

INFLUÊNCIA DA TEXTURA ANISOTRÓPICA DE ROCHA NO POLIMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

HIERES VETTORAZZI DA SILVA

Aluno de Graduação de Geologia 9º período, UFES
Período PIBIC/CETEM : abril de 2010 a julho de 2013,
hsilva@cetem.gov.br

NURIA FERNÁNDEZ CASTRO

Orientadora, Eng. Minas, M.Sc.
ncastro@cetem.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Conforme descrito por Zum Gahr (1987), materiais policristalinos, como são as rochas com destinação ornamental, apresentam microestruturas que envolvem em escala atômica, defeitos cristalinos, como vacâncias e interstícios, defeitos lineares e fases de recristalização, como a mobilidade de borda de grão, que podem afetar a resistência desses materiais. A resistência mecânica das rochas é importante no processo de beneficiamento e essas microestruturas comumente ocorrem em cristais de quartzo e feldspatos, que são os minerais dominantes na maioria das rochas silicáticas comercializadas. Por esse motivo, as rochas oferecerão respostas diferentes aos processos de beneficiamento, dependendo da intensidade deformacional por qual passaram os cristais dos minerais que as constituem. As microestruturas em materiais naturais, podem ser geradas a partir de processos de cristalização a partir de líquidos (magmas) ou por deformação plástica, em especial em *dislocation creep* (PASSCHIER; TROUW, 2005). As estruturas anisotrópicas em escala macroscópica também possuem significativa influência na resistência mecânica dos materiais pétreos, como é o caso das estruturas de deformação plástica em milonitos porfiróides, ou das estruturas de fluxo magmático de rochas ígneas porfiríticas. Silveira (2007) afirma em seus estudos que o processo de polimento de rochas ornamentais ocorre em um tribossistema em que há um desgaste predominante por abrasão a dois corpos, rebolo abrasivo e rocha, sendo a variável operacional da politriz o terceiro constituinte do sistema. Essa variável é uma função de velocidade e sentido de rotação do satélite, pressão do satélite sobre a chapa, e a quantidade de água na lubrificação e refrigeração do processo.

Dentre esses parâmetros, considera-se que o sentido de rotação do satélite exerça grande influência no processo abrasivo, pela relação de ataque dos abrasivos com a orientação anisotrópica dos cristais da rocha.

2. OBJETIVOS

Este trabalho propõe avaliar a influência da estrutura anisotrópica no processo de polimento de chapas de materiais pétreos, seguindo índices propostos pela literatura, variando o sentido de rotação horário para anti-horário, de um satélite de politriz simulando o processo de polimento de rochas ornamentais.

3. METODOLOGIA

Foi realizada uma criteriosa revisão bibliográfica focando a influência das estruturas e microestruturas cristalinas na abrasividade, buscando estudar a influência da petrografia das rochas ornamentais no processo de polimento.

Conforme proposto por Camargo (2013), resistência à abrasão, porosidade e estado microfissural (microfissuras/mm²) são os parâmetros, por parte do material rochoso, de maior influência no processo de polimento. Dados de consumo (perda de massa do abrasivo) se comparados com valores de brilho final atingidos nas chapas, dão um índice que é proposto por Camargo (2013) como uma medição do maior brilho obtido em relação ao desgaste do abrasivo,

que ocorre em determinada etapa do polimento. Este índice é chamado de Índice de Eficiência de Polimento e expresso por $I_e = B/Da$, onde B expressa o brilho máximo (lux), e Da o desgaste do abrasivo (g).

Para esta revisão foram selecionados dois materiais com estruturas anisotrópicas em graus distintos, a partir de descrições petrográficas levantadas em teses, dissertações e análises realizadas pelo CETEM. Os materiais selecionados para análise são: “Giallo Ornamental” – Sienogranito com granada (Vettorazzi *et al.*, 2013); “Cinza Castelo” – Granito (Camargo, 2013). Foram levantados e analisados dados provenientes da caracterização petrográfica e tecnológica dos materiais, analisando o grau de anisotropia da rocha, resistência à abrasão, porosidade e tamanho médio relativo dos cristais de quartzo.

Também foram analisadas variáveis do processo de polimento desses materiais como velocidade e sentido de rotação do satélite, carga aplicada sobre a chapa, e o número de passadas sobre a chapa, sendo esta ligada diretamente com o tempo de exposição da chapa à abrasão.

Finalmente, tentou-se correlacionar a resposta desses materiais ao polimento com suas características petrográficas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O polimento é gerado pelo movimento rotacional de seis elementos abrasivos dispostos em satélites que realizam o atrito contra a superfície da rocha sob pressão. Contudo, a escolha do tipo de abrasivo, velocidade de rotação e de avanço dos satélites sobre a placa, assumem um papel de importância no controle de qualidade do polimento (SILVEIRA, 2007). Porém, ainda existem muitos parâmetros que afetam esse sistema tribológico, envolvendo várias características, como as do material (petrografia), geometria do contato (rugosidade), propriedades do fluido e fluxo (regime de lubrificação) e movimento relativo (unidirecional ou alternado).

Zum Gahr (1987) descreve que as propriedades dos materiais são influenciadas pela estrutura do cristal, tamanho, forma e orientação, ou a composição química dos grãos que os constituem. E a resistência dos grãos depende intrinsecamente da densidade de defeitos cristalinos como as vacâncias ou dislocações e tantas outras sejam as microestruturas deformacionais, como as ocorrentes em materiais naturais conforme demonstram os estudos em Microtectônica (PASSCHIER; TROUW, 2005).

Espera-se, então, que a influência da anisotropia da rocha exerça papel importante na abrasão durante o processo de polimento, pois o ângulo de ataque dos rebolos abrasivos dispostos no satélite, que normalmente rotaciona no sentido horário, pode ser modificado, invertendo-se a rotação para o sentido anti-horário. Na figura 1 são mostrados os quatro tipos de movimento programados em politrizes semi-automáticas, nas quais a programação dos movimentos, sequência de abrasivos e o tempo de trabalho (nº de passadas), são determinados pela experiência do operador, ou seja, cada empresa utiliza parâmetros operacionais próprios. .

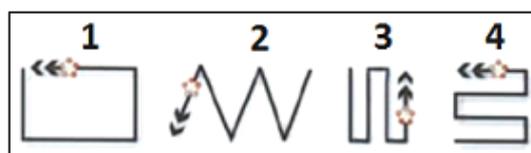


Figura 1. Movimentos programados em politrizes semi-automáticas. 1- contorno; 2- zig zag; 3- transversal; 4- longitudinal (METAFILL *apud* CAMARGO, 2013).

A seguir, é mostrada a tabela 1, com dados de caracterização petrográfica, sendo os dois materiais selecionados metamorfisados e deformados em graus distintos, conforme mostra sua anisotropia estrutural. Esperam-se assim, dos dois, respostas distintas no (I_e), conforme anisotropia mais pronunciada em uma do que em outra. Além da anisotropia da rocha, outros fatores que influenciam são o tamanho dos cristais de quartzo que fornecem maior resistência abrasiva, e a porosidade que, junto com o estado microfissural, afeta o “fechamento” dos cristais

nas etapas finais de polimento. O “fechamento” é a diminuição de porosidade superficial obtida na chapa sendo polida pela ação do movimento de elementos abrasivos em atrito com a chapa, que desbasta dos minerais, diminuindo a rugosidade até atingir o grau de polimento desejado. Para isto, à medida que a rugosidade superficial é reduzida, vão se utilizando abrasivos com granulometria inferior.

Observa-se, na tabela 1, que os dois materiais apresentam composição mineralógica de granitóides, variando pouco no percentual dos minerais, diferenciando-se nos minerais acessórios, que variam conforme a gênese de cada rocha.

Tabela 1. Resultados de caracterização tecnológica dos materiais selecionados para o estudo.

Nome Comercial	Abrasão <i>Amsler</i> 1000m (mm)	Porosidade (%)	Tam. Médio quartzo (mm)	Parâmetros Petrográficos de significante influência
Cinza Castelo	1,11 ± 0,02	0,67 ± 0,01	1,35	Rocha de estrutura foliada incipiente. A superfície a ser polida da rocha apresenta ângulo da foliação inclinado a 30° em relação a base da chapa em média. A granulação varia bimodalmente entre fina a média (0,7 – 2,0 mm), com estiramento e recristalização mineral dos cristais de quartzo, evidenciando processos de recristalização dinâmica e estática, onde os contatos intergranulares apresentam por vezes formas interlobadas a poligonizadas. Ocorre ainda a preservação de porfiroclastos de k-f em formas ovaladas a sigmoides que atingem até 5,0 mm. O grau de microfissuramento é baixo (0,74 microfissuras/mm ²), sendo de pequena extensão e intragranulares (>90%) em cristais de k-f. O estado de alteração da rocha é baixo, restrita aos cristais de plagioclásio.
Amarelo Ornamental	1,19 ± 0,02	0,96 ± 0,01	4,13	A superfície a ser polida é marcada pela forte anisotropia da rocha marcada pelo estiramento mineral do quartzo, feldspatos e seções delgadas de biotita, com ângulo de inclinação próximo a 30° em média, e concentração de filossilicatos estirados, com presença de fenocristais porfiroblásticos centimétricos de k-f (até 4 cm), exibindo assim, textura granoblástica inequigranular porfirítica fina a grossa. Microscópicamente, pequenos cristais de quartzo evidenciam a recristalização dinâmica por migração de borda de grão, e porções com boa recuperação em contatos poligonizados, o que pode gerar uma resistente trama mineral. O moderado a alto microfissuramento dos cristais de k-f, com a presença cristais de quartzo altamente deformados em formas estiradas. A rocha apresenta fraca a moderada alteração mineral com saussuritização de plagioclásios, cloritização de biotitas e sericitização do ortoclásio.

A maior efetividade das condições de polimento para o “Cinza Castelo” obteve-se a 2 kgf/cm² de pressão, com velocidades nas etapas iniciais de polimento, (até #600) oscilando entre 500 a 600 rpm, e de 300 rpm nas etapas finais, em três passadas sobre a chapa. Acredita-se que a menor granulometria dos cristais possa favorecer a maior resistência da rocha necessitando de condições mais agressivas no início do processo, para realizar o arranque de partículas em uma superfície de chapa mais áspera com grãos de quartzo mais finos (1,35 mm). A textura equigranular fina, e o forte entrelaçamento mineral de baixa anisotropia, contribuem junto com o baixo microfissuramento (0,74 microfissuras/mm²) para uma menor porosidade (0,67 ± 0,01 %). Essa menor porosidade e a menor concentração de filossilicatos como biotita e muscovita, resultaram, neste material em uma boa reflexão de luz (84 lux).

O “Amarelo Ornamental” apresentou as melhores condições de brilho final (78,67 e 74,00 lux), em condições de pressão de 1 kgf/cm² a rotações entre 400 e 600 rpm, e tempo de exposição ao processo de dois minutos (CARVALHO, 2010). Os valores de brilho são inferiores aos do outro granitóide e sugerem que a coloração amarela por alteração, juntamente com o alto microfissuramento e porosidade (0,96 ± 0,01 %) do material, possam contribuir para a diminuição do brilho apresentado pelas chapas polidas. Considerando que a rocha apresenta maior abrasividade, por apresentar fenocristais de ortoclásio e média dos cristais de quartzo muito superior (4,13 mm), e o menor brilho, é possível identificar que o (Ie) Índice de

Eficiência, para esta rocha deva ser diferenciado de outros materiais, evidenciando o caráter pontual do índice, e que, adequado para materiais que apresentem características petrográficas idênticas (mesma rocha), pois, com a orientação das estruturas anisotrópicas disposta de forma distinta, determinado pelo padrão estético do material comercializado, gerarão respostas tecnológicas também distintas, por exemplo, na abrasão, que se apresenta como um dos fatores tecnológicos de maior relevância nas etapas iniciais de polimento. A avaliação das melhores condições de pressão, lubrificação, temperatura, velocidade e sentido de rotação dos satélites devem ser feitas a fim de se estimar quais as condições mais favoráveis para que se tenha maior brilho possível, com menor perda de massa de abrasivo em materiais naturais, que irão responder de forma distinta ante as características petrográficas que cada material apresenta. A efetividade de variáveis operacionais, como a inversão do sentido de rotação do satélite se faz mais eficiente no início do polimento, onde o processo de abrasão se apresenta mais influenciado pela rugosidade proveniente da serragem, enquanto, que no fim, características como a intensidade de microestruturas e poros assumem maior significância no brilho final.

Sugere-se então que, para trabalhos futuros, sejam feitas as análises a partir de materiais petrograficamente idênticos (gênese em mesma jazida), mas com orientação das estruturas distinta, como o são o “Amarelo Icarai” e o “Amarelo São Francisco Real” (SAAR, 2013).

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jefferson Luiz Camargo, pela disponibilização de sua dissertação e discussão dos resultados; a orientação e conselhos dos pesquisadores Nuria Fernández Castro e Leonardo Luiz Lyrio da Silveira, e a toda a equipe técnica do NR-ES pelo empenho nas pesquisas e amizade.

Agradeço finalmente ao CNPq pela concessão das bolsas de iniciação científica durante minha graduação, que muito contribuíram para meu desenvolvimento técnico-científico e no estudo de Rochas Ornamentais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, J. L. **Influência das propriedades petrográficas na qualidade do polimento de Rochas Ornamentais**. 2013. 201p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP (Brasil).

CARVALHO, D. L. S. **Determinação de parâmetros do polimento, em três tipos de rochas graníticas**. 2010. 130p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP (Brasil).

NEVES, M. C.. **Estudo experimental do polimento de diferentes “Granitos” e as relações com a mineralogia**. 2010. 115p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP (Brasil).

PASSCHIER, C. W.; TROUW, R. A. J.. Deformation Mechanisms. In: **Microtectonics**. p.25-63. 2ª Edição. Editora Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Berlin, Germany, 2005.

SAAR, L. C. A.. **Avaliação dos “granitos” Giallo São Francisco Real, Branco Dallas e Branco Marfim, do município de Barra de São Francisco/ES para aplicação como Rocha Ornamental e de Revestimento**. 2013. 171p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP (Brasil).

SILVEIRA, L. L. L.. **Polimento de rochas ornamentais: um enfoque tribológico ao processo**. 2007. 205p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP (Brasil).

VETTORAZZI, H. V.; CASTRO, N. F.; COPEDDÊ, R. E.. Rock properties versus Blades and Grit Consumption in Granite Multi Blade Sawing Process. **Key engineering Materials**, v.548, p.115-123, 2013.

ZUM-GAHR, K. H. **Microstructure and wear of materials**. Vol. 10. Institute of Materials Technology. University of Siegen, Germany, 1987. 205p.