

# **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE MOAGEM NO FORMATO DAS PARTÍCULAS DE MÁRMORE, GRANITO E QUARTZITO PARA A PRODUÇÃO DE ROCHAS AGLOMERADAS**

## **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF GRINDING TYPES ON THE FORMAT OF MARBLE, GRANITE AND QUARTZITE PARTICLES FOR THE PRODUCTION OF AGGLOMERATED STONES**

**Caio Barboza Louzada**

Aluno de Graduação da Engenharia de Minas, 8º período  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: maio de 2023 a agosto de 2024  
caiolouzada20@gmail.com

**Rondinelli Moulin Lima**

Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.  
rlima@cetem.gov.br

**Mariane Costalonga de Aguiar**

Coorientadora, Química, D.Sc.  
maguiar@cetem.gov.br

### **RESUMO**

O setor de rochas ornamentais é uma importante vertente da economia, com destaque para o estado do Espírito Santo. Nos últimos anos, estudos tem se dedicado a analisar a viabilidade da utilização dos resíduos de rochas ornamentais para a produção de rochas aglomeradas. Para alcançar as granulometrias necessárias para a produção das rochas aglomeradas, o casqueiro tem que ser britado e posteriormente moído. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi investigar se diferentes tipos de moinho influenciam no formato das partículas de mármore, granito e quartzito provenientes do beneficiamento primário de rochas ornamentais obtidos do esquadrejamento dos blocos e de teares multifio. Os resíduos de mármore, granito e quartzito foram moídos nos moinhos de rolo, disco, de esferas e de barras. A análise do formato das partículas foi realizada por meio do software de código aberto ImageJ, para se obter os resultados de circularidade e arredondamento, também por meio do equipamento CAMSIZER. Os resultados obtidos possibilitaram concluir que os moinhos que utilizam o atrito como mecanismo de cominuição no processo de moagem é capaz de influenciar na produção de partículas menos angulosas. Tem como característica de cominuição, atrito, o moinho de esferas, moinhos de disco e o moinho de barras.

**Palavras-chave:** resíduos, moagem, análise de partícula.

### **ABSTRACT**

The ornamental stone sector is an important aspect of the economy, with emphasis on the state of Espírito Santo. In recent years, studies have been dedicated to analyzing the feasibility of using ornamental stone wastes for the production of agglomerated stones. To achieve the granulometry necessary for the production of the agglomerated stones, the hull has to be crushed and then ground. Therefore, the objective of this work was to investigate whether different types of mills influence the shape of marble, granite and quartzite particles from the primary processing of ornamental stones obtained from squaring blocks and multiwire gangsaw. The waste of marble, granite and quartzite ground in roll, disc, ball and bar mills. The analysis of the shape of the particles was carried out by means of the open source software ImageJ, to obtain the results of circularity, rounding and perimeter of the particles and also through the

CAMSIZER equipment. The results obtained made it possible to conclude that the mills that use friction as a mechanism of comminution in the grinding process is able to influence the production of less angular particles. It has as its characteristic of cominution, friction, the ball mill, disc mills and the bar mill.

**Keywords:** waste, grinding, particle analyze.

## **1. INTRODUÇÃO**

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de rochas ornamentais. Dito isso, observa-se um grande avanço tecnológico, rápida evolução em métodos de extração e uma grande quantidade de rejeitos depositados. Tendo em vista que o descarte de resíduos pode ter elevado custo para a empresa, a produção de rochas aglomeradas proveniente desse resíduo gerado vem sendo uma alternativa de prática da economia circular. Nesse modelo acredita-se que resíduos podem ser insumo para a produção de novos materiais, tendo sua vida útil estendida por consequência da recuperação e da reutilização, podendo ser inserido no mercado novamente.

Para confecção de rochas aglomeradas é necessário realizar a cominuição do resíduo para se obter as granulometrias desejadas. Dito isso, utiliza-se britadores e moinhos como equipamentos de fragmentação, para investigar a influência dos mesmos sobre os resíduos e partículas geradas.

Segundo Peçanha (2014), a forma das partículas pode depender do processo pelo qual as partículas são obtidas, e no caso da moagem, o tipo de moinho influenciaria o formato das partículas. Sabe-se que o caráter do material determina a forma das partículas do produto, mas o tipo de moinho pode ter um efeito ainda mais acentuado. (TRASS et al.1995). A importância da forma das partículas no comportamento microscópico geológico é bem conhecida, mas não há um método geral para a caracterização da forma. Portanto, a influência da forma muitas vezes é negligenciada (HOLT, 1981).

O mecanismo de cominuição varia de acordo com o tipo de moinho, tendo a fragmentação como consequência dos esforços mecânicos atribuídos ao material no processo de moagem. Sendo os esforços por meio da compressão, impacto, atrito ou abrasão.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi investigar se diferentes tipos de moinho influenciam no formato das partículas de mármore, granito e quartzito provenientes do beneficiamento primário de rochas ornamentais obtidos do esquadrejamento dos blocos e de teares multifio.

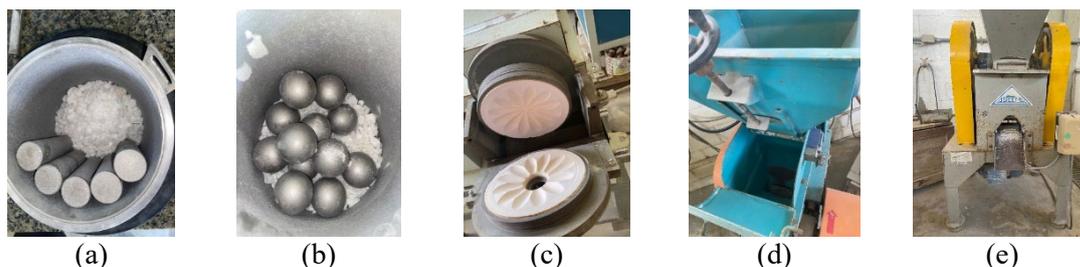
## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 Material Utilizado**

O rejeito de mármore, granito e quartzito foram coletados do beneficiamento de rochas ornamentais, em uma empresa em Cachoeiro de Itapemirim-ES. Os casqueiros são provenientes do esquadrejamento dos blocos e o material fino foi obtido da serragem dos blocos pelo tear multifio.

### **3.2 Cominuição e Fragmentação**

Primeiramente, foi necessário reduzir o tamanho do casqueiro. Para isso, foi utilizado um britador de mandíbula de modelo BREAKER. Em seguida, o material foi direcionado para a moagem em diferentes moinhos, sendo eles: moinho de esferas, moinho barras, moinho de rolos e o moinho de disco, localizados no Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Cachoeiro de Itapemirim. A Figura 1 apresenta os moinhos e o britador utilizado no estudo.



**Figura 1:** Equipamentos de cominuição utilizados: (a) Moinho de barras, (b) Moinho de esferas, (c) Moinho de disco, (d) Moinho de rolos e (e) Britador de mandíbula.

### 3.3 Análise das Partículas

Após a moagem, com o auxílio de um microscópio digital, as imagens de cada moinho e de cada resíduo foram capturadas. A Figura 2 apresenta a captura das imagens.



**Figura 2:** Representação da captura das imagens por meio de um microscópio digital.

As imagens foram processadas e analisadas no software de código aberto ImageJ, no qual foi utilizado para se determinar a circularidade e o arredondamento. Por apresentar uma granulometria muito fina, não foi possível realizar a captura das imagens das partículas obtidas pelo tear multifio.

O equipamento CAMSIZER foi utilizado para se obter os valores de esfericidade do formato das partículas do tear multifio e que foram moídas.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos pela análise das partículas de quartzito, mármore e granito. Comparando os resíduos, nota-se que, de modo geral, o resíduo de granito foi o que apresentou maiores valores de circularidade, arredondamento e esfericidade, seguido do mármore e quartzito. A principal causa do granito ter apresentado valores expressivos quando comparado aos outros tipos de materiais, pode ser devido sua composição mineralógica. Sendo observado uma grande de mica, além de outros minerais como: quartzo e plagioclásio.

Agora comparando os tipos de moinho, percebe-se que para o quartzito os valores variaram de 0,584-0,715 de circularidade e 0,609-0,797 de arredondamento, em que os maiores valores foram encontrados no moinho de disco, enquanto os menores no moinho de rolos. Para os resíduos de mármore e granito, os maiores valores de circularidade e arredondamento foram encontrados no moinho de esferas e os menores valores no moinho de rolos, assim como o quartzito. Tal resultado pode ser explicado pela diferença do mecanismo de cominuição de cada moinho. O mecanismo de compressão, característico do moinho de rolos, quando em atividade realiza o esforço sobre a partícula formando uma fratura incipiente direcionada a zona de fraqueza do sólido fazendo com que no próximo contato haja a fragmentação. Por esse motivo

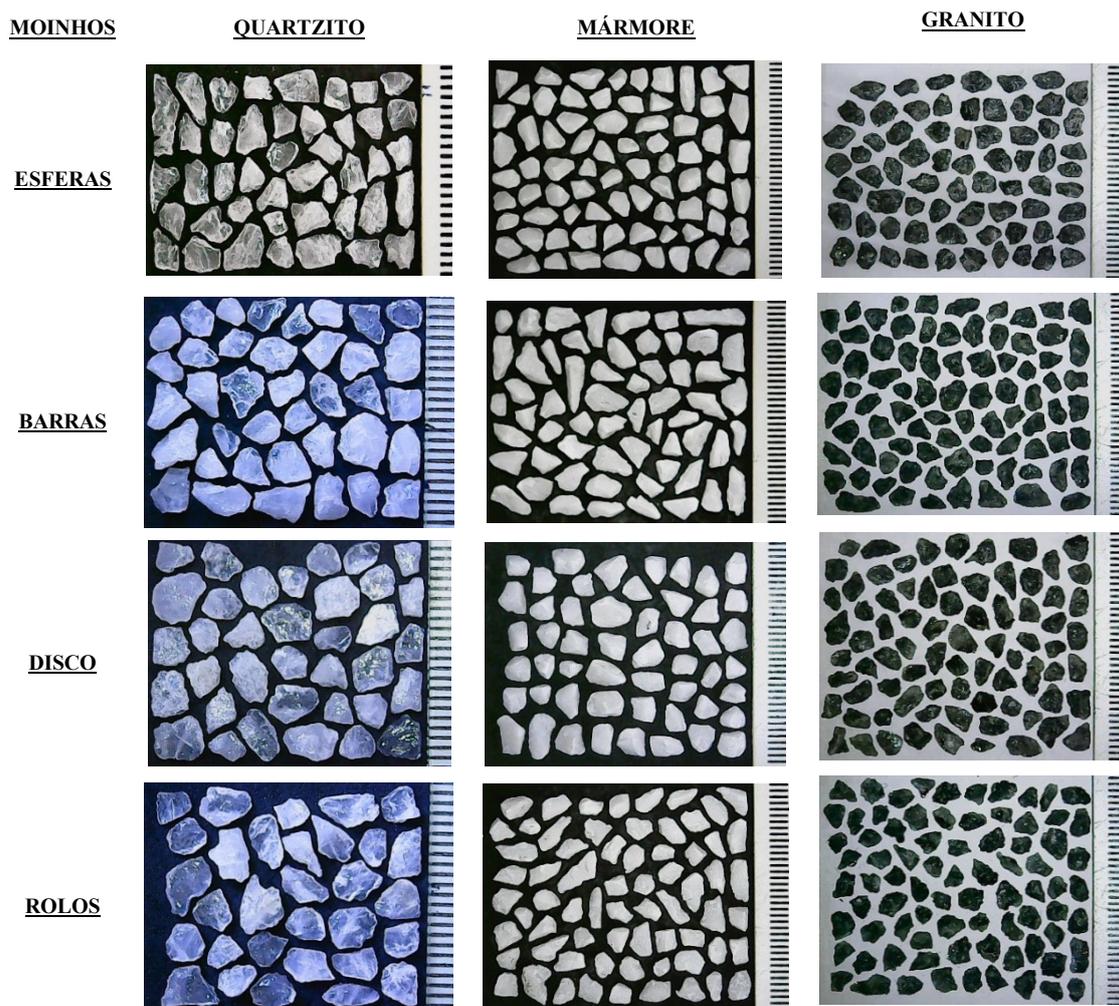
as partículas resultantes tendem a um aspecto de maior angulosidade. Já o mecanismo por atrito, característico do moinho de esferas, é responsável por gerar partículas menos angulosas (maior arredondamento) devido o atrito entre os fragmentos que se opõe ao movimento da superfície uma sobre a outra, tornando o desgaste como fator de fragmentação e conseqüentemente também responsável de produzir maior quantidade de partículas com granulometria fina.

**Tabela 1:** Valores obtidos na análise das partículas pelo software ImageJ.

<b>Moinho de esferas</b>				
<b>Material</b>	<b>Nº de partículas</b>	<b>Circularidade e desvio padrão</b>	<b>Arredondamento e desvio padrão</b>	<b>Esfericidade</b>
Quartzito	41	0,662 ± 0,167	0,690 ± 0,040	0,787
Mármore	54	0,783 ± 0,105	0,795 ± 0,098	0,861
Granito	58	0,817 ± 0,117	0,889 ± 0,126	0,836
<b>Moinho de barras</b>				
<b>Material</b>	<b>Nº de partículas</b>	<b>Circularidade e desvio padrão</b>	<b>Arredondamento e desvio padrão</b>	<b>Esfericidade</b>
Quartzito	36	0,640 ± 0,092	0,653 ± 0,119	0,782
Mármore	48	0,673 ± 0,127	0,68 ± 0,089	0,688
Granito	60	0,798 ± 0,099	0,815 ± 0,107	0,723
<b>Moinho de disco</b>				
<b>Material</b>	<b>Nº de partículas</b>	<b>Circularidade e desvio padrão</b>	<b>Arredondamento e desvio padrão</b>	<b>Esfericidade</b>
Quartzito	35	0,715 ± 0,09	0,797 ± 0,102	0,776
Mármore	47	0,758 ± 0,212	0,705 ± 0,144	0,745
Granito	59	0,742 ± 0,038	0,786 ± 0,066	0,710
<b>Moinho de rolos</b>				
<b>Material</b>	<b>Nº de partículas</b>	<b>Circularidade e desvio padrão</b>	<b>Arredondamento e desvio padrão</b>	<b>Esfericidade</b>
Quartzito	30	0,584 ± 0,201	0,609 ± 0,134	0,627
Mármore	49	0,593 ± 0,197	0,625 ± 0,169	0,682
Granito	61	0,668 ± 0,108	0,674 ± 0,116	0,666
<b>Tear Multifio</b>				
<b>Material</b>	<b>Nº de partículas</b>	<b>Circularidade</b>	<b>Arredondamento</b>	<b>Esfericidade</b>
Quartzito	-	-	-	0,822
Mármore	-	-	-	0,794
Granito	-	-	-	0,853

Foi observado que o material recuperado do tear multifio, apresentou resultados expressivo de esfericidade pela análise realizada por CANSIZER, quando comparados com os demais tipos de moinho. Tendo em primeiro com maior esfericidade o granito (0,853), quartzito (0,822) e o mármore (0,794) por último.

A Figura 3 apresenta as imagens do formato de cada partícula para um dos moinhos analisados.



**Figura 3:** Imagens do formatos das partículas para cada resíduo em cada moinho.

## 5. CONCLUSÕES

Embora não há um método geral para a caracterização do formato de partícula dos tipos rochas existentes, mesmo seu comportamento sendo conhecido, é indispensável a compreensão que as características estruturais e mineralógicas têm influência sobre sua tendência de quebra. A partir dos resultados apresentados, foi observado que o os moinhos que utilizam o atrito como mecanismo de cominuição no processo de moagem é capaz de influenciar na produção de partículas de maior circularidade e arredondamento (menos angulosa). Os moinhos de disco, moinho de esferas e o moinho de barras, são os meios de cominuição que utilizam o atrito como esforço mecânico.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (processo nº 124901/2023-9) pelo apoio financeiro da bolsa concedida. Em especial, aos meus orientadores Rondinelli Moulin Lima e Mariane Costalonga de Aguiar pelo apoio e ensinamentos na realização do estudo.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

HOLT, C.B. “The Shape of Particles Produced by Cominution – A Review, Powder Technology”, 28. Pages. 59 - 63. 1981.

PEÇANHA, R.P. Sistemas particulados: operações unitárias envolvendo partículas e fluidos / 1. ed. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2014.

TRASS, O.; KOKA, R.; PAPACHRISTODOULOU, G. “Particle shapes produced in the Szego mill. Part.Syst”. *Charact.* 12, 158-165. 1995.