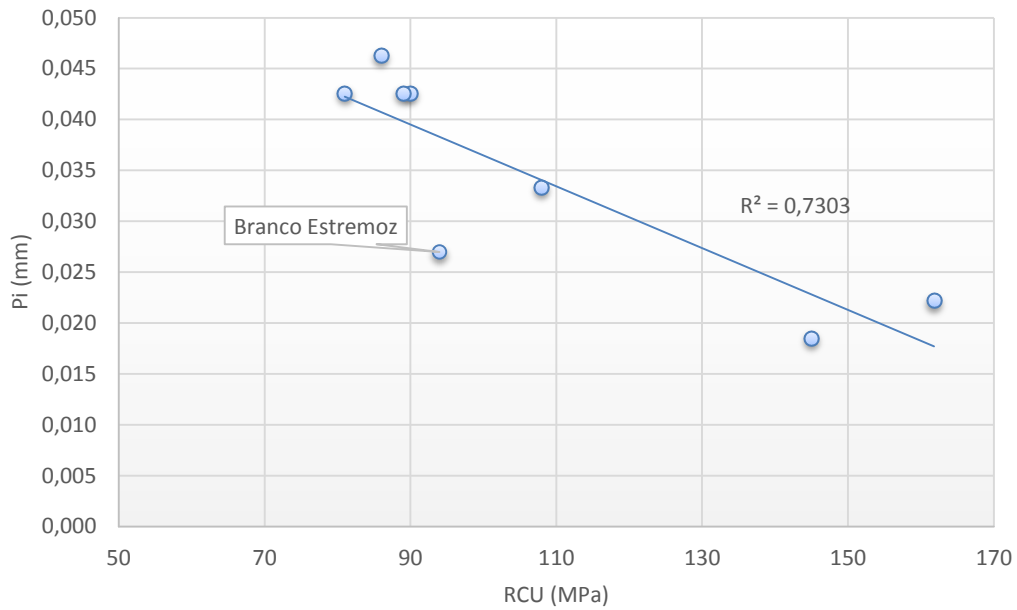


Figura 34 – Relação entre a profundidade de indentação e a resistência à compressão uniaxial.

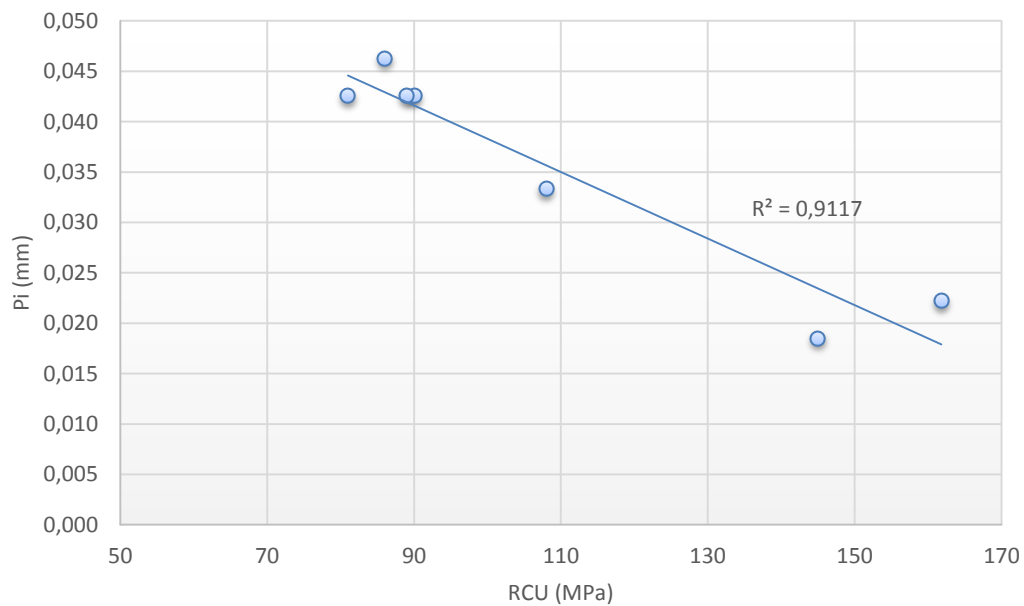


Figura 35 – Relação entre a profundidade de indentação e a resistência à compressão uniaxial, excluindo o bloco de Branco Estremoz.

A correspondência entre a profundidade de indentação e resistência ao desgaste apresentou uma correlação de 74%. Verifica-se que a profundidade de indentação aumenta à medida que a resistência ao desgaste também aumenta (Figura 36).

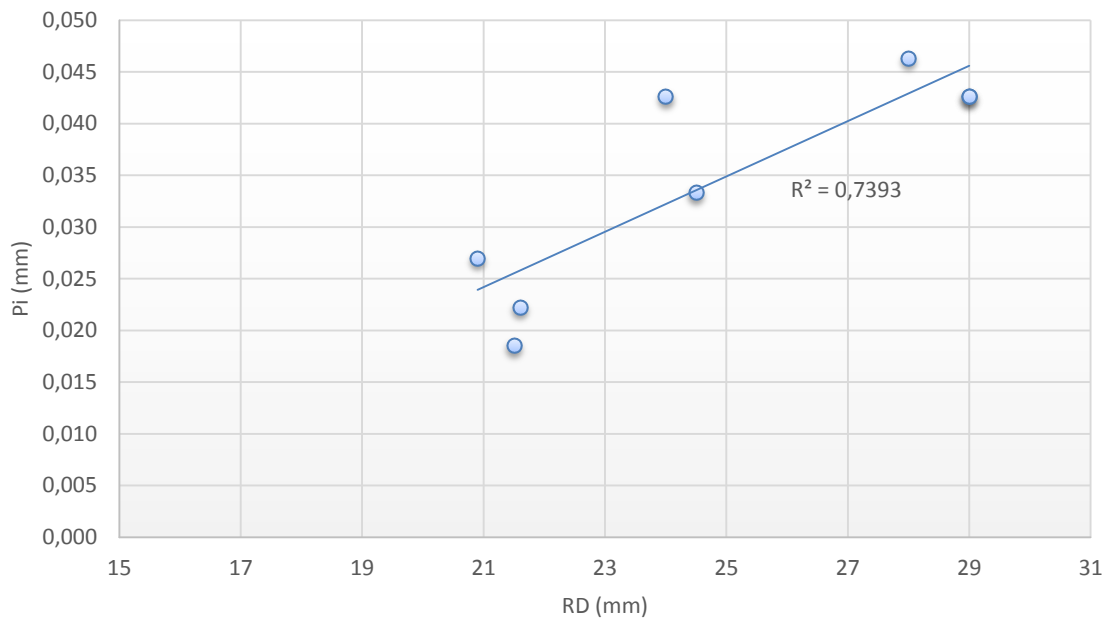


Figura 36 – Relação entre a profundidade de indentação e a resistência ao desgaste.

Relativamente à porosidade aberta, a profundidade de indentação apresentou uma tendência crescente. Neste caso, todas as rochas envolvidas, apresentaram valores muito dispersos, com uma ligeira concentração no intervalo de 8 a 10%. Ainda assim os dados apresentam uma correlação de 74%, o que demonstra alguma relação destas variáveis (Figura 37).

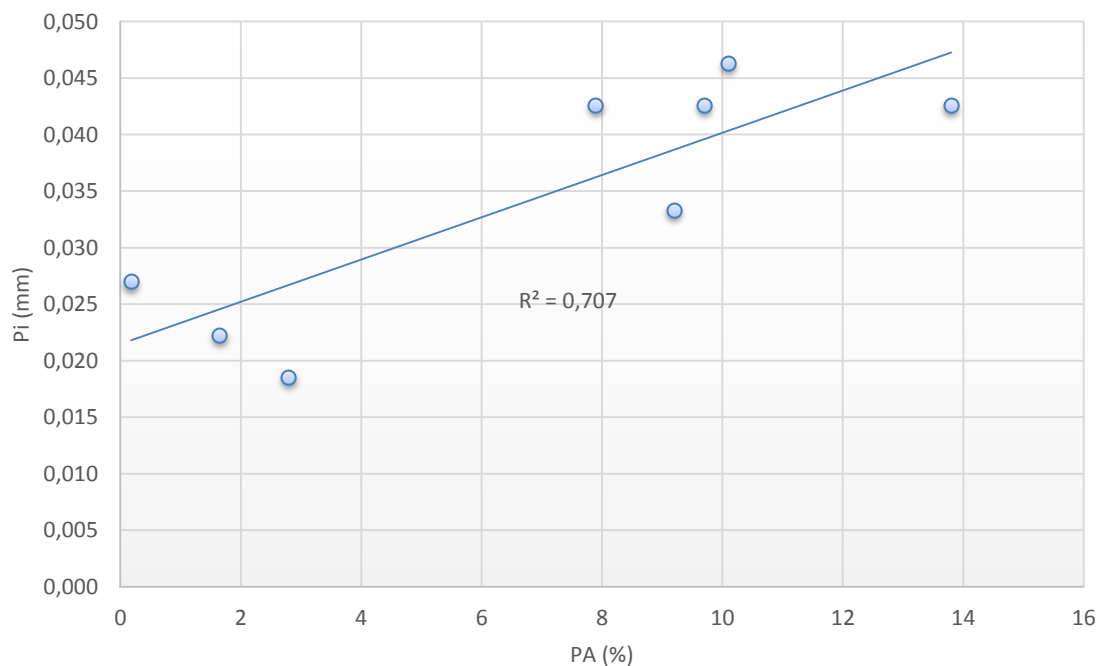


Figura 37 – Relação entre a profundidade de indentação e a porosidade aberta.

A resistência à flexão não revelou resultados muito satisfatórios, apresentado uma correlação entre as variáveis de apenas 32%, o que comprovou não ser uma característica que se relacione com a profundidade de indentação (Figura 38).

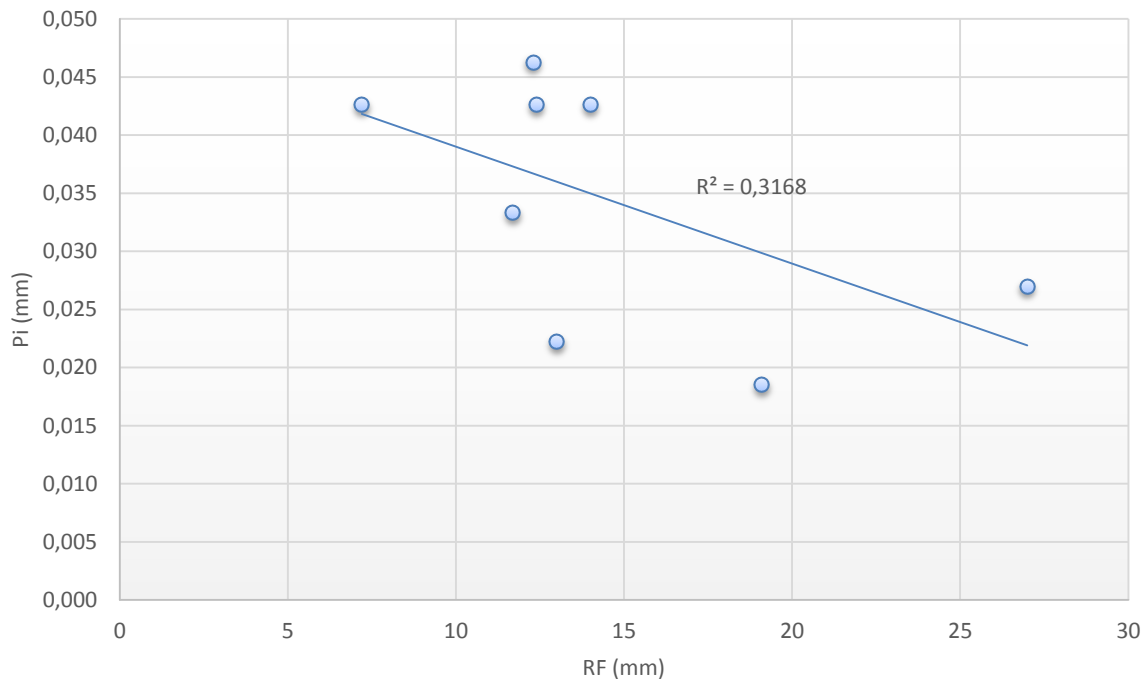


Figura 38 – Rela o entre a profundidade de indenta o e a resistência   flexão.

A característica geomecânica das rochas que apresentou melhores correla es com a profundidade de indenta o foi a resistência   compressão uniaxial (para o caso de análise exclusiva de calcários). A resistência ao desgaste e a porosidade aberta apresentaram níveis de correla o próximos. A densidade aparente não foi comparada devido   semelhança desta característica para todas as rochas envolvidas. A resistência   flexão não revelou nenhuma correla o entre as variáveis, pelo que se pode constatar que não influencia o processo de indenta o.

6.2. Modelo de Regressão Linear Múltipla para Previsão da Produ o Horária

Para a previsão da produ o horária através de um modelo de regressão linear, foram analisados uma série de modelos a partir da Equa o 11 (Tabela 11):

Tabela 11 – Modelos de regressão linear múltipla considerados no estudo.

Modelo	Expressão
1	$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_5 X_5$
2	$y = \beta_1 X_1 + \dots + \beta_5 X_5$
3	$\ln y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_5 X_5$
4	$\ln y = \beta_1 X_1 + \dots + \beta_5 X_5$
5	$y = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \dots + \beta_5 \ln X_5$
6	$y = \beta_1 \ln X_1 + \dots + \beta_5 \ln X_5$
7	$Boxcox(y) = \beta_1 X_1 + \dots + \beta_5 X_5$

A seleção do modelo, que melhor se ajustou aos dados, foi realizada por análise e eliminação ordenada de cada critério de avaliação para os modelos candidatos (anteriormente referido em 5.2.4):

- Os coeficientes de determinação, R^2 e R^2 ajustado, mínimos admitidos nos modelos, foram definidos para valores superiores a 95%, aos quais corresponderam os modelos 2, 3, 4, 6 e 7;

- A distribuição dos resíduos segundo a transformação t-student, revelou-se explicativa para os modelos 2, 3, 4 e 7 onde 95% das variáveis explicativas está compreendida no intervalo [-2;2];

- A análise da estatística F comprovou para todos os modelos anteriormente indicados, que todos rejeitam a hipótese nula (as variáveis independentes não se relacionam com a variável dependente) o que sugere uma boa adequação dos modelos aos dados inseridos (Tabela 12);

- De modo a descrever a equação dos modelos, uma análise estatística de significância dos parâmetros foi realizada. Para cada variável, a hipótese nula, $H_0: \beta_j = 0$, é rejeitada para a hipótese alternativa $H_1: \beta_j \neq 0$ quando o valor-p é inferior ao valor do teste de significância α ($\alpha = 0,05$). Assim, a significância das variáveis, explicada pelo valor p, revelou para o modelo 2 que todas as variáveis seriam significativas, para o modelo 3 que a resistência à compressão uniaxial não seria significativa, pelo que foi rejeitado tendo em vista a importância teórica desta variável (como referido anteriormente), o modelo 4 e modelo 7 apresentaram ambos insignificância estatística para a variável profundidade de indentação que, de facto é dependente da velocidade de serragem (Equação 8);

- Relativamente aos critérios de Akaike e Schwarz-Bayesiano, critérios que combinam o melhor resultado de ajustamento e complexidade para os modelos, verificou-se para o modelo 2 os valores de 573.8 e 591.36, para o modelo 4 os valores -1183.6 e -1166.1 e para o modelo 7 os valores -1090 e -1070.

Para o modelo 7, a transformação Box-Cox, gerou um valor de $\lambda = 0,0704$ o que se traduz na equação da forma:

$$Y' = Y^{0,0704}$$

Equação 18

Comparando os resultados obtidos em todos os critérios, chegou-se à conclusão que o modelo que melhor se ajusta aos dados, será o modelo 4. Este modelo, apresentou resultados positivos em todos os critérios, incluindo uma boa correlação de R^2 e R^2 ajustado (0,99 para ambos) e o menor valor para os critérios AIC e SBIC. Neste ultimo critério a diferença é mínima para o modelo 7, mas foi tido em consideração esta particularidade e o facto de o modelo 7 ser uma transformação Box-Cox (mais complexa).

Para confirmar a adaptação do modelo 4 aos dados, verifica-se através do gráfico da Figura 39 que existe um ligeiro desvio dos valores extremos das respostas previstas face às respostas observadas, o que, quantitativamente, se traduz num erro da raiz da média dos quadrados dos resíduos de 0,0893.

Tabela 12 – Análise da variância (ANOVA) para os modelos com correlações superiores a 95%.

Modelos	df	Soma dos Quadrados	Média dos Quadrados	F0	P(F>F0)
Modelo 2: $y = \beta_1 X_1 + \dots + \beta_5 X_5$					
Modelo (Regressão)	5	58179,6147	11635.9229	1152.0780	0,0000
Erro Residual	241	2434.0865	10.0999	405.3939	0.0025
Total	246	60613.7012	236.5025		
Modelo 3: $\ln y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_5 X_5$					
Modelo (Regressão)	5	73.4597	14.6919	2131.7572	0,0000
Erro Residual	240	1.6541	0.0069	80.8785	0.0123
Total	245	75.1138	0.2998		
Modelo 4: $\ln(y) = \beta_1 X_1 + \dots + \beta_5 X_5$					
Modelo (Regressão)	5	1564,7944	312,9589	39242,4590	0,0000
Erro Residual	241	1,9220	0,0080	93,7457	0,0106
Total	246	1566,7163	6,3610		
Modelo 7: $\text{Boxcox}(y) = \beta_1 X_1 + \dots + \beta_5 X_5$					
Modelo (Regressão)	5	1898.7171	379.7434	32524.3943	0,0000
Erro Residual	241	2.8138	0.0117	91.9214	0.0108
Total	246	1901.5310	7.7184		

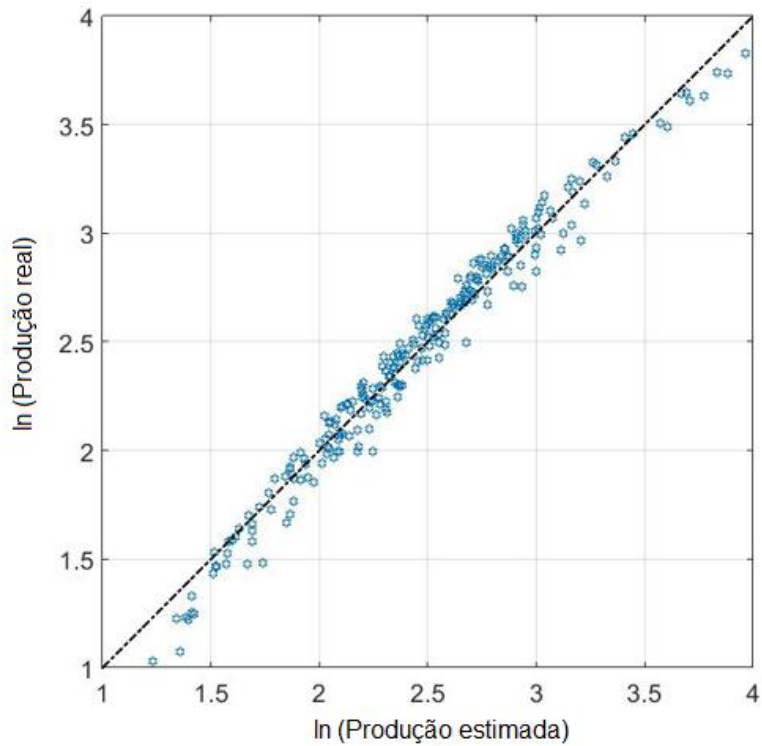


Figura 39 – \ln (produção real) comparativamente ao \ln (produção estimada) para o modelo 4.

Para uma avaliação completa da qualidade estatística do modelo obtido, a análise dos resíduos é essencial. Os histogramas dos resíduos studentizados e alguns gráficos de resíduos são utilizados como ferramentas para obter hipóteses acerca da natureza do erro do modelo. Através de uma análise mais detalhada do histograma dos resíduos studentizados (Figura 40) é possível verificar que os dados compreendidos entre o intervalo -2 e 2 são superiores a 95%, garantindo a representatividade do modelo 4, face aos dados observados (como já enunciado).

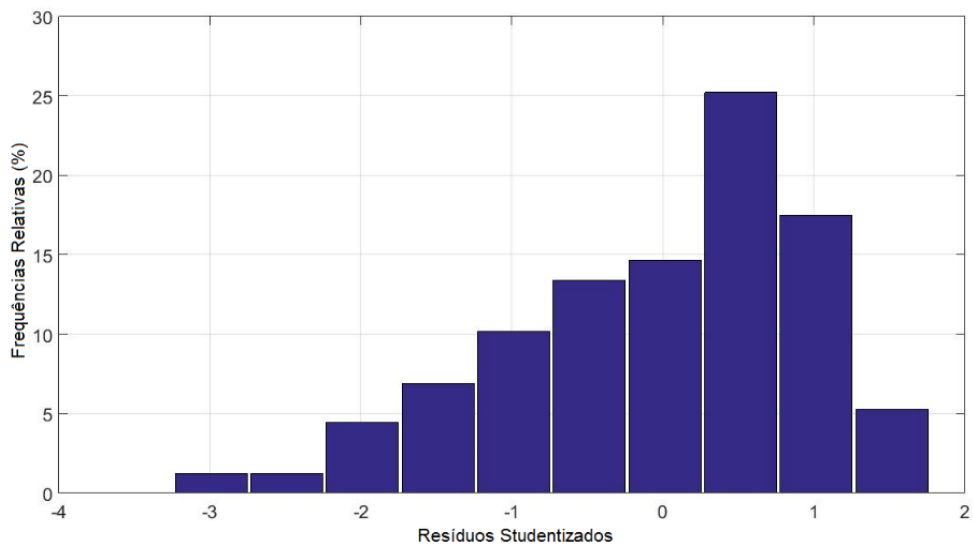


Figura 40 – Histograma dos resíduos studentizados para o modelo 4.

Foram também analisados os gráficos dos resíduos studentizados, entre os valores observados e previstos para a produção horária, como função da velocidade de serragem (Figura 41a) e resistência à compressão uniaxial (Figura 41b).

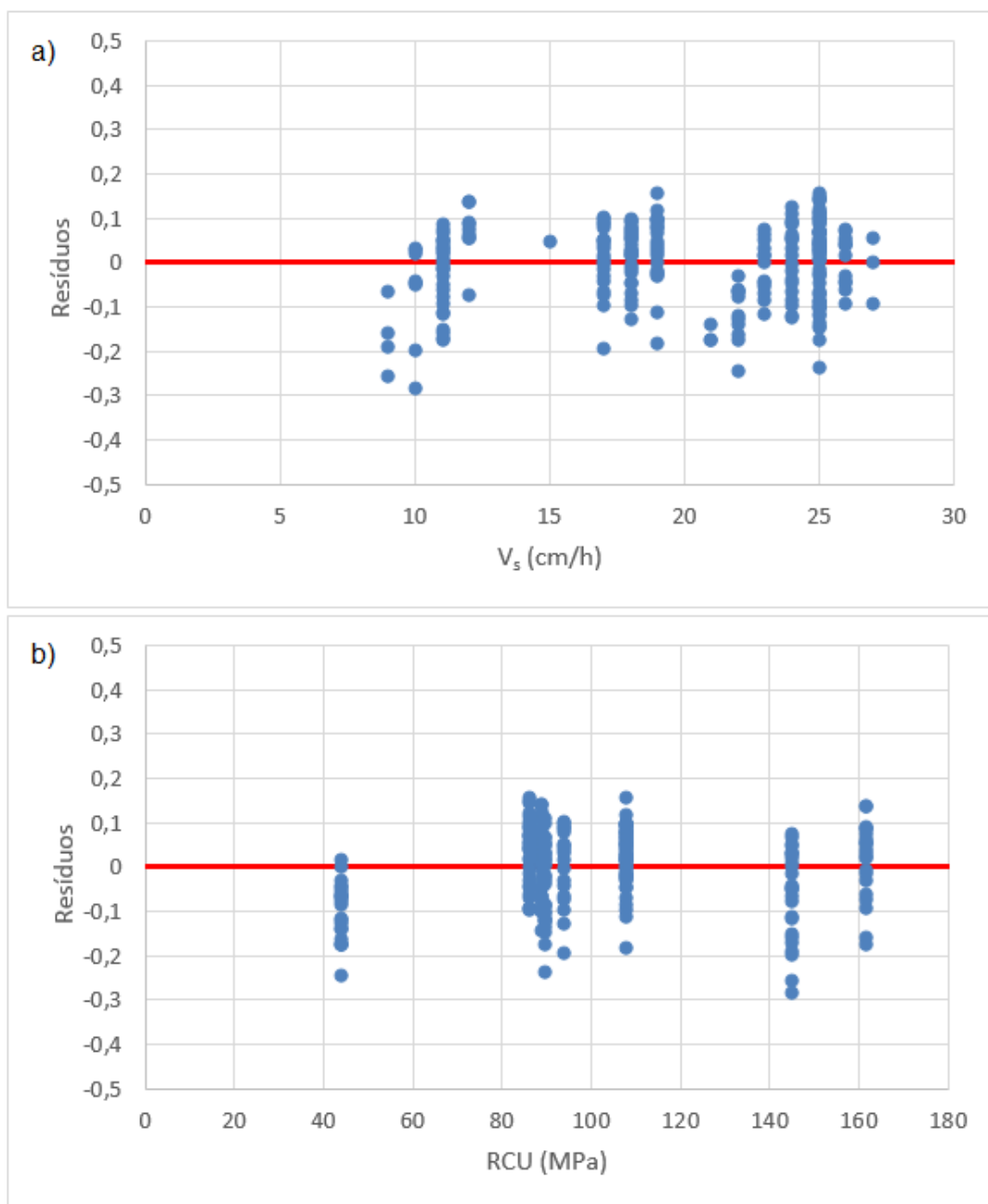


Figura 41 – Resíduos studentizados como função da velocidade de serragem (a) e resistência à compressão uniaxial (b).

Os gráficos de resíduos apresentados na Figura 41 e no histograma da Figura 40, demonstraram que a distribuição dos resíduos não é completamente simétrica relativamente ao valor zero. De facto, tanto a V_s como a RCU apresentaram assimetria para os seus valores inferiores. Atentando a este facto e, tendo em conta a proporcionalidade direta da P_h com a V_s e inversa com a RCU (Equação 19), concluiu-se que no gráfico da Figura 39 o desfasamento resultante da linha $\ln(\text{produção real}) - \ln(\text{produção}$

estimada) para valores superiores é causado pela RCU, enquanto que para valores inferiores deverá ser a V_s a responsável.

A Tabela 13 resume os resultados de estimação do valor-p, onde estão incluídos os valores estimados dos parâmetros do modelo estimado: $\hat{\beta}_j, j = 1, 2, \dots, p$; variância dos estimadores dos parâmetros $S_{\hat{\beta}_i}^2, j = 1, 2, \dots, p$; estatística t: t_{stats} ; valores-p; mínimo e máximo dos 95% incluídos no intervalo de confiança (I.C. mínimo e I.C. máximo, respetivamente).

Tabela 13 – Análise de significância estatística dos parâmetros estimados para o modelo de regressão 4.

Variáveis	$\hat{\beta}$	$S_{\hat{\beta}}^2$	Estatística t	Valor-p	I. C. (mínimo)	I.C. (máximo)
Comprimento do Bloco (C_b , m)	0,4613	0,0169	27,3462	0,0000	0,4281	0,4945
Largura do Bloco (L_b , m)	0,9604	0,0179	53,6759	0,0000	0,9251	0,9956
Velocidade de Serragem (V_s , cm/h)	0,0374	0,0092	4,0574	0,0001	0,0193	0,0556
Profundidade de Indentação (P_i , mm)	-0,2117	4,8807	0,0434	0,9654	-9,8261	9,4026
Resistência à Compressão Uniaxial (RCU, MPa)	-0,0022	0,0002	12,4968	0,0000	-0,0025	-0,0018

Notas da tabela: a) $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y$; b) $S_{\hat{\beta}_i}^2 = \hat{\sigma}^2 C_{i,j}, C = (X^T X)^{-1}; \hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}$; c) $t_{stats} = \frac{\hat{\beta}}{S_{\hat{\beta}}}$;

d) Teste de hipóteses: $H_0: \beta_i = 0, H_1: \beta_i \neq 0$; $valor - p = 2(1 - P(t > |t_{stats}|))$ Equivalência ao teste

$|t_{stats}| > t_{1-\alpha/2, n-p}$; e) I. C. Mínimo: $\hat{\beta}_i - t_{1-\alpha/2, n-p} \hat{S}_{\beta_i}$; I. C. Máximo: $\hat{\beta}_i + t_{1-\alpha/2, n-p} \hat{S}_{\beta_i}$.

Pela Tabela 13 verifica-se que apenas a profundidade de indentação, apresenta um valor superior ao estabelecido pelo critério, razão pela qual a variável não é utilizada. Desta maneira a expressão que melhor correlaciona as variáveis independentes com a produção é:

$$\ln(P) = 0,4613C_b + 0,9604L_b + 0,0374V_s - 0,0022RCU \quad \text{Equação 19}$$

A equação obtida revela que o logaritmo natural da produção, $\ln(P)$, é diretamente proporcional ao comprimento e largura do bloco e à velocidade de serragem e, inversamente proporcional à resistência à compressão uniaxial. Verifica-se ainda que o comprimento e largura do bloco, são os parâmetros que têm maior peso na produção horária, uma vez que apresentam os índices mais elevados (valores de β superiores).

Pelo que já foi referido anteriormente, através da Equação 7, a produção aumenta proporcionalmente com a área serrada (diretamente proporcional a C_b e L_b) e inversamente com o tempo de serragem,

que por sua vez é inversamente proporcional à velocidade de serragem, pelo que se verifica a proporcionalidade dos três parâmetros com a produção horária.

A produção demonstrou-se inversamente proporcional à RCU, tal como pode também ser verificado pelo gráfico da Figura 42, obtido através dos dados da Tabela 10. Como referido anteriormente, as dimensões dos blocos seleccionados são aproximadas, contudo, esta relação considera diferentes valores para a velocidade de serragem.

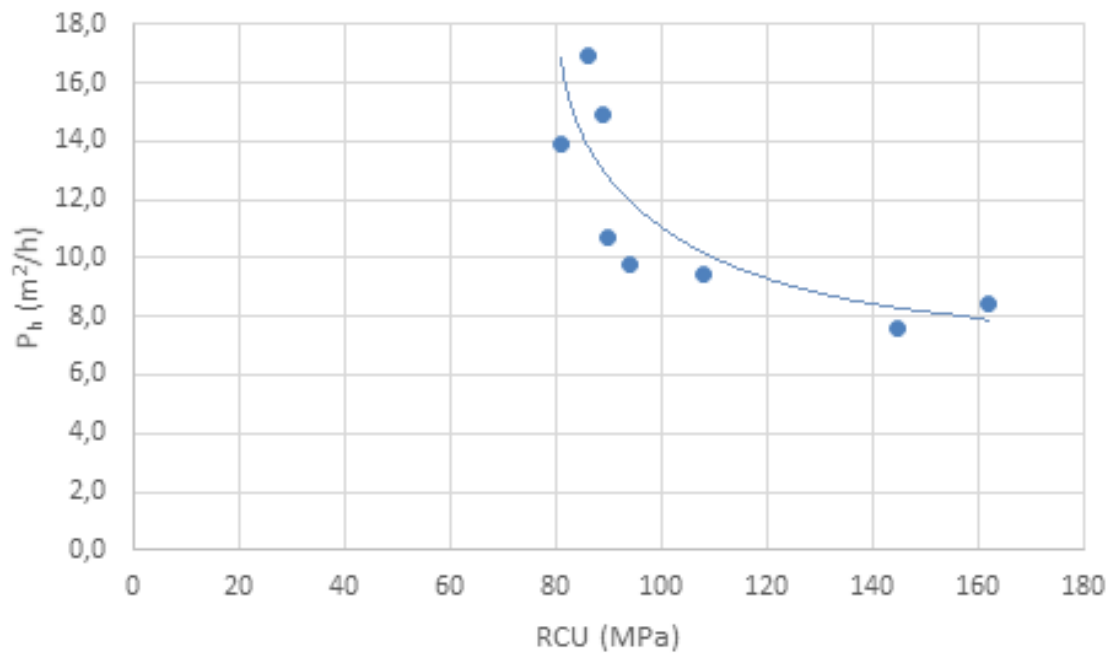


Figura 42 – Variação da produção horária com a resistência à compressão uniaxial.

Com a equação descritiva da correlação entre os dados (Equação 19) e considerando as dimensões unitárias de um bloco, correspondentes a $C_b = 1$ e $L_b = 1$, é possível descrever uma relação entre a produção, a velocidade de serragem e o tipo de rocha (caracterizado por RCU) (Figura 43).

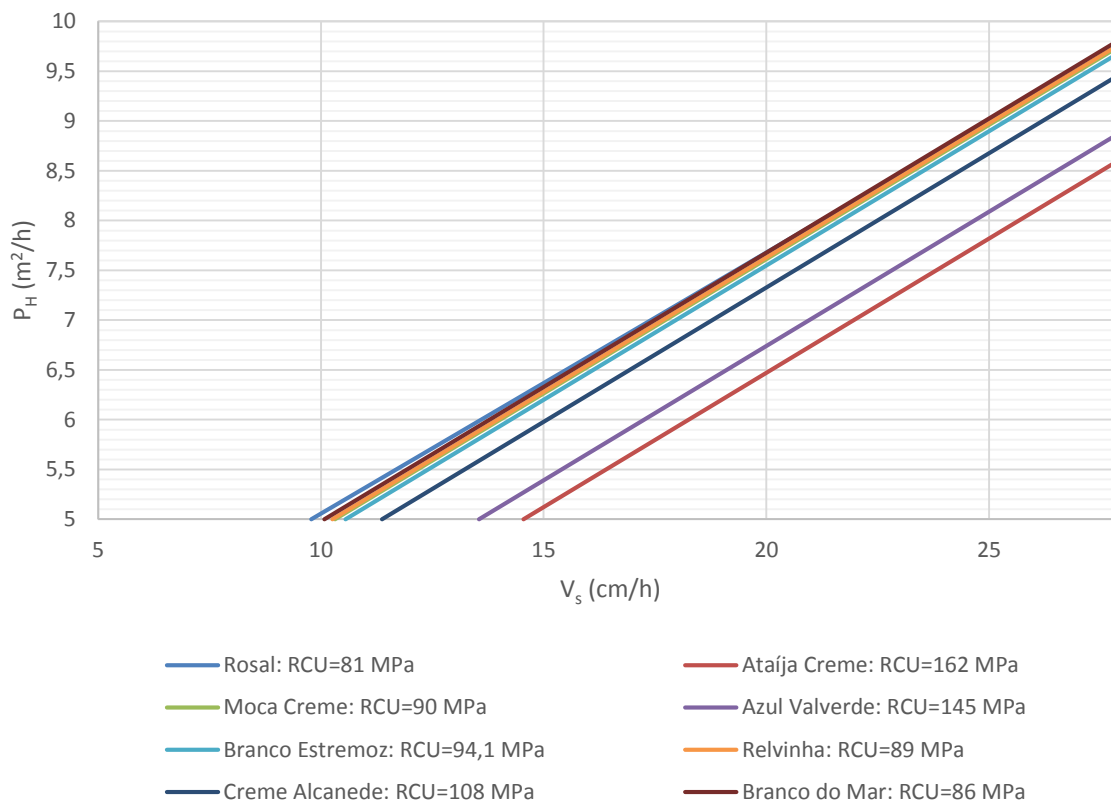


Figura 43 – Relação entre produção horária, velocidade de serragem e o tipo de rocha.

Através da observação do gráfico da Figura 43, verifica-se a predominância de duas famílias de rochas serradas, diferenciadas pelos valores médios da RCU.

Os blocos de Creme Alcanede (RCU = 108MPa) tendem a distanciar-se um pouco de um dos conjuntos, contudo pela análise da Tabela 5, observa-se que este tipo de rocha apresentou valores mínimos para a RCU dentro do intervalo das restantes (entre 81 e 94,1 MPa), com um desvio-padrão de 11, pelo que se considera aceitável incluir no conjunto.

O conjunto formado pelo Azul Valverde e Ataija Creme apresenta valores muito superiores para a RCU relativamente aos restantes, de 145 e 162 MPa (Tabela 5), o que se traduz numa menor produção horária para a mesma velocidade de serragem.

Por exemplo, atentando para um valor de V_s de 20 cm/h, observa-se uma P_h de 6,5 m²/h para o Ataija Creme, 6,7 m²/h para o Azul Valverde, 7,3 m²/h para o Creme Alcanede, sendo que a restante P_h do conjunto não ultrapassa os 7,8 m²/h.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

O mercado das rochas ornamentais encontra-se num período de estabilização, daí que as empresas sentem a necessidade de reduzir os custos de produção, melhorando a produtividade de todo o processo de transformação. Existe a necessidade de avaliar rigorosamente a produção de cada equipamento utilizado para obter o produto final, a rocha ornamental, daí que é necessário considerar todas as variáveis internas e externas que estão envolvidas no processo.

A recolha dos dados foi limitada ao tempo de permanência na empresa, pelo que não foi possível obter alguns dados que poderiam ser importantes. O desgaste de consumíveis foi registado apenas segundo indicações estimadas (Anexo 3), não tendo sido possível relacionar com a amostra de blocos em estudo, pelo que, não foi possível desenvolver neste sentido o estudo de serragem.

Os ensaios relativos à resistência à compressão uniaxial revelaram para o Creme Alcanede valores muito superiores ao de rochas que pertencem à mesma formação, como o Moca-Creme e o Relvinha. Este facto não foi muito aprofundado uma vez que embora a pedra natural seja classificada por várias tipologias, consoante os vários parâmetros medidos e observados, não é possível obter através de algumas amostras uma representatividade total para todos os blocos que possam pertencer a esse conjunto.

A inclusão de mármore (Branco Estremoz), num engenho que maioritariamente serra calcários, foi realizada no sentido de retirar alguma conclusão acerca da diferença dos fenómenos de serragem deste tipo de rocha comparativamente às rochas calcárias, contudo, a única distinção mais pronunciante ocorreu para a relação entre a resistência à compressão uniaxial e a profundidade de indentação. Foi demonstrado que a profundidade de indentação, para esta rocha, é bastante menor que a tendência apresentada pelas restantes.

Fizeram-se correlações, para oito blocos de cada tipo de rocha, com dimensões similares, onde se verificaram diferenças de comportamento das rochas no que diz respeito à maior ou menor facilidade do diamante indentar a rocha. Concluiu-se que: a profundidade de indentação tem uma relação inversamente proporcional com a resistência à compressão uniaxial e diretamente proporcional à resistência ao desgaste e porosidade aberta. É estimado que a resistência à flexão e densidade aparente, não deverão contribuir significativamente para este parâmetro.

O modelo de regressão linear múltipla, representou a melhor correlação entre os parâmetros geomecânicos da rocha, características da ferramenta de corte e parâmetros técnicos do engenho, na produção horária de chapa de 246 blocos dos vários tipos de rocha serrada.

A equação obtida permite gerar um valor estimado da produção a partir do comprimento e largura do bloco, velocidade de serragem (subida da plataforma com o bloco) e da resistência à compressão uniaxial. Esta equação pode ser utilizada para estimar previamente a produção horária (para o engenho em questão), para qualquer tipo de rocha (com valores aproximados de RCU do intervalo estudado) e também, desde que as características da ferramenta de corte sejam mantidas.

Como desenvolvimentos futuros seria interessante relacionar a produção (para além das variáveis já descritas neste trabalho) com desgaste de ferramentas e com a energia específica de corte. Os consumos energéticos e o desgaste, envolvidos no processo, permitiria estabelecer um planeamento global, dos custos de operação, relativamente à utilização do equipamento.

Seria também importante desenvolver estudos para estabelecer metodologias de previsão da produção e otimização de todas as operações industriais, na transformação de rocha ornamental.

Referências Bibliográficas

- Anjinho C. A., Amaral P. M., Fernandes J. C., e Rosa L. G., 2013. *A New Laboratory Methodology for Assessing the Cutting Behaviour of Gangsawing Blades*. Key Engineering Materials, Vol: 548, pp: 72–81.
- Antunes J., 2003. *A Análise De Assinatura No Controlo Da Qualidade De Processos (O Corte Das Rochas Ornamentais)*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Burgess R. B., 1978. *Circular sawing granite with diamond saw blades*. In: Proceedings of the Fifth Industrial Diamond Seminar. p. 3–10.
- Bayram, F., 2013. *Prediction of sawing performance based on index properties of rocks*. Arab J Geosci, Vol. 6, pp. 4357–4362 .
- Buyuksagis I.S. e Goktan R. M., 2005. *Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter*. Journal of Materials Processing Technology, vol. 169, no. 2, pp. 258–262.
- Carvalho, J., Lisboa, J., Prazeres, C. e Sardinha, R., 2012. *Rochas Ornamentais do Maciço Calcário Estremenho: Breve Caracterização dos Recursos, dos Centros de Produção e Delimitação Preliminar de Áreas Potenciais*. LNEG, boletim de minas, 47 (1).
- Dagrain, F., Richard, T., e Germy, C, 2006. *The Rock Strength Device : A scratching apparatus to determine rock properties*. Proceedings of the 7th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics (NCTAM 2006), May 29–30, 2006. Faculté Polytechnique de Mons, Mons, Belgium.
- Demou, S. S., Olson, R.C. e Wingquist, C.F., 1983. *Determination of bit forces encountered in hard rock cutting for application to continuous miner design*. U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines.
- Diamant Boart, (2015). Site da Diamant Boart Portugal, www.diamant-boart.com/pt/, acedido a 5 de Setembro.
- Draper, N.R., Smith, H., 1998. *Applied Regression Analysis, third ed*. Wiley Interscience.
- Ertingshausen W., 1985. *Wear processs in sawing hard stone*. Industrial Diamond Review, vol. 45, no. 5, pp. 254–258.
- Falcão Neves, P., 1993. *Rock cutting geomechanics*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa..

- Falcão Neves, P., Costa e Silva, M. and Navarro, V., 2012. *Evaluation of Elastic Deformation Energy in Stone Cutting of Portuguese Marbles with a Diamond Saw*. Vol. 112, 413–18.
- Global Stone Portal, (2015). Site da Global Stone Portal, www.globalstoneportal.com, acessido a 22 de Setembro.
- Gnirk, P.F. e Cheatham, J.B., 1965. *An experimental study of single-bit tooth penetration into dry rock at confining pressures of 0-5000 psi*. Transaction of the American Institute of Mining Engineers, no. 234 (II), pp. 117–130.
- Guney, A., 2011. *Performance prediction of large-diameter circular saws based on surface hardness tests for Mugla (Turkey) marbles*. Rock Mech Rock.
- Hausberger P. (1989). *Causes of the different behaviour of rocks when machined with diamond tools*. Ind Diamond Rev; 3:1–25.
- Jimeno C., 1994. Manual Rocas Ornamentales. ITGE Minas de Madrid. Madrid.
- Ju, S. H., 2007. *Finite element analysis of structure-borne vibration from high-speed train*. Soil Dyn. Earthquake Eng. 27 (3), pp. 259–273.
- Kahraman S., Fener M. e Gunaydin O., 2004. *Predicting the sawability of carbonate rocks using multiple curvilinear regression analysis*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 41, pp. 1123-1131
- Konstanty, J., 2002. *Theoretical analysis of stone sawing with diamonds*. 123(January), 146–154.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., Li, W., 2005. *Applied Linear Statistical Models*, fifth ed. McGraw-Hill Irwin, New York, 1396 pp. ISBN: 0-07-238688-6.
- Leal, F., 2011. Curso de Especialização Tecnológica de Produção Industrial. Cevalor, Borba.
- Mello Mendes, F., 1979. *A Teoria E A Prática Em Mecânica Das Rochas - Reflexões Sobre Vinte Anos De Experiência Pessoal - 2ª parte*. Geotecnia, nº 30. Lisboa.
- MKS, Mermer Kesme ve Silme Mak. San. Tic., L.D.A., 2015. Site da MKS, <http://www.mks.com.tr/en/>, acessido a 2 de Outubro.
- Nishimatsu, 1972. *The mechanics of rock cutting*. Journal of Rock Mechanics and Mining Science. Pergamon Press, vol. 9, pp. 261–270.
- Oyanguren P., Irizar, L., Huerta, R., Romana Ruiz, J., Ojeda Ruiz, J. e Ayala Carcedo, F., 1987. *Geotecnología del avance mecanizado de galerías, tuneles y pozos*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

- Palma, F., Barros, S., Rosa, L., Paulino, P., Leitão, C., Agostinho, P., Leite, S., Bidarra, M., Botelho, J. e Luís, C., 2014. *Produção de Rochas Ornamentais – Análise Setorial*. Espírito Santo Research, Research Sectorial (Fevereiro, 2014)
- Robleda A. S. e Castro J. T., 2009. *The Rock Processing Sector : Part I : Cutting Technology Tools, A New Diamond Segment Band Saw Part II : Study Of Cutting Forces*. Pp: 77–87.
- Tamrock, 1999. *Rock excavation handbook*, 183.
- Spínola S., 1998. *Influência Da Qualidade Da Serragem De Granitos No Consumo Energético Do Desbaste*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Georrecursos, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Strang, G., 1988. *Linear Algebra and its Applications*, third ed. Saunders, 505 pp. ISBN: 0-15-551005-3;
- Tonshoff H. K., Hillmann-Apmann H. and Asche J., 2002. *Diamond tools in stone and civil engineering: cutting principles, wear and applications*. *Diamond and Related Materials*, vol. 11, pp. 736–741.
- Wang, C. Y. e Clausen, R., 2003. *Computer simulation of stone frame sawing process using diamond blades*. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(6), 559–572.
- Wright D. N., Cassapi V. B., 1985. *Factors influencing stone sawability*. *Ind Diamond Rev*, 2:84–7.

Anexos

Anexo 1: Dados Recolhidos de Serragem.

Anexo 2: Resultados dos Modelos de Regressão Linear Múltipla.

Anexo 3: Características do Engenho A. J. Figueiredo SB 80L

Anexo 1: Dados Recolhidos de Serragem.

Tipo de Rocha	Medidas Bloco (m)			Velocidade de Serragem (cm/h)	Área Serrada (m²)	Tempo de Serragem (h)	Profundidade de indentação (mm)	Produção Horária (m³/h)
	Comprimento	Largura	Altura					
Crete Alcanede 1	2,26	1,45	0,80	18	100,8	5,1	0,033	19,8
Crete Alcanede 2	1,57	1,14	1,47	19	101,2	8,4	0,035	12,0
Crete Alcanede 3	1,98	1,04	0,70	18	55,4	4,6	0,033	12,1
Crete Alcanede 4	2,04	1,32	0,89	19	92,2	5,4	0,035	17,1
Crete Alcanede 5	1,44	0,85	0,76	18	35,8	4,9	0,033	7,3
Crete Alcanede 6	1,83	0,89	0,60	17	37,6	4,1	0,031	9,2
Crete Alcanede 7	2,17	1,16	0,90	19	87,1	5,4	0,035	16,1
Crete Alcanede 8	2,12	0,72	0,77	18	45,2	4,9	0,033	9,2
Crete Alcanede 9	2,15	0,66	0,90	19	49,1	5,4	0,035	9,1
Crete Alcanede 10	2,41	0,81	0,76	18	57,1	4,9	0,033	11,6
Crete Alcanede 11	2,09	1,21	0,54	17	52,5	3,8	0,031	13,8
Crete Alcanede 12	2,00	1,21	0,92	18	85,6	5,8	0,033	14,8
Crete Alcanede 13	2,54	0,81	0,75	18	59,3	4,8	0,033	12,4
Crete Alcanede 14	1,94	1,40	0,85	18	88,8	5,4	0,033	16,4
Crete Alcanede 15	2,50	1,08	0,60	17	62,3	4,1	0,031	15,2
Crete Alcanede 16	2,20	1,07	0,71	18	64,3	4,6	0,033	14,0
Crete Alcanede 17	1,48	1,41	0,89	19	71,4	5,4	0,035	13,2
Crete Alcanede 18	1,88	1,46	0,62	18	65,5	4,1	0,033	16,0
Crete Alcanede 19	2,52	0,72	0,94	19	65,6	5,7	0,035	11,5
Crete Alcanede 20	2,24	1,11	0,69	18	66,0	4,5	0,033	14,7
Crete Alcanede 21	2,53	1,45	0,88	18	124,2	5,6	0,033	22,2
Crete Alcanede 22	1,51	1,44	0,90	19	75,3	5,4	0,035	13,9
Crete Alcanede 23	1,30	1,00	1,25	19	62,5	7,3	0,035	8,6
Crete Alcanede 24	2,30	1,26	0,56	17	62,4	3,9	0,031	16,0
Crete Alcanede 25	2,10	1,07	0,74	18	64,0	4,8	0,033	13,3
Crete Alcanede 26	2,00	0,71	0,90	19	49,2	5,4	0,035	9,1
Crete Alcanede 27	1,95	0,53	0,90	19	35,8	5,4	0,035	6,6
Crete Alcanede 28	2,30	1,04	0,71	18	65,3	4,6	0,033	14,2
Crete Alcanede 29	2,37	0,95	0,74	18	64,1	4,8	0,033	13,4
Crete Alcanede 30	2,56	1,35	0,63	17	83,7	4,3	0,031	19,5
Crete Alcanede 31	1,76	0,91	1,10	19	67,8	6,5	0,035	10,4
Crete Alcanede 32	2,20	1,25	0,60	18	63,5	4,0	0,033	15,9
Crete Alcanede 33	2,05	1,55	1,36	19	166,2	7,9	0,035	21,0
Crete Alcanede 34	2,10	1,05	0,67	18	56,8	4,4	0,033	12,9
Crete Alcanede 35	2,15	0,98	0,75	18	60,8	4,8	0,033	12,7
Crete Alcanede 36	1,75	1,00	0,75	18	50,5	4,8	0,033	10,5
Crete Alcanede 37	1,98	0,90	1,25	19	85,7	7,3	0,035	11,7
Crete Alcanede 38	2,13	0,77	1,24	19	78,2	7,2	0,035	10,9
Crete Alcanede 39	2,21	0,92	1,30	19	101,7	7,6	0,035	13,4
Crete Alcanede 40	1,97	0,49	1,01	19	37,5	6,0	0,035	6,2
Crete Alcanede 41	2,15	0,60	1,50	19	74,4	8,6	0,035	8,7
Crete Alcanede 42	2,08	0,73	0,95	18	55,5	5,9	0,033	9,4
Crete Alcanede 43	1,82	0,94	0,86	18	56,6	5,4	0,033	10,5
Crete Alcanede 44	2,18	0,90	1,08	19	81,5	6,4	0,035	12,7
Crete Alcanede 45	1,50	0,79	1,06	18	48,3	6,6	0,033	7,3
Crete Alcanede 46	2,21	1,00	1,63	19	138,6	9,3	0,035	14,9
Crete Alcanede 47	2,30	0,56	1,40	18	69,4	8,4	0,033	8,3
Crete Alcanede 48	2,13	0,91	1,42	18	105,9	8,6	0,033	12,3
Crete Alcanede 49	2,00	1,41	1,72	19	186,6	9,8	0,035	19,0
Crete Alcanede 50	2,20	1,31	0,59	17	65,4	4,1	0,031	16,0
Crete Alcanede 51	2,05	0,66	0,79	18	41,1	5,1	0,033	8,1
Crete Alcanede 52	1,88	1,25	0,95	18	85,9	5,9	0,033	14,6
Crete Alcanede 53	1,55	0,95	1,30	19	73,6	7,6	0,035	9,7
Crete Alcanede 54	2,30	1,16	0,92	18	94,4	5,8	0,033	16,3
Crete Alcanede 55	1,93	0,71	1,39	19	73,3	8,0	0,035	9,2

Tipo de Rocha	Medidas Bloco (m)			Velocidade de Serragem (cm/h)	Área Serrada (m²)	Tempo de Serragem (h)	Profundidade de indentação (mm)	Produção Horária (m³/h)
	Comprimento	Largura	Altura					
Relvinha 1	2,47	1,60	1,50	25	228,0	6,9	0,046	33,0
Relvinha 2	2,28	0,91	1,40	26	111,7	6,3	0,048	17,7
Relvinha 3	2,17	1,10	1,14	25	104,7	5,5	0,046	19,2
Relvinha 4	1,51	1,56	0,94	25	85,2	4,7	0,046	18,3
Relvinha 5	2,25	1,00	1,30	24	112,5	6,3	0,044	17,9
Relvinha 6	2,07	1,00	0,86	23	68,5	4,6	0,043	14,9
Relvinha 7	2,71	0,96	0,76	24	76,0	4,0	0,044	18,8
Relvinha 8	2,55	1,20	0,87	25	102,4	4,4	0,046	23,4
Relvinha 9	2,60	1,13	1,27	25	143,5	6,0	0,046	24,0
Relvinha 10	2,30	1,85	1,47	25	240,6	6,8	0,046	35,5
Relvinha 11	2,60	1,85	1,55	25	286,8	7,1	0,046	40,4
Relvinha 12	2,71	1,56	1,43	24	232,5	6,8	0,044	34,0
Relvinha 13	2,16	1,70	0,90	24	127,1	4,6	0,044	27,5
Relvinha 14	2,58	1,11	0,94	24	103,5	4,8	0,044	21,6
Relvinha 15	2,72	1,75	1,60	25	292,9	7,3	0,046	40,1
Relvinha 16	2,64	1,90	1,10	25	212,2	5,3	0,046	40,0
Relvinha 17	2,67	1,80	1,70	25	314,2	7,7	0,046	40,8
Relvinha 18	2,68	1,11	1,87	25	214,0	8,4	0,046	25,5
Relvinha 19	2,37	1,10	1,46	25	146,4	6,7	0,046	21,7
Relvinha 20	1,92	1,45	0,94	25	100,7	4,7	0,046	21,6
Relvinha 21	1,91	1,16	0,94	25	80,1	4,7	0,046	17,2
Relvinha 22	2,15	1,05	0,90	25	78,1	4,5	0,046	17,4
Relvinha 23	2,27	1,10	0,86	25	82,6	4,3	0,046	19,0
Relvinha 24	2,35	1,15	0,77	25	80,0	4,0	0,046	20,1
Relvinha 25	2,06	1,60	0,75	25	95,1	3,9	0,046	24,4
Relvinha 26	2,48	1,11	0,94	24	99,5	4,8	0,044	20,8
Relvinha 27	2,45	1,18	1,00	25	111,2	4,9	0,046	22,7
Relvinha 28	2,50	1,45	1,12	25	156,2	5,4	0,046	29,0
Relvinha 29	1,95	1,06	0,85	25	67,6	4,3	0,046	15,7
Relvinha 30	2,45	1,21	1,34	25	152,8	6,3	0,046	24,4
Relvinha 31	2,56	1,25	0,75	24	92,3	4,0	0,044	23,1
Relvinha 32	2,85	1,90	1,73	24	360,3	8,1	0,044	44,6
Relvinha 33	2,20	1,51	1,67	24	213,4	7,8	0,044	27,2
Relvinha 34	2,05	1,32	1,17	24	121,8	5,8	0,044	21,2
Relvinha 35	2,30	1,41	1,25	25	155,9	5,9	0,046	26,4
Relvinha 36	2,42	0,91	1,03	25	87,2	5,0	0,046	17,4
Relvinha 37	2,12	0,95	1,12	25	86,8	5,4	0,046	16,1
Relvinha 38	1,90	1,16	0,85	23	72,1	4,5	0,043	15,9
Relvinha 39	2,42	1,05	0,93	23	90,9	4,9	0,043	18,6
Relvinha 40	2,30	0,85	1,20	23	90,2	6,1	0,043	14,9
Relvinha 41	1,85	1,25	1,70	24	151,2	8,0	0,044	19,0

Tipo de Rocha	Medidas Bloco (m)			Velocidade de Serragem (cm/h)	Área Serrada (m²)	Tempo de Serragem (h)	Profundidade de indentação (mm)	Produção Horária (m²/h)
	Comprimento	Largura	Altura					
Ataíja Creme 1	1,95	0,46	0,75	11	25,9	6,9	0,020	3,8
Ataíja Creme 2	2,25	0,80	0,70	11	48,5	6,5	0,020	7,5
Ataíja Creme 3	2,05	1,31	1,10	12	113,6	9,3	0,022	12,2
Ataíja Creme 4	2,07	0,90	1,20	12	86,0	10,2	0,022	8,4
Ataíja Creme 5	1,80	0,82	0,62	11	35,2	5,7	0,020	6,2
Ataíja Creme 6	2,03	0,60	0,68	11	31,9	6,3	0,020	5,1
Ataíja Creme 7	1,85	1,35	0,65	11	62,4	6,0	0,020	10,4
Ataíja Creme 8	2,26	0,76	0,85	12	56,2	7,3	0,022	7,7
Ataíja Creme 9	1,76	1,27	1,18	12	101,4	10,0	0,022	10,1
Ataíja Creme 10	2,19	0,65	0,82	11	44,9	7,5	0,020	6,0
Ataíja Creme 11	1,88	0,57	1,14	12	47,0	9,7	0,022	4,8
Ataíja Creme 12	2,00	0,82	0,74	11	46,7	6,8	0,020	6,9
Ataíja Creme 13	2,10	1,00	1,45	12	117,1	12,3	0,022	9,5
Ataíja Creme 14	1,70	0,70	0,86	11	39,4	7,9	0,020	5,0
Ataíja Creme 15	2,00	0,57	0,76	11	33,3	7,0	0,020	4,8
Ataíja Creme 16	1,85	0,97	1,14	12	78,7	9,7	0,022	8,1
Ataíja Creme 17	2,35	1,50	1,76	12	238,6	14,8	0,022	16,1
Ataíja Creme 18	1,92	1,38	1,23	12	125,3	10,4	0,022	12,1
Ataíja Creme 19	1,60	1,35	0,73	11	60,6	6,7	0,020	9,1
Ataíja Creme 20	1,87	1,26	0,75	11	68,0	6,9	0,020	9,9
Ataíja Creme 21	1,90	0,71	1,33	11	69,0	12,2	0,020	5,7
Ataíja Creme 22	2,40	0,73	1,06	11	71,4	9,7	0,020	7,4

Tipo de Rocha	Medidas Bloco (m)			Velocidade de Serragem (cm/h)	Área Serrada (m²)	Tempo de Serragem (h)	Profundidade de indentação (mm)	Produção Horária (m²/h)
	Comprimento	Largura	Altura					
Branco Estremoz 1	1,90	0,87	1,00	17	63,6	6,5	0,028	9,8
Branco Estremoz 2	1,60	1,07	0,60	18	39,5	4,0	0,030	9,9
Branco Estremoz 3	1,98	1,38	0,68	18	71,5	4,4	0,030	16,1
Branco Estremoz 4	1,51	0,75	1,85	17	80,6	11,5	0,028	7,0
Branco Estremoz 5	1,71	1,02	1,06	17	71,1	6,9	0,028	10,4
Branco Estremoz 6	2,27	1,61	1,00	17	140,6	6,5	0,028	21,6
Branco Estremoz 7	2,00	1,51	1,34	17	155,6	8,5	0,028	18,3
Branco Estremoz 8	1,75	0,85	1,73	17	99,0	10,8	0,028	9,2
Branco Estremoz 9	1,98	1,06	1,00	17	80,7	6,5	0,028	12,4
Branco Estremoz 10	1,64	2,01	2,02	17	256,1	12,5	0,028	20,5
Branco Estremoz 11	1,77	0,73	0,70	17	34,8	4,7	0,028	7,3
Branco Estremoz 12	1,92	0,65	0,80	17	38,4	5,3	0,028	7,2
Branco Estremoz 13	1,96	0,91	1,14	17	78,2	7,3	0,028	10,7
Branco Estremoz 14	2,26	0,6	0,77	17	40,2	5,1	0,028	7,8
Branco Estremoz 15	1,12	1,17	1,18	17	59,5	7,6	0,028	7,9
Branco Estremoz 16	1,76	0,9	1,15	17	70,1	7,4	0,028	9,5
Branco Estremoz 17	2,47	1,33	1,15	15	145,3	8,2	0,025	17,8
Branco Estremoz 18	2,00	1,51	1,34	17	155,6	8,5	0,028	18,3

Tipo de Rocha	Medidas Bloco (m)			Velocidade de Serragem (cm/h)	Área Serrada (m ²)	Tempo de Serragem (h)	Profundidade de indentação (mm)	Produção Horária (m ² /h)
	Comprimento	Largura	Altura					
Branco do Mar 1	2,35	0,75	0,81	26	54,9	3,9	0,048	14,1
Branco do Mar 2	2,37	1,39	0,94	25	119,1	4,5	0,046	26,5
Branco do Mar 3	2,67	1,94	1,42	25	282,9	6,4	0,046	44,2
Branco do Mar 4	2,05	0,62	1,04	25	50,8	4,9	0,046	10,4
Branco do Mar 5	1,85	0,80	1,35	26	76,8	5,9	0,048	13,0
Branco do Mar 6	2,30	0,80	0,94	26	66,5	4,4	0,048	15,1
Branco do Mar 7	1,92	1,24	0,95	26	87,0	4,4	0,048	19,8
Branco do Mar 8	1,70	1,00	1,15	25	75,2	5,3	0,046	14,2
Branco do Mar 9	2,33	0,92	1,46	25	120,4	6,6	0,046	18,2
Branco do Mar 10	2,00	1,35	0,55	26	57,1	2,9	0,048	19,7
Branco do Mar 11	1,93	0,80	0,90	27	53,4	4,1	0,050	13,0
Branco do Mar 12	2,10	0,74	0,85	26	50,8	4,0	0,048	12,7
Branco do Mar 13	2,00	1,05	0,92	25	74,3	4,4	0,046	16,9
Branco do Mar 14	2,00	0,81	0,60	26	37,4	3,0	0,048	12,5
Branco do Mar 15	2,24	0,90	1,32	25	102,4	6,0	0,046	17,1
Branco do Mar 16	2,10	1,07	1,22	25	105,4	5,6	0,046	18,8
Branco do Mar 17	1,70	0,78	1,28	27	65,3	5,5	0,050	11,9
Branco do Mar 18	1,90	0,60	1,22	26	53,5	5,4	0,048	9,9
Branco do Mar 19	1,45	1,38	1,22	25	93,9	5,6	0,046	16,8
Branco do Mar 20	1,95	0,62	1,12	25	52,1	5,2	0,046	10,0
Branco do Mar 21	2,15	1,53	1,06	25	134,1	5,0	0,046	26,8
Branco do Mar 22	2,25	0,97	1,47	25	123,4	6,6	0,046	18,7
Branco do Mar 23	1,47	0,91	1,37	26	70,5	6,0	0,048	11,7
Branco do Mar 24	1,80	0,76	1,53	26	80,5	6,6	0,048	12,2
Branco do Mar 25	2,30	1,26	0,96	25	107,0	4,6	0,046	23,3
Branco do Mar 26	1,87	1,39	1,45	25	145,0	6,5	0,046	22,3
Branco do Mar 27	1,75	1,00	1,27	25	85,5	5,8	0,046	14,7
Branco do Mar 28	2,45	0,66	0,96	27	59,7	4,3	0,050	13,9
Branco do Mar 29	2,38	0,96	1,44	25	126,5	6,5	0,046	19,5
Branco do Mar 30	1,92	1,32	0,86	26	83,8	4,0	0,048	21,0
Branco do Mar 31	1,75	0,95	1,30	25	83,1	5,9	0,046	14,1

Tipo de Rocha	Medidas Bloco (m)			Velocidade de Serragem (cm/h)	Área Serrada (m²)	Tempo de Serragem (h)	Profundidade de indentação (mm)	Produção Horária (m²/h)
	Comprimento	Largura	Altura					
Azul Valverde 1	1,90	0,82	0,45	10	27,0	4,5	0,019	6,0
Azul Valverde 2	1,98	1,00	1,06	10	80,7	10,6	0,019	7,6
Azul Valverde 3	1,12	1,18	1,17	9	59,5	12,8	0,017	4,6
Azul Valverde 4	2,48	0,94	1,55	11	139,0	14,2	0,020	9,8
Azul Valverde 5	1,25	0,70	1,58	11	53,2	14,5	0,020	3,7
Azul Valverde 6	1,40	0,85	1,12	10	51,3	11,2	0,019	4,6
Azul Valverde 7	1,65	0,95	1,45	9	87,4	15,9	0,017	5,5
Azul Valverde 8	1,40	0,55	1,57	10	46,5	15,7	0,019	3,0
Azul Valverde 9	1,40	0,70	0,96	11	36,2	8,9	0,020	4,1
Azul Valverde 10	1,55	1,37	1,28	10	104,5	12,8	0,019	8,2
Azul Valverde 11	1,75	0,61	1,40	9	57,5	15,4	0,017	3,7
Azul Valverde 12	1,85	1,18	1,52	10	127,6	15,2	0,019	8,4
Azul Valverde 13	1,95	0,63	1,25	11	59,1	11,5	0,020	5,1
Azul Valverde 14	1,80	1,20	0,73	11	60,6	6,8	0,020	9,0
Azul Valverde 15	1,92	0,68	0,65	11	32,6	6,0	0,020	5,4
Azul Valverde 16	1,60	0,78	1,32	11	63,4	12,1	0,020	5,2
Azul Valverde 17	1,85	1,30	1,31	11	121,2	12,0	0,020	10,1
Azul Valverde 18	1,90	0,47	0,75	11	25,8	7,0	0,020	3,7
Azul Valverde 19	1,95	0,42	0,91	10	28,7	9,1	0,019	3,2
Azul Valverde 20	1,92	0,66	0,80	10	39,0	8,0	0,019	4,9
Azul Valverde 21	1,76	0,50	1,07	11	36,2	9,9	0,020	3,7
Azul Valverde 22	1,80	0,80	0,77	11	42,6	7,1	0,020	6,0
Azul Valverde 23	1,73	0,96	1,17	9	74,7	12,8	0,017	5,8
Azul Valverde 24	1,62	1,21	0,61	11	46,0	5,7	0,020	8,1
Azul Valverde 25	1,75	0,93	1,36	11	85,1	12,5	0,020	6,8
Azul Valverde 26	1,57	1,00	1,07	11	64,6	9,9	0,020	6,6

Tipo de Rocha	Medidas Bloco (m)			Velocidade de Serragem (cm/h)	Área Serrada (m²)	Tempo de Serragem (h)	Profundidade de indentação (mm)	Produção Horária (m³/h)
	Comprimento	Largura	Altura					
Moca Creme 1	2,88	1,25	1,61	25	222,9	7,3	0,046	30,4
Moca Creme 2	2,00	1,34	1,51	25	155,6	6,9	0,046	22,4
Moca Creme 3	1,96	1,14	0,91	25	78,2	4,5	0,046	17,2
Moca Creme 4	1,60	0,64	0,90	25	35,4	4,5	0,046	7,9
Moca Creme 5	1,70	1,40	1,40	24	128,2	6,7	0,044	19,1
Moca Creme 6	1,16	1,16	1,16	25	60,0	5,5	0,046	10,8
Moca Creme 7	1,75	1,73	0,85	24	99,0	4,4	0,044	22,4
Moca Creme 8	1,92	0,80	0,65	24	38,4	3,6	0,044	10,7
Moca Creme 9	1,76	1,15	0,90	24	70,1	4,6	0,044	15,1
Moca Creme 10	1,51	1,85	0,75	25	80,6	3,9	0,046	20,7
Moca Creme 11	1,71	1,06	1,02	25	71,1	5,0	0,046	14,3
Moca Creme 12	1,45	0,90	0,60	25	30,1	3,3	0,046	9,1
Moca Creme 13	2,88	0,55	0,96	24	58,5	4,9	0,044	12,0
Moca Creme 14	2,25	1,23	0,90	25	95,8	4,5	0,046	21,3
Moca Creme 15	2,90	1,60	0,79	25	141,0	4,1	0,046	34,7
Moca Creme 16	1,70	1,40	1,40	25	128,2	6,5	0,046	19,7
Moca Creme 17	2,48	1,55	0,94	25	139,0	4,7	0,046	29,8
Moca Creme 18	1,56	1,00	1,16	24	69,6	5,7	0,044	12,2
Moca Creme 19	2,86	1,91	1,40	25	294,1	6,5	0,046	45,3
Moca Creme 20	1,91	0,96	1,13	24	79,7	5,6	0,044	14,3
Moca Creme 21	2,84	2,00	1,75	25	382,3	7,9	0,046	48,4
Moca Creme 22	2,60	0,63	0,75	24	47,3	4,0	0,044	11,8
Moca Creme 23	2,15	1,17	0,75	25	72,6	3,9	0,046	18,6
Moca Creme 24	1,68	0,81	0,81	24	42,4	4,3	0,044	10,0
Moca Creme 25	1,50	1,41	0,70	25	56,9	3,7	0,046	15,4
Moca Creme 26	2,15	1,17	0,75	25	72,6	3,9	0,046	18,6
Moca Creme 27	1,87	0,62	0,98	25	43,7	4,8	0,046	9,1
Moca Creme 28	2,00	0,73	0,95	23	53,3	5,0	0,043	10,7
Moca Creme 29	1,88	1,46	0,47	25	49,6	2,8	0,046	17,8
Moca Creme 30	2,18	0,61	1,42	25	72,6	6,6	0,046	11,0
Moca Creme 31	1,45	0,60	1,17	25	39,2	5,6	0,046	7,0

Tipo de Rocha	Medidas Bloco (m)			Velocidade de Serragem (cm/h)	Área Serrada (m ²)	Tempo de Serragem	Profundidade de indentação (mm)	Produção Horária (m ² /h)
	Comprimento	Largura	Altura					
Rosal 1	2,20	1,25	0,60	21	63,5	3,6	0,039	17,6
Rosal 2	2,00	0,75	1,23	22	71,0	6,4	0,041	11,1
Rosal 3	1,70	0,80	1,50	22	78,5	7,6	0,041	10,3
Rosal 4	2,15	1,00	1,50	23	124,0	7,4	0,043	16,8
Rosal 5	1,57	0,76	0,81	22	37,2	4,5	0,041	8,3
Rosal 6	2,13	1,32	0,59	21	63,8	3,6	0,039	17,7
Rosal 7	1,60	1,10	1,26	23	85,3	6,3	0,043	13,5
Rosal 8	2,10	0,58	0,72	22	33,7	4,1	0,041	8,2
Rosal 9	1,80	0,79	0,78	22	42,7	4,4	0,041	9,7
Rosal 10	1,75	0,68	1,01	22	46,2	5,4	0,041	8,6
Rosal 11	2,07	1,08	0,54	21	46,4	3,4	0,039	13,7
Rosal 12	2,16	0,62	1,00	22	51,5	5,4	0,041	9,5
Rosal 13	1,90	0,81	0,97	22	57,4	5,2	0,041	11,0
Rosal 14	1,60	0,91	1,45	23	81,2	7,2	0,043	11,3
Rosal 15	2,06	0,91	1,06	23	76,4	5,5	0,043	13,9
Rosal 16	2,00	1,41	1,07	22	116,1	5,7	0,041	20,4
Rosal 17	1,95	1,10	1,55	23	127,9	7,6	0,043	16,8
Rosal 18	1,92	0,75	1,16	23	64,2	5,9	0,043	10,9
Rosal 19	1,73	1,27	1,35	23	114,1	6,7	0,043	17,0
Rosal 20	2,20	1,45	0,75	22	92,0	4,2	0,041	21,9
Rosal 21	2,05	0,81	1,11	22	70,9	5,9	0,041	12,0
Rosal 22	1,98	0,66	1,50	23	75,4	7,4	0,043	10,2

Anexo 2: Resultados dos Modelos de Regressão Linear.

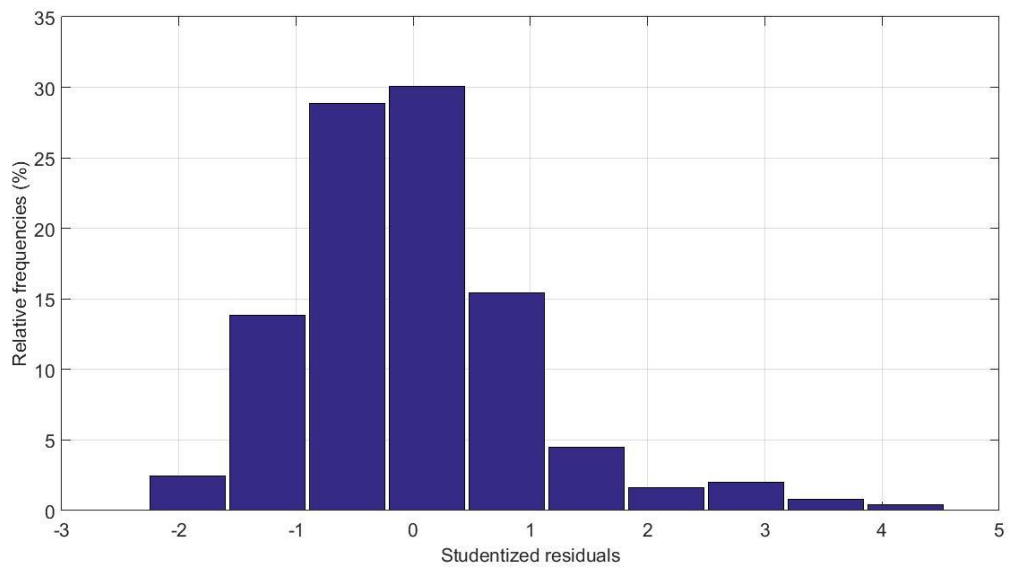
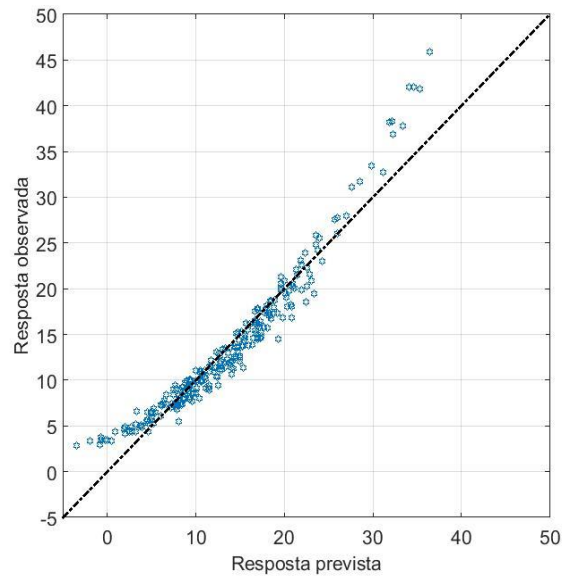
Modelo 1:

Summary Statistics

```
nobs: 246
npar: 6
R_2: 0.9267
R: 0.9627
R_2_adjusted: 0.9252
R_adjusted: 0.9619
S_err: 2.1374
AIC: 379.6422
SBIC: 400.6742
```

df_Pure_Error = 2, SSE_Pure_Error = 0.049705, MSE_Pure_Error = 0.024853

Variáveis	$\hat{\beta}$	$s_{\hat{\beta}}^2$	Estatística t	Valor-p	I. C. (mínimo)	I.C. (máximo)
β_0	-30.0163	1.7542	17.1115	0.0000	-33.4718	-26.5608
Comprimento do Bloco (C_b, m)	8.2029	0.4202	19.5216	0.0000	7.3752	9.0306
Largura do Bloco (L_b, m)	14.4065	0.4282	33.6411	0.0000	13.5629	15.2501
Velocidade de Serragem (V_s, cm/h)	0.4935	0.2539	1.9433	0.0532	-0.0068	0.9937
Profundidade de Indentação (P_i, mm)	18.8396	125.8005	0.1498	0.8811	-228.9745	266.6537
Resistência à Compressão Uniaxial (RCU, MPa)	0.0128	0.0082	1.5623	0.1195	-0.0033	0.0290



Modelo 2:

Summary Statistics

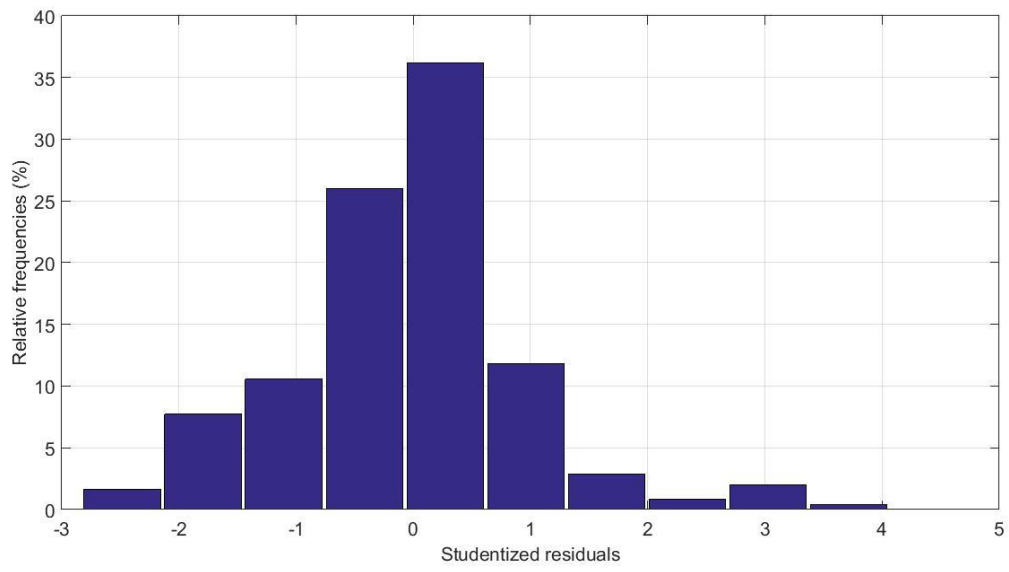
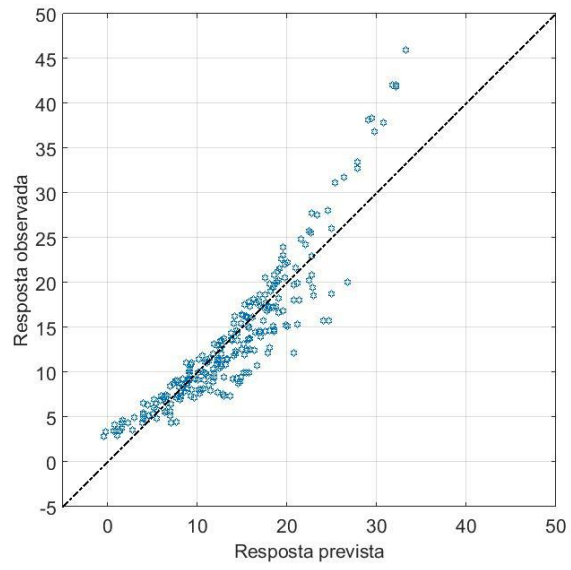
```

nobs: 246
npar: 5
R_2: 0.9598
R: 0.9797
R_2_adjusted: 0.9592
R_adjusted: 0.9794
S_err: 3.1780
AIC: 573.8308
SBIC: 591.3575

```

df_Pure_Error = 2, SSE_Pure_Error = 0.049705, MSE_Pure_Error = 0.024853

Variáveis	$\hat{\beta}$	$s_{\hat{\beta}}^2$	Estatística t	Valor-p	I. C. (mínimo)	I.C. (máximo)
Comprimento do Bloco (C_b, m)	6.2111	0.6003	10.3462	0.0000	5.0286	7.3937
Largura do Bloco (L_b, m)	14.3971	0.6367	22.6107	0.0000	13.1429	15.6514
Velocidade de Serragem (V_s, cm/h)	-1.6503	0.3284	5.0249	0.0000	-2.2972	-1.0033
Profundidade de Indentação (P_i, mm)	817.7229	173.6919	4.7079	0.0000	475.5749	1159.8709
Resistência à Compressão Uniaxial (RCU, MPa)	-0.1084	0.0062	17.5550	0.0000	-0.1205	-0.0962



Modelo 3:

Summary Statistics

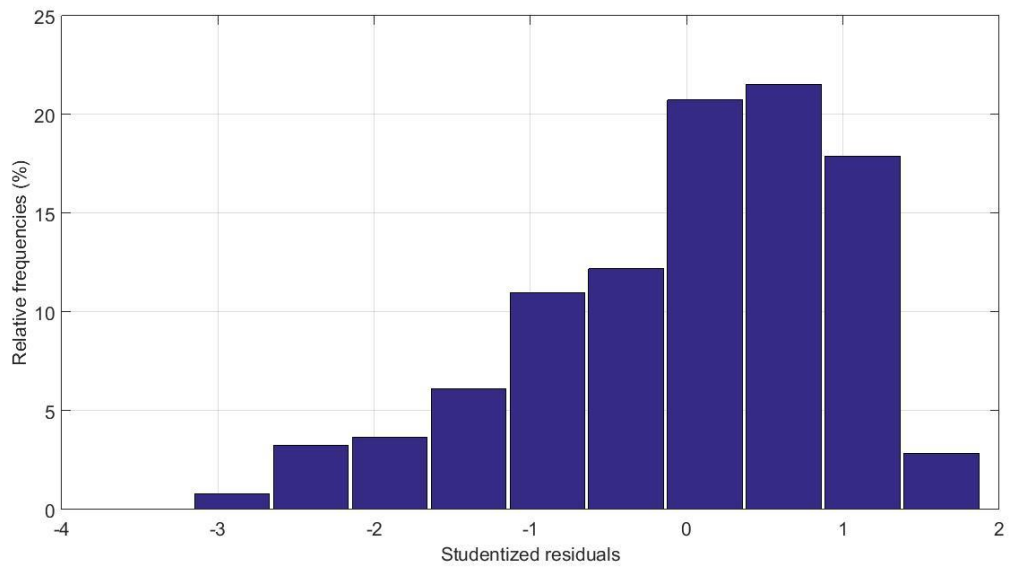
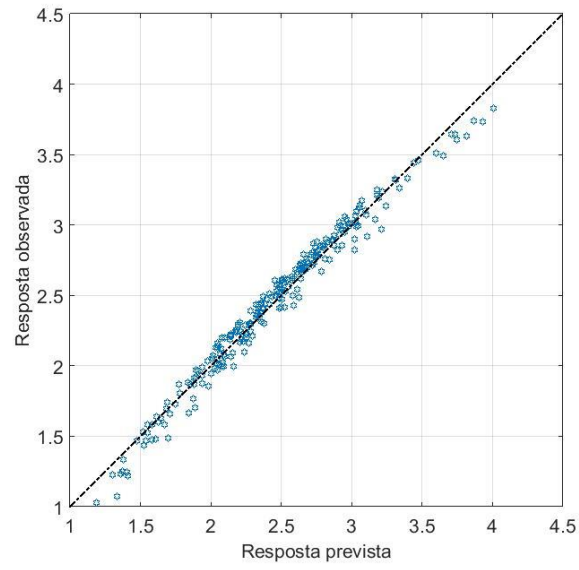
```

nobs: 246
npar: 6
R_2: 0.9780
R: 0.9889
R_2_adjusted: 0.9775
R_adjusted: 0.9887
S_err: 0.0830
AIC: -1.2185e+03
SBIC: -1.1975e+03

```

df_Pure_Error = 2, SSE_Pure_Error = 0.00016835, MSE_Pure_Error = 8.4173e-05

Variáveis	$\hat{\beta}$	$s_{\hat{\beta}}^2$	Estatística t	Valor-p	I. C. (mínimo)	I.C. (máximo)
β_0	-0.4248	0.0681	6.2348	0.0000	-0.5590	-0.2906
Comprimento do Bloco (C_b, m)	0.4895	0.0163	29.9925	0.0000	0.4573	0.5216
Largura do Bloco (L_b, m)	0.9605	0.0166	57.7475	0.0000	0.9278	0.9933
Velocidade de Serragem (V_s, cm/h)	0.0678	0.0099	6.8725	0.0000	0.0484	0.0872
Profundidade de Indentação (P_i, mm)	-11.5176	4.8862	2.3572	0.0192	-21.1429	-1.8924
Resistência à Compressão Uniaxial (RCU, MPa)	-0.0005	0.0003	1.4193	0.1571	-0.0011	0.0002



Modelo 5:

Summary Statistics

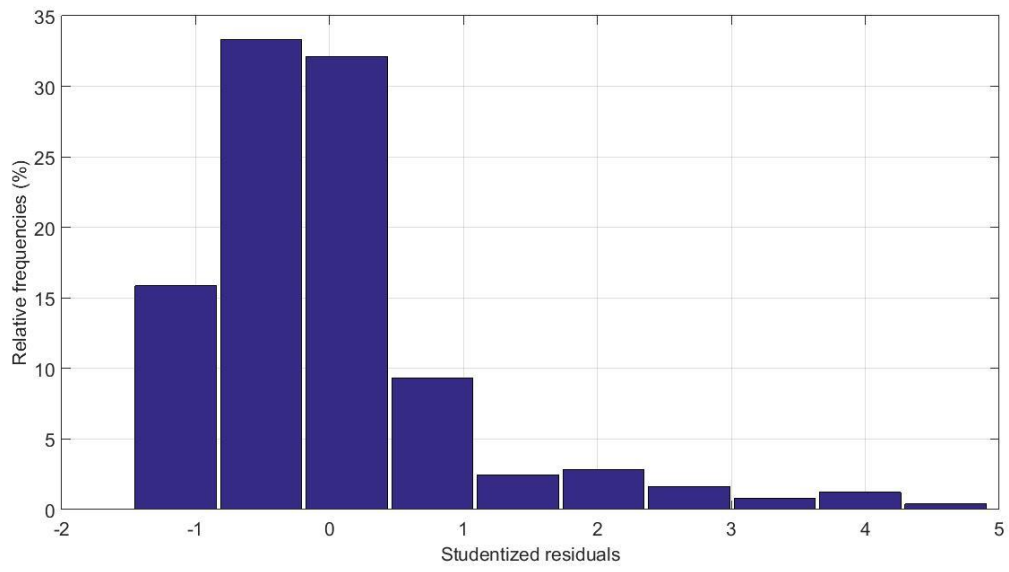
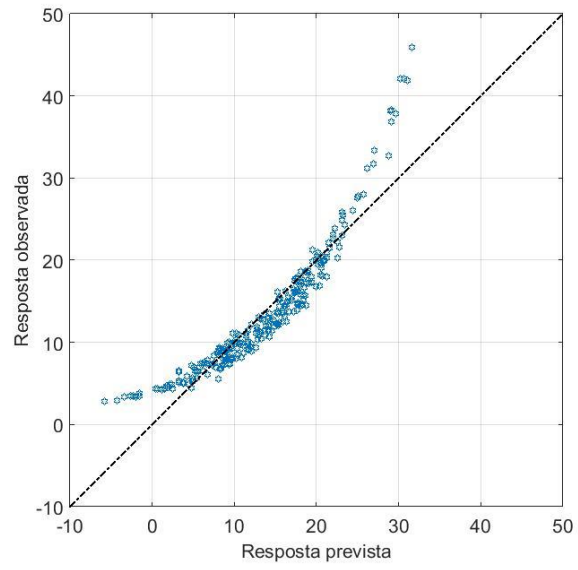
```

nobs: 246
npar: 6
R_2: 0.8605
R: 0.9276
R_2_adjusted: 0.8576
R_adjusted: 0.9261
S_err: 2.9496
AIC: 538.1100
SBIC: 559.1420

```

df_Pure_Error = 2, SSE_Pure_Error = 0.049705, MSE_Pure_Error = 0.024853

Variáveis	$\hat{\beta}$	$s_{\hat{\beta}}^2$	Estatística t	Valor-p	I. C. (mínimo)	I.C. (máximo)
β_0	-1.5358	31.8777	0.0482	0.9616	-64.3315	61.2599
Comprimento do Bloco (C_b, m)	16.4206	1.1329	14.4942	0.0000	14.1889	18.6523
Largura do Bloco (L_b, m)	14.4020	0.6102	23.6036	0.0000	13.2000	15.6039
Velocidade de Serragem (V_s, cm/h)	4.3300	5.0333	0.8603	0.3905	-5.5850	14.2451
Profundidade de Indentação (P_i, mm)	4.2040	4.7971	0.8764	0.3817	-5.2458	13.6538
Resistência à Compressão Uniaxial (RCU, MPa)	1.1222	0.8603	1.3045	0.1933	-0.5725	2.8168



Modelo 6:

Summary Statistics

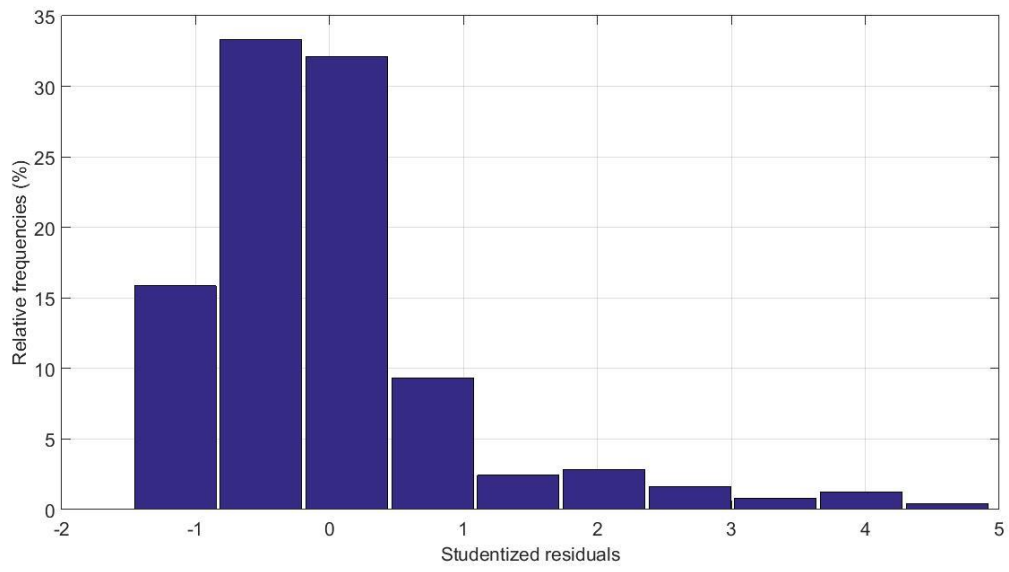
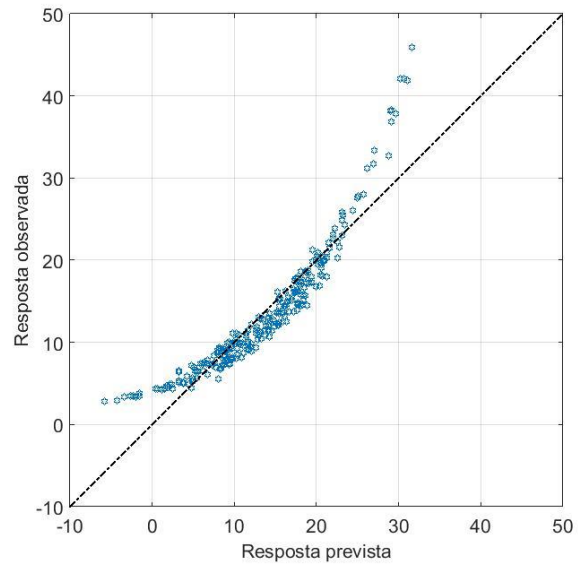
```

nobs: 246
npar: 5
R_2: 0.9656
R: 0.9826
R_2_adjusted: 0.9650
R_adjusted: 0.9823
s_err: 2.9435
AIC: 536.1123
SBIC: 553.6390

```

df_Pure_Error = 2, SSE_Pure_Error = 0.049705, MSE_Pure_Error = 0.024853

Variáveis	$\hat{\beta}$	$s_{\hat{\beta}}^2$	Estatística t	Valor-p	I. C. (mínimo)	I.C. (máximo)
Comprimento do Bloco (C_b, m)	16.4165	1.1273	14.5625	0.0000	14.1958	18.6371
Largura do Bloco (L_b, m)	14.4058	0.6036	23.8649	0.0000	13.2167	15.5949
Velocidade de Serragem (V_s, cm/h)	4.0886	0.4624	8.8426	0.0000	3.1778	4.9994
Profundidade de Indentação (P_i, mm)	4.4309	0.9091	4.8737	0.0000	2.6401	6.2218
Resistência à Compressão Uniaxial (RCU, MPa)	1.1091	0.8146	1.3616	0.1746	-0.4955	2.7137



Modelo 7:

Summary Statistics

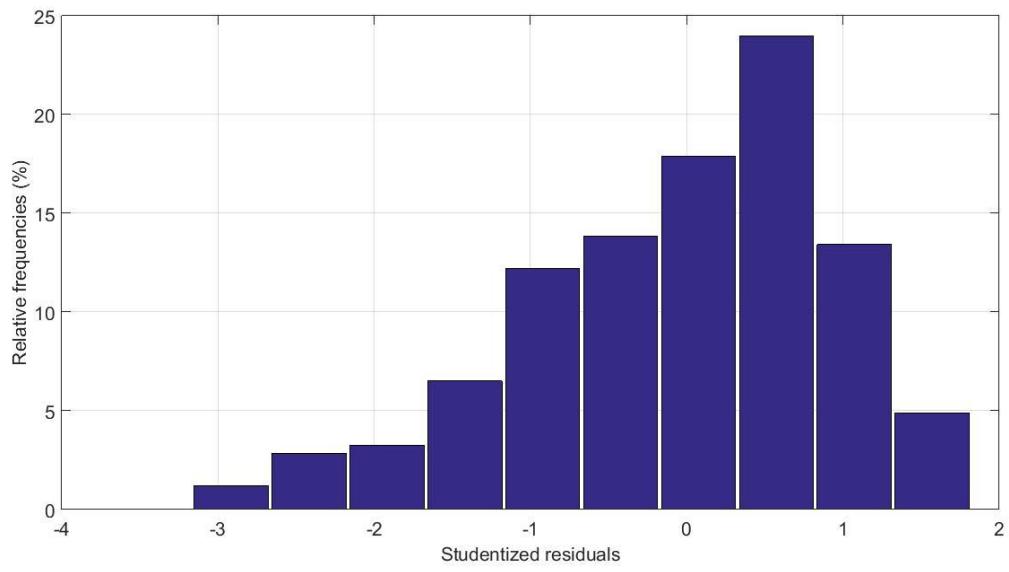
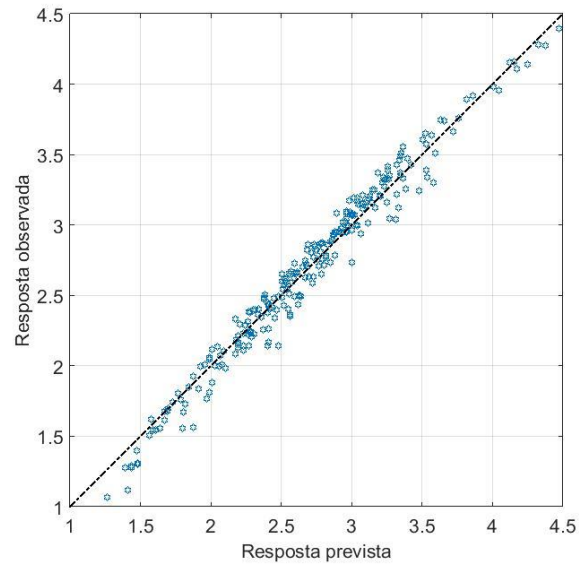
```

nobs: 246
npar: 5
R_2: 0.9985
R: 0.9993
R_2_adjusted: 0.9985
R_adjusted: 0.9992
s_err: 0.1081
AIC: -1.0898e+03
SBIC: -1.0723e+03

```

df_Pure_Error = 2, SSE_Pure_Error = 0.0002513, MSE_Pure_Error = 0.00012565

Variáveis	$\hat{\beta}$	$s_{\hat{\beta}}^2$	Estatística t	Valor-p	I. C. (mínimo)	I.C. (máximo)
Comprimento do Bloco (C_b, m)	0.5408	0.0204	26.4973	0.0000	0.5006	0.5811
Largura do Bloco (L_b, m)	1.1517	0.0216	53.1987	0.0000	1.1091	1.1944
Velocidade de Serragem (V_s, cm/h)	0.0231	0.0112	2.0708	0.0394	0.0011	0.0451
Profundidade de Indentação (P_i, mm)	7.9395	5.9056	1.3444	0.1801	-3.6935	19.5726
Resistência à Compressão Uniaxial (RCU, MPa)	-0.0035	0.0002	16.6384	0.0000	-0.0039	-0.0031



Anexo 3: Características do Engenho A. J. Figueiredo SB 80L

Características	Unidades	A.J. Figueiredo
Dimensões dos Blocos Trabalhados		
Max Comprimento	m	3,2
Max Largura		2
Max Altura		2,02
Potências instaladas		
Motor do porta-lâminas	kW	100
Motor de Descida Rápida		
Motor de Descida Lenta		
Total Potência		
Consumos		
Água	l/min	60
Óleo Lubrificação	Horas	250
Rolamentos		10000
Molas		
Anilhas		
Correntes		
Lâminas/Segmentos		