

# Série Rochas e Minerais Industriais

## Simulador de desgaste de pérolas diamantadas – Aspectos construtivos

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira  
Luan Lamon Machado  
Beatriz Carvalheira Moreira



# **SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS**

**Simulador de desgaste de pérolas diamantadas –  
Aspectos construtivos**

## **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Luiz Inácio Lula da Silva**

Presidente

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

**Luciana Santos**

Ministra de Estado

**Luis Manuel Rebelo Fernandes**

Secretário Executivo

**Isa Assef dos Santos**

Subsecretária de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

## **CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Silvia Cristina Alves França**

Diretora

**Maurício Moutinho da Silva**

Coordenador de Administração - COADM

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

**Paulo Fernando Almeida Braga**

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

**Marisa Nascimento**

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

**Leonardo Luiz Lyrio da Silveira**

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

**Arnaldo Alcover Neto**

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

# SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

ISSN 1518-9155

SRMI - 33

## **Simulador de desgaste de pérolas diamantadas – Aspectos construtivos**

### **Leonardo Luiz Lyrio da Silveira**

Geólogo, D.Sc. em Geotecnia pela Universidade de São Paulo.  
Tecnologista Sênior do CETEM/MCTI.

### **Luan Lamon Machado**

Engenheiro Mecânico pelo Instituto Federal de Educação, Ciência  
e Tecnologia do Espírito Santo. Pesquisador Bolsista PCI do  
CETEM/MCTI.

### **Beatriz Carvalheira Moreira**

Geóloga, M.Sc. em Geologia pela Universidade Federal de Minas  
Gerais. Pesquisadora Bolsista PCI do CETEM/MCTI.

CETEM/MCTI

2023

# SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

**Editor:** Luiz Carlos Bertolino

**Subeditor:** Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

**CONSELHO EDITORIAL:** Fernanda Arruda Nogueira (IQ-UFRJ), Luis Lopes (Universidade de Évora – Portugal), Raimundo Humberto Lima (UFAM), Rogério Pinto Ribeiro (USP), Thiago Motta Bolonini (UFES), Víctor Salgado Campos (UFF), Werlen Holanda dos Santos (UERJ).

A Série Rochas e Minerais Industriais publica trabalhos nas áreas de rochas ornamentais, minerais industriais, agrominerais e gemologia. Tendo como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes de pesquisas desenvolvidas no CETEM e em Instituições de Pesquisas da área.

The Rocks and Industrial Minerals Serie publish works in the areas of ornamental rocks, industrial minerals, agrominerals and gemology. With the main objective of disseminating the results of technical-scientific investigations resulting from research carried out at CETEM and at Research Institutions in the area.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Copyright © 2023 CETEM/MCTI

Todos os direitos reservados.  
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação de copyright (Lei 5.988)

Valéria Cristina de Souza  
Diagramação e Editoração Eletrônica

André Luiz Costa Alves  
Projeto Gráfico

Informações:  
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Av. Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ  
Homepage: [www.cetem.gov.br](http://www.cetem.gov.br)

CIP – Catalogação na Publicação

S587

Silveira, Leonardo Luiz Lyrio.

Simulador de desgaste de pérolas diamantadas: aspectos construtivos /  
Leonardo Luiz Lyrio da Silveira; Luan Lamon Machado; Beatriz Carvalheira  
Moreira – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2023.

44 p. - (Série Rochas e Minerais Industriais; 33).

ISBN 978-65-5919-034-8

1. Simulador. 2. Desgaste. 3. Pérola diamantada. 4. Tribologia.  
I. Machado, Luan Lamon. II. Moreira, Beatriz Carvalheira. III. Centro de  
Tecnologia Mineral. IV. Título. V. Série.

CDD 620.0046

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do CETEM/MCTI  
Bibliotecário(a) Rosana Silva de Oliveira CRB7 – 5849

# SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1   INTRODUÇÃO	9
2   REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1   Setor de Rochas Ornamentais no Brasil	12
2.2   Fios Diamantados	13
2.3   Corte de Rochas com Ferramenta Diamantada	15
2.4   Estado da Arte	17
2.5   Breve Revisão Tribológica	19
3   SIMULADOR DE DESGASTE DE PÉROLAS DIAMANTADAS	27
3.1   Montagem do Experimento	29
3.2   Acionamento e Procedimentos de Segurança	31
3.3   Painel de Comandos plc300	32
3.4   Verificações e Ajustes	35
3.5   Sistema de Resfriamento	37
4   CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

## **RESUMO**

O Brasil está em 5º lugar no ranking dos maiores produtores de rochas ornamentais mundiais, tendo a capacidade instalada de processamento em 2020 de 90 milhões de m<sup>2</sup>, sendo que os teares multifios são responsáveis por mais de 58% da produção, demonstrando a eficiência do fio diamantado no corte de rochas. O Simulador de Desgaste de Pérolas Diamantadas (SDPD) é um equipamento desenvolvido pelo CETEM-NRES que visa minimizar os erros experimentais ao analisar o comportamento exclusivo de uma pérola em contato com a rocha. O termo “Tribologia” se refere à Ciência que estuda a relação do contato entre superfícies em movimento relativo, englobando atrito, desgaste e lubrificação. Com base nisso, faz-se importante compreender quais são os parâmetros envolvidos no processo de corte de rochas a fim de aumentar o rendimento da extração por meio do equilíbrio entre o desgaste da ferramenta diamantada e a taxa de corte.

### **Palavras-chave**

Simulador; desgaste; pérola; diamantada; tribologia.

## **ABSTRACT**

Brazil ranks 5<sup>th</sup> among the world's largest producers of ornamental stones, with an installed processing capacity in 2020 of 90 million m<sup>2</sup>, and multiwire gangsaws are responsible for over 58% of production, demonstrating the efficiency of diamond wire in cutting stone. The Simulator for Diamond Bead Wear (SDBW) is a piece of equipment developed by CETEM-NRES that aims to minimize experimental errors by analyzing the unique behavior of a bead in contact with rock. The term "Tribology" refers to the science that studies the contact relationship between surfaces in relative motion, encompassing friction, wear and lubrication. Based on this, it is important to understand what parameters are involved in the rock cutting process in order to increase the extraction yield by balancing diamond tool wear and cutting rate.

### **Keywords**

Simulator; wear; bead; diamond; tribology.

## 1 | INTRODUÇÃO

Compreender os parâmetros envolvidos no processo de corte de rochas é essencial para otimizá-lo, possibilitando aumentar o rendimento do corte por meio do equilíbrio entre o desgaste da ferramenta diamantada e a taxa de corte. Para alcançar esse objetivo é necessário conhecer as características do tribossistema e delimitá-lo em variáveis de entrada e saída, além de identificar quais variáveis afetam o sistema e promovem perdas.

Embora existam diferentes estudos que quantificam a taxa de desgaste da ferramenta e apontam quais parâmetros afetam o corte, ainda não foi possível obter uma configuração ideal, pois os métodos empregados estão inerentes aos erros experimentais promovidos pela quantidade de pérolas utilizadas, vibração da máquina e pelos planos de deslizamento. Para contornar esse problema aparente, o CETEM-NRES desenvolveu um Simulador de Desgaste de Pérolas Diamantadas (SDPD) que minimiza os erros experimentais ao analisar o comportamento exclusivo de uma pérola em contato com o corpo de prova, rotacional, de formato cilíndrico. Este dispositivo possibilita que a pérola fique em contato ininterrupto com o corpo de prova, de tal forma que não ocorra impactos sobre a ferramenta cortante, minimizando, assim, os efeitos de *pull-out* (destacamento de partículas diamantadas) e *fretting* (desgaste devido a oscilações).

Ao controlar esses efeitos indesejáveis e intermitentes, será possível determinar, empiricamente, a máxima eficiência da ferramenta cortante, e propor novas alternativas composicionais para a confecção das pérolas.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

Desde os primórdios, o Homem utiliza a rocha - elemento essencial para sua sobrevivência no período Paleolítico, onde sem recursos ou tecnologias construtivas fez-se da pedra a principal matéria prima para a fabricação de instrumentos que facilitaram a caça, a defesa e a coleta de recursos naturais. Sua importância foi tanta, que o período foi categorizado de Idade da Pedra.

Com sua constante utilização, o Homem passou a conhecer gradativamente as características das rochas, tais como densidade, resistência e sua composição mineral de onde posteriormente viriam a ser extraídos metais para a confecção de seus utensílios (MELO JR, 1991).

Prosseguindo com a evolução humana, surgiram novas aplicações para as rochas que foram utilizadas de acordo com as características das civilizações, seja para expressar e preservar a cultura local, evidenciar a monumentalidade de templos, se vangloriar pelas vitórias bélicas ou homenagear as autoridades da época.

Para contextualizar o quão remoto é o início da utilização de rochas em obras arquitetônicas, Vidal et al. (2013) citam em seu referencial teórico o Templo de Gobekli Tepe localizado no sudoeste da Turquia como a construção mais antiga já encontrada, possuindo aproximadamente 12 mil anos. Os mesmos autores também mencionam os assentamentos realizados na cidade de Jericó que datam aproximadamente 10 mil anos; as construções egípcias de pirâmides, templos e esculturas que ocorreram entre os anos 3000 a.C até 640 d.C; as edificações de templos gregos iniciados a partir do século V a.C e o aperfeiçoamento das

técnicas, egípcias e gregas, pelos romanos que acrescentaram argamassas, cimento e concreto na edificação de seu extenso império.

Já no Brasil, como em quase toda a América, a arqueologia evidenciou a utilização de diversos instrumentos feitos com pedras pelos nativos, como machados, peças de corte, etc.. Porém, a introdução da rocha nas construções do País foi iniciada somente no período colonial, graças aos portugueses que construíram fortificações defensivas ao longo da costa e edificações religiosas.

A implantação das primeiras indústrias de beneficiamento de mármore no Brasil, em caráter artesanal, ocorreu no século XIX, por imigrantes italianos e portugueses. Os métodos rudimentares empregados e a forte concorrência proveniente das importações do mármore de Carrara dificultaram o desenvolvimento do setor (GIACONI, 1998).

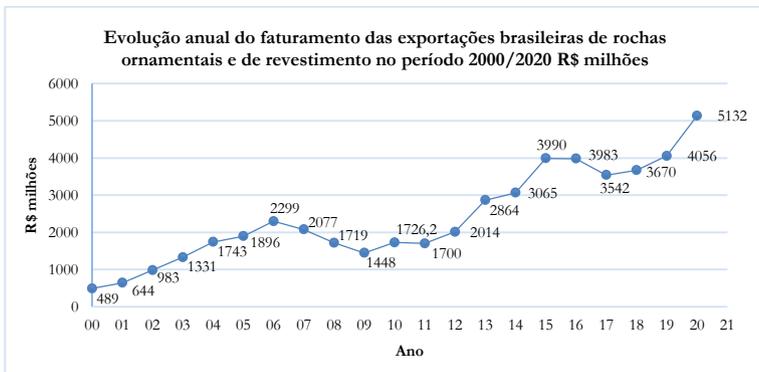
Entretanto, a partir da década de 60, a crescente demanda de material de revestimento impulsionou a indústria de mármore e granitos que alcançou expressão comercial nos anos 70. Com o avanço e implantação de novas tecnologias aplicadas no setor industrial, a produção de rochas alcançou um ritmo acelerado de crescimento nos anos 1990, isso graças a implementação de corte por fio diamantado nas pedreiras.

A comercialização de máquinas de corte por fio diamantado iniciada nos anos 80 em Carrara (Itália) em consonância com as descobertas de novos métodos para síntese de diamantes policristalinos através de deposição química por vapor nos anos 90 aumentou significativamente a rentabilidade dos processos de extração e transformação de rocha.

## 2.1 | Setor de Rochas Ornamentais no Brasil

Atualmente o setor brasileiro de rochas ornamentais apresenta um papel importante na economia do País, que se consolida entre os cinco maiores produtores mundiais, perdendo apenas para a China, Itália, Turquia e Índia. Tal posição de destaque se dá pela grande variedade de suas matérias-primas, ressaltando que o Brasil é considerado o país com a maior geodiversidade mundial em rochas ornamentais.

Segundo levantamento histórico realizado pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2021) o faturamento anual das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento evoluiu significativamente nos últimos 20 anos, conforme gráfico a seguir (Figura 1).



Fonte: ABIROCHAS, 2021.

**Figura 1.** Levantamento do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais.

Na prática, o rendimento está atrelado ao mercado imobiliário (índice S&P/CS) dos EUA, nosso maior importador. Isso explica a lucratividade evidenciada no período de 2000 a 2006, que condiz

com o boom imobiliário norte americano, e o posterior declínio (2006 a 2009) caracterizado pelo estouro da bolha. Nota-se ainda que a partir de 2011 ocorreu uma retomada crescente do faturamento das exportações. Naquele ano, a cadeia produtiva de rochas ornamentais foi marcada pelo início da substituição dos teares convencionais com lâminas de aço por teares de fios diamantados, o que resultou em uma maior produtividade, ampliou as margens de lucros e aumentou a competitividade das empresas. Desde então, o setor brasileiro de rochas ornamentais vem se modernizando com a aquisição e operacionalização de mais de 360 teares multifio diamantados.

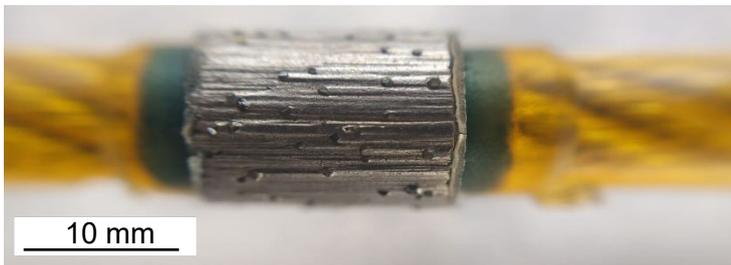
Segundo dados da Abirochas (2021) a capacidade instalada do parque brasileiro de serragem de chapas em 2020 foi de 90 milhões de m<sup>2</sup>, e embora a quantidade de teares multifio represente apenas 40% do perfil tecnológico, tais equipamentos são responsáveis por mais de 58% da produção, o que demonstra a eficiência do fio diamantado no corte de rochas. Supondo que os equipamentos convencionais sejam substituídos por multifios, nos próximos anos seria alcançado uma capacidade mínima de 132 milhões de m<sup>2</sup>, podendo ser facilmente superado com o emprego de novas ligas na composição das pérolas ou otimização dos parâmetros operacionais.

## 2.2 | Fios Diamantados

Os fios diamantados são ferramentas de corte amplamente utilizadas nos desmontes de rochas ornamentais devido suas características que lhes conferem ótimas velocidades de corte e durabilidade. Constituídos por um cabo de aço flexível e inoxidável, com tamanhos que variam conforme a necessidade e características do equipamento. Por exemplo, em pedreiras são

utilizados fios de 50 a 70 metros de comprimento sobre o qual são dispostas pérolas metálicas, impregnadas de diamantes, cuja quantidade varia de 29 a 35 pérolas/metro para mármore e 39 a 41 pérolas/metro para granitos. Tais pérolas possuem formatos anulares com diâmetro de 10 a 12 mm, e largura de 5 mm, e normalmente são separadas ao longo do cabo por molas metálicas ou por um material polimérico (REGADAS, 2006). Por outro lado, nas serrarias são utilizados fios de 20 metros e geralmente possuem 37 pérolas com 7 mm de diâmetro.

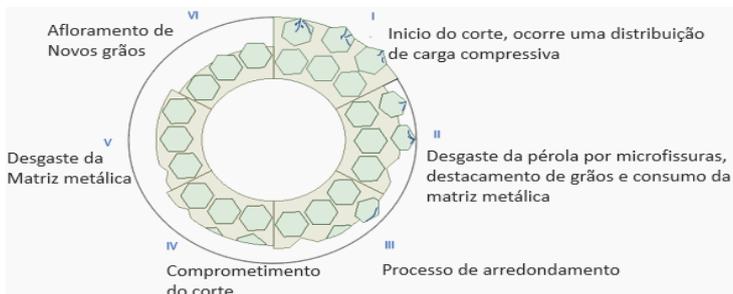
Quanto ao teor de diamantes, geralmente a concentração varia de 30 a 50%, o que corresponde a 0,26 e 0,44 gramas de diamante por  $\text{cm}^3$  de volume abrasivo, dependendo da dureza (e abrasividade) do material a ser cortado e da taxa de corte desejada (DE OLIVEIRA & FILGUEIRA, 2008). Já o tamanho das partículas de diamante é de aproximadamente 40/50 mesh (425-300 $\mu\text{m}$ ) (FILGUEIRA & PINATTI, 2001). Na Figura 2 é ilustrado uma pérola sinterizada. Sua vantagem é a capacidade de manter o poder de corte durante todo processo, pois à medida que os grãos e a matriz metálica se desgastam, surgem novas partículas abrasivas.



Fonte: Autores.

**Figura 2.** Tipos de pérolas diamantadas.

Observa-se na Figura 3 o comportamento do desgaste das pérolas sinterizadas, analisando o mesmo segmento da pérola, porém em tempos distintos do corte.



Fonte: Autores.

**Figura 3.** Efeito do desgaste de pérolas sinterizadas.

Percebe-se, que no decorrer do corte as partículas abrasivas sofrem microfissuras e/ou destacamento de grãos. Tais fissuras favorecem o surgimento de novas arestas cortantes. Porém, há a possibilidade de se arredondarem e deixarem de remover material. Caso isso ocorra, a matriz metálica será consumida até que novos grãos floresçam.

### 2.3 | Corte de Rochas com Ferramenta Diamantada

A ação de corte de um fio diamantado consiste em puxar uma serra de fio devidamente pré-tensionada através do bloco de rocha ou maciço rochoso a uma velocidade linear específica e simultaneamente deslocá-la a uma taxa de avanço ajustada para atender a combinação ideal de produtividade e vida útil do fio (KONSTANTY, 2021). Para que o desgaste da pérola ocorra de forma regular, submete-se o cabo a uma torção que garanta o movimento helicoidal do fio. Na Figura 4 é ilustrado o

equipamento utilizado na extração de rochas em pedreira. Percebe-se que o equipamento consiste de uma polia acoplada a um motor preso a uma estrutura que está assentada sobre trilhos, cujo seu deslocamento é realizado por um sistema cremalheira pinhão acionado por um motor secundário.



Fonte: Autores.

**Figura 4.** Equipamento utilizado na extração de rochas.

Na Figura 5 é ilustrado um tear multifio, equipamento do tipo estacionário, tem um sistema de polias na qual a rotação da polia motora movimenta, linearmente, o fio diamantado.



Fonte: Autores.

**Figura 5.** Tear multifio.

Tanto no equipamento móvel quanto no estacionário, a transmissão do movimento é assegurada pelas forças de atrito que se desenvolvem na superfície de contato do fio diamantado com a polia motora. Neste sentido, o fio diamantado deve ser sujeito a uma determinada tensão para que a força de atrito gerada, entre a polia motora e o fio, seja suficiente para este se movimentar linearmente sem que ocorra o seu descarrilamento.

## 2.4 | Estado da Arte

Até o presente momento, alguns pesquisadores estudaram os parâmetros operacionais usados no corte, os elementos de ligas empregados no fio diamantado, os métodos de fabricação e as propriedades do material a ser cortado.

Em seu estudo sobre granito, Butler-Smith et al. (1999) examinaram as condições de operação de uma máquina de corte monofio e investigaram os parâmetros que afetam o desempenho do fio diamantado usando equipamento de teste contendo uma única pérola. Neste estudo, a velocidade periférica do fio, a tensão do fio e a velocidade do fluxo de água foram constantes. Velocidade de corte, tipo de diamante e comprimento do bloco de teste foram as principais variáveis. Ao final do estudo, os pesquisadores relataram que quando a velocidade de corte aumentou as forças normais e horizontais aplicadas ao fio também aumentaram e que as forças mais altas foram observadas no bloco mais longo.

Anos seguintes, Özçelik et al. (2002) examinaram 18 rochas com diferentes características e relacionaram-nas com a taxa de desgaste dos grânulos de diamante através da implementação de Regressão Ridge. Foram obtidas relações adequadas para uma variedade de rochas cortadas horizontal e verticalmente.

Também utilizando equipamento monofio, Zhang & Wang (2004) investigaram a relação entre o desgaste do fio diamantado, durante o processo de corte do granito, com a força de corte, a velocidade periférica do fio e seu avanço. Como resultado do estudo, os pesquisadores descobriram que a resistência ao desgaste do fio diamantado tem uma relação direta com a velocidade de avanço e de corte. Ozcelik & Bayram (2004) avaliaram microscopicamente diferentes tipos de fios e com base nos resultados sugeriram adequações na confecção das pérolas a fim de torná-las mais eficientes. Por exemplo, dependendo das propriedades da rocha, recomendava-se modificar a matriz e o tamanho dos grãos de diamante. Agus et al. (2003) apresentaram uma relação lógica entre a produtividade do fio diamantado e as características da pedra, incluindo tamanho de grão, teor de quartzo e dureza. Outro estudo importante foi o de Huang & Xu (2006) que analisaram a ruptura de um fio diamantado durante o processo de corte. Foi constatado que a quebra do fio estava associada aos efeitos de fadiga, sensíveis aos parâmetros operacionais utilizados no corte. Empregando redes neurais, Jain & Rathore (2011) indicaram que a taxa de desgaste dos cordões é uma função da coesão, da velocidade periférica e das variáveis do dispositivo. Ao realizar oito cortes em ângulos diferentes Ozcelik & Yilmazkaya (2011) avaliaram os efeitos na anisotropia da taxa de desgaste dos grânulos em dois tipos de travertino e calcário. A partir de análises de regressão linear Sadegheslam et al. (2013) realizaram a previsão da taxa de produção de serras de fio. O estudo consistiu em relacionar o desgaste com o módulo de elasticidade, a quantidade de quartzo e a resistência à compressão uniaxial de 14 rochas carbonáticas.

Ao registrar as taxas de corte de diferentes bancadas de pedreiras de travertino, Bagherpour et al. (2014) descobriram que um fator importante no desempenho do fio diamantado é o número de pérolas por unidade de comprimento.

Após investigação da força de corte e desgaste da ferramenta de um único cordão revestido com diamante, Gelfusa & Turchetta (2014) concluíram que o aumento da velocidade de serragem reduziu a força de corte, por outro lado com o acréscimo na velocidade de avanço, ocorreu o aumento da força.

Baseando-se no estudo de otimização envolvendo os esforços na qual o fio é submetido, Turchetta et al. (2017) constataram que o desgaste da pérola diamantada é influenciado pela pré-torção e tensionamento do fio.

Além disso, modelos de previsão foram desenvolvidos por Najmedin Almasi et al. (2017) que utilizaram análises de regressão curvilínea simples e múltipla para prever a taxa de desgaste das pérolas diamantadas considerando as propriedades da rocha e a taxa de produção.

## 2.5 | Breve Revisão Tribológica

Define-se Tribologia como a Ciência que estuda a relação do contato entre superfícies em movimento relativo, englobando atrito, desgaste e lubrificação. A compreensão do tema está condicionada ao estudo de uma ampla quantidade de classes e parâmetros tribológicos (Quadro 1).

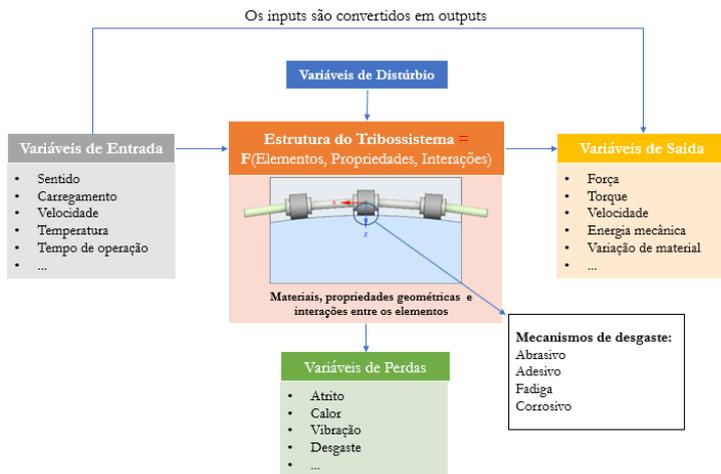
A concepção da Tribologia com a definição genérica do desgaste - deterioração da superfície que ocorre em nível topográfico e microestrutural, presente em situações que envolvem contato ou movimento relativo de um sólido em relação a outro sólido,

líquido ou gás resultando em perda progressiva de material (ZUM GAHR, 1987). A causa e os mecanismos que provocam o desgaste são variados, e devem ser abordados dentro de um complexo sistema tribológico que engloba a superfície desgastada, o agente abrasivo e o meio em que as partes estão envolvidas. Para compreender o sistema é necessário conhecer quais mecanismos de desgastes estão atuando (Figura 6).

**Quadro 1.** Classificação dos diferentes modos de desgaste e mecanismos de contato.

Classe	Parâmetro									
Tipo de desgaste	Mecânico					Químico			Térmico	
Modo de desgaste	Abrasivo	Adesivo		Fluxo	Fadiga	Corrosão		Fundição	Difusão	
Processo de desgaste	Fratura		Fluxo plástico	Fluxo fundido	Dissolução		Oxidação	Evaporação		
Sistema dinâmico	Vibração vertical		Vibração horizontal		Vibração auto excitada		Vibração harmônica	Movimento <i>Stick-Slip</i>		
Física e Química no desgaste	Absorção física, absorção química, ativação triboquímica e formação do tribo filme, oxidação e delaminação, oxidação e dissolução, oxidação e formação de gás, fase de transição, recristalização, nucleação e propagação da trinca, transferência e retransferência adesiva									
Unidade de desgaste	Escala mm				Escala $\mu\text{m}$			Escala nm		
Liberdade da partícula	Livre				Presas			Embebida		
Estrutura da partícula de desgaste	Original				Misturada mecanicamente			Formada triboquimicamente		
Fase do desgaste	Sólido		Líquido		Gás			Átomo		Íon
Distância de contato	Curta				Média			Alta		
Ciclo de contato	Baixo (único)				Médio			Alto		
Meio ambiente	Vácuo			Gás			Líquido		Lama	
Material de contato	O mesmo		Mais duro		Mais mole			Compatível		Incompatível
Temperatura do <i>flash</i>	Baixa				Média			Alta		
Velocidade de deslizamento	Baixa				Média			Alta		
Nível de pressão de contato	Elástico				Elástico-Plástico			Plástico		
Forma de contato	Esfera/Esfera	Cilindro/Cilindro		Superfície/Superfície		Esfera/Superfície		Cilindro/Superfície		Punção/Superfície
Tipo de fricção	Rolagem		Rolagem-Deslizamento		Deslizamento			<i>Fretting</i>		Impacto

Fonte: ASM Metals Handbook, 1996.



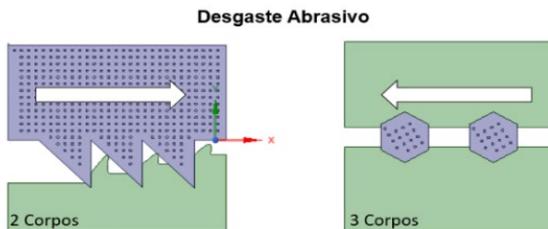
Fonte: Autores.

**Figura 6.** Mecanismos de desgaste.

### 2.5.1 | Mecanismos de desgaste

Resumidamente, o desgaste pode ser classificado de acordo com o tipo (mecânico, químico e térmico) e modo de desgaste (os principais são: abrasivo, adesivo, por fadiga e corrosivo) (ZUM GAHR, 1987).

**Desgaste abrasivo:** resultado do contato relativo de uma superfície abrasiva, cujas partículas duras são capazes de penetrarem em outra superfície com menor dureza, formando ranhuras que resultam em perda de material. Quando a partícula está fixa em uma das superfícies denomina-se desgaste a dois corpos; quando livre, desgaste a três corpos (Figura 7).



Fonte: Autores.

**Figura 7.** Desgaste abrasivo a 2 corpos e 3 corpos, respectivamente.

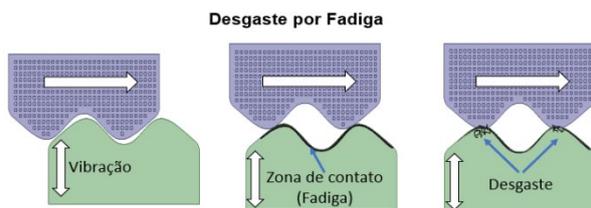
**Desgaste adesivo:** Ocorre quando duas superfícies são pressionadas uma contra a outra, quer sob uma carga pura ou combinada com outra força normal e/ou de cisalhamento, e depois se descobre que uma força de tensão normal deve ser exercida para separar as superfícies (RABINOWICZ, 1965) (Figura 8).



Fonte: Autores.

**Figura 8.** Desgaste adesivo.

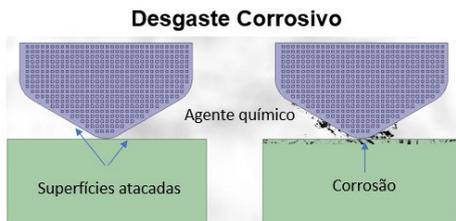
**Desgaste por fadiga:** é o processo de mudança localizada, permanente e progressiva na estrutura, que ocorre no material sujeito a flutuações de tensões e deformações que pode culminar em trincas ou completa fratura depois de um número suficiente de flutuações (Figura 9).



Fonte: Autores.

**Figura 9.** Desgaste por fadiga.

**Desgaste corrosivo:** desgaste proveniente de reações químicas envolvendo as superfícies e o ambiente (Figura 10).



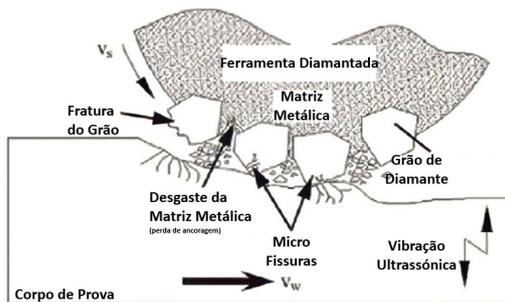
Fonte: Autores.

**Figura 10.** Desgaste corrosivo.

Nos processos que envolvem desgaste, geralmente os mecanismos atuam simultaneamente tornando a análise tribológica bastante complexa. Uma forma de contornar esse problema é analisar cada modo separadamente ou considerar apenas o mecanismo que promove maior impacto. Considerando a interação tribológica existente no corte de rochas com pérolas diamantadas (Figura 11), é possível inferir que o contato da pérola com a superfície rochosa resulta no desgaste abrasivo da rocha enquanto as partículas diamantadas sofrem microfissuras e destacamento dos grãos em decorrência de adesão e deformação do ligante.

## 2.5.2 | Parâmetros que afetam o desempenho da ferramenta cortante

A eficiência de corte reduz à medida que a ferramenta se desgasta, predominantemente, por fraturas e destacamentos de grãos.



Fonte: SHEN, J. Y. et al (2015).

**Figura 11.** Interação tribológica no corte de rochas com pérolas diamantadas.

A probabilidade de ocorrer fraturas e destacamento é proporcional ao carregamento aplicado sobre a ferramenta, e depende das propriedades do diamante. Por exemplo, cristais com morfologia regular são mais resistentes que os irregulares, estes por sua vez oferecem mais arestas de corte e uma melhor ancoragem na matriz. Grãos com baixa resistência mecânica são propícios ao surgimento de trincas e provavelmente serão triturados. Por outro lado, se apresentarem resistência elevada e tenacidade, dificilmente irão se fraturar para produzir novas arestas de corte. Neste caso, as arestas se arredondam e deixam de remover material. Grãos com diferentes tamanhos e dispostos em espaçamentos irregulares contribuem para uma maior oscilação do sistema, resultando em *fretting*. Diferenças entre os coeficientes de dilatação térmica e ductilidade facilitam que as partículas se

desprendam da matriz. Baseando-se na literatura analisada e destacando os estudos realizados por Ozcelik & Yilmazkaya (2011) pode-se inferir que o corte da rocha por fio diamantado é afetado por parâmetros correlacionais controláveis ou não (Quadro 2). A compreensão desses parâmetros é essencial não apenas para otimizar o processo, mas também para evitar que ocorra quaisquer danos ao equipamento e ferramenta de corte. Entre os danos mais comuns e as soluções típicas podemos destacar no Quadro 3.

**Quadro 2.** Parâmetros relevantes ao corte de rochas.

Parâmetros relacionados às características das rochas		Parâmetros relacionados ao funcionamento do equipamento	
Propriedades Físicas		Propriedades da ferramenta	
		Outros	
Densidade	Potência do motor principal	Mão de obra qualificada	
Tipo de minerais	Tensão necessária da máquina	Vibração da máquina	
Condutividade térmica	Diâmetro da polia	Condições ambientais	
Propagação de ondas	Tipo de cordão (sinterizado ou galvanizado)		
Porosidade e absorção de água	Estrutura da matriz do grânulo		
<b>Propriedades texturais</b>	Tamanho, tipo e densidade dos grãos de diamante		
Tamanho e forma das partículas	<b>Propriedades operacionais</b>		
Tipo e grau de cimentação	Velocidade linear do fio de corte		
Número e densidade de partículas	Pressão de contato		
<b>Propriedades mecânicas</b>	Ângulo de entrada do fio de corte		
Propriedades de força	Dimensões do bloco		
Dureza	Comprimento do fio		
Abrasividade	Tipo de corte (Vertical ou horizontal)		
Elasticidade e fragilidade	Geometria do fio durante o corte		
Propriedades estruturais	Distância entre a máquina e a face		
Descontinuidades	Número de pérolas por metro		
	Resfriamento ferramenta		

Fonte: Ozcelik & Yilmazkaya (2011).

**Quadro 3.** Danos comuns ao fio diamantado e possíveis soluções.

Observação	Possíveis Causas	Prováveis soluções
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta tensão do fio</li> <li>- Pouco resfriamento</li> <li>- Falta de adesão</li> <li>- Bloqueio repentino do fio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduza a velocidade de avanço</li> <li>- Aumente o resfriamento</li> <li>- Aumentar a tensão</li> <li>- Use cunhas para evitar o fechamento da área de corte</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiais Abrasivos</li> <li>- Superfície de corte pequena</li> <li>- Pouco resfriamento</li> <li>- Baixa velocidade periférica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar pérolas adequadas</li> <li>- Aumentar a velocidade periférica e reduzir a velocidade de avanço</li> <li>- Aumentar a vazão de água</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta tensão do fio</li> <li>- Oscilação excessiva</li> <li>- Diferentes espessuras e qualidades do cordão diamantado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzir a pressão do avanço</li> <li>- Verificar o diâmetro do cordão e do fecho</li> <li>- Utilizar pérolas semelhantes</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tração excessiva fio</li> <li>- Bloqueio repentino fio</li> <li>- Raio de contato muito agudo</li> <li>- Arestas vivas</li> <li>- Cordão vibrando muito</li> <li>- Montagem indevida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzir a pressão</li> <li>- Arredondar arestas</li> <li>- Pérolas uniformes</li> <li>- Adequação da montagem</li> </ul>
<b>Fio cortando Lentamente</b>	Agregado muito difícil	Afiar o fio diamantado, e reduzir sua velocidade;
<b>Desgaste unilateral do fio</b>	Fio torcido de maneira inadequada	Corrigir a torção
<b>Fio quebrando no conector</b>	Tração excessiva Vibração excessiva	Reduzir a tensão Uniformizar o diâmetro das pérolas e reduza o avanço

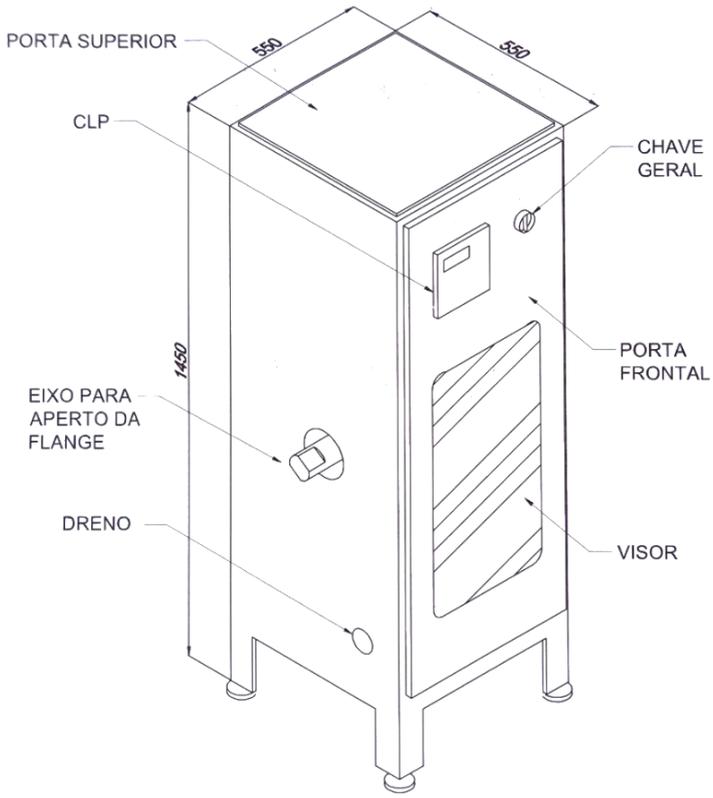
Fonte: Adaptado de Solga Diamant (2023).

### 3 | SIMULADOR DE DESGASTE DE PÉROLAS DIAMANTADAS

Basicamente, o equipamento é caracterizado por 2 motores elétricos, responsáveis em rotacionar um disco rochoso e uma pérola diamantada, enquanto um atuador pneumático promove a interação tribológica entre os dois corpos. Tal interação ocorre à pressão constante e durante um determinado intervalo de tempo. Todos os parâmetros operacionais do SDPD são ajustados pelo usuário. O Simulador de desgaste de pérola diamantada SDPD é composto pelas seguintes partes (Figuras 12 e 13):

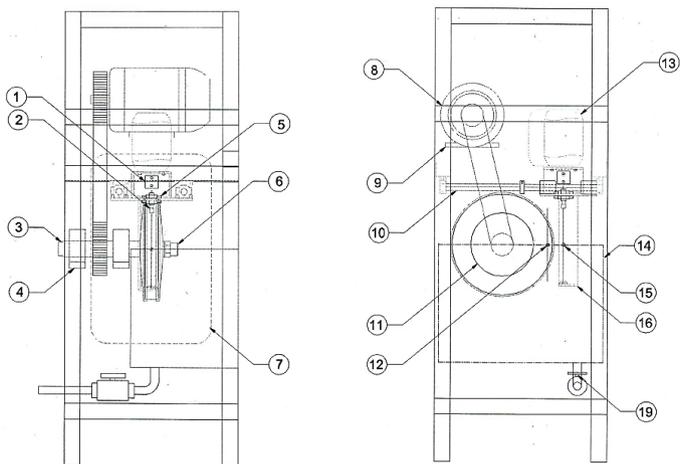
Acoplamento do motor de rotação da pérola;

- Pinça da haste do corpo de prova (pérola diamantada);
- Contra eixo para torque do aperto do flange;
- Mancal do eixo da rocha;
- Mancal do eixo da haste do corpo de prova;
- Porca de aperto do flange da rocha;
- Visor de proteção em policarbonato;
- Motor de giro da rocha, velocidade variável;
- Base esticadora da correia do motor da rocha;
- Guia do carro pneumático de contato da pérola diamantada com a rocha, pressão variável;
- Flange da rocha;
- Curso máximo de avanço;
- Motor de rotação da pérola com velocidade variável;
- Cuba reservatório de água;
- Pérola diamantada montada na haste de prova;
- Base rígida de sustentação da haste do corpo de prova;
- Haste de aço temperado para corpo de prova (pérola diamantada);
- Rocha;
- Dreno.



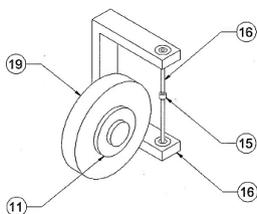
Fonte: Autores.

**Figura 12.** Componentes principais do SDPD.



(A) Vista frontal sem carenagem

(B) Vista lateral sem carenagem



(C) Detalhe da rocha, carro e pérola diamantada

Fonte: Autores.

**Figura 13.** Componentes principais do SDPD em detalhes.

### 3.1 | Montagem do Experimento

Afrouxar o parafuso manual da plataforma de elevação, em seguida descer o reservatório até o limite inferior. Após descer a plataforma, inserir a flange e na sequência a rocha, a segunda

flange e a porca. Finalizado a instalação do corpo de prova rochoso, procede-se com a montagem da pérola rosqueando a mesma na haste. Em seguida afrouxa-se a pinça e introduz a haste (lado de menor diâmetro). O lado de maior diâmetro será apoiado no mancal inferior (Figura 14).



Remoção do reservatório



Inserção do disco de rocha



Ajustes e fixação da rocha



Inserção da haste com a pérola

Fonte: Autores.

**Figura 14.** Montagem do experimento.

### 3.2 | Acionamento e Procedimentos de Segurança

Primeiro conecta-se o plugue de alimentação na tomada elétrica (Figura 15A), em seguida a botoeira verde é pressionada para acionar a chave magnética de partida (Figura 15B). Na sequência gira-se a chave geral (Figura 15C) para a posição 1 para iniciar o SDPD.



Fonte: Autores.

**Figura 15.** Dispositivos de acionamento.

Feito isso o equipamento ligará em modo de segurança para preservar a integridade do operador. Embora o painel acenda, os motores e atuadores permanecerão em *stand by* até que o usuário confirme que deseja operar o equipamento (Figura 16).



Fonte: Autores.

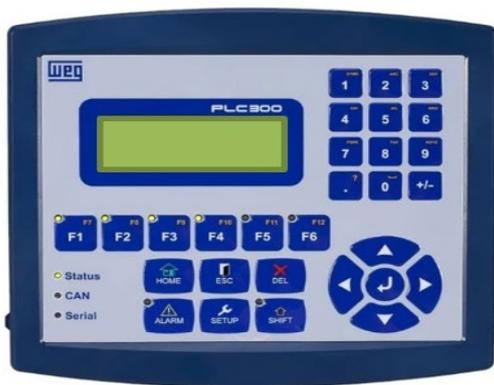
**Figura 16.** Vista do painel operacional.

Para liberar o equipamento basta pressionar duas vezes a botoeira laranja, que se encontra piscando.

### 3.3 | Painel de Comandos plc300

Na Figura 17, é apresentado o display LCD juntamente com suas funções operacionais. Por outro lado, na Figura 18, é possível observar os comandos relacionados ao menu inicial. Além disso, nas Figuras 19, 20, 21 e 22, são fornecidos detalhes sobre os comandos gerais utilizados para configurar o equipamento.

- a) **Display LCD:** Tela que mostra informações operacionais do equipamento.
- b) **Funções operacionais:** teclas de acesso ao menu, varia de acordo com a operação.



Fonte: WEG Programming Suite (2023).

**Figura 17.** Painel do plc300.

**Menu inicial:**

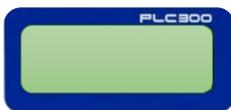


	<p><b>Manual:</b> Acessa o menu de inserção dos dados operacionais.</p>
	<p><b>Simulação:</b> Inicia o corte automático a partir dos dados inseridos manualmente pelo usuário.</p>

Fonte: Autores.

**Figura 18.** Comandos referentes aos métodos operacionais.

Após clicar em F1, acessa-se a configuração manual da máquina, no display será mostrado:



	<p>Aciona o motor responsável por girar a amostra de rocha.</p>
	<p>Aciona o motor que rotaciona a pérola.</p>
	<p>Aciona os atuadores pneumático</p>
	<p>Reseta a posição do corte</p>
	<p>Vazão de água</p>

Fonte: Autores.

**Figura 19.** Comandos disponíveis no modo manual.

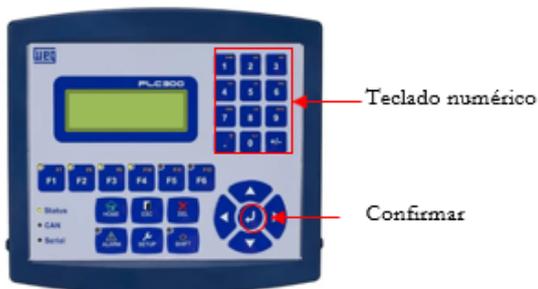
Para alterar os valores basta utilizar o painel de navegação:



Fonte: Autores.

**Figura 20.** Método de navegação no plc300.

Os botões laterais avançam e retornam entre os parâmetros ajustáveis. Para especificar os valores basta digita-lo no teclado numérico e confirmar a operação pressionando a tecla “Enter”.



Fonte: WEG Programming Suite (2023).

**Figura 21.** Atribuindo parâmetros operacionais.

Recomenda-se que após a programação de cada função testar o equipamento e se necessário fazer os devidos ajustes. Em casos de intercorrência, pressionar o botão de emergência para desligar imediatamente o equipamento.

### Teclas auxiliares

	Retorna ao menu inicial.
	Sai do menu atual.
	Apaga os valores digitados pelo usuário
	Desativa o alarme
	Acessa as configurações relativas ao software do equipamento
	Ativa a segunda função de uma determinada tecla.

Fonte: Autores.

**Figura 22.** Teclas auxiliares do controlador.

### 3.4 | Verificações e Ajustes

**Motor:** A rotação do motor é verificada com o auxílio de um tacômetro óptico. O procedimento é simples, basta apontar o tacômetro a uma fita refletiva que deve ser colada no rotor, neste caso a amostra de rocha (Figura 23).



Fonte: Autores.

**Figura 23.** Verificação da rotação do motor com tacômetro.

Caso haja divergência entre o valor programado e o medido, deve-se alterar a programação do equipamento e realizar uma nova medida.

**Atuadores:** O atuador pneumático é responsável por exercer a força de corte. Tal força é controlada por um regulador de pressão (Figura 24), basta girá-lo.



Fonte: Autores.

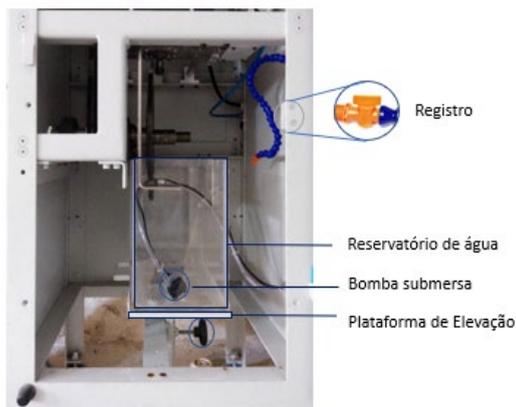
**Figura 24.** Atuador pneumático.

Para estimar a força aplicada sobre a rocha é utilizada a expressão:  $F=PA$ , tal que  $A$  é a área do pistão do atuador, que neste projeto possui 20 mm de diâmetro.

Para determinar o valor preciso é necessário utilizar um dinamômetro interligado em paralelo ao atuador.

### 3.5 | Sistema de Resfriamento

O SDPD possui um reservatório de água contendo uma bomba submersível de baixa capacidade de elevação. Para compensar essa limitação, o tanque é disposto sobre uma plataforma com ajuste de altura (Figura 25). Portanto, caso o equipamento esteja operando sem vazão será necessário verificar, primeiro, se o registro está aberto, caso o problema persista recomenda-se suspender a plataforma.



Fonte: Autores.

**Figura 25.** Sistema de resfriamento.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O otimização de processos industriais, voltados ao aumento de qualidade no que se relaciona ao consumo energético, uso da água e utilização de recursos naturais de modo mais sustentável tem sido tema cada vez mais importante e encontra eco nos anseios atuais da sociedade em geral.

Este equipamento ora apresentado terá a sua aplicação principalmente em pesquisas relacionadas a eficiência de determinado fio diamantado ao cortar um material rochoso. Nele, é possível, a partir da definição do tribossistema específico, qual a melhor condição operacional para a realização desse corte levando-se em conta aspectos petrográficos, operacionais e os relacionados ao fio diamantado.

Espera-se que com o SDPD o setor de rochas ornamentais incremente inovações nas atuais formas de corte de material rochoso com ferramenta diamantada e que contribua para que tais novidades se convertam em diferencial de mercado frente aos concorrentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. (2021). Informe 02/2021: **O Desempenho Brasileiro no Setor de Rochas Ornamentais**. Acesso em 10 de janeiro de 2023, disponível em Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais: [https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe-02\\_2021-Desempenho-do-Setor-v3-1.pdf](https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Informe-02_2021-Desempenho-do-Setor-v3-1.pdf)

AGUS, M.; BORTOLUSSI, A.; CAREDDU, N.; CICCUCI, R.; GROSSO, B.; MASSACCI, G. Influence of stone properties on diamond wire performance. **Fourth international conference on computer applications in the minerals industries**, 2003.

ANDRISSI, G.S.E.A. Combining nanochemistry and innovative diamond wire saws for improving productivity in granite quarries. **Mining Engineering**, v. 57, n. 10, p. 46-52, , 2005.

ARTINI, C.; MUOLO, M.L.; PASSERONE, A. Diamond–metal interfaces in cutting tools: a review. **Journal of Materials Science**, v. 47, n. 7, 2012. p. 3252-3264.

ASM METALS HANDBOOK. **Friction, lubrication, and wear technology**. ASM International, vol. 18, 1996.

BAGHERPOUR, R.; KHADEMIAN, A.; ALMASI, M. Optimum cutting wire assembly in dimension stone quarries. **Journal of Mining and Metallurgy A: Mining**, v. 50, 2014. p. 1-8.

BUTLER-SMITH, P.W.; GRYZAGORIDIS, J.; DAVIS, P.R. A single bead test for assessing diamond wire performance. *Industrial Diamond Review*, v. 59, n. 581, 1999. p. 93.

DE OLIVEIRA, L.J.; FILGUEIRA, M. Pérolas diamantadas obtidas por metalurgia do pó: Nacionalização da tecnologia. **Matéria**, v. 13, n. 1, p. 23-32, 2008.

FILGUEIRA, M.; PINATTI, D.G. Production of diamond wire by Cu 15 vol% Nb "in situ" process: Codraining and thermal treatment of copper, niobium and crystalline diamond. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais (Anais). n° 14, 2000. São Pedro/SP.

GELFUSA, G.; TURCHETTA, S. Cutting force and tool wear of single diamond-coated bead. **Cutting force and tool wear of single diamond-coated bead**, v. 72, n. 5, 2014. p. 1063-1072.

GIACONI, W.J. **Perfil atual da indústria de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim (ES)**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas - São Paulo, p. 108. 1998.

HUANG, G.Q.; XU, X.P. Analysis of the breakage of diamond wire saws in sawing of stone. **Key Engineering Materials**, 2006. p. 123-126.

JAIN, S.C.; RATHORE, S.S. Prediction of cutting performance of diamond wire saw machine in quarrying of marble: a neural network approach. **Rock mechanics and rock engineering**, 2011. p. 367-371.

KONSTANTY, J.S. The mechanics of sawing granite with diamond wire. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 116, n. 7, 2021. 2591-2597.

MELO JR, L.A. **Panorama da indústria de rochas ornamentais e oportunidades para o Ceará**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, p. 152p. 1991.

NAJMEDIN ALMASI, S.; BAGHERPOUR, R.; MIKAEIL, R.; ÖZÇELİK, Y. Analysis of bead wear in diamond wire sawing considering the rock properties and production rate. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 76, n. 4, 2017. p. 1593-1607.

NOGUEIRA, A.P.; SILVEIRA, L.L.L.D. **Simulador de desgaste de pérolas diamantadas**. [S.l.]. 2021.

OZCELIK, Y.; YILMAZKAYA, E.; BAYRAM, F.; YASITLI, N.E.; KANBIR, E.S. (2007, April). Investigation of effects of bead number per meter to cutting performance of diamond wire. **Proceedings of the 2nd International Industrial Diamond Conference, Rome, Italy, 2007**.

OZCELIK, Y. **Investigation of the working conditions of diamond wire cutting machines in marble industry**. PhD Thesis, Hacettepe University, Ankara (in Turkish): [s.n.], 1999.

OZCELIK, Y. Optimum working conditions of diamond wire cutting machines in the marble industry., 2005.

OZCELIK, Y.; BAYRAM, F. Optical investigations of bead wear in diamond wire cutting, 2001.

OZCELIK, Y.; BAYRAM, F. Investigation of the effects of block size to cutting performance of diamond wire cutting. **Marble**, 40, 2004. 46-54.

ÖZÇELİK, Y.; KULAKSIZ, S.; ÇETİN, M.C. Assessment of the wear of diamond beads in the cutting of different rock types by the ridge regression. **Journal of Materials Processing Technology**, 2002. p. 392-400.

OZCELIK, Y.; YILMAZKAYA, E.M.R.E. The effect of the rock anisotropy on the efficiency of diamond wire cutting machines. **The effect of the rock anisotropy on the efficiency of diamond wire cutting machines**, v. 48, n. 4, 2011. p. 626-636.

PISARENKO, G.S.; YAKOVLEV, A.P. **Manual de resistencia de materiales**. República Socialista da Roménia: Mir Moscú, 1979.

POLAT, E. **Investigation of the effect of textural properties on marble cutting**. Hacettepe University: [s.n.], 2002.

RABINOWICZ, E. Adhesive wear. **Friction and wear of materials**, p. 167-198, 1965.

REGADAS, I.C.M.D.C. **Aspectos relacionados às lavras de granitos ornamentais com fio diamantado no norte do estado do Espírito Santo**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 128. 2006.

SADEGHESLAM, G., MIKAEIL, R., ROOKI, R., GHADERNEJAD, S., ATAIEI, M. Predicting the production rate of diamond wire saws using multiple nonlinear regression analysis. **Geosystem engineering**, v. 16, n. 4, 2013. p. 275-285.

SHEN, J.Y. et al. Study on wear of diamond wheel in ultrasonic vibration-assisted grinding ceramic. **Wear**, v. 332, p. 788-793, 2015.

SOLGA DIAMANT. Problems cutting with diamond wire? **Solga Diamant**, 20 Junho 2023. Disponível em: <<https://www.solgadiamant.com/problems-cutting-with-diamond-wire/?lang=en>>.

TURCHETTA, S.; SORRENTINO, L.; BELLINI, C. A method to optimize the diamond wire cutting process. **Diamond and Related Materials**, 2017. p. 90-97.

VIDAL, F.W.H. et al. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Rio de Janeiro. 2013.

WEG Programming Suite. Versão 2.60. WEG S.A., 2023.

YILMAZKAYA, E. **Investigation of some factors affecting block production with diamond wire cutting method**. MSc Thesis, Hacettepe University, Turkey (in Turkish): [s.n.], 2007.

ZHANG, J.S.; WANG, Z. Technical parameters and wear resistibility of diamond wire-saw in granite cutting. **Key Engineering Materials**, 2004. p. 122-126.

ZUM GAHR, K.H. Microstructure and wear of materials. **Elsevier**, 1987.

## SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2023, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 380 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/repositorio-mineralis-e-biblioteca>.

### Últimos números da Série Rochas e Minerais Industriais

SRMI-32 – **Planejamento de experimentos aplicado no aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais.** Rondinelli Moulin Lima, Mônica Castoldi Borlini Gadioli, Mariane Costalonga de Aguiar, Alan Dutra Pedruzzi, 2022.

SRMI-31 – **Desenvolvimento de aplicativo para especificadores de rochas ornamentais.** Bruna Xavier Faitanin, Leonardo Luiz Lyrio da Silveira, Douglas Fiorio Dias, Renato José Avilla Paldês, 2022.

SRMI-30 – **Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem – Parte I.** Guilherme de Resende Camara, Bruna Xavier Faitanin, Leonardo Luiz Lyrio da Silveira, Cid Chiodi Filho, Elton Souza dos Santos, 2021.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ  
Geral: (21) 3865-7222  
Biblioteca: (21) 3865-7218  
E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)  
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

## **NOVAS PUBLICAÇÕES**

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



## Missão Institucional

**Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.**

## O CETEM

**O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.**

**Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m<sup>2</sup> de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.**

**Durante seus 45 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.**