PHILLIPE FERNANDES DE ALMEIDA

Estudo comparativo do polimento de “granitos” com diferentes tipos de
abrasivos

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do Título de
Mestre em Ciências.

Área de concentração: Geotecnia

Orientador: Prof. Dr. Rogério Pinto Ribeiro

Versão corrigida

Original se encontra disponível na Unidade que aloja o Programa

SÃO CARLOS

2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

A557e Almeida, Phillipe Fernandes de
Estudo comparativo do polimento de "granitos" com
diferentes tipos de abrasivos / Phillipe Fernandes de
Almeida; orientador Rogerio Pinto Ribeiro. São Carlos,
2014.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
e Área de Concentração em Geotecnia -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2014.

1. Rochas Ornamentais. 2. Polimento . 3. Brilho. I.
Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Tecnólogo **PHILLIPE FERNANDES DE ALMEIDA**.

Título da dissertação: "Estudo comparativo do polimento de "granitos" com diferentes tipos de abrasivos".

Data da defesa: 25/04/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Dr. **Rogério Pinto Ribeiro (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Antonio Carlos Artur**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Rio Claro)

Aprovado

Prof. Titular **Antenor Braga Paraguassu**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia:
Prof. Titular **Osni José Pejon**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes pela bolsa concedida para a realização do mestrado.

Aos meus pais que sempre me deram forças para continuar me aperfeiçoando. Obrigado Vera e Prudente, por sempre nortear a minha vida. Ao meu irmão Raphael pelos conselhos do irmão, sempre como um exemplo de honestidade e luta.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Pinto Ribeiro, pela excelente orientação em todas as etapas do mestrado, sempre com boa vontade e companheirismo.

Ao Professor Dr. Antenor Braga Paraguassú, pela amizade e por todos os ensinamentos valiosos durante todas as etapas do mestrado.

Aos Funcionários, Álvaro Nery, Maristela, Herivelto, Neiva, Toninho, “Seu” Antônio, Zé Luiz, Oscar, Dito, Décio, do Departamento de Geotecnia da EESC/USP.

Aos amigos da República Cooperativa 180, Bidjay, Txê, Jorge, Montanha, Junim, Rogério e a “Zupinha”, pela amizade, companheirismo e ótima convivência em casa.

Aos amigos da pós, Tatazinha, João Manoel, Chris, Bia, Breno, Bruno, Nêne, Rafa, João Parizotto, Vanessa, Gian e Loch, pela amizade e pela força em todas as etapas do mestrado.

Aos amigos de São Carlos, Ana, Loide, Pauleta, Matheus, Cebola, Nêgo, Leandro e Marjô, pela amizade e carinho em todos os momentos.

À todas as pessoas que de alguma forma colaboraram para que esse trabalho chegasse ao fim.

RESUMO

ALMEIDA, P. F. **Estudo comparativo do polimento de “granitos” com diferentes tipos de abrasivos**. 2014. 120f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

O Brasil ocupa uma posição de destaque no cenário mundial da produção e exportação de rochas ornamentais devido a sua diversidade litológica e por abrigar todas as fases da cadeia produtiva, desde a lavra até o esquadrejamento de ladrilhos. No entanto, apesar da grande importância que este setor representa para a balança comercial mineral do país, muitos mecanismos físicos de seus processos industriais ainda não são corretamente entendidos, sendo realizados na maioria das vezes de forma empírica. A etapa de polimento das rochas ornamentais, que pode ser descrita como um processo em que o desgaste provocado por ferramentas abrasivas elimina as superfícies rugosas herdadas na etapa da serragem, ainda é um destes processos cujas variáveis envolvidas permanecem escassas de estudos. Na tentativa de torná-lo menos subjetivo, o Grupo de Tecnologia de Rochas (GTR) da Área de Pós-graduação em Geotecnia da EESC/USP, tem desenvolvido pesquisas abordando o enfoque da tribologia ao polimento, porém não esgotando todos os parâmetros envolvidos. Dando continuidade a estes estudos, a presente pesquisa abrange a simulação de polimento de 2 rochas “graníticas” utilizando-se dois tipos de abrasivos: os magnesianos, de uso mais tradicional, e o resinóide, um dos mais modernos utilizados atualmente. Foram usadas 9 combinações distintas, entre velocidade de rotação (200, 400 e 600 rpm), tempo (2, 4 e 6 minutos) para carga de 1 bar. Dentre as amostras submetidas ao processo, as com textura grossa e inequigranular mostraram certa limitação quanto à representatividade do equipamento SPR no desgaste abrasivo, não refletindo (necessariamente) a realidade do polimento industrial de granitos com mineralogia e textura similares. No entanto, em amostras com textura fina e equigranular, com baixa resistência à abrasão Amsler, os resultados expressos pelas perdas de massa (rocha e abrasivo) mostraram melhores superfície polida e qualidade de brilho, além de maior eficiência no polimento.

Palavras chave: rochas ornamentais, polimento, brilho.

ABSTRACT

ALMEIDA, P. F.. **Comparative Study of “granites” polishing with different types of abrasives**. 2014. 120f. Dissertation – Geotechnical Engineering Departament, São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos-SP, 2014.

Brazil occupies a leading position on the global scenario of production and export of ornamental stones due to its geological diversity and by accommodate all stages of the supply chain, from quarrying to the tiles finishing. However, despite the great importance of this sector, many physical mechanisms of its industrial processes are still not properly understood and performed most often empirically. The polishing of ornamental stones, which can be described as a process where wearing caused by abrasive tools eliminates rough surfaces coming from the sawing stage, it is still one of the processes where the variables involved remain in scarce studies. In an attempt to become this process less subjective, the Geotechnical Engineering post-graduation department from the University of São Paulo (USP) at São Carlos School of Engineering has been developing researches approaching the focus of tribology in the polishing, but not exhausting all parameters involved. Following such studies, this research covers the polishing simulation of two granitic stones using two types of abrasives: the magnesian, more traditional, and resinoid, one of the most modern presently used. Nine different combinations were used between rotation speed (200, 400 and 600 rpm) and time (2, 4, and 6 minutes) to the 1 bar load. Among the samples subjected to the process, those with coarse and inequigranular texture showed some limitation to the representativeness of the SPR equipment in abrasive wearing, not necessarily reflecting the reality of industrial polishing of granites with similar mineralogy and texture. However, samples with fine and equigranular texture with low abrasive resistance, the results expressed by mass loss (stone and abrasive) showed better quality of the polished surface and gloss, besides a more efficient polishing.

Key words: dimension stones, polishing, brightness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (A) Tear Multilâminas de uma empresa de grande porte em Cachoeiro de Itapemirim – ES e (B) detalhe da parte superior do tear onde se dá a entrada da lama abrasiva no bloco.	25
Figura 2 – Pérola diamantada (CARANASSIOS & PINHEIRO 2004).	26
Figura 3 – (A) Tear Multifio de uma empresa de grande porte em Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo e (B) detalhe do corte dos blocos.	26
Figura 4 – Processo de aplicação de resina em uma grande empresa de Cachoeiro de Itapemirim - ES.	27
Figura 5 – Exemplos de cortadeiras utilizadas em uma grande empresa de Cachoeiro de Itapemirim – ES: (A) Cortadeiras ou Fresa Ponte; (B) Cortadeira longitudinal.	28
Figura 6 – Politriz manual de uma pequena empresa de Cachoeiro de Itapemirim.	31
Figura 7 – Politriz semi automática com 3 cabeçotes.	32
Figura 8 – Exemplos de Politriz multicabeças com esteira transportadora.	33
Figura 9 – Satélite de 4 rebolos abrasivos. Fonte: USIWAL, (2013).	33
Figura 10 – Rotação no eixo x e oscilação no eixo y (CAMARGO, 2013).	34
Figura 11 – Rebolo abrasivo magnésiano. Fonte: COBRAL (2013).	35
Figura 12 – Abrasivos diamantados metálicos. Fonte: COBRAL (2013)	36
Figura 13 – Abrasivos diamantados resinóides. Fonte: COBRAL (2013)	36
Figura 14 – Desenho esquemático dos quatro modos representativos de desgaste (RADI et al., 2007 <i>apud</i> KATO, 2001).	38
Figura 15 – Diagrama dos processos de desgaste em função do elemento interfacial e do tipo de movimento das interfaces (RADI et. al., 2007 <i>apud</i> KATO, 2001).	40
Figura 16 – Descrição geral do “SPR”: (1) Chave Geral, (2) Dispositivo para saída de água, (3) Reostato, (4) Marcador de tempo, (5) Amperímetro, (6) Tacômetro, (7) Mangueira d’água e (8) Prato giratório; (A) Torre, (B) Haste, (C) Pesos, (D) Amostra de Rocha e (E) Dispositivo para colocação do abrasivo. Fonte: Silveira et al. (2004).	41
Figura 17 – Corpo-de-prova de granito submetido ao ensaio no SPR (modificado de Almeida & Ribeiro, 2013).	42
Figura 18 – Simulador de Polimento de Rochas modificado (Carvalho, 2010).	44
Figura 19 – “Granito” Vermelho Brasília.	49
Figura 20 – “Granito” Preto São Gabriel.	51

Figura 21 – Amostras de rocha utilizadas na pesquisa. (A) Vermelho Brasília e (B) Preto São Gabriel.....	53
Figura 22 – (A) Extração dos pinos abrasivos por broca diamantada, (B) Abrasivos Magnesianos e (C) Abrasivos Resinóides Diamantados.	54
Figura 23 – Adequações do pino abrasivo: (A) Dispositivo de fixação; (B) Disco de abrasivo colado com resina ao dispositivo; (C) Suporte e (D) Conjunto de sustentação das peças (ver Figuras 18 e 23).....	54
Figura 24 – Simulação do polimento de rochas no SPR.....	55
Figura 25 – Medição da rugosidade superficial: Detalhe do equipamento ARC (esquerda) e da medição nos trechos definidos A e B (direita).	56
Figura 26 – (A) Intervalos adotados para medição do brilho; (B) Medição do brilho com “Glossmeter”.	57
Figura 27 – Medidas de perda de massa de rocha: (A) resfriamento em dessecador e (B) pesagem do corpo de prova.....	57
Figura 28 – Medidas de perda de massa de abrasivos: (A) resfriamento em dessecador e (B) pesagem do corpo de prova.....	58
Figura 29 – Perfis de rugosidade A e B: Combinação 1- abrasivos magnesianos.....	61
Figura 30 – Perfis de rugosidade A e B: Combinação 1- abrasivos resinóides.	61
Figura 31 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 24 <i>mesh</i>	62
Figura 32 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 36 <i>mesh</i>	63
Figura 33 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 60 <i>mesh</i>	64
Figura 34 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 120 <i>mesh</i>	65
Figura 35 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 220 <i>mesh</i>	66
Figura 36 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 400 <i>mesh</i>	67
Figura 37 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 600 <i>mesh</i>	68
Figura 38 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 800 <i>mesh</i>	69

Figura 39 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 1.200 <i>mesh</i> .	70
Figura 40 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com abrasivos de lustro.	71
Figura 41 – Fragmentação dos abrasivos magnesianos da fase de levigamento: (A) 24 <i>mesh</i> , (B) 36 <i>mesh</i> e (C) 60 <i>mesh</i> .	73
Figura 42 – Detalhe da faixa de polimento para a sequência de abrasivos magnesianos (A) e resinóides (B).	73
Figura 43 – Resultados de brilhos para as combinações de polimento com abrasivos magnesianos e resinóides	75
Figura 44 – Perfis de rugosidade A e B: Combinação 1 - abrasivos magnesianos.	76
Figura 45 – Perfis de rugosidade A e B: Combinação 1 - abrasivos resinóides.	76
Figura 46 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 24 <i>mesh</i> .	78
Figura 47 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 36 <i>mesh</i> .	79
Figura 48 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 60 <i>mesh</i> .	80
Figura 49 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 120 <i>mesh</i> .	81
Figura 50 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 220 <i>mesh</i> .	82
Figura 51 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 400 <i>mesh</i> .	83
Figura 52 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 600 <i>mesh</i> .	84
Figura 53 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 800 <i>mesh</i> .	85
Figura 54 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 1.200 <i>mesh</i> .	86
Figura 55 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com abrasivos de lustro.	87
Figura 56 – Detalhe da faixa de polimento para a sequência de abrasivos magnesianos (A) e resinóides (B).	89

Figura 57 – Detalhe da faixa de polida da combinação C8 dos abrasivos magnesianos: (A) Cavidades provocadas pelo arrancamento das micas e (B) superfície de menor brilho nos minerais máficos.	91
Figura 58 – Resultados de brilhos para as combinações de polimento com abrasivos magnesianos e resinóides	91
Figura 59 – Análise comparativa entre perda de massa de rocha “Vermelho Brasília” nas pesquisas de Neves (2010) e na presente pesquisa.	93
Figura 60 – Análise comparativa entre valores de brilho obtidos da simulação da rocha “Vermelho Brasília” nas pesquisas de Neves (2010) e na presente pesquisa.	93
Figura 61– Análise comparativa entre perda de massa de rocha “Preto São Gabriel” na pesquisa de Carvalho (2010) e na presente pesquisa.	94
Figura 62 – Análise comparativa entre valores de brilho obtidos da simulação da rocha “Preto São Gabriel” na pesquisa de Carvalho (2010) e na presente pesquisa.	94
Figura 63 – Sistema de suporte utilizado por Carvalho (2010) e Neves (2010): (1) Copo porta abrasivo (A) e pino abrasivo (B) e (2) detalhe do pino abrasivo.	95
Figura 64 – Adequações no sistema de suporte de abrasivo: (A) conjunto copo porta abrasivo, suporte do abrasivo e pino abrasivo e (B) detalhe do pino abrasivo.	95

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Condições operacionais utilizadas no SPR por Silveira (2007)	42
Tabela 2 - Condições operacionais utilizadas no SPR (Carvalho, 2010)	44
Tabela 3 - Condições operacionais utilizadas no SPR (Neves, 2010).	45
Tabela 4 – Composição mineralógica da rocha “Vermelho Brasília”.	50
Tabela 5 – Composição mineralógica da rocha “Preto São gabriel”.	52
Tabela 6 – Combinações das amostras em função da carga, da velocidade e do tempo nas etapas abrasivas de 24# ao lustro.	55
Tabela 7 –Rugosidade inicial medida nos trechos A e B e o valor médio em microns para combinações C1 a C9 dos abrasivos magnesianos e resinóides.	61
Tabela 8 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 24 <i>mesh</i> em todas as combinações.....	62
Tabela 9 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 36 <i>mesh</i> em todas as combinações.....	63
Tabela 10 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 60 <i>mesh</i> em todas as combinações.....	64
Tabela 11 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 120 <i>mesh</i> em todas as combinações....	65
Tabela 12 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 220 <i>mesh</i> em todas as combinações....	66
Tabela 13 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 400 <i>mesh</i> em todas as combinações....	67
Tabela 14 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 600 <i>mesh</i> em todas as combinações....	68
Tabela 15 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 800 <i>mesh</i> em todas as combinações....	69
Tabela 16 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 1.200 <i>mesh</i> em todas as combinações. 70	
Tabela 17 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva de lustro em todas as combinações.	71
Tabela 18 – Acumulativo de perdas de massa de rocha e de abrasivo e a razão entre elas nas simulações com abrasivos magnesianos e resinóides.	72

Tabela 19 – Médias dos valores de brilho em cada etapa abrasiva nas diferentes combinações para os abrasivos magnesiano e resinóide.....	74
Tabela 20 – Rugosidade inicial medida nos trechos A e B e o valor médio em microns para as combinações C1 a C9 dos abrasivos magnesianos e resinóides.	76
Tabela 21 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 24 <i>mesh</i> em todas as combinações.	77
Tabela 22 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 36 <i>mesh</i> em todas as combinações.	78
Tabela 23 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 60 <i>mesh</i> em todas as combinações.	79
Tabela 24 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 120 <i>mesh</i> em todas as combinações.	80
Tabela 25 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 220 <i>mesh</i> em todas as combinações.	81
Tabela 26 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 400 <i>mesh</i> em todas as combinações.	82
Tabela 27 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 600 <i>mesh</i> em todas as combinações.	83
Tabela 28 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 800 <i>mesh</i> em todas as combinações.	84
Tabela 29 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 1.200 <i>mesh</i> em todas as combinações.	86
Tabela 30 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva de lustro em todas as combinações.	87
Tabela 31 – Acumulativo de perdas de massa de rocha e de abrasivo e a razão entre elas nas simulações com abrasivos magnesianos e resinóides.	88
Tabela 32 – Médias dos valores de brilho em cada etapa abrasiva nas diferentes combinações para os abrasivos magnesiano e resinóide.....	90
Tabela 33 – Dados acumulados de perda de massa de rocha e valores de brilho obtidos nas combinações C1 a C9 nos estudos de Neves (2010), de Carvalho (2010) e da presente pesquisa.	92
Tabela 34 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C1.....	111
Tabela 35 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C2.....	111

Tabela 36 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C3.	112
Tabela 37 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C4.	112
Tabela 38 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C5.	113
Tabela 39 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C6.	113
Tabela 40 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C7.	114
Tabela 41 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C8.	114
Tabela 42 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C1.	115
Tabela 43 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C1.	117
Tabela 44 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C2.	117
Tabela 45 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C3.	118
Tabela 46 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C4.	118
Tabela 47 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C5.	119
Tabela 48 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C6.	119
Tabela 49 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C7.	120
Tabela 50 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C8.	120
Tabela 51 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C9.	121

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS.....	21
1.1. INTRODUÇÃO	21
1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA.....	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. ASPECTOS GERAIS DA INDÚSTRIA DA PEDRA	23
2.1. ASPECTOS ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DA PEDRA	23
2.3. INDUSTRIALIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DAS ROCHAS	24
2.3.1. Serragem dos Blocos.....	25
2.3.2. Acabamentos Superficiais.....	27
2.3.3. Corte das Chapas.....	28
2.3.4. Fixação de Placas de Rochas.	29
2.4. POLIMENTO DAS ROCHAS.....	29
2.4.1. Fatores que Influenciam o Polimento	29
2.4.2. Tipos de Politrizes.....	31
2.4.2. Satélites	33
2.4.3. Rebolos Abrasivos	34
2.5. TRIBOLOGIA	37
2.5.1. Tipos de Desgaste	38
2.5.2. Tribologia aplicada ao processo de polimento das rochas	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1. SELEÇÃO DE ROCHAS	48
3.1.1. Vermelho Brasília	48
3.1.2. Preto São Gabriel	51
3.2. CORPOS DE PROVA DE ROCHA	52
3.3. CORPOS DE PROVA DE ABRASIVOS	53

3.3.1.	Preparação e Adequações do Abrasivo.....	53
3.4.	CONDIÇÕES OPERACIONAIS	54
3.4.1.	Medições de Rugosidade	56
3.4.2.	Medições de Brilho	56
3.4.3.	Avaliação das Perdas de Massa de Rocha e de Abrasivo	57
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1.	VERMELHO BRASILIA	60
4.1.1	- Rugosidade Superficial	60
4.1.2.	Avaliação das Perdas de Massa de Rocha, dos Abrasivos e o ganho do Brilho Médio em todas Granulações	62
4.1.3.	Análise dos Dados Acumulados das Perdas de Massa de Rocha, de Abrasivo e da Razão Entres Elas.	72
4.1.4.	Avaliação do Brilho	74
4.2.	PRETO SÃO GABRIEL.....	75
4.2.1	- Rugosidade superficial	76
4.2.2.	Avaliação das Perdas de Massa de Rocha, dos Abrasivos e o ganho do Brilho Médio em todas Granulações	77
4.2.3.	Análise dos Dados Acumulados das Perdas de Massa de Rocha, de Abrasivo e da Razão Entres Elas	88
4.2.4.	Avaliação do Brilho	89
4.3.	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DADOS PRÉVIOS E ATUAIS OBTIDOS NO SIMULADOR DE POLIMENTO DE ROCHAS	91
5.	CONCLUSÕES.....	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
	ANEXOS.....	106

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

1.1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento fazem parte de um importante segmento econômico brasileiro e mundial: o setor imobiliário da construção civil. Na parte de revestimento, as rochas ornamentais são consideradas materiais de nobreza ao prestar embelezamento exclusivo aos mais variados tipos de utilização. O aspecto estético da rocha pode ser aproveitado, levando em consideração, muitas propriedades de resistência às intempéries, além de apresentar boa resistência mecânica e facilidade em obtenção de produtos com dimensões e formatos diversos.

Na maioria dos casos, o processo produtivo das rochas ornamentais e de revestimento é basicamente o mesmo para quase todos os tipos litológicos, com exceção de algumas rochas estratificadas, que são extraídas em forma de chapas e não recebem tratamento superficial.

Na etapa industrial de polimento, que corresponde à segunda etapa do processo de industrialização das rochas, busca-se eliminar a rugosidade das chapas serradas e atingir o brilho desejado. Esse processo é realizado por equipamentos denominados politrizes, que utilizam rebolos abrasivos fixados em cabeçotes rotativos que, por sua vez, são aplicados sob pressão e em movimentos circulares sobre a superfície das placas, imprimindo uma intensidade de brilho e o fechamento dos poros da rocha.

Segundo Ribeiro et. al. (2004) e Silveira (2007), a compreensão que a industrialização das rochas como sendo processos de desgaste de uma superfície, em que existe íntima relação entre diversas variáveis, ainda não se encontra devidamente equacionada. As lacunas existentes no processo de beneficiamento de rocha ornamental geram custos, contribuindo para a dificuldade da indústria nacional em competir com seu produto (acabado ou semi-acabado) no mercado internacional. Para a otimização do processo e consequentemente ganho de produtividade, é de suma importância que se considere a sua gênese. Trata-se, portanto, de um material natural com diversidade em suas características e que necessita de um controle tecnológico desde a lavra até o produto final.

O beneficiamento de rochas ornamentais compreende uma sucessão de etapas de desgaste abrasivo, que se inicia com a serragem dos blocos e vai até o polimento final das placas. A abordagem de estudo destas etapas, em diversos casos, pode ter o mesmo enfoque dado pela

Tribologia, ramo da engenharia mecânica que trata dos mecanismos de desgaste de ligas metálicas. O desgaste, segundo tal enfoque, se insere no chamado *tribossistema*, cujo resultado final retrata a interação entre as propriedades intrínsecas da rocha, do abrasivo e das variáveis operacionais do processo.

Partindo desse conceito, o Grupo de Tecnologia de Rochas (GTR) da Área de Pós-Graduação em Geotecnia da EESC/USP buscou a aplicação das bases conceituais da Tribologia (ramo do conhecimento amplamente difundido nas Engenharias Mecânica e de Materiais) no polimento de granitos ornamentais, com base no desenvolvimento de um equipamento denominado “Simulador de Polimento de Rochas – SPR” e experimentos laboratoriais (SILVEIRA, 2007; CARVALHO, 2010; NEVES, 2010).

1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA

Dando continuidade às pesquisas desenvolvidas pelo GTR sob a óptica da Tribologia este trabalho tem como objetivos principais a simulação do polimento do Sienogranito “Vermelho Brasília” e do Hiperstênio Diorito “Preto São Gabriel” utilizando-se abrasivos resinóides e magnesianos, a comparação dos resultados obtidos com estudos previamente realizados e a avaliação de desempenho do equipamento utilizado. Para tanto serão identificados os fatores mais influentes no polimento das rochas ornamentais (mineralogia, textura, estrutura, etc.) e a definição de condições ideais (velocidade de rotação, tensão aplicada e tempo de polimento) para a obtenção de melhor eficiência entre as perdas de massa de abrasivo e de rocha e a resposta dessa relação na qualidade da superfície polida dos materiais pétreos.

As diferentes respostas ao polimento de cada material ensaiado no Simulador de Polimento de Rocha – SPR foram obtidas por meio de medições do brilho e das perdas de massa de rocha e de abrasivo durante cada etapa de polimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ASPECTOS GERAIS DA INDÚSTRIA DA PEDRA

O crescente interesse pelas rochas ornamentais e de revestimentos vem se verificando em termos mundiais, sendo o Brasil um grande produtor, consumidor e exportador. Até alguns anos a participação brasileira no mercado internacional era como produtor de matéria-prima (blocos), mas iniciativas direcionadas para o aumento do valor agregado na comercialização das rochas ornamentais brasileiras tiveram êxito, levando as exportações de rochas processadas a superarem, em valor, as de matéria-prima. Nos últimos eventos promovidos pelo setor de rochas ornamentais, este fato vem sendo confirmado no passar dos anos.

2.1. ASPECTOS ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DA PEDRA

De acordo com Chiodi Filho (2014), no ano de 2013, as exportações de rochas ornamentais e de revestimento totalizaram US\$ 1.302,11 milhões, correspondente a um volume físico de 2,72 milhões de toneladas. As rochas processadas compuseram 76% do faturamento e 47% do volume físico destas exportações, tendo-se as rochas brutas respectivamente 23% e 53%, com os seguintes destaques:

- Considerando o volume físico das exportações de rochas, além de indicadores indiretos baseados no crescimento do PIB, no desempenho da construção civil e em informações de mineradores e beneficiadores, estima-se que a produção brasileira de rochas tenha alcançado 10,5 milhões de toneladas. As rochas silicáticas (granitos e materiais similares) representam 50% deste total, enquanto pouco mais de 18% são relativos a mármore e travertinos, além de ardósias, quartzitos foliados e outros. Mais de 60% do total dessa produção concentra-se nos estados do Espírito Santo e Minas Gerais, seguindo-se a região nordeste com quase 25% e as demais regiões brasileiras com quase 10%;
- Com base na produção de rochas no Brasil, suas exportações e importações, estima-se que o consumo interno aparente totalizou aproximadamente 78 milhões m² equivalentes, em chapas de 2 cm de espessura. Desse montante, pouco mais de 2,4 milhões m² (materiais naturais e aglomerados) tenham sido importados e que 35,1 milhões m² (45% do total) correspondam a granitos e similares. O Estado de São Paulo responde por

aproximadamente 45% do total do consumo brasileiro de rochas para ornamentação e revestimento.

O Brasil já possui o maior parque mundial de teares multifio diamantado, bem como o melhor grau de especialização para o seu uso. O mesmo pode ser referido para a lavra de maciços rochosos, com o uso da tecnologia de fio diamantado. De acordo com estimativas, cerca de 100 teares multifio diamantado foram instalados no Brasil no ano de 2012, a maior parte dos quais no Estado do Espírito Santo. Apenas com estes 100 teares, deve-se ter substituído a capacidade instalada de 300 a 400 teares convencionais multilâmina de aço (CHIODI FILHO, 2013). Com relação aos teares convencionais, Souza et al. (2012) afirmam que atualmente encontram-se em operação no Brasil cerca de 1.400 teares.

Atualmente o emprego das rochas na construção civil é quase ilimitado. Estima-se que cerca de 116 milhões de toneladas de rochas ornamentais teriam sido produzidas mundialmente no ano de 2011, e que da produção líquida beneficiada (68,44 milhões t) 75% (51,33 milhões t) sejam destinadas às edificações (pisos, fachadas, etc.). Destacam-se nessa produção total as rochas carbonáticas (mármore, travertinos e calcários diversos) com maior expressividade, e as rochas silicáticas (granitos, quartzitos e similares) em menor volume, com 59% e 36% respectivamente (CHIODI FILHO, 2012).

É importante ressaltar que no Brasil poucas empresas enquadram-se nas categorias de grande e médio porte; a esmagadora maioria é composta por micro e pequenas empresas. Portanto é necessário que os resultados obtidos nas pesquisas, como a que está sendo proposta, sejam divulgados numa linguagem técnica bem acessível para permitir um aprimoramento técnico mais eficiente pelo setor produtivo. Este é um desafio que se enfrenta porque deve-se publicar também em revistas técnicas, não indexadas e muitas vezes com finalidades comerciais para que a informação chegue ao alcance dos operadores da Indústria da Pedra.

2.3. INDUSTRIALIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DAS ROCHAS

De acordo com Zuado Torres (1995) e Frazão (2002), a industrialização das rochas ornamentais é compreendida como as etapas necessárias para a transformação do material bruto (blocos) em produtos acabados (ladrilhos, mesas, pias, bancadas, etc...). Esse processo é composto por três etapas: serragem (ou desdobramento) dos blocos, polimento e corte final.

Após o dimensionamento das peças segue-se a aplicação final de revestimento, com destaque para a fixação das placas.

2.3.1. Serragem dos Blocos

Em geral, os blocos extraídos nas pedreiras têm volume variável entre 5m³ e 8m³, podendo chegar excepcionalmente, a 12 m³. Cabe ressaltar que alguns materiais com alto valor comercial podem ser aproveitados com dimensões de até 1m³.

Como regra geral, os blocos podem ser serrados em chapas, tiras ou espessores, com espessuras próximas daquelas que terão os produtos finais. Esse processo é realizado essencialmente por teares multilâmina (também denominados de convencionais) ou multifio, e secundariamente, por talha-blocos e teares monofio diamantado. Cabe ressaltar que o tear monofio é utilizado para produção de peças especiais e acabamento das bordas do bloco e o talha blocos é utilizado principalmente na produção de ladrilhos padronizados.

A serragem dos blocos realizada por teares convencionais (Figura 1) se dá pela ação de um elemento abrasivo, denominado lama abrasiva (composta por água, cal, pó de pedra e gralha), conduzido por um conjunto de lâminas que são pressionadas contra o bloco, em movimento pendular e descendente, provocando o avanço do corte do material. O corte realizado nestes teares é possível pelo processo de desgaste entre três corpos.

Figura 1 – (A) Tear Multilâminas de uma empresa de grande porte em Cachoeiro de Itapemirim – ES e (B) detalhe da parte superior do tear onde se dá a entrada da lama abrasiva no bloco.

Os teares multifio representam uma evolução tecnológica idealizada a partir do sucesso do uso do fio diamantado na lavra de rochas ornamentais (Figura 3). Eles são constituídos de uma

estrutura (armação) metálica, com suportes cilíndricos que se movimentam em sentido vertical, sobre os quais se dispõem, de forma equidistante e tensionados, até 72 fios diamantados, que realizam um movimento rotatório em torno dos suportes.

O processo de corte desse equipamento se dá pela ação abrasiva das pérolas diamantadas (Figura 2) que estão dispostas ao longo do fio. Durante a etapa de corte é adicionado um fluxo constante de água para manter a refrigeração das pérolas, evitando assim, que as mesmas percam o poder de corte. Na parte tribológica do processo, abordada por Silveira (2007), o corte com o fio diamantado é um processo de abrasão à dois corpos (pérola diamantada e rocha).

Figura 2 – Pérola diamantada (CARANASSIOS & PINHEIRO 2004).

Figura 3 – (A) Tear Multifio de uma empresa de grande porte em Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo e (B) detalhe do corte dos blocos.

Souza et al. (2012) compararam de forma quantitativa e qualitativa as vantagens e desvantagens desses dois teares descritos, concluindo que o multifio apresenta um melhor desempenho quando comparado ao tear multilâmina, principalmente à produtividade, desempenho ambiental e qualidade da serrada do produto obtido. Por outro lado a vantagem do tear convencional está nos custos dos insumos, que corresponde à metade do custo do tear

multifio. Porém, sendo a produção do tear multifio seis vezes maior que o multilâminas, pode se afirmar que o mesmo substituirá o tear convencional.

2.3.2. Acabamentos Superficiais.

O acabamento superficial é uma etapa extremamente importante e fundamental para explorar as características expressivas de coloração, textura e beleza da rocha, aliados a sua aplicação. Na sua forma bruta e com rugosidade superficial originada no processo de serragem, ela mostra as características cromáticas específicas conferida pela natureza, mas não expressa completamente as diversas nuances de coloração e textura que poderá apresentar.

O processo de acabamento superficial mais usual na segunda etapa de industrialização é o polimento das chapas brutas. É realizado a partir da abrasão de ferramentas específicas, obtendo uma superfície plana e sem brilho. Em seguida, pode ser lustrada para adquirir aspecto espelhado adicionando-se resina (Figura 4), que diminui a porosidade da rocha atingindo o máximo de brilho possível. A resinagem também é realizada para eliminar algumas imperfeições, rachaduras e trincas presentes nas rochas.

Figura 4 – Processo de aplicação de resina em uma grande empresa de Cachoeiro de Itapemirim - ES.

Além do processo de polimento em que a chapa é submetida, outros processos de acabamento superficial são aplicados nas chapas com vistas explorar as diversas características de aparência das rochas ornamentais, sendo os principais apresentados a seguir:

- Flameamento: esse processo é obtido através de choque térmico a que o material é submetido. Esse choque térmico provoca uma espécie de descamação e vitrificação da superfície, conferindo um aspecto rustico e áspero.
- Apicoamento: é o processo que submete a peça ou chapa ao impacto de um martelo pneumático de percussão que lhe confere um tipo de rugosidade à superfície.
- Jateamento: é realizado primeiramente por uma limpeza, com auxílio de uma bomba de pressão, contendo uma solução de ácidos inorgânicos, corante e água. O resultado é uma superfície lisa, porém ainda rústica e sem brilho.
- Escovação: é realizado por escovas diamantadas com auxílio de um prato específico usado para polimento de rochas carbonáticas. O resultado desse processo é uma aparência rústica na superfície da chapa e pode-se verificar um leve brilho.

2.3.3. Corte das Chapas.

A sequência do processo de industrialização é a transformação das chapas polidas em produtos acabados, de acordo com as especificações de uso e aplicação. Para isso são utilizados equipamentos denominados “cortadeiras” (Figura 5), que consiste no corte das peças utilizando discos diamantados, acoplados no conjunto mandril/porta discos, suportados por algum elemento estrutural, e acionado por motor elétrico em movimento de rotação do disco e de avanço do conjunto para execução do corte.

Figura 5 – Exemplos de cortadeiras utilizadas em uma grande empresa de Cachoeiro de Itapemirim – ES: (A) Cortadeiras ou Fresa Ponte; (B) Cortadeira longitudinal.

2.3.4. Fixação de Placas de Rochas.

Em revestimentos de paredes externas e fachadas as placas podem ser fixadas na estrutura com argamassas ou inserts metálicos.

No assentamento com argamassa, o dorso das placas de rochas entra em contato direto com as argamassas (adesão física) que as fixam à edificação, enquanto que na fixação com inserts a placa de rocha não entra em contato direto com a estrutura da edificação, sendo a ela presa com um perfil metálico em forma de chapa ou de pino. É usada em edifícios altos e segue normas e especificações próprias (MOREIRAS, 2005).

2.4. POLIMENTO DAS ROCHAS

Pode ser entendido como um processo em que ferramentas abrasivas eliminam a rugosidade das chapas provenientes da etapa antecessora (serragem), com vistas a transformá-la em uma placa com brilho. Esta rugosidade é função da qualidade da serragem que o bloco de rocha sofreu. Quanto melhor for a qualidade da serrada menos rugosa será a superfície da chapa, e por consequência, menor também o gasto de abrasivos nas primeiras etapas de desgaste (SILVEIRA, 2007; CARVALHO, 2010; NEVES, 2010).

O polimento é realizado pela diminuição gradual da rugosidade das chapas brutas. Para tal, utilizam-se rebolos de grãos abrasivos de granulometrias diferentes, em sequência decrescente. É dividido em três etapas consecutivas: levigamento, polimento e lustro. Para a realização do levigamento, geralmente utilizam-se abrasivos de grana mais grossa: 24, 36 e 60 *mesh*, ou abrasivos diamantados metálicos, que não são fabricados em série e substituem as granas iniciais dos abrasivos de outras naturezas (magnesianos e resinóides). Após essa etapa é realizada o polimento propriamente dito, que é atingido utilizando uma sequência de abrasivos mais finos: 120 ao 1.200 *mesh* (sequência mais utilizada no polimento). Ao fim do polimento é realizado a lustragem da chapa, obtido pelo abrasivo de lustro. Para refrigeração do processo e limpeza da chapa ao longo do polimento, utiliza-se um fluxo constante de água.

2.4.1. Fatores que Influenciam o Polimento

O avanço tecnológico que impulsionou este setor produtivo foi mais evidente nos equipamentos e insumos, mas não tem sido acompanhado pela necessidade do conhecimento das características dos mais de quinhentos tipos de rochas brasileiras hoje comercializadas.

Ainda hoje se baseia no empirismo, com generalizações não pertinentes que elevam o custo da produção de placas polidas e geram problemas no seu assentamento em edificações. Neste contexto, o Grupo de Tecnologia de Rochas (GTR) vem desenvolvendo pesquisas que relacionam adequadamente as características intrínsecas do material pétreo (mineralogia, textura, índices físico-mecânicos, etc.) e sua influência no desgaste que é realizado pelo processo de polimento.

Segundo Ribeiro et al. (2004) os principais fatores que influenciam o polimento das rochas são principalmente os relacionados com as características petrográficas. Dentre elas a dureza é uma das mais importantes a ser entendida (SHEN et. al, 2006; XIE & TAMAKI, 2007).

O conceito de dureza é definido como a resistência que uma superfície oferece ao risco. Uma rocha que apresenta uma dureza elevada demanda um gasto maior de abrasivo para o alcance do brilho. Quando se fala em dureza pode estar tratando tanto do material desgastado quanto do abrasivo (SILVEIRA, 2007a).

De uma forma empírica, a prática industrial classifica as rochas processadas como duras, médias e macias. Esta classificação é válida tanto para o desdobramento dos blocos quanto para o polimento e é definida pelo tempo do processamento nessas etapas e a quantidade de insumos gastos para finalizá-las (CETEMAG, 2003).

A dureza varia consideravelmente entre as rochas de natureza carbonáticas e silicáticas. A maioria das rochas carbonáticas (mármore; travertinos) encontram-se na faixa de dureza baixa ou média (2-3), as silicáticas e quartzo-feldspáticas correspondem a materiais normalmente de durezas altas (5-6) e só em casos isolados atingem durezas extremas (>7), como é o caso de alguns quartzitos. Durante o polimento das chapas, o controle da pressão dos cabeçotes sobre a chapa deve levar em consideração a dureza da rocha, pois a perda de massa do abrasivo e da rocha são diretamente influenciadas (CAMARGO, 2013).

Para Ribeiro et al. (2004) a Indústria da Pedra convencionou chamar de “fechamento do polimento” uma característica relacionada aos espaços e às depressões que algumas placas já polidas apresentam. Essa classificação é influenciada principalmente pela mineralogia, como a presença de quartzo, granada, biotita, etc. Rochas sem quartzo (sienitos, por exemplo) tendem a apresentar bom fechamento. Porém, a qualidade do processo de polimento que a rocha foi submetida é um fator que influencia diretamente esse parâmetro. Em alguns casos a pressão de carregamento nos rebolos abrasivos pode superar a resistência mecânica do mineral, levando-o, assim, ao quebramento e à “abertura de poros”.

2.4.2. Tipos de Politrizes

O processo de polimento das rochas em escala industrial teve seu início em meados da década de trinta em rochas carbonáticas (mármore e afins). A primeira máquina utilizada para acabamento superficial, denominada politriz manual (Figura 6), foi utilizada largamente até o final da década de 60 (ALENCAR et al., 1996). Esse equipamento era operado de forma manual e tinha como mecanismo de abrasão a areia e posteriormente o carbeto de silício, configurando-se como as primeiras ferramentas abrasivas de polimento. O equipamento consiste de uma coluna que mantém em sua extremidade um cabeçote rotativo, onde são acoplados os reboles. Este, ainda é encontrado na fase de polimento das rochas, principalmente em pequenas empresas com produtividade menor que 2 m²/h.

Figura 6 – Politriz manual de uma pequena empresa de Cachoeiro de Itapemirim.

A partir da década 70 surge uma nova concepção de máquinas de polir, que apresentava modificações no mecanismo de sustentação dos cabeçotes e em sua cinemática, que passou a ser automatizada. Os cabeçotes passaram a ser suportados por pontes móveis que se movimentavam sobre trilhos, fazendo com que o conjunto cabeçote/abrasivos percorresse toda a extensão da chapa, que ficava deitada em uma bancada fixa. Essas novas politrizes, as semi automáticas com bancada fixa, apresentada na Figura 7, além de ter sua forma de funcionamento modificada, ainda teve a adição na quantidade de cabeçotes presentes em sua ponte (2 a 3 cabeçotes).

A politriz semi-automática possui algumas limitações em relação à produtividade, à qualidade e à uniformidade no acabamento, tais como: necessidade de troca constante dos

rebolos abrasivos, tempo de parada entre as cargas e descargas das chapas na bancada, a dependência da sensibilidade do operador para saber o momento ideal da troca do abrasivo (do mais grosso por um mais fino), além de existir a possibilidade de um polimento não uniforme entre chapas de um mesmo material (SILVEIRA, 2007).

Figura 7 – Politriz semi automática com 3 cabeçotes.

As politrizes mais utilizadas atualmente, que apresentam a maior evolução no polimento das chapas de rocha, são as politrizes multicabeças com esteira transportadora (Figura 8).

Esse equipamento é composto por um chassi de ferro fundido ou aço que sustenta uma bancada ou mesa, sobre a qual corre uma esteira de borracha que transportam as chapas a serem polidas. Sobre essa esteira, e disposta longitudinalmente a ela, é montada uma trave que sustenta os conjuntos moto redutor e cabeçote e realiza um movimento transversal a mesa. Os abrasivos são colocados em sequência nesse conjunto de cabeçotes, do grão mais grosso para o grão mais fino, no sentido de movimentação da chapa, de modo que, ao sair no final da esteira, o material esteja polido.

Figura 8 – Exemplos de Politriz multicabeças com esteira transportadora.

São utilizadas largamente no polimento de chapas dois tipos de politrizes multicabeças com esteira transportadora: as semi-automáticas e a automática.

As politrizes automáticas possuem automação superior, principalmente no que condiz às informações sobre gastos de abrasivos e a possibilidade de alterar a velocidade de movimentação das esteiras rolantes. Outra característica dessas politrizes é a quantidade de cabeçotes que os modelos disponíveis oferecem, que variam de 8 a 22 cabeçotes por equipamento, com produtividade de até 2 metros lineares por minuto no polimento e até 3 metros para o levigamento (CAMARGO, 2013).

2.4.2. Satélites

Os chamados satélites (Figura 9), também conhecidos como cabeças de polir, são dispositivos pelo qual o processo de polimento é realizado. Em sua parte inferior são acoplados os abrasivos que entram em contato com a chapa. Esta peça geralmente é encontrada em configurações de 4, 6 ou 8 rebolos sendo mais comum o de 6 rebolos.

Figura 9 – Satélite de 4 rebolos abrasivos. Fonte: USIWAL, (2013).

Nas politrizes multicabeças com esteira, em que o polimento é realizado de forma sequencial, ou seja, em linha de produção (as chapas são colocadas sobre a esteira uma após a outra), os satélites têm dois tipos de acionamento: um por motor de indução, que o faz girar, permitindo assim o polimento das chapas; e outro por meio de um cilindro pneumático. Este, permite a cabeça polidora fazer movimentos na vertical de subida quando a esteira transportadora carrega a chapa para fora de sua linha de ataque, ou descida, quando a chapa entra em sua linha de ataque. Enquanto a esteira rolante carrega a chapa, a estrutura (ponte)

onde os satélites são acoplados realiza o movimento transversal, permitindo que os mesmos realizem o polimento em toda a extensão da chapa.

Segundo Camargo (2013), a velocidade de rotação dos satélites em politrizes semi-automáticas e automáticas é constante, sendo em média 500 rpm. Outra variável utilizada no polimento das rochas é a carga aplicada pelo satélite sobre a chapa. Geralmente se usa 1 e 2kgf/cm², dependendo da dureza que a rocha apresente, do tipo e sequência de abrasivos e as características da politriz. É importante definir a pressão a ser aplicada em cada tipo de material, pois o aumento excessivo desta pode acrescer o consumo de abrasivos ou desgastar de forma irregular a chapa, inviabilizando o processo e a comercialização.

Além do movimento dos satélites, o dispositivo de encaixe dos abrasivos também realiza um movimento oscilatório em torno de um eixo longitudinal (Figura 10). Desta forma, o contato dos abrasivos com a chapa se dá de forma linear, possibilitando o aumentar da pressão sobre a chapa.

Figura 10 – Rotação no eixo x e oscilação no eixo y (CAMARGO, 2013).

2.4.3. Rebolos Abrasivos

Os rebolos abrasivos são compostos basicamente por uma matriz ligante e um elemento abrasivo.

De acordo Turchetta (2003), o termo ligante, como parte das ferramentas abrasivas, indica os compostos que têm a função de sustentar os grãos abrasivos para garantir duas exigências

principais: a capacidade do rebolo de cortar a rocha e o aumento da vida útil do grão abrasivo. Além disto, a matriz deve ter uma resistência ao desgaste adequada para cada tipo abrasivo.

Esta propriedade da matriz permite que o abrasivo possa executar sua ação total, até perder seu poder de corte. Quando o abrasivo é desgastado totalmente, juntamente com a matriz ligante, outro abrasivo aflora, permitindo a manutenção constante do poder de abrasão desse rebolo. Quando a matriz é muito mole, o abrasivo poderá se desprender antes de realizar sua função de desgaste, e quando muito dura, ocorre a planificação do abrasivo com a face da matriz, cegando o rebolo.

De acordo com Dompieri et al. (2009), os abrasivos podem ser divididos em duas classes: naturais e sintéticos. Grãos abrasivos naturais são produzidos a partir de uma grande variedade de materiais, para uso como grãos livres ou para serem incorporados em outros produtos. Grãos sintéticos também são utilizados em uma ampla variedade de aplicações. Os grãos devem ser rígidos, de modo que não se desintegram com o impacto. As outras características dependem de seu uso final.

- **Tipos de rebolos**

Os abrasivos utilizados para o polimento das chapas são divididos em 3 grupos (LEITÃO & SILVEIRA, 2011):

- **Rebolsos Magnesianos** - São os mais tradicionais no setor de polimento (Figura 11). Apresentam um rendimento muito inferior quando comparado com os abrasivos mais modernos. São compostos por óxido de magnésio como material ligante e carbeto de silício (dureza 9,5 na escala de mohs) como elemento abrasivo.

Figura 11 – Rebolo abrasivo magnesiano. Fonte: COBRAL (2013).

- Rebolos Diamantados de Liga Metálica Sinterizada (Figura 12): Esses abrasivos têm como características a formulação diferentes durezas de sua liga, mas sempre utilizando o diamante como elemento abrasivo. A composição da matriz desses abrasivos citado por Turchetta (2003) são: cobre, estanho, titânio, cobalto, prata, cromo, manganês, molibdênio, vanádio e níquel.

Figura 12 – Abrasivos diamantados metálicos. Fonte: COBRAL (2013)

- Abrasivos Resinóides: Conhecidos também com ADR (abrasivos diamantados resinóides) (Figura 13). São os mais modernos utilizados no de polimento de chapas de rochas e apresentam uma qualidade maior no fechamento dos poros da rocha e no brilho final da superfície polida. Tem como elemento abrasivo o diamante e sua matriz é composta por uma liga de resina epoxídica ou poliéster.

Figura 13 – Abrasivos diamantados resinóides. Fonte: COBRAL (2013)

Os abrasivos diamantados com liga metálica e os resinóides são utilizados desde a década de noventa na Europa e foram introduzidos no Brasil a partir do ano dois mil. Apresentam a maior evolução tecnológica dos últimos anos referente ao polimento de rochas. Os principais ganhos que estes materiais proporcionam são: aumento de produtividade, qualidade final das

chapas padronizada, melhor qualidade da água reciclada, diminuição no consumo de energia elétrica e redução do tempo morto (LEITÃO & SILVEIRA, 2011).

Cabe ressaltar que vêm sendo realizados estudos voltados ao desenvolvimento de abrasivos alternativos para a indústria, por exemplo, com sílica poliéster (DE OLIVEIRA et al., 2008), com epóxi-sílica (DE AZEREDO et al., 2008) e com abrasivos compostos por um tipo de resina vegetal e carbetto de silício (SILVEIRA & LEITÃO, op.cit).

2.5. TRIBOLOGIA

A tribologia é definida como “a ciência e a tecnologia da interação de superfícies em movimento relativo e as práticas a elas relacionadas”. A palavra tribologia é derivada do radical grego “tribos” que significa friccionar e do sufixo “logos” que significa estudo.

Ela surgiu como resposta para o comportamento dos processos de atrito, desgaste e lubrificação que ocorrem na interface entre superfícies que interagem. Para tal, a natureza e consequência dessas interações encontram respaldo em partes da física, química, mecânica dos sólidos, mecânica dos fluidos, termodinâmica, reologia lubrificante, ciência dos materiais, dentre outras.

Tais conhecimentos se mostram bastantes úteis quando aplicados em análises operacionais de grande importância econômica, para solucionar problemas de manutenção, confiança e desgaste de equipamentos. A essência da tribologia repousa no fato que na interação das superfícies, forças são transmitidas, energia mecânica é convertida e a natureza física e química da topografia das superfícies é alterada (BHUSHAN, 2002).

O termo desgaste pode ser definido com “a remoção do material de uma superfície pela ação mecânica de partículas duras em contato com esta superfície” (RABINOWICZ, 1966). Portanto, o desgaste não é uma propriedade intrínseca do material, mas o resultado da interação entre o material, o abrasivo e o processo mecânico, aos quais ambos estão submetidos. O comportamento do material, durante o desgaste, dependerá de suas propriedades, das características do abrasivo e das condições de contorno que o material se encontra.

Os fundamentos da tribologia se mostraram de extrema importância na compreensão dos fenômenos físicos existentes nas diferentes etapas de beneficiamento de rochas ornamentais (RIBEIRO et al., 2004). Portanto, faz-se necessário abordar alguns conceitos sobre essa ciência em geral e sua aplicabilidade no polimento de rochas ornamentais.

2.5.1. Tipos de Desgaste

Um dos principais focos de estudo da tribologia é o desgaste. O termo desgaste pode ser definido como “a perda progressiva de material da superfície de um corpo sólido devido a ação mecânica, isto é, o contato e o movimento relativo entre este corpo e um contra-corpo sólido, líquido ou gasoso” (ZUM GAHR, 1987).

Em muitos casos o desgaste é um fator indesejável, pois pode causar dano em alguns componentes diminuindo assim a vida útil do material, no caso do polimento, contudo, o desgaste é o responsável pela impressão do brilho desejado em uma superfície rochosa, dando durabilidade e valores estéticos maiores para o produto final (RIBEIRO, et al., 2004)).

A Norma ASTM G40-01 (ASTM, 2001) define o desgaste abrasivo como “a perda de massa resultante da interação entre partículas ou asperezas duras que são forçadas contra uma superfície, ao longo da qual se movem”.

Tradicionalmente são aceitos quatro modos de desgaste, representados na Figura 14.

Figura 14 – Desenho esquemático dos quatro modos representativos de desgaste (RADI et al., 2007 *apud* KATO, 2001).

O desgaste adesivo ocorre quando a ligação adesiva entre as superfícies é suficientemente forte para resistir ao deslizamento. Como resultado dessa adesão, uma deformação plástica é causada na região de contato gerando uma trinca que pode se propagar levando à geração de um terceiro corpo e a uma transferência completa de material. No desgaste abrasivo ocorre remoção de material da superfície. Esse desgaste ocorre em função do formato e da dureza dos dois materiais em contato. Quando o desgaste é ocasionado pelo alto número de repetições do

movimento ele é chamado de desgaste por fadiga. Finalmente, o desgaste corrosivo ocorre em meios corrosivos, líquidos ou gasosos. Neste tipo de desgaste são formados produtos de reação devido às interações químicas e eletroquímicas. Essas reações são conhecidas como reações triboquímicas e produzem uma intercamada na superfície que depois é removida.

Kruschov (1957 *apud* PINTAÚDE, 2002) salienta que um dos parâmetros frequentemente utilizados para prever o regime de desgaste abrasivo, moderado ou severo, é obtido pela razão HA/H (dureza do abrasivo e a dureza do material desgastado). Os mecanismos associados à fadiga a baixo ciclo, como microimpressões estão relacionados com baixas razões HA/H , caracterizando o regime de desgaste moderado, enquanto o microcorte pode ser associado com o regime severo e com altas razões de HA/H . Usualmente a literatura utiliza a razão HA/H para a previsão de regimes de desgaste apenas para situações nas quais são verificados mecanismos controlados por deformação plástica.

No caso do desgaste abrasivo, Trezona, Allsopp e Hutchings (1999) distinguem em dois tipos, a saber: os que são controlados por deformação plástica e aqueles controlados por fratura frágil.

Para More e King (1980), “a dureza é certamente o fator mais importante na determinação do regime de desgaste, pois exerce um efeito marcante na deterioração das partículas abrasivas, e, conseqüentemente, na geometria das partículas e no tipo de contato”. Uma vez que a remoção de material é a combinação da deformação plástica e mecanismos de fratura, não existe uma relação simples entre o desgaste e as propriedades mecânicas dos sólidos quebradiços. Os mecanismos de deformação plástica e de fratura podem causar a remoção de material durante o desgaste abrasivo dos sólidos quebradiços. Neste caso, o fator predominante é a velocidade, que varia em diferentes ambientes e materiais.

Os modos de desgaste podem ocorrer através de diversos mecanismos. São descritos pela consideração de mudanças complexas na superfície durante o movimento. Em geral, o desgaste ocorre através de mais de um modo, portanto a compreensão de cada mecanismo de desgaste em cada modo se torna importante. O resumo destes mecanismos é apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Diagrama dos processos de desgaste em função do elemento interfacial e do tipo de movimento das interfaces (RADI et. al, 2007 *apud* KATO, 2001).

De acordo com a cinemática do sistema, o desgaste pode variar entre, deslizamento, rolamento, oscilação, impacto e erosão, dependendo do tipo de interação e do movimento das interfaces. A erosão pode ainda ser classificada pelo estado físico do contra-corpo, sólido ou líquido, ou pelo ângulo de ação, alto ou baixo. Os processos de desgaste também podem ser classificados quanto ao elemento interfacial podendo ser de desgaste de 2-corpos ou estar sob ação de partículas sólidas pressionadas entre duas superfícies, por exemplo, poeira em lubrificantes ou minerais em rochas sob pressão, caracterizando um desgaste de 3-corpos (Peterson, 1980).

2.5.2. Tribologia aplicada ao processo de polimento das rochas

As principais aplicações dos fundamentos da Tribologia apoiam-se na mecânica, física, química e ciências dos materiais. Porém, se mostrou de extrema importância na compreensão dos fenômenos físicos existentes nas diferentes etapas de beneficiamento de rochas ornamentais (RIBEIRO et al., 2004).

Destaca-se que, devido às peculiaridades inerentes ao processo de desgaste no polimento de rochas, não existe um ensaio laboratorial que possa simulá-lo com fidelidade. Dentre os equipamentos convencionais utilizados para determinação do desgaste em placas de rochas, o Amsler é o que mais se aproxima visando avaliações de polimento. No entanto, este ensaio,

além de imprimir uma condição muito severa à rocha, se processa com abrasivos livres, configurando um desgaste do tipo contato a três corpos, diferente daquele a dois corpos que ocorre no polimento.

Diante de tais constatações, para atender ao objetivo de verificar as variáveis que influem no polimento, sob a ótica de um tribossistema composto pela rocha, abrasivos e condições operacionais, o GTR desenvolveu um equipamento que possibilitou a simulação laboratorial do polimento de forma mais próxima da real, tendo como base os fundamentos do ensaio de abrasão “pin-on-disk”, regido pela norma ASTM G 99-04, o qual é usado para medir a resistência ao desgaste abrasivo de ligas metálicas.

Diferentemente do ensaio “pin-on-disk”, no equipamento denominado “Simulador de Polimento de Rochas – SPR” (Figura 16) há uma inversão de papéis na qual a amostra de rocha é colocada no prato giratório e o abrasivo na forma de um pino é pressionado sobre a amostra, produzindo um sulco de polimento como ilustrado na Figura 17.

Figura 16 – Descrição geral do “SPR”: (1) Chave Geral, (2) Dispositivo para saída de água, (3) Reostato, (4) Marcador de tempo, (5) Amperímetro, (6) Tacômetro, (7) Mangueira d’água e (8) Prato giratório; (A) Torre, (B) Haste, (C) Pesos, (D) Amostra de Rocha e (E) Dispositivo para colocação do abrasivo. Fonte: Silveira et al. (2004).

Figura 17 – Corpo-de-prova de granito submetido ao ensaio no SPR (modificado de Almeida & Ribeiro, 2013).

As pesquisas pioneiras utilizando o SPR foram realizadas durante o doutorado de Silveira (2007) por meio de simulações de polimento de rochas “graníticas” submetidas à combinações variando carga, velocidade e tempo de exposição em 10 etapas de beneficiamento utilizando abrasivos magnesianos (Tabela 1).

Tabela 1 - Condições operacionais utilizadas no SPR por Silveira (2007)

AMOSTRAS						Tempo (min.)	Carga (bar)	Velocidade (rpm)
PI	VB	CC	DS	VL	CB	2	1	200
PI	VB	CC	DS	VL	CB	2	1	400
PI	VB	CC	DS	VL	CB	2	1	600
PI	VB	CC	DS	VL	CB	4	1	200
PI	VB	CC	DS	VL	CB	4	1	400
PI	VB	CC	DS	VL	CB	4	1	600
PI	VB	CC	DS	VL	CB	6	1	200
PI	VB	CC	DS	VL	CB	6	1	400
PI	VB	CC	DS	VL	CB	6	1	600
PI	VB	CC	DS	VL	CB	2	2	200
PI	VB	CC	DS	VL	CB	2	2	400
PI	VB	CC	DS	VL	CB	2	2	600
PI	VB	CC	DS	VL	CB	4	2	200
PI	VB	CC	DS	VL	CB	4	2	400
PI	VB	CC	DS	VL	CB	4	2	600
PI	VB	CC	DS	VL	CB	6	2	200
PI	VB	CC	DS	VL	CB	6	2	400
PI	VB	CC	DS	VL	CB	6	2	600

Legenda: PI – Preto Indiano; VB – Vermelho Brasília; CC – Cinza Castelo; DS – Desert Storm; VL – Verde Labrador; VB – Vermelho Capão Bonito.

Utilizando essas variáveis, Silveira (2007) concluiu que situações operacionais distintas influem de forma diferente em cada tipo de rocha. No caso das simulações de polimento do sienogranito “Vermelho Brasília” os maiores valores de brilho foram obtidos na combinação com tempo de 4 minutos, carga de 2 bars e velocidade de 400 rpm. Para esta rocha homogênea, inferiu-se que o processo de desgaste foi meramente abrasivo, não tendo contribuição de desgaste por fadiga. Já as rochas com bandamento gnaíssico mais proeminente (Preto Indiano e Desert Storm) mostraram maiores valores de desgaste. Tal fato pode ser relacionado com o desgaste diferencial entre os minerais, causando um rebaixamento maior nos minerais mais moles, possibilitando o desgaste do abrasivo por fadiga. A princípio, o maior consumo de abrasivo redundava em uma melhor qualidade do produto obtido, visto que sugere uma melhor (ideal) interação entre o abrasivo e a rocha. A relação entre as perdas de massa da rocha e o consumo de abrasivo pode mostrar a situação mais adequada em termos de variáveis do processo, no qual se obtém a melhor qualidade e menos custo.

No decorrer dos experimentos laboratoriais, alguns problemas no manuseio do SPR como vibrações, deslizamento dos corpos de prova no prato giratório, má fixação do rebolo abrasivo, controle de velocidade da polítriz entre outros, foram resolvidos com modificações que resultaram em maior precisão e praticidade aos ensaios, destacando:

- A modificação do sistema de fixação dos corpos de prova, eliminando problemas relacionados ao seu nivelamento, reduzindo a tolerância para 0,06mm em um giro completo e também o suporte do abrasivo para dar estabilidade e garantir maior fixação;
- O controle de velocidade da polítriz, que era feito por motor bifásico auxiliado por um conta-giros, foi substituído por um trifásico assíncrono (motor de passo), possibilitando o controle mais preciso da velocidade feito eletronicamente. O aparelho com essas modificações é apresentado na Figura 18.

Estas modificações foram executadas durante o desenvolvimento dos Mestrados de Carvalho (2010) e de Neves (2010) e possibilitaram melhores condições no estudo de polimento utilizando abrasivos magnesianos, em função das diferenças petrográficas (estruturas, texturas e composição mineral) e das propriedades físico mecânicas dos granitos.

Tipos diferentes de rochas responderam de formas distintas ao processo de polimento. É indispensável, portanto, o conhecimento da petrografia e das características tecnológicas dentro do sistema tribológico (rocha, abrasivo e as condições operacionais) para diminuir o empirismo que se verifica na “Indústria da Pedra”.

Figura 18 – Simulador de Polimento de Rochas modificado (Carvalho, 2010).

Carvalho (2010) simulou o polimento de três tipos de rochas “graníticas” no SPR, utilizando nove combinações de velocidade, carga e tempo de exposição (Tabela 2). Foi possível obter informações mais precisas sobre quais combinações envolvendo essas variáveis são as mais eficientes para se atingir o brilho ideal em cada tipo de rocha, considerando as influências das características composicionais, estruturais e texturais de cada tipo litológico.

Tabela 2 - Condições operacionais utilizadas no SPR (Carvalho, 2010)

AMOSTRAS	COMBINAÇÃO	CARGA (bar)	VELOCIDADE (rpm)	TEMPO (min)	ETAPA ABRASIVA
PSG/AF/AO	1	1	200	2	24# ao lustro
PSG/AF/AO	2	1	400	2	24# ao lustro
PSG/AF/AO	3	1	600	2	24# ao lustro
PSG/AF/AO	4	1	200	4	24# ao lustro
PSG/AF/AO	5	1	400	4	24# ao lustro
PSG/AF/AO	6	1	600	4	24# ao lustro
PSG/AF/AO	7	1	200	6	24# ao lustro
PSG/AF/AO	8	1	400	6	24# ao lustro
PSG/AF/AO	9	1	600	6	24# ao lustro

Legenda: PSG – Preto São Gabriel; AF – Azul Fantástico; AO – Amarelo Ornamental.

Carvalho (2010) concluiu que dentre as rochas estudadas, os materiais Amarelo Ornamental e o Azul Fantástico, que apresentam composição mineralógica, características texturais e tecnológicas semelhantes, como por exemplo, granulação mais grossa e resultados de desgaste Amsler muito próximos (AF 0,62 mm e o AO 0,61mm), apresentaram resultados semelhantes de perda de massa e ganho de brilho com a combinação das mesmas variáveis. As maiores e menores perdas para rochas AF e AO ocorreram igualmente nas mesmas combinações (9, 8 e 6) e (1, 3 e 4) respectivamente. Para a rocha PSG o maior valor de brilho obtido (79,33%) foi na primeira combinação, valor esse também maior entre as três rochas analisadas nessa condição. Ressalta-se que, as características petrográficas apresentada por esta rocha como a baixa porcentagem de quartzo, a alta porcentagem de feldspatos, o baixo grau de alteração e o médio grau de fraturamento foram relevantes para a obtenção do valor de brilho do mercado (mínimo de 70%), por facilitarem o polimento.

Neves (2010) também utilizando o SPR e as mesmas condições de contorno adotadas por Carvalho (op. cit.), simulou o polimento de outras três rochas graníticas (Tabela 3 - Condições operacionais utilizadas no SPR (Neves, 2010).Tabela 3) concluindo que a maior intensidade de brilho (80,3%) foi alcançado no Cinza Andorinha na combinação 2, seguido do Jacarandá Rosado com 79,7 % e o Vermelho Brasília com 78,3%, ambos na combinação 3. Com relação a perda de massa, foi constatado que os “granitos” Vermelho Brasília e Jacarandá Rosado tiveram desempenhos semelhantes para as primeiras condições operacionais (combinações 1, 2, e 3), onde o aumento de velocidade resultou no acréscimo de Brilho. Entretanto, o “granito” Cinza Andorinha, na combinação 2 com 400 rpm e combinação 3 com 600 rpm apresentou um decréscimo de brilho de 80,33% para 63,50%, não satisfazendo o valor mínimo exigido pela indústria (70%).

Tabela 3 - Condições operacionais utilizadas no SPR (Neves, 2010).

AMOSTRAS	COMBINAÇÃO	CARGA (bar)	VELOCIDADE (rpm)	TEMPO (min)	ETAPA ABRASIVA
VB/CA/JR	1	1	200	2	24# ao lustro
VB/CA/JR	2	1	400	2	24# ao lustro
VB/CA/JR	3	1	600	2	24# ao lustro
VB/CA/JR	4	1	200	4	24# ao lustro
VB/CA/JR	5	1	400	4	24# ao lustro
VB/CA/JR	6	1	600	4	24# ao lustro
VB/CA/JR	7	1	200	6	24# ao lustro
VB/CA/JR	8	1	400	6	24# ao lustro
VB/CA/JR	9	1	600	6	24# ao lustro

Legenda: VB - Vermelho Brasília; CA – Cinza Andorinha; JR – Jacarandá Rosado.

Camargo (2013) utilizando as bases conceituais da tribologia realizou o polimento de 3 rochas “graníticas” (Verde Labrador, Cinza Castelo e Preto Indiano) em uma politriz industrial semi-automática. A pesquisa foi realizada em 24 situações operacionais distintas (carga, velocidade, tempo de exposição ao abrasivo) para cada rocha, utilizando 10 granulações distintas de abrasivos, totalizando 720 amostras. As pressões utilizadas correspondem a realidade do polimento industrial (1 e 2kgf/cm²). Foi instalado na politriz um inversor de frequência que possibilitou a variação de rotação do satélite de polir em 300, 400, 500 e 600 rpm.

O referido autor constatou que o aumento da velocidade com que os abrasivos passam pela superfície da chapa, não implica no acréscimo de brilho. A velocidade de rotação de satélite média/baixa (400/300rpm) na maior parte dos casos se mostrou mais eficiente para obtenção dos melhores resultados de brilho. Notou também que em geral os maiores valores de brilho foram alcançados quando se conjugou a maior pressão do satélite (2kgf/cm²) com o tempo máximo de exposição ao processo.

Camargo (2013) também sugeriu um índice de eficiência de polimento (“Ie”), sendo a razão entre o brilho médio obtido em cada amostra de rocha e o desgaste médio do abrasivo referente à etapa testada. O referido índice pode apresentar uma contribuição à otimização do processo de polimento, ressaltando-se a necessidade de maior número de testes com outros tipos de rochas para a efetiva validação deste parâmetro como um indicativo de qualidade.

Almeida et al. (2012) desenvolveram um estudo comparativo entre polimento do “granito” comercializado como Amarelo Ornamental efetuado com abrasivo resinóide, de uso mais recente, com o tradicional magnesiano, adotando-se a condição mais eficiente (carga de 1 bar, velocidade de rotação de 400 rpm e tempo de ensaio de 2 minutos) indicada por Carvalho (2010).

Verificou-se que as perdas de massa de rocha correspondentes às etapas 120 a 1200 mesh (polimento) com a utilização dos abrasivos resinóides foi de ordem inferior, quando comparado com os abrasivos magnesianos de mesma granulação. Mesmo com a menor perda de massa de rocha, os valores de brilho obtidos aumentaram com a utilização dos abrasivos resinóides, o que pode ser justificado pelas características distintas (tipo de elemento abrasivo e sua distribuição na matriz) dos rebolos estudados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada no presente estudo é uma complementação de pesquisas abordando o polimento de materiais pétreos, realizadas pelo Grupo de Tecnologia em Rochas da Área de Pós-Graduação em Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos. É embasada nos conceitos da Tribologia, principalmente pela possibilidade de se determinar um modelo de desgaste e sua efetividade nos produtos polidos, com a conjugação de três parâmetros abordados dentro de um sistema tribológico: característica da rocha, os abrasivos e condições operacionais.

Os ensaios foram realizados no Simulador de Polimento de Rochas - “SPR” variando parâmetros de velocidade de rotação do disco de rocha, tempo de polimento e carga aplicada sobre a rocha, utilizando abrasivos magnesianos e abrasivos resinóides diamantados.

3.1. SELEÇÃO DE ROCHAS

Foram selecionados dois tipos litológicos distintos dentre as seis rochas estudadas por Carvalho (2010) e Neves (2010). A escolha dos tipos litológicos teve com base os seguintes critérios: a experiência acumulada em estudos prévios, a prática industrial da serragem e do polimento (contraste entre rochas duras e moles), as diferentes propriedades tecnológicas e aspectos estruturais/texturais e o largo emprego como revestimento de pisos e paredes de edificações.

As análises petrográficas e as caracterizações tecnológicas dessas rochas foram determinadas, respectivamente, nos Departamentos de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP - Rio Claro e de Geotecnia da EESC/USP (RIBEIRO, 2005; SILVEIRA, 2007).

As características petrográficas detalhadas dos materiais estudados são mostradas a seguir, enquanto que no ANEXO 1 apresenta-se uma ficha resumo de cada rocha.

3.1.1. Vermelho Brasília

Extraída no Município de Jupará, Estado de Goiás (Figura 19). Rocha classificada empiricamente no processo de polimento como “rocha dura”.

Análise Petrográfica

Natureza da Rocha: Magmática

Classificação Petrográfica: Sienogranito

Figura 19 – “Granito” Vermelho Brasília.

Descrição Macroscópica

Rocha de coloração avermelhada com estrutura discretamente orientada, inequigranular, de granulação grossa. A granulação oscila desde 0,3 mm até cerca de 50 mm ou mais, com predominância de 5,0 e 3,0 cm, caracterizada por bom entrelaçamento mineral. Os cristais maiores de microclínio, os quais exibem formas variadas, podendo ser irregulares, alongados ou ovalados (com dimensões que podem atingir até 2,5 x 5,0 cm) a prismáticos (nestes casos apresentam dimensões que vão desde 0,5 x 0,5 x 1,5 cm a 1,5 x 2,0 x 5,0 cm). Apresentam contornos irregulares (devido a corrosão durante cristalização magmática) e mais raramente retilíneos (situação mais frequente nos cristais prismáticos), o que, apesar da granulação grossa da rocha, se reflete em bom imbricamento e consequentemente na coesão da rocha. Os cristais de quartzo apresentam-se interligados em forma de malha que envolvem os cristais de feldspatos potássicos e conferem à rocha elevada resistência mecânica.

Apresenta uma estrutura de discreta orientação de fluxo, evidenciada basicamente por grosseira orientação preferencial dos cristais alongados de microclínio.

Microscopicamente exhibe textura fanerítica média a grossa, inequigranular, hipidiomórfica. A granulação média oscila entre 0,5 a 1,5cm, sendo que o microclínio representa os cristais com maiores dimensões. Os contatos minerais variam de interlobados (côncavos/convexos) a parcialmente retilíneos, refletindo, no geral, em bom entrelaçamento mineral. Registra-se que os contatos entre os agregados monominerálicos de quartzo e os

cristais de feldspatos são irregulares, e que internamente aos referidos agregados os cristais de quartzo exibem entre si contatos preferencialmente retilíneos e levemente lobulados. Já os cristais de microclínio e de plagioclásio exibem contornos externos côncavo/convexos a irregulares, devido a frequente feições de corrosão magmática, o que contribui para o melhor imbricamento global da rocha.

Baixo microfissuramento, predominantemente intragranular, preferencialmente nos cristais de quartzo. As microfissuras mostram-se tanto fechadas quanto abertas, nestes casos, preenchidas por minerais opacos, sericita e algum epidoto.

Fraca a moderada alteração mineral caracterizada por visível argilomineralização dos cristais de feldspatos, manifestando-se sob forma de manchas pulverulentas, de coloração acastanhada devido ao efeito da pigmentação por óxidos e hidróxidos de ferro. Os cristais de plagioclásio são os mais afetados, principalmente em seus núcleos, além de exibirem discreto efeito de sericitização. Já nos cristais de microclínio, apesar de menos afetados, a argilomineralização distribui-se homogeneamente por toda a extensão de sua superfície. Os cristais maiores de biotita encontram-se praticamente inalterados, por vezes com discreta cloritização em bordas com texturas simplicítitas, além de conterem algumas micro-inclusões lineares de agregados de opacos disseminados dispostos ao longo dos planos de clivagem.

Descrição Microscópica

Tabela 4 – Composição mineralógica da rocha “Vermelho Brasília”.

Composição Mineralógica	(% modal)
<i>Quartzo</i>	33,50
<i>Feldspato Potássico</i>	41,5
<i>Plagioclásio (Andesina)</i>	16,00
<i>Biotita</i>	5,0
<i>Acessórios</i>	2,0
<i>Secundários</i>	4,0

* Acessórios: opacos, zircão, granada e apatita.

* Minerais Secundários: sericita, muscovita, epidoto, clorita, carbonatos, argilo-minerais, hidróxidos de ferro.

Caracterização Tecnológica

Massa Específica: 2.621 kg/m³

Porosidade: 0,69 %

Absorção D'água: 0.26 %

Resistência à Compressão Simples: 209,89 MPa

Resistência ao Desgaste Amsler: 0,51 mm

Coeficiente de Dilatação Térmica Linear: $5,7 \cdot 10^{-3}$ mm/m°C.

3.1.2. Preto São Gabriel

Extraída no município de São Rafael, cerca de 20 km a noroeste de Colatina, Espírito Santo (Figura 20). Rocha classificada empiricamente no processo de polimento como “rocha mole”.

Análise Petrográfica

Natureza da Rocha: Magmática

Classificação Petrográfica: Hiperstênio Diorito

Figura 20 – “Granito” Preto São Gabriel.

Rocha de cor cinza escura esverdeada, com estrutura fanerítica inequigranular média a fina. Possui uma foliação discreta, marcada pela orientação dos minerais máficos.

A rocha está pouco alterada na forma de pequenas cavidades associadas aos minerais escuros e argilominerais no feldspato potássio e plagioclásio. O grau de microfissuramento é mediano, sendo controlado principalmente pelas clivagens do hiperstênio.

O plagioclásio (andesina) apresenta forma subedral de hábito tabular, com cristais com cerca de 0,7 cm de comprimento. A biotita exibe hábito tabular variados, desde sub-milimétricos até 2 a 3 mm, podendo formar agregados de lamelas com até 5 mm, bem definidas.

Os minerais máficos (hiperstênio e hornblenda) ocorrem na forma de pequenos prismas, bastantes difíceis de enxergar e diferenciar a olho nu dado a coloração escura da amostra.

Os minerais opacos são constituídos essencialmente por magnetita. Aparecem pontuando toda a amostra, estando parcialmente associados aos minerais máficos de uma forma geral. Como minerais traços associados à magnetita estão a titanita, com seu característico hábito em cunha, e sulfetos, visíveis na forma de pequenos pontos dourados extremamente raros nas amostras.

Descrição Microscópica

Tabela 5 – Composição mineralógica da rocha “Preto São gabriel”.

Composição Mineralógica	(% modal)
<i>Quartzo</i>	3,0
<i>Feldspato Potássico</i>	4,4
<i>Plagioclásio (Andesina)</i>	58,5
<i>Hornblenda</i>	5,3
<i>Biotita</i>	10,3
<i>Hiperstênio</i>	10,1
<i>Secundários</i>	4,0
<i>Opacos</i>	8,4

Caracterização Tecnológica

Massa Específica: 2.960 kg/m³

Porosidade: 0,96 %

Absorção D'água: 0.33 %

Resistência à Compressão Simples: 113,7 MPa

Resistência ao Desgaste Amsler: 1,00 mm

Coefficiente de Dilatação Térmica Linear: $6,6 \cdot 10^{-3}$ mm/m°C.

3.2. CORPOS DE PROVA DE ROCHA

Para a realização da fase experimental, foram utilizados corpos de prova de rocha de 150 mm de diâmetro e com furo central (Figura 21), pesando aproximadamente 980 gramas com desvio médio padrão de 30 gramas, remanescentes de pesquisas anteriores (CARVALHO, 2010; NEVES, 2010) que foram realizadas no Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos.

Figura 21 – Amostras de rocha utilizadas na pesquisa. (A) Vermelho Brasília e (B) Preto São Gabriel.

3.3. CORPOS DE PROVA DE ABRASIVOS

Os abrasivos utilizados na fase experimental foram de duas naturezas distintas: o magnesiano, utilizado em pesquisas anteriores, composto por óxido de magnésio como material ligante e carbetto de silício como elemento abrasivo; e o abrasivo diamantado resinóide, composto por resina epóxi como material ligante e diamante como elemento abrasivo. Como a perda de massa do abrasivo se apresentou bem baixa em testes prévios aos ensaios, houve a necessidade de se fazer algumas adaptações nos pinos abrasivos, que é detalhada a seguir.

3.3.1. Preparação e Adequações do Abrasivo

Os corpos de prova dos abrasivos foram extraídos de rebolos comerciais de primeira linha produzidos no Brasil com dez granas (24#, 36#, 60#, 120#, 220#, 400#, 600#, 800#, 1200# e o abrasivo de lustro), usando broca diamantada com 19 mm de diâmetro interno (Figura 22). Estas granas foram utilizadas em pesquisas anteriores e representam as comumente utilizadas no polimento industrial.

Figura 22 – (A) Extração dos pinos abrasivos por broca diamantada, (B) Abrasivos Magnesianos e (C) Abrasivos Resinóides Diamantados.

Para aumentar a precisão das medidas de perda de massa dos abrasivos, foi desenvolvido um dispositivo de alumínio para fixação dos abrasivos por meio de resina (Figura 23), o que permitiu diminuir a massa inicial do corpo abrasivo mantendo a sua forma cilíndrica e reduzir a altura de 25mm para 4 e 2mm, resultando em discos com diâmetro de 19mm e massa entre 5 a 6 gramas para os abrasivos magnesianos e resinóides, respectivamente.

Figura 23 – Adequações do pino abrasivo: (A) Dispositivo de fixação; (B) Disco de abrasivo colado com resina ao dispositivo; (C) Suporte e (D) Conjunto de sustentação das peças (ver Figuras 18 e 23).

3.4. CONDIÇÕES OPERACIONAIS

As diferentes respostas em relação às combinações de polimento executadas nos ensaios com SPR (Figura 24) foram analisadas por meio de medidas de brilho e de perdas de massa de rocha e de abrasivo. A Tabela 6 apresenta as combinações efetuadas para as amostras ensaiadas em função da carga (fixada em 1 bar para todas as condições), da velocidade e do tempo nas etapas abrasivas de 24# ao lustro, utilizando dois tipos de abrasivos (o resinóide e o magnesianos). As combinações de condições operacionais totalizaram 540 testes de simulação.

Figura 24 – Simulação do polimento de rochas no SPR.

Tabela 6 – Combinações das amostras em função da carga, da velocidade e do tempo nas etapas abrasivas de 24# ao lustro.

COMBINAÇÃO	CARGA (bar)	VELOCIDADE (rpm)	TEMPO (min)	ETAPA ABRASIVA
C1	1	200	2	24# ao lustro
C2	1	200	4	
C3	1	200	6	
C4	1	400	2	
C5	1	400	4	
C6	1	400	6	
C7	1	600	2	
C8	1	600	4	
C9	1	600	6	

Com o objetivo de garantir a exequibilidade dos testes, destaca-se que das 10 granulações de abrasivos, nas 3 primeiras (24#, 36# e 60#) utilizou-se abrasivos magnesianos também nas simulações com abrasivo resinóide, uma vez que as primeiras granas desta sequência, na prática da indústria, são substituídas por abrasivos diamantados metálicos, o que inviabiliza a extração de corpos de prova. Admite-se assim, que a rugosidade seja equivalente para o início da fase do polimento, que é realizada a partir da grana 120 *mesh*, onde se usou efetivamente o abrasivo resinóide, possibilitando a comparação de desempenho entre os dois abrasivos.

3.4.1. Medições de Rugosidade

Previamente aos ensaios de simulação, foram determinadas as rugosidades iniciais em todas as amostras com o objetivo de se comparar as amostras simuladas, indicando uma possível perda de massa de rocha e de abrasivo mais elevada para a fase de levigamento. A rugosidade foi medida utilizando-se o perfilômetro “Avaliador de Rugosidade de Chapas – ARC”, projetado e construído por Paraguassú et. al. (2004) e aprimorado por Ribeiro et. al (2005), Neves (2010) e Carvalho (2010). Os dados obtidos por esta determinação são apresentados pelo parâmetro RT, que indica a distância entre o maior pico e o menor vale e são expressos em microns.

As medidas foram efetuadas nas amostras de rocha para corroborar uma possível discrepância na perda de massa de rocha e de abrasivo no processo inicial de levigamento. O parâmetro Rt foi medido por meio do Avaliador de Rugosidade de Chapas – ARC em dois trechos (A e B) de 3 cm cada, totalizando 960 medições. As medições de rugosidade são demonstradas na Figura 25.

Figura 25 – Medição da rugosidade superficial: Detalhe do equipamento ARC (esquerda) e da medição nos trechos definidos A e B (direita).

3.4.2. Medições de Brilho

Utilizando-se um equipamento denominado “Glossmeter”, a mensuração do brilho foi realizada durante os intervalos de troca de abrasivo, em seis trechos pré-determinados, dos quais se extraiu um valor médio. O método de obtenção desse parâmetro é mostrado na Figura 26.

Figura 26 – (A) Intervalos adotados para medição do brilho; (B) Medição do brilho com “Glossmeter”.

3.4.3. Avaliação das Perdas de Massa de Rocha e de Abrasivo

A avaliação da perda de massa de rocha foi realizada antes da realização dos ensaios, determinando as massas iniciais da amostra de rocha e após cada etapa abrasiva, durante os intervalos de troca dos abrasivos. Ao final de cada simulação do polimento, a amostra de rocha foi lavada, submetida à secagem em estufa a uma temperatura de 100 °C por 60 minutos, resfriada em dessecador por aproximadamente 30 minutos (Figura 27A) e posteriormente pesada em balança com precisão de 0,01g (Figura 27B). No caso dos abrasivos, a secagem do conjunto utilizado (24mesh ao lustro) foi realizada a uma temperatura de 60°C por aproximadamente 24h, resfriado em dessecador por 30 min (Figura 28A). A pesagem dessas peças após o resfriamento foi realizada utilizando balança analítica com precisão de 0,0001g (Figura 28B).

Figura 27 – Medidas de perda de massa de rocha: (A) resfriamento em dessecador e (B) pesagem do corpo de prova.

Figura 28 – Medidas de perda de massa de abrasivos: (A) resfriamento em dessecador e (B) pesagem do corpo de prova.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados a seguir referem-se à simulação do polimento dos “granitos” Vermelho Brasília e Preto São Gabriel com abrasivos magnesianos e resinóides, em nove combinações de acordo com a Tabela 6. As respostas de cada simulação são apresentadas pela razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e pelo brilho médio obtidos em cada etapa abrasiva

4.1. VERMELHO BRASILIA

Inicialmente serão apresentados os resultados de rugosidade inicial medido em todos os corpos de prova previamente aos ensaios de simulação.

O resultado da interação entre abrasivo e rocha, obtido entre a relação de perda de massa de rocha (PMR) e perda de massa de abrasivo (PMA), é expresso pela razão R/A e por valores de brilho médio nas combinações C1 a C9, em cada granulação (24 mesh ao Lustro).

Os dados de perda de massa de rocha, de abrasivo e valores de brilho são detalhados nas Tabelas 8 a 17, enquanto a Tabela 18 sumariza todas as etapas de forma acumulada em termos de perdas de massa e de abrasivos na etapa de levigamento e de polimento para os dois abrasivos utilizados. Os valores pontuais de brilho podem ser consultados no anexo 2.

4.1.1 - Rugosidade Superficial

A tabela 7 refere-se aos dados obtidos pelo ARC, nos trechos (A e B), de 19 mm cada, somando um trecho de 38 mm. As medidas foram tomadas em intervalos de 0,0625 mm, totalizando 608 medições por amostra. Os gráficos referentes à primeira combinação para os dois tipos de abrasivos são apresentados nas Figura 29 e Figura 30.

Figura 29 – Perfis de rugosidade A e B: Combinação 1- abrasivos magnesianos.

Figura 30 – Perfis de rugosidade A e B: Combinação 1- abrasivos resinóides.

Tabela 7 –Rugosidade inicial medida nos trechos A e B e o valor médio em microns para combinações C1 a C9 dos abrasivos magnesianos e resinóides.

Combinações	Vermelho Brasília					
	Magnesiano (μm)			Resinóide (μm)		
	A	B	Média	A	B	Média
C1	272	294	283	273	255	264
C2	230	239	235	335	303	319
C3	374	349	361	94	393	244
C4	147	197	172	117	196	157
C5	306	325	316	203	196	200
C6	196	263	230	246	280	263
C7	213	226	220	275	197	236
C8	159	89	124	175	388	281
C9	291	276	284	312	386	349

4.1.2. Avaliação das Perdas de Massa de Rocha, dos Abrasivos e o ganho do Brilho Médio em todas Granulações

24 mesh

Tabela 8 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 24 mesh em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,68	0,2046	3,32	0,00	0,76	0,5346	1,42	0,00
C2	0,38	0,2111	1,80	1,00	0,48	0,2262	2,12	1,00
C3	0,49	0,2573	1,90	1,83	0,41	0,0570	7,19	1,00
C4	0,75	0,4475	1,68	1,00	0,95	0,7338	1,29	1,00
C5	0,29	0,4077	0,71	1,00	0,58	0,3741	1,55	1,00
C6	0,45	0,3571	1,26	1,50	0,77	0,4364	1,76	1,00
C7	0,23	1,2674	0,18	1,83	0,10	0,2518	0,40	2,33
C8	0,77	0,2111	3,65	4,33	0,02	0,2090	0,10	2,17
C9	0,70	0,8719	0,80	3,17	0,53	2,0223	0,26	3,83

Figura 31 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 24 mesh.

Os maiores brilhos obtidos pela simulação com abrasivos de 24 mesh se deram em combinações distintas para as duas sequencias de abrasivos. Para os abrasivos magnesianos, o maior valor de brilho foi atingido pela combinação C8 (4,33) e para os abrasivos resinóide na combinação C9 (3,83). A maior relação R/A foi responsável pela maior média de brilho para os abrasivos magnesianos, o que não foi o caso da combinação dos abrasivos resinóides, em que o maior valor de brilho apresentou um valor de R/A menor. Essa discrepância na correlação de dados de simulações equivalentes é esperada, considerando a rugosidade mais elevada e

distinta entre amostras (C8 magnesiano: 124 μm e C9 resinóide: 349 μm) e pela textura porfírica apresentada pela rocha.

36 mesh

Tabela 9 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 36 mesh em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,05	0,3010	0,17	0,83	0,00	0,1948	0,00	0,83
C2	0,52	0,2334	2,23	1,00	0,31	0,1895	1,64	1,67
C3	0,59	0,2060	2,86	1,67	0,48	0,1593	3,01	1,17
C4	0,17	0,2144	0,79	1,17	0,21	0,3063	0,69	1,17
C5	1,21	0,3851	3,14	1,67	0,74	0,397	1,86	2,00
C6	0,58	0,3844	1,51	10,83	0,63	0,35533	1,77	1,50
C7	0,04	0,1001	0,40	5,50	0,33	0,1817	1,82	2,17
C8	0,13	0,1844	0,70	6,83	0,03	0,0824	0,36	3,17
C9	0,18	0,2014	0,89	9,83	0,09	0,0987	0,91	6,17

Figura 32 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 36 mesh.

Nota-se que o maior valor de brilho médio (10,83) foi obtido pelos abrasivos magnesianos na combinação C6 (400 RPM e 6 min) referente à razão R/A de 1,51. Para a combinação do abrasivo resinóide, o máximo valor de brilho médio foi de 6,17 pela combinação C9, referente à razão R/A de 0,91. Os maiores valores de brilhos foram resultantes de combinações mais severas: C6 a C9 e C7 a C9 para os abrasivos magnesianos e resinóides, respectivamente.

60 mesh

Tabela 10 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 60 mesh em todas as combinações

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,24	0,4529	0,53	1,67	0,06	0,0616	0,97	1,00
C2	0,07	0,3282	0,21	1,33	0,75	0,2593	2,89	1,83
C3	0,39	0,2219	1,76	2,33	0,60	0,2425	2,47	1,50
C4	0,17	0,0523	3,25	1,00	0,15	0,0956	1,57	1,50
C5	0,37	0,0189	19,58	2,50	0,24	0,0203	11,82	2,17
C6	0,27	0,0016	168,75	1,67	0,25	0,0008	312,50	3,17
C7	0,11	0,9508	0,12	8,00	0,23	0,5399	0,43	0,50
C8	0,17	1,0037	0,17	8,33	0,33	0,7110	0,46	1,00
C9	0,07	0,2915	0,24	10,33	0,15	0,9460	0,16	8,33

Figura 33 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 60 mesh.

Os maiores valores de brilhos para a sequência dos abrasivos magnesianos foram obtidos pelas combinações de 600 RPM (C7, C8 e C9), com destaque para a combinação C9, a qual se obteve o maior valor de brilho (10,33). Para esta última combinação a razão R/A foi de 0,24. A sequência dos abrasivos resinóides teve como maior valor de brilho (8,33) a combinação C9 (600 RPM e 6 min). Neste caso a razão R/A foi a menor entre todas as sequências, com um valor de 0,16. Verifica-se ainda que a combinação C6 apresentou valores de R/A anômalos e extremamente altos, decorrentes de uma perda de massa de abrasivos (PMA)

muito inferior para os dois tipos de abrasivos, provocada principalmente por fragmentação elevada da peça abrasiva.

120 mesh

Tabela 11 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 120 *mesh* em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,14	1,0407	0,13	2,17	1,31	0,0129	101,55	0,17
C2	0,24	0,0287	8,36	2,17	0,49	0,0137	35,77	1,00
C3	0,24	0,7185	0,33	2,83	0,88	0,0344	25,58	0,50
C4	0,05	0,0540	0,93	3,33	0,42	0,0117	35,90	0,00
C5	0	0,1154	0,00	4,33	0,30	0,0093	32,26	0,67
C6	0,06	1,0817	0,06	9,50	0,73	0,0181	40,33	0,50
C7	0,18	0,0983	1,83	7,17	0,49	0,0115	42,61	1,00
C8	0,04	0,0801	0,50	9,50	0,24	0,0079	30,38	1,33
C9	0,16	0,0542	2,95	11,33	0,82	0,0098	83,67	2,67

Figura 34 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 120 *mesh*.

Na simulação com abrasivos magnesianos os maiores valores de brilho foram atingidos pelas combinações C6, C8 e C9, com destaque para a última combinação C9 (600 RPM e 6 min) com valor de 11,33. Nota-se que a utilização efetiva de abrasivos resinóides no processo de polimento promoveu um maior desgaste da rocha por uma menor perda de massa de abrasivo, elevando os valores de R/A em todas as combinações, principalmente na condição mais branda (C1), com valor de R/A superior às demais combinações (101,55). Este aumento

do desgaste da rocha resultou na diminuição dos valores de brilho em todas as combinações dos abrasivos resinóides.

220 mesh

Tabela 12 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 220 *mesh* em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,15	0,4930	0,30	2,83	0,01	0,0053	1,89	0,50
C2	0,11	0,1480	0,74	5,33	0,10	0,0104	9,62	1,00
C3	0,08	0,2587	0,31	2,50	0,46	0,027	17,04	1,00
C4	0,25	0,0839	2,98	2,50	0,48	0,0049	97,96	0,33
C5	0,44	0,1198	3,67	7,00	0,40	0,0084	47,62	1,17
C6	0,38	0,0029	131,03	15,33	0,86	0,0140	61,43	1,00
C7	0,55	0,1618	3,40	6,83	0,66	0,0346	19,08	1,00
C8	0,38	0,0641	5,93	10,83	0,80	0,0077	103,90	1,67
C9	0,47	0,0089	52,81	16,50	0,90	0,0078	115,38	7,83

Figura 35 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 220 *mesh*.

Na fase de polimento com abrasivos magnesianos de grana 220 *mesh*, os maiores valores de brilho foram obtidos pelas combinações C6 e C9, com valores de 15,33 e 16,50, respectivamente. Os valores de R/A nestas combinações não apresentaram equivalência, sendo para a combinação C6 foi de 131,03 e para a combinação C9 foi de 52,81, devido ao fato da perda de massa de abrasivo se mostrar maior para o segundo caso. Para os abrasivos resinóides os maiores valores de brilho (7,83) e R/A (115,38) foram obtidos pela combinação C9. Nota-se

que a perda de massa de rocha das combinações dos abrasivos resinóides apresentou valores superiores e de forma crescente para as combinações mais severas.

400 mesh

Tabela 13 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 400 *mesh* em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,11	0,0136	8,09	6,33	0,22	0,0060	36,67	1,00
C2	0,08	0,1257	0,64	9,17	0,10	0,0101	9,90	1,17
C3	0,00	0,4306	0,00	8,83	0,20	0,0139	14,39	2,33
C4	0,04	0,0089	4,49	17,00	0,06	0,0040	15,00	3,00
C5	0,07	0,0045	15,56	28,50	0,00	0,0080	0,00	2,67
C6	0,08	0,0168	4,76	33,33	0,02	0,0060	3,33	13,17
C7	0,09	0,0492	1,83	27,67	0,14	0,0021	66,67	12,33
C8	0,07	0,0430	1,63	23,50	0,17	0,0128	13,28	7,33
C9	0,16	0,0268	5,97	24,50	0,13	0,0026	50,00	19,50

Figura 36 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 400 *mesh*.

A simulação do polimento nessa etapa abrasiva para o abrasivo magnesiano mostrou o maior valor de brilho de 33,33 na combinação C6. Para o abrasivo resinóide o maior valor de brilho continua a ser a apresentada na combinação C9, com valor de 19,50. Os maiores valores da razão R/A se mostram distintos para os dois abrasivos (C5 para a combinação dos magnesianos e C7 para a dos resinóides), em combinações diferentes às que apresentaram maiores valores de brilho.

600 mesh

Tabela 14 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 600 *mesh* em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,4	0,0471	8,49	19,17	0,42	0,0007	600,00	3,67
C2	0,39	0,0669	5,83	19,33	0,43	0,0053	81,13	5,17
C3	0,14	0,0357	3,92	20,67	0,10	0,0074	13,51	16,50
C4	0	0,0596	0,00	26,17	0,16	0,0006	266,67	4,17
C5	0	0,0408	0,00	41,17	0,19	0,012	15,83	17,67
C6	0	0,0961	0,00	36,83	0,04	0,0043	9,30	20,50
C7	0,09	0,0798	1,13	32,00	0,24	0,0094	25,53	10,83
C8	0,02	0,0572	0,35	33,33	0,12	0,4486	0,27	25,50
C9	0,05	0,0668	0,75	42,00	0,16	0,0032	50,00	21,83

Figura 37 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 600 *mesh*.

Os maiores valores de brilho obtidos pelas combinações dos abrasivos magnesianos foram alcançados pela combinação C5 e C9, com valores de 41,17 e 42,00, respectivamente. Para as combinações dos abrasivos resinóides o maior valor de brilho foi de 25,50, alcançado pela combinação C8. A razão R/A foi significativamente maior nas combinações C1 e C4 para os abrasivos resinóides, representadas pela menor perda de massa de abrasivo.

800 mesh

Tabela 15 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 800 *mesh* em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,05	0,0057	8,77	28,00	0,04	0,0002	200,00	18,50
C2	0	0,0018	0,00	35,17	0,04	0,0027	14,81	31,83
C3	0,16	0,0110	14,55	43,00	0,05	0,0295	1,69	27,83
C4	0,1	0,0449	2,23	33,83	0,00	0,0026	0,00	34,50
C5	0,05	0,1022	0,49	47,67	0,31	0,0051	60,78	40,83
C6	0,1	0,0614	1,63	56,67	0,38	0,0061	62,30	47,00
C7	0,19	0,0873	2,18	44,67	0,15	0,0035	42,86	43,33
C8	0,2	0,0889	2,25	38,67	0,26	0,2763	0,94	40,00
C9	0,18	0,0463	3,89	52,83	0,18	0,0037	48,65	53,00

Figura 38 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 800 *mesh*.

Nota-se que, para os abrasivos magnesianos, a maior média de brilho foi obtida com a combinação C6, com valor de 56,67 e razão de R/A de 1,63, seguido da combinação C9, com valor de 52,83, e valores da razão de R/A 3,89. O maior brilho para os abrasivos resinóides foi atingido pela combinação C9, com valor de 53,00. Para estes abrasivos, o maior valor de R/A se deu na etapa C1 (600,00). Interessante verificar que, a partir dessa grana, a simulação com abrasivos resinóides obtiveram valores de brilho equivalentes aos abrasivos magnesianos.

1.200 mesh

Tabela 16 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva 1.200 *mesh* em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,00	0,0317	0,00	39,17	0,00	0,0049	0,00	37,00
C2	0,01	0,0038	2,63	46,83	0,00	0,0118	0,00	44,67
C3	0,00	0,0022	0,00	51,17	0,02	0,0308	0,65	55,83
C4	0,00	0,0244	0,00	41,67	0,16	0,0005	320,00	45,67
C5	0,04	0,0143	2,80	54,17	0,05	0,0018	27,78	56,00
C6	0,07	0,0166	4,22	61,00	0,10	0,0093	10,75	54,17
C7	0,00	0,2236	0,00	57,00	0,00	0,0089	0,00	54,67
C8	0,00	0,2840	0,00	42,00	0,02	0,0042	4,76	51,33
C9	0,00	0,2774	0,00	60,83	0,04	0,0030	13,33	63,50

Figura 39 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana 1.200 *mesh*.

A simulação com abrasivos magnesianos para essa grana mostrou os maiores valores de brilho para as combinações C6, C7 e C9, com valores de 61,00, 57,00 e 60,83, respectivamente. A razão R/A para estes casos apresentou valores distintos não relacionáveis com os valores de brilho, onde a situação C6 apresentou um valor relativamente alto de razão R/A (4,22), principalmente pela maior abrasão sobre a rocha. Ressalta-se que, essa variação de valores é corroborada principalmente pelo tipo de textura apresentado pela rocha em questão.

No polimento com abrasivos resinóides os maiores valores de brilho foram obtidos pela combinação C9 (63,50). Nota-se que a combinação C4 apresentou um valor de R/A muito discrepante (320,00), causado pela maior ação abrasiva sobre a rocha com uma menor perda de massa de abrasivo.

Lustro

Tabela 17 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Vermelho Brasília durante a etapa abrasiva de lustro em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,39	0,0515	7,57	42,83	0,00	0,0506	0,00	43,33
C2	0,21	0,0553	3,80	51,00	0,17	0,0729	2,33	51,83
C3	0,17	0,0841	2,02	52,67	0,39	0,0664	5,87	62,00
C4	0,13	0,0465	2,80	48,83	0,14	0,0219	6,39	55,50
C5	0,07	0,0224	3,12	56,50	0,16	0,0271	5,90	65,17
C6	0,12	0,0182	6,59	69,17	0,00	0,0268	0,00	62,67
C7	0,16	0,0620	2,58	58,33	0,24	0,0782	3,07	64,83
C8	0,06	0,0704	0,85	46,00	0,10	0,1386	0,72	57,50
C9	0,09	0,0582	1,55	64,50	0,00	0,1115	0,00	70,50

Figura 40 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com abrasivos de lustro.

Para os abrasivos magnesianos os maiores valores de brilho foram nas combinações C6 (69,67) e C9 (64,50). A razão R/A para a combinação C6 foi responsável pelo maior valor de brilho, onde a maior interação de abrasivo e rocha resultou no alto valor de brilho superficial. No entanto, a combinação que apresentou o maior valor de R/A, representada pelas condições de 200 RPM e 2 min (C1), foi responsável pelo menor brilho final.

No geral, os valores de brilho final se mantiveram superiores para os abrasivos resinóides, destacando-se as combinações C5 (65,17), C6 (62,67), C7 (64,83) e C9 (70,50). Os valores de R/A não apresentaram equivalência para estas etapas, destacando os maiores valores para as combinações C3 (5,87), C4(6,39) e C5 (5,90).

4.1.3. Análise dos Dados Acumulados das Perdas de Massa de Rocha, de Abrasivo e da Razão Entre Elas.

Conforme previamente mencionado, a Tabela 18 apresenta os dados acumulativos do total de perdas de massa de rocha (PMR) e de abrasivo (PMA), tanto para a primeira etapa que corresponde ao levigamento quanto para a fase de polimento, e a razão entre essas duas perdas (R/A). Os valores expressos em gramas correspondem as 3 granas de abrasivo no levigamento (24#, 36# e 60#) e nas 7 do polimento (120 # ao Lustro).

Tabela 18 – Acumulativo de perdas de massa de rocha e de abrasivo e a razão entre elas nas simulações com abrasivos magnesianos e resinóides.

Combinação	Magnesiano						Resinóide					
	Levigamento			Polimento			Levigamento			Polimento		
	PMR (g)	PMA (g)	Razão R/A	PMR (g)	PMA (g)	Razão R/A	PMR (g)	PMA (g)	Razão R/A	PMR (g)	PMA (g)	Razão R/A
C1	0,97	0,96	1,01	1,24	1,68	0,74	0,82	0,79	1,04	2	0,08	24,81
C2	0,97	0,77	1,26	1,04	0,43	2,42	1,54	0,67	2,28	1,33	0,13	10,48
C3	1,47	0,69	2,15	0,79	1,54	0,51	1,49	0,46	3,25	2,1	0,21	10,03
C4	1,09	0,71	1,53	0,57	0,32	1,77	1,31	1,14	1,15	1,42	0,05	30,74
C5	1,87	0,81	2,3	0,67	0,42	1,6	1,56	0,79	1,97	1,41	0,07	19,67
C6	1,3	0,74	1,75	0,81	1,26	0,64	1,65	0,79	2,08	2,13	0,08	25,18
C7	0,38	2,32	0,16	1,26	0,76	1,65	0,66	0,97	0,68	1,92	0,15	12,96
C8	1,07	1,4	0,76	0,77	0,69	1,12	0,38	1	0,38	1,71	0,9	1,91
C9	0,95	1,36	0,7	1,11	0,54	2,06	0,77	3,07	0,25	2,23	0,14	15,75

Verifica-se que não ocorreram perdas de massa da rocha e dos abrasivos de forma equivalente nas combinações do levigamento, utilizando as mesmas situações de contorno para a sequência do magnesiano e do resinóide. Para as mesmas combinações de variáveis, utilizando-se abrasivos magnesianos, era de se esperar um gasto equivalente de rocha e abrasivo. Isso pode ser atribuído pelas variações de tamanho e arranjo dos grãos (textura), com destaque ao quartzo que ocorre como agregados mais ou menos interligados, formando uma rede que engloba outros minerais presentes; ou seja, o quartzo não é intersticial, conferindo à rocha alta resistência ao desgaste Amsler (0,51mm), considerada como “dura” no processo industrial de polimento, além de pequenas variações de rugosidade dos corpos de prova de rocha, visto que foram extraídos de ladrilhos comerciais de chapas serradas em teares convencionais. Outro fator responsável por este aspecto é a fragmentação de abrasivo magnesiano durante a etapa inicial, devido a menor plasticidade do seu material ligante,

principalmente em condições mais severas de levigamento (maior velocidade de rotação da amostra e maior tempo de exposição ao processo) como demonstrado na Figura 41.

Figura 41 – Fragmentação dos abrasivos magnesianos da fase de levigamento: (A) 24 mesh, (B) 36 mesh e (C) 60 mesh.

No entanto, considerando o polimento os valores foram como o esperado, a razão entre a perda de massa de rocha e abrasivo (R/A), que expressa o rendimento do desgaste, foi compatível para as mesmas situações operacionais. Comparando os dois abrasivos, os melhores rendimentos na simulação do polimento se deram em situações distintas para o abrasivo magnesiano (Combinação 2) e para o Resinóide (Combinação 4), porém sempre com valores superiores para os abrasivos resinóides. As maiores perdas de massa de rocha no polimento foram obtidas nas Combinações 7 e 9 para os abrasivos magnesianos, e nas combinações 6, 7 e 9 dos abrasivos resinóide, sendo que a melhor qualidade da superfície polida foi mais expressiva para abrasivo resinóide, como demonstrado na Figura 42.

Figura 42 – Detalhe da faixa de polimento para a sequência de abrasivos magnesianos (A) e resinóides (B).

4.1.4. Avaliação do Brilho

Na tabela 19 é apresentado os valores de brilho para as nove combinações de simulações de polimento do “granito” Vermelho Brasília, em cada etapa do polimento (24mesh ao lustro) nos 6 intervalos de medições.

Tabela 19 – Médias dos valores de brilho em cada etapa abrasiva nas diferentes combinações para os abrasivos magnesiano e resinóide.

#	Magnesiano									Resinóide								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
24	0	1	2	1	1	2	2	4	3	0	1	1	1	1	1	2	2	4
36	1	1	2	1	2	11	6	7	10	1	2	1	1	2	2	2	3	6
60	2	1	2	1	3	2	8	8	10	1	2	2	2	2	3	1	1	8
120	2	2	3	3	4	10	7	10	11	0	1	1	0	1	1	1	1	3
220	3	5	3	3	7	15	7	11	17	1	1	1	0	1	1	1	2	8
400	6	9	9	17	29	33	28	24	25	1	1	2	3	3	13	12	7	20
600	19	19	21	26	41	37	32	33	42	4	5	17	4	18	21	11	26	22
800	28	35	43	34	48	57	45	39	53	19	32	28	35	41	47	43	40	53
1200	39	47	51	42	54	61	57	42	61	37	45	56	46	56	54	55	51	64
Lustro	43	51	53	49	57	69	58	46	65	43	52	62	56	65	63	65	58	71

Verifica-se que algumas combinações aplicadas para o “granito” Vermelho Brasília foram suficientes para chegar muito próximo ou então atingir o brilho mínimo de 70 exigido pelo mercado. Nos abrasivos magnesianos os maiores valores de brilho foram obtidos nas combinações C6 (69) e C9 (65), que apresentam as condições máximas quanto ao tempo de operação (6 min.) e intermediárias a máximas quanto à velocidade de rotação (400 e 600 rpm, respectivamente). Já nos abrasivos resinóides os maiores valores foram obtidos nas combinações C9 (71), C7 e C5 (65), estas duas últimas com tempo de operação de 2 e 4 minutos, respectivamente. Destaca-se ainda a combinação C3 (62), que apresenta condições operacionais mais brandas quanto à velocidade de rotação (200rpm).

Pode ser observado que com os abrasivos magnesianos obteve-se um ganho de brilho progressivo em todas as etapas. Já nos abrasivos resinóides houve um decréscimo de brilho na fase inicial de polimento (120#), seguido por ganhos de brilho relativamente menores até a grana 800#, a partir da qual obteve-se ganhos efetivos de valores de brilho, podendo ser explicado pelo fato de que na prática industrial a sequência de polimento é precedida pela

utilização de abrasivos de maior poder de corte (metálicos diamantados), que promovem uma superfície com rugosidade ideal para uma ação mais efetiva do abrasivo resinóide.

De qualquer modo, em todas as combinações, exceto na C6, a qualidade do brilho final foi superior com abrasivo resinóide (Figura 43). A maior eficiência desse abrasivo promoveu um rebaixamento intergrãos mais uniforme, resultando em uma superfície de brilho mais homogênea, tanto nos feldspatos (pórfiros), quartzo e contatos minerais. Já no caso dos abrasivos magnesianos, em geral os maiores pontos de brilho foram atingidos principalmente nos feldspatos.

Figura 43 – Resultados de brilhos para as combinações de polimento com abrasivos magnesianos e resinóides

Cabe destacar que, as características petrográficas do sienogranito Vermelho Brasília tais como a granulação grossa, a textura inequigranular, com presença de cristais (pórfiros) de feldspatos com até mais de 50 mm irregularmente distribuídos e envoltos por matriz quartzo-feldspática e pouca mica podem configurar uma certa limitação do ponto de vista de representatividade do “Simulador de Polimento de Rochas – SPR” no desgaste abrasivo, onde a área de contato do pino abrasivo sobre a rocha é muito menor que a do rebolo abrasivo, não representando necessariamente a realidade do polimento industrial de granitos com mineralogia e textura similares.

4.2. PRETO SÃO GABRIEL

A seguir serão apresentados os resultados de rugosidade inicial medido em todos os corpos de prova previamente aos ensaios de simulação.

O resultado da interação entre abrasivo e rocha, obtido entre a relação de perda de massa de rocha (PMR) e perda de massa de abrasivo (PMA), é expresso pela razão R/A e por valores de brilho médio nas combinações C1 a C9, em cada grana (24 mesh ao Lustro).

Os dados de perda de massa de rocha, de abrasivo e de brilho são detalhados nas tabelas 21 a 30, enquanto a tabela 31 sumariza todas as etapas de forma acumulada em termos de perdas de massa e de abrasivos na etapa de levigamento e de polimento para os dois abrasivos utilizados. Os valores pontuais de brilho podem ser consultados no anexo 3.

4.2.1 - Rugosidade superficial

A tabela 20 refere-se aos dados obtidos pelo ARC, nos trechos (A e B), de 19 mm cada, somando um trecho de 38 mm. As medidas foram tomadas em intervalos de 0,0625 mm, totalizando 608 medições por amostra. São apresentados de forma ilustrativa nas Figura 44 e Figura 45, os gráficos referentes à primeira combinação para os dois tipos de abrasivos.

Figura 44 – Perfis de rugosidade A e B: Combinação 1 - abrasivos magnesianos.

Figura 45 – Perfis de rugosidade A e B: Combinação 1 - abrasivos resinóides.

Tabela 20 – Rugosidade inicial medida nos trechos A e B e o valor médio em microns para as combinações C1 a C9 dos abrasivos magnesianos e resinóides.

Combinações	Preto São Gabriel	
	Magnesiano	Resinóide

	A	B	Média	A	B	Média
C1	209	314	261	288	246	267
C2	318	435	376	419	415	417
C3	291	288	289	257	319	288
C4	350	251	300	390	327	358
C5	327	331	329	366	327	347
C6	326	479	402	352	363	358
C7	479	264	372	370	388	379
C8	313	317	315	372	306	339
C9	307	260	283	442	321	381

4.2.2. Avaliação das Perdas de Massa de Rocha, dos Abrasivos e o ganho do Brilho Médio em todas Granulações

24 mesh

Tabela 21 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 24 *mesh* em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,34	0,4628	0,73	0,00	0,11	0,1962	0,56	0,00
C2	0,56	0,1398	4,01	0,00	0,72	0,1020	7,06	0,00
C3	0,90	0,0678	13,27	0,00	0,28	0,2033	1,38	0,00
C4	0,50	0,1104	4,53	0,00	0,47	0,0983	4,78	0,00
C5	1,01	0,1564	6,46	0,00	1,60	0,2916	5,49	0,00
C6	1,17	0,1406	8,32	0,83	1,15	0,1933	5,95	1,00
C7	1,05	0,3025	3,47	0,83	1,01	0,3225	3,13	1,00
C8	1,46	0,6637	2,20	1,50	1,43	0,2367	6,04	1,50
C9	1,16	0,1356	8,55	1,67	1,21	0,2026	5,97	2,83

Figura 46 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 24 *mesh*.

Os maiores valores de brilho obtidos pela simulação dos abrasivos magnesianos para a grana 24 *mesh* foram atingidos pelas combinações C8 e C9, com média de 1,50 e 1,67, respectivamente. Nota-se que estes valores foram evidenciados das demais combinações a partir da combinação C6, de forma crescente. A razão R/A mostrou-se maior nas combinações C3, C6 e C9, que são as de maior tempo de exposição ao processo (6 min).

A simulação do polimento para o conjunto dos abrasivos resinóides mostrou similaridade dos valores de brilho para as mesmas combinações dos abrasivos magnesianos (C6 a C9), com valores máximos na combinação C8 (1,50) e na C9 (2,83). A razão R/A para estas combinações apresentou discrepância tanto em valores, quanto em combinações, comparando-se com a sequência dos abrasivos magnesianos, sendo que o maior valor de R/A foi evidenciado pela combinação C2 (7,06). A não equivalência entre perdas de massa de rocha (PMR) e perda de massa de abrasivo (PMA) nas combinações dos abrasivos magnesianos e resinóides pode ser atribuída principalmente à variação da rugosidade superficial dos corpos de prova utilizados, obtidos de porções distintas de chapas brutas serradas por teares multilâminas.

36 mesh

Tabela 22 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 36 *mesh* em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	1,34	0,0411	32,60	0,67	1,11	0,0502	22,11	1,00
C2	0,09	0,0367	2,45	0,67	0,13	0,0329	3,95	1,50
C3	0,04	0,0509	0,79	0,00	0,11	0,0568	1,94	1,33
C4	0,24	0,0482	4,98	1,33	0,40	0,0416	9,62	1,00
C5	0,04	0,0488	0,82	1,67	0,06	0,0514	1,17	1,67
C6	0,30	0,0579	5,18	2,33	0,28	0,0583	4,80	2,83
C7	0,42	0,0479	8,77	2,00	0,46	0,0818	5,62	1,00
C8	0,41	0,0681	6,02	3,17	0,18	0,0327	5,50	3,17
C9	0,46	0,0766	6,01	4,83	0,51	0,0723	7,05	5,00

Figura 47 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 36 mesh.

Nota-se que a simulação do conjunto dos abrasivos magnesianos apresentou valores de brilho crescentes a partir da combinação C4, atingindo os valores máximos nas combinações C8 (3,17) e C9 (4,83). O maior valor da razão R/A foi obtido na combinação C1 (32,60) resultante de uma maior perda de massa de rocha dentre todas as simulações, talvez relacionada à “cristas” de rugosidade onde o microfraturamento e fadiga dos minerais resultantes do desbaste anterior podem ter sido mais expressivos, portanto, mais fácil de serem removidos.

A simulação do polimento para a sequência dos abrasivos resinóides apresentou valores de brilho em uma tendência semelhante à combinação dos magnesianos, destacando-se, também, as combinações C8 e C9, com valores de 3,17 e 5,00. A razão R/A neste caso também apresentou valores de R/A mais evidenciado na combinação C1, como consequência de uma maior perda de massa de rocha.

60 mesh

Tabela 23 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 60 mesh em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,07	0,0413	1,69	1,33	0,24	0,0311	7,72	1,50
C2	0,21	0,0253	8,30	2,00	0,09	0,0485	1,86	1,50
C3	0,12	0,0258	4,65	1,00	0,44	0,0491	8,96	2,67
C4	0,20	0,0376	5,32	2,67	0,15	0,0173	8,67	2,83
C5	0,12	0,0480	2,50	3,00	0,08	0,0176	4,55	2,83
C6	0,26	0,0262	9,92	3,50	0,16	0,0271	5,90	4,50

C7	0,10	0,0463	2,16	3,33	0,20	0,0938	2,13	4,00
C8	0,11	0,0406	2,71	4,00	0,33	0,0461	7,16	3,50
C9	0,35	0,1474	2,37	4,67	0,08	0,0286	2,80	8,17

Figura 48 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 60 *mesh*.

É possível notar que para essa grana, os valores de brilho obtidos pelas combinações dos abrasivos magnesianos continuam apresentar uma tendência crescente a partir da combinação C4, com maiores médias atingidas pelas combinações C8 (4,00) e C9 (4,67). A razão R/A para as duas combinações citadas apresentaram valores baixos dentre as combinações, mostrando-se mais evidentes nas combinações C2 (8,30) e C6 (9,92).

Na sequência dos abrasivos resinóides, as maiores médias de brilho foram obtidas pelas combinações C6 e C9, com valores de 4,50 e 8,17, respectivamente. Os valores da razão R/A não apresentaram concordância para estes dois casos, destacando os maiores valores, dentre todas as combinações, as C3 e C4 com valores de R/A de 8,96 e 8,67, respectivamente.

120 mesh

Tabela 24 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 120 *mesh* em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,02	0,0353	0,57	2,17	0,71	0,0159	44,65	0,00
C2	0,13	0,0492	2,64	3,33	0,67	0,0095	70,53	0,00
C3	0,24	0,0493	4,87	1,83	0,80	0,0081	98,77	0,00
C4	0,10	0,0480	2,08	0,00	1,17	0,0156	75,00	0,17
C5	0,04	0,0612	0,65	3,00	2,70	0,0361	74,79	0,00

C6	0,10	0,0629	1,59	4,67	2,80	0,0276	101,4 5	0,00
C7	0,46	0,0233	19,7 4	5,83	2,34	0,0256	91,41	0,00
C8	0,62	0,0537	11,5 5	6,33	3,18	0,0365	87,12	0,00
C9	0,51	0,0486	10,4 9	9,50	3,45	0,0313	110,2 2	0,00

Figura 49 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 120 mesh.

Nota-se claramente que as combinações dos abrasivos magnesianos obtiveram valores de brilho crescentes e contínuos a partir da combinação C5, destacando-se a combinação C9 (9,50). A razão R/A para esta combinação obteve o valor de 10,49, abaixo das combinações de maiores valores, representadas pelas combinações C7 (19,74) e C8 (11,55).

A utilização efetiva dos abrasivos resinóides ao processo promoveu uma redução considerável ao valor de brilho médio obtido, apresentando valores nulos, provocado pelo seu maior poder de abrasão. A relação R/A apresentou um aumento significativo, como consequência da maior perda de massa de rocha (PMR) e da menor perda de massa de abrasivo (PMA), resultante da natureza composicional do abrasivo (matriz mais plástica e elemento abrasivo com maior poder de abrasão). Destaca-se dentre estes valores a combinação C3, C6 e C9, que têm como condição operacional o tempo de exposição ao processo de polimento de 6 min.

220 mesh

Tabela 25 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 220 mesh em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano	Resinóide
------------	------------	-----------

	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,03	0,0439	0,68	1,67	0,54	0,0418	12,92	0,17
C2	0,07	0,0672	1,04	3,50	0,67	0,0103	65,05	0,67
C3	0,19	0,0474	4,01	2,33	0,64	0,0110	58,18	1,50
C4	0,12	0,0500	2,40	1,50	0,72	0,0192	37,50	1,00
C5	0,07	0,0511	1,37	6,67	0,78	0,0098	79,59	1,00
C6	0,08	0,0558	1,43	9,33	1,43	0,0210	68,10	1,00
C7	0,07	0,0355	1,97	6,00	0,85	0,0135	62,96	1,00
C8	0,11	0,0559	1,97	10,67	0,82	0,0154	53,25	1,00
C9	0,18	0,0562	3,20	8,67	1,54	0,0192	80,21	1,00

Figura 50 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 220 mesh.

Os resultados mais expressivos de brilho médio para o abrasivo magnesiano continuam a ser representado pelas combinações mais severas (maior velocidade e maior tempo de exposição ao processo), destacando-se as combinações C6 e C8, com médias de brilho de 9,33 e 10,67. O maior valor da razão R/A para este abrasivo é evidenciado pela combinação C3 (4,01), seguido da combinação C9 (3,20).

Nota-se que para as combinações do abrasivo resinóide, o maior valor de brilho se deu na combinação C3, se mantendo constante a partir desta combinação. A razão R/A foi mais evidenciada pelas combinações C5 e C9, com valores de 79,59 e 80,21, respectivamente.

400 mesh

Tabela 26 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 400 mesh em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho

C1	0,05	0,0928	0,54	5,83	0,17	0,0069	24,64	1,67
C2	0,01	0,0898	0,11	12,67	0,25	0,0063	39,68	3,33
C3	0,08	0,1006	0,80	4,67	0,32	0,0115	27,83	3,33
C4	0,16	0,1037	1,54	3,33	0,25	0,0084	29,76	2,83
C5	0,03	0,0697	0,43	17,67	0,38	0,0055	69,09	7,50
C6	0,14	0,0915	1,53	23,50	0,36	0,0077	46,75	9,67
C7	0,00	0,1074	0,00	14,33	0,20	0,0118	16,95	3,83
C8	0,12	0,1818	0,66	18,00	0,45	0,0114	39,47	7,00
C9	0,11	0,1524	0,72	21,83	0,40	0,0114	35,09	11,50

Figura 51 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 400 mesh.

Para essa etapa de polimento com abrasivos magnesianos, os maiores valores de brilho foram obtidos pelas combinações com maior exposição ao processo, representada pela combinação C6 (14,33) e C9 (21,83). Os valores da razão R/A, se destacaram com a velocidade de rotação de 400 RPM, representada pelas combinações C4 e C6, com valores de 1,54 e 1,53, respectivamente.

Nota-se que a partir desta grana, os abrasivos resinóides mostraram um aumento no brilho médio em combinações distintas, com destaque para as condições de maior exposição ao processo, representada pelas combinações C6 (9,67) e C9 (11,50). O maior valor da razão R/A foi obtido pela combinação C5 (69,09).

600 mesh

Tabela 27 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 600 mesh em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho

C1	0,05	0,0359	1,39	20,00	0,16	0,0061	26,23	3,00
C2	0,02	0,0617	0,32	23,67	0,32	0,0025	128,00	8,00
C3	0,03	0,0612	0,49	17,17	0,25	0,0054	46,30	11,67
C4	0,00	0,0596	0,00	11,67	0,18	0,0073	24,66	3,83
C5	0,02	0,0514	0,39	25,33	0,10	0,0050	20,00	5,17
C6	0,57	0,0439	12,98	32,83	0,55	0,0082	67,07	19,67
C7	0,19	0,0478	3,97	30,83	0,40	0,0064	62,50	10,00
C8	0,17	0,0572	2,97	44,50	0,24	0,0039	61,54	24,83
C9	0,17	0,0388	4,38	45,33	0,38	0,0167	22,75	16,00

Figura 52 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 600 mesh.

No geral, os valores médios de brilho para os abrasivos magnesianos apresentaram valores medianos nas combinações C1 e C2, e uma tendência crescente a partir da combinação C4, com destaque para combinação C8 (44,50) e para a C9 (45,33). A razão R/A obtida pela combinação C6 apresentou valores discrepantes, causados por uma maior perda de massa de rocha (PMR).

No caso dos abrasivos resinóides, os maiores valores de brilho obtidos pelas combinações C6 e C8, foram de 19,67 e 24,83, respectivamente. A razão R/A destacou-se na combinação C2 (128,00), com uma maior perda de massa de rocha (PMR) e menor perda de massa de abrasivo (PMA).

800 mesh

Tabela 28 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 800 mesh em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho

C1	0,00	0,0143	0,00	28,17	0,00	0,0051	0,00	20,67
C2	0,01	0,0526	0,19	25,50	0,06	0,0031	19,35	31,67
C3	0,03	0,0643	0,47	29,83	0,07	0,0033	21,21	39,67
C4	0,14	0,0448	3,12	39,67	0,48	0,0037	129,73	30,17
C5	0,83	0,0217	38,25	35,83	1,09	0,0045	242,22	42,33
C6	0,33	0,0511	6,46	38,17	0,07	0,0057	12,28	49,33
C7	0,00	0,0109	0,00	37,00	0,00	0,0034	0,00	43,17
C8	0,00	0,0950	0,00	48,83	0,00	0,0087	0,00	46,17
C9	0,00	0,0882	0,00	51,33	0,00	0,0080	0,00	52,33

Figura 53 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 800 *mesh*.

Observa-se que, em geral, os valores médios de brilho obtidos pela simulação do polimento com abrasivos magnesianos, apresentaram uma tendência de aumento para as combinações mais severas. Destaca-se combinação C9, com valor médio de brilho de 51,33. Nesta grana, a combinação C5 apresentou valor de R/A de 38,25, discrepante dentre as demais combinações.

A simulação com abrasivos resinóides, assim como as combinações dos magnesianos, apresentaram tendência no aumento dos valores médios de brilho para as condições operacionais mais severas, com destaque para a combinação C9 (600 RPM e 6 min), com valor de brilho de 52,33. A razão R/A apresentou valores nulos para algumas combinações, decorrente de uma perda de massa de rocha com valores menores que a precisão da balança utilizada. Destacam-se as combinações C4 (129,73) e C5 (242,22), responsáveis pela maior perda de massa de rocha.

1.200 mesh

Tabela 29 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva 1.200 mesh em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,01	0,0364	0,27	34,50	0,05	0,0033	15,15	27,17
C2	0,26	0,0386	6,74	29,67	0,23	0,0029	79,31	42,50
C3	0,10	0,0361	2,77	36,83	0,27	0,0079	34,18	51,67
C4	0,00	0,0291	0,00	51,67	0,00	0,0033	0,00	43,83
C5	0,00	0,0921	0,00	40,00	0,00	0,0065	0,00	61,00
C6	0,00	0,0536	0,00	51,00	0,00	0,0107	0,00	68,33
C7	0,00	0,0374	0,00	44,50	0,00	0,0053	0,00	55,00
C8	0,00	0,2491	0,00	56,83	0,08	0,0044	18,18	58,33
C9	0,00	0,2249	0,00	61,17	0,02	0,0073	2,74	62,17

Figura 54 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com grana de 1.200 mesh.

Nota-se que os maiores valores de brilho foram obtidos pelas combinações C8 (56,83) e C9 (62,17) dos abrasivos magnesianos. No geral, a razão R/A para essa grana apresentou valores inferiores para últimas combinações, tendo como destaque a combinação C2 e C3, com valores de 6,74 e 2,77, respectivamente.

Para os abrasivos resinóides, o maior valor de brilho foi evidenciado pela combinação C6 (68,33). Assim como a combinação dos abrasivos magnesianos, a razão R/A para os abrasivos resinóides foi maior na combinação C2, com valor de 79,31.

lustro

Tabela 30 – Razão entre perdas de massa de rocha e de abrasivo e valores médios de brilho do “granito” Preto São Gabriel durante a etapa abrasiva de lustro em todas as combinações.

Combinação	Magnesiano				Resinóide			
	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho	PMR (g)	PMA (g)	R/A	Brilho
C1	0,00	0,0166	0,00	39,83	0,00	0,0493	0,00	35,67
C2	0,03	0,0280	1,07	35,33	0,00	0,0378	0,00	46,83
C3	0,03	0,0541	0,55	41,50	0,00	0,0390	0,00	59,83
C4	0,40	0,0106	37,74	59,83	0,14	0,0081	17,28	48,00
C5	0,66	0,0110	60,00	45,50	0,45	0,0177	25,42	65,00
C6	0,00	0,0175	0,00	53,33	0,00	0,0226	0,00	68,67
C7	0,00	0,0035	0,00	48,00	0,00	0,0105	0,00	61,00
C8	0,00	0,0129	0,00	60,00	0,00	0,0130	0,00	62,50
C9	0,00	0,0080	0,00	62,67	0,00	0,0024	0,00	64,50

Figura 55 – Relação entre perdas de massa de rocha e de abrasivo (R/A) e o brilho médio nas 9 simulações de polimento com abrasivos de lustro.

Nas combinações do abrasivo de lustro para o magnesiano, os maiores valores de brilho foram atingidos pela combinação C8 e C9, com valores de 60,00 e 62,67. A razão R/A para estas etapas obtiveram valores discrepantes nas combinações C4 (37,74) e C5 (60,00), decorrente de perdas de massa de rocha mais expressivas.

Nota-se que, para essa etapa abrasiva, os abrasivos resinóides apresentaram valores superiores de brilho quando comparados aos abrasivos magnesianos. Dentre as combinações, destaca-se a C5 e C6, com valores de 65 e 68,67, respectivamente. A razão R/A para a sequência dos abrasivos resinóides, assim como para os abrasivos magnesianos, apresentaram valores discrepantes nas combinações C4 e C5, com 17,28 e 25,42, respectivamente.

4.2.3. Análise dos Dados Acumulados das Perdas de Massa de Rocha, de Abrasivo e da Razão Entres Elas

A Tabela 17 apresenta os dados acumulativos do total de perdas de massa de rocha (PMR) e de abrasivo (PMA), tanto para a primeira etapa que corresponde ao levigamento quanto para a fase de polimento, e a razão entre essas duas perdas (R/A). Os valores expressos em gramas correspondem as 3 granas de abrasivo no levigamento (24#, 36# e 60#) e nas 7 do polimento (120 # ao Lustro).

Tabela 31 – Acumulativo de perdas de massa de rocha e de abrasivo e a razão entre elas nas simulações com abrasivos magnesianos e resinóides.

Combinação	Magnesiano						Resinóide					
	Levigamento			Polimento			Levigamento			Polimento		
	PMR (g)	PMA (g)	Razão R/A	PMR (g)	PMA (g)	Razão R/A	PMR (g)	PMA (g)	Razão R/A	PMR (g)	PMA (g)	Razão R/A
C1	1,75	0,55	3,21	0,16	0,28	0,58	1,46	0,28	5,26	1,63	0,13	12,69
C2	0,86	0,20	4,26	0,53	0,39	1,37	0,94	0,18	5,13	2,2	0,07	30,39
C3	1,06	0,14	7,34	0,70	0,41	1,69	0,83	0,16	5,28	2,35	0,09	27,26
C4	0,94	0,20	4,79	0,92	0,35	2,66	1,02	0,16	6,49	2,94	0,07	44,82
C5	1,17	0,25	4,62	1,65	0,36	4,61	1,74	0,36	4,83	5,5	0,09	64,63
C6	1,73	0,22	7,70	1,22	0,38	3,24	1,59	0,28	5,71	5,21	0,10	50,34
C7	1,57	0,40	3,96	0,72	0,27	2,71	1,67	0,50	3,35	3,79	0,08	49,54
C8	1,98	0,77	2,56	1,02	0,71	1,45	1,94	0,32	6,15	4,77	0,09	51,13
C9	1,97	0,36	5,48	0,97	0,62	1,57	1,8	0,30	5,93	5,79	0,10	60,12

No âmbito geral, os valores obtidos pela primeira fase (levigamento), referente à razão R/A, apresentaram grandezas correlatas para os dois conjuntos de abrasivos. Nota-se que em algumas combinações do conjunto dos abrasivos magnesianos, os valores foram superiores às combinações dos resinóides e em combinações distintas. Essa diferença pode ser justificada principalmente pela diferença nos valores medidos de rugosidade superficial das amostras submetidas as simulações de polimento.

Destacam-se dentre as combinações dos abrasivos magnesianos, o maior valor da razão R/A na combinação C6 (400 RPM e 6 min), seguido da combinação C3 (200 RPM e 6 min) e da combinação C9 (600 RPM e 6 min). Para a combinação dos abrasivos resinóides os maiores valores da razão R/A foram obtidos pelas combinações C4 (400 RPM e 2 min), C8 (600 RPM e 4 min) e a C9 (600 RPM e 6 min).

No entanto, considerando a fase do polimento os valores foram como o esperado, a razão entre a perda de massa de rocha e abrasivo (R/A), que expressa o rendimento do desgaste, foi compatível para as mesmas situações operacionais. O melhor rendimento na simulação do polimento se deu na mesma situação (Combinação 5) para os dois tipos de abrasivos. No geral, os valores de rendimento foram maiores para o abrasivo resinóide, devido ao seu maior poder de abrasão e menor desgaste. Para os abrasivos magnesianos os maiores valores de R/A foram obtidos pelas combinações C4 a C7, apresentando uma tendência de maior desgaste abrasivo para as combinações de 400 RPM, incluindo ultima situação citada (C7), onde as condições operacionais de maior velocidade de rotação (600 RPM) e menor tempo (2 min), equiparou o valores de desgaste para as combinação medianas de velocidade de rotação.

No polimento com abrasivos resinóides, os maiores valores de R/A se deram nas combinações C5 (64,63) a C9 (60,12), indicando uma tendência para o rendimento ao desgaste nas combinações com maiores velocidade de rotação (400 e 600 RPM). Cabe ressaltar que, além de obter maiores valores de desgaste de rocha, os abrasivos resinóides apresentaram uma melhor qualidade de superfície polida, e um maior rebaixamento intergrãos. Este aspecto é exemplificado na Figura 56, que demonstra a situação final de polimento nas duas melhores condições de rendimento para os dois tipos de abrasivos (C5).

Figura 56 – Detalhe da faixa de polimento para a sequência de abrasivos magnesianos (A) e resinóides (B).

4.2.4. Avaliação do Brilho

Na tabela 32 são apresentados os valores de brilho para as nove combinações de simulações de polimento do “granito” Preto São Gabriel, em cada etapa do polimento (24mesh ao lustro) nos 6 intervalos de medições.

Tabela 32 – Médias dos valores de brilho em cada etapa abrasiva nas diferentes combinações para os abrasivos magnesiano e resinóide.

#	Magnesiano									Resinóide								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
24	0	0	0	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	1	1	2	3
36	1	1	0	1	2	2	2	3	5	1	2	1	1	2	3	1	3	5
60	1	2	1	3	3	4	3	4	5	2	2	3	3	3	5	4	4	8
120	2	3	2	0	3	5	6	6	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	2	4	2	2	7	9	6	11	9	0	1	2	1	1	1	1	1	1
400	6	13	5	3	18	24	14	18	22	2	3	3	3	8	10	4	7	12
600	20	24	17	12	25	33	31	45	45	3	8	12	4	5	20	10	25	16
800	28	26	30	40	36	38	37	49	51	21	32	40	30	42	49	43	46	52
1200	35	30	37	52	40	51	45	57	61	27	43	52	44	61	68	55	58	62
Lustro	40	35	42	60	46	53	48	60	63	36	47	60	48	65	69	61	63	65

Nos abrasivos magnesianos os maiores valores de brilho foram obtidos nas combinações C4 (60), C8 (60) e C9 (63). Dentre estas, as combinações C4 e C8 obtiveram o mesmo valor de brilho final, porém em condições operacionais distintas, de 400 RPM e 2 min e de 600 RPM e 4 min para o segundo caso. O brilho máximo foi obtido pelas condições operacionais de 600 RPM e 6 min (C9), condição mais severa de simulação.

Já nos abrasivos resinóides os maiores valores foram obtidos nas combinações mais severas de simulação, destacando-se as velocidades de 400 e 600 RPM. Nestes casos, o maior brilho foi obtido na combinação C6 (69), seguido pelas combinações C5 e C9, com percentual de brilho equivalente para os dois casos (65).

Pode ser observado que nos abrasivos magnesianos obteve-se um ganho de brilho progressivo em todas as etapas. Já nos abrasivos resinóides houve um decréscimo de brilho na fase inicial de polimento (120#), seguido por ganhos de brilho relativamente menores até a grana 800#, a partir da qual obteve-se ganhos efetivos de valores de brilho, podendo ser explicado pelo fato de que na prática industrial a sequência de polimento é precedida pela utilização de abrasivos de maior poder de corte (metálicos diamantados), que promovem uma superfície com rugosidade ideal para uma ação mais efetiva do abrasivo resinóide.

Em linhas gerais, em todas as combinações, exceto na C1 e na C4, a qualidade do brilho final foi superior com abrasivo resinóide. A maior eficiência desse abrasivo promoveu um rebaixamento intergrãos mais uniforme, resultando em uma superfície de brilho mais homogênea ao longo do trecho percorrido pelo elemento abrasivo. Já no caso dos abrasivos

magnesianos, em geral os maiores pontos de brilho foram atingidos principalmente nos feldspatos, e os menores pontos de brilho nas micas (provocados por deslocamento) e nas superfícies foscas dos minerais máficos da rocha (hiperstênio e hornblenda), como mostrado na Figura 57.

Figura 57 – Detalhe da faixa de polida da combinação C8 dos abrasivos magnesianos: (A) Cavidades provocadas pelo arrancamento das micas e (B) superfície de menor brilho nos minerais máficos.

Figura 58 – Resultados de brilhos para as combinações de polimento com abrasivos magnesianos e resinóides

4.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DADOS PRÉVIOS E ATUAIS OBTIDOS NO SIMULADOR DE POLIMENTO DE ROCHAS

A pesquisa ora realizada é uma continuação dos trabalhos desenvolvidos pelo Grupo de Tecnologia em Rochas e teve como parâmetros iniciais duas pesquisas previamente realizadas no Simulador de Polimento de Rochas – SPR, por Carvalho (2010) com a rocha “Preto São

Gabriel” e Neves (2010) com a rocha “Vermelho Brasília”, ambas desenvolvidas com a utilização do abrasivo magnesiano. O resultado da simulação do polimento nestas pesquisas foram obtidos pela coleta de dados referentes à perda de massa de rocha e o brilho final resultante das combinações.

Os dados acumulados, relativos às perdas de massa de rocha e brilho médio são apresentados na tabela 33, comparando os valores obtidos na presente pesquisa com as de Carvalho (2010) e Neves (2010) realizadas com mesmos tipos litológicos e mesmas condições operacionais.

Tabela 33 – Dados acumulados de perda de massa de rocha e valores de brilho obtidos nas combinações C1 a C9 nos estudos de Neves (2010), de Carvalho (2010) e da presente pesquisa.

Combinações	Vermelho Brasília				Preto São Gabriel			
	Neves (2010)		Presente pesquisa		Carvalho (2010)		Presente pesquisa	
	PMR (g)	Brilho (%)	PMR (g)	Brilho (%)	PMR (g)	Brilho (%)	PMR (g)	Brilho (%)
C1	2,06	75,17	2,21	42,83	4,27	79,33	1,91	35,67
C2	3,93	73,00	2,01	51,00	13,89	75,50	1,39	46,83
C3	3,48	77,83	2,41	52,67	9,66	75,00	1,76	59,83
C4	3,73	77,00	1,66	48,83	9,81	71,17	1,86	48,00
C5	6,48	64,33	2,54	56,50	20,81	73,33	2,82	65,00
C6	6,87	71,83	2,11	69,17	15,24	64,83	2,29	68,67
C7	3,87	78,33	1,64	58,33	39,14	68,83	2,95	61,00
C8	9,24	71,83	1,84	46,00	20,37	75,50	3,00	62,50
C9	10,33	74,00	2,06	64,50	53,37	72,00	2,94	64,50

Em linhas gerais, nota-se claramente que os valores de perda de massa foram significativamente menores para a presente pesquisa, comparados com as duas rochas simuladas por Neves (2010) e Carvalho (2010). Da mesma forma, os valores de brilho foram superiores nas pesquisas prévias.

Para o “granito” Vermelho Brasília as perdas de massa de rocha apresentaram valores máximos para as últimas combinações simuladas por Neves (2010), destacando-se as combinações C9 (10,33), C8 (9,24), C6 (6,87) e C5 (6,48). Na presente pesquisa, as maiores perdas de massa de rocha foram obtidas pelas combinações C5 (2,54), C3 (2,41), C1(2,21) e C6(2,11). A Figura 59 ilustra graficamente o comportamento das perdas de massa nas duas pesquisas citadas.

Figura 59 – Análise comparativa entre perda de massa de rocha “Vermelho Brasília” nas pesquisas de Neves (2010) e na presente pesquisa.

Os valores de brilho obtidos por Neves (2010) foram superiores aos obtidos na presente pesquisa (Figura 60). Destacam-se no primeiro caso, as combinações C7, C3 e C4, com valores de 78,33%, 77,83% e 77,00%, respectivamente. Na presente pesquisa, os maiores valores de brilho se deram nas combinações C6, C9 e C7, com valores de 69,17%, 64,50% e 58,33%, respectivamente.

Figura 60 – Análise comparativa entre valores de brilho obtidos da simulação da rocha “Vermelho Brasília” nas pesquisas de Neves (2010) e na presente pesquisa.

Comparando os resultados obtidos por Carvalho (2010) com os da presente pesquisa, os maiores valores de perdas de massa de rocha foram obtidos nas combinações mais severas, destacando a C5 e C9, para os dois casos. Porém a ordem de grandeza dos valores foi, em média, cerca de 10 vezes maiores para a primeira pesquisa.

Destaca-se dentre as combinações que apresentaram as maiores perda de massa em Carvalho (2010) a C9 (53,37), a C7 (39,14), a C5 (20,81) e a C8 (20,37), respectivamente. Os maiores valores de perda de massa de rocha para a presente pesquisa foram obtidos pelas combinações C8 (3,00), C7 (2,95), C9 (2,94) e C5 (2,82). A Figura 59 ilustra graficamente o comportamento das perdas de massa nas duas pesquisas citadas.

Figura 61– Análise comparativa entre perda de massa de rocha “Preto São Gabriel” na pesquisa de Carvalho (2010) e na presente pesquisa.

Os maiores valores de brilho obtidos entre as duas pesquisas apresentaram-se em combinações distintas (Figura 62). Destaca-se dentre as combinações simuladas por Carvalho a C1 (79,33%), a C8 e C2 (75,50%) e a C3 (75,00%). Na presente pesquisa, os maiores brilho se deram nas combinações C6, C5, C9 e C8, com valores de 68,67%, 65,00%, 64,50% e 62,50%, respectivamente.

Figura 62 – Análise comparativa entre valores de brilho obtidos da simulação da rocha “Preto São Gabriel” na pesquisa de Carvalho (2010) e na presente pesquisa.

Levando em consideração que manteve-se todas as condições operacionais de Carvalho (2010) e Neves (2010), as diferenças entre perdas de massa de rocha foram de ordem inferior na presente pesquisa para as duas rochas estudadas. Isto se deve a mudança do dispositivo de suporte, conforme mostrado nas Figura 63 e Figura 64, onde a peça abrasiva não é solidária ao suporte, apenas encaixada, podendo movimentar-se livremente em torno de seu eixo (encaixe).

Figura 63 – Sistema de suporte utilizado por Carvalho (2010) e Neves (2010): (1) Copo porta abrasivo (A) e pino abrasivo (B) e (2) detalhe do pino abrasivo.

Figura 64 – Adequações no sistema de suporte de abrasivo: (A) conjunto copo porta abrasivo, suporte do abrasivo e pino abrasivo e (B) detalhe do pino abrasivo.

5. CONCLUSÕES

A simulação laboratorial de polimento por meio de diferentes combinações (carga, velocidade de rotação e tempo de duração) forneceu importantes elementos para a avaliação do rendimento de dois tipos de abrasivos utilizados no processo industrial de polimento.

Os resultados mostraram que a relação entre perdas de massa de rocha e abrasivo se deram em condições operacionais distintas para os dois tipos litológicos testados, comprovando a influência das características inerentes às rochas no processo industrial de polimento, que ainda não são levadas em consideração. Da mesma forma, comparando as perdas de massa dos dois tipos de abrasivos para condições operacionais equivalentes, houve discrepâncias nos dados, indicando a influência da composição dos abrasivos utilizados.

A eficiência dos abrasivos magnesiano e resinóide foi analisada na fase de polimento, por meio da relação entre perda de massa de rocha (PMR) e de abrasivo (PMA), além de medidas de brilho. Destaca-se que:

- Os melhores rendimentos na simulação do polimento se deram em situações distintas: Na simulação do Sienogranito “Vermelho Brasília” com abrasivos magnesianos a melhor combinação foi C2 (200 rpm e 4 minutos) e para o resinóide a combinação C4 (400 rpm e 2 minutos). Para a rocha Hiperstênio Diorito “Preto São Gabriel”, foi a combinação C5 (400 rpm e 4 minutos) tanto para os abrasivos magnesianos, quanto para os resinóides;
- O maior valor de brilho para o abrasivo magnesiano na simulação do polimento com o Sienogranito “Vermelho Brasília” foi de 69% na Combinação C6 (400 rpm e 6 minutos), enquanto que no abrasivo resinóide foi de 71% na Combinação C9 (600rpm e 6 minutos). Para o Hiperstênio Diorito “Preto São Gabriel”, os maiores valores de brilho foram obtidos pelos abrasivos magnesianos na combinação C9 (600 rpm e 6 minutos) foi de 63%, enquanto que para os abrasivos resinóides, a melhor combinação obteve o valor de 69%, referente à C6 (400 rpm e 6 min). Em geral, a qualidade do brilho final foi superior para o abrasivo resinóide, decorrente de seu maior poder de corte.

As características apresentadas pelo Sienogranito “Vermelho Brasília” configuraram uma certa limitação do ponto de vista de representatividade do ensaio no “Simulador de Polimento de Rochas – SPR”. O desgaste abrasivo foi influenciado pelo efeito escala, em que

a área de contato do pino abrasivo sobre a rocha é muito menor que a do rebolo abrasivo usado no polimento em politriz, não representando necessariamente a realidade do polimento industrial de granitos com mineralogia e textura similares.

Porém, para a rocha Hiperstênio Diorito “Preto São Gabriel”, por se tratar de uma rocha de textura fina e equigranular, com baixa resistência à abrasão Amsler, os resultados da interação entre rocha e abrasivos, expresso pelas perdas de massa, mostraram melhor polimento da superfície, melhor qualidade do brilho, além de apresentar uma maior eficiência no polimento para velocidades de rotação mais elevadas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento de estudos utilizando o simulador de polimento de rochas – SPR proporcionou a elaboração de modelos de desgaste distintos entre rochas simuladas, com limitações para rochas de texturas grossas. Isto se deve pela cinemática do sistema, em que o elemento apresenta pequena superfície de contato sobre superfície da rocha, não representando fielmente o polimento para rochas com texturas grossas. Fica portanto a sugestão de se construir uma politriz semelhante à industrial, em escala adequada para trabalhos em laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. (1996). **Tecnologias de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais**. In: Federação das Indústrias do Estado do Ceará & Instituto Euvaldo Lodi – IEL/CE; 225p.
- ALMEIDA, P. F. ; RIBEIRO, R. P. (2013). **Avaliação do rendimento dos abrasivos magnesiano e resinóide no polimento de granito**. In: 14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2013, Rio de Janeiro - RJ. Anais do CBGE, 2013. 10p.
- ALMEIDA, P.F.; RIBEIRO, R.P.; PAZETO, A.A. (2012). **Simulação de polimento do “Granito” Amarelo Ornamental com abrasivos magnesiano e resinóide**. In: IV Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais. Campina Grande/PB. pp. 199-212.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM (2001). **G 40-01 Standard Terminology Relating to Wear and Erosion**, 8p.
- BHUSHAN B (2002). *Introduction to Tribology. Technology & Engineering NY, Wiley & Sons. NY, 732p.*
- CARANASSIOS, A.; PINHEIRO, J.R (2004). O emprego do fio diamantado na extração de rochas ornamentais: curso básico para operadores. Cachoeiro de Itapemirim. CETEMAG. 25p.
- CARVALHO, D.L.S (2010). **Determinação de parâmetros do polimento em três tipos de rochas graníticas**. Dissertação de Mestrado. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. 130p.
- CAMARGO, J. L (2013). **Estudo da influência das propriedades petrográficas na qualidade do polimento de rochas ornamentais em politriz semi-automática**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 196p.
- CETEMAG - CENTRO TECNOLÓGICO DO MÁRMORE E GRANITO (2003). **Curso de polidor**. Apostila, 21p.

- CHIODI FILHO, C (2014). **Balanço das exportações e importações de rochas ornamentais e de revestimento em 2013**. São Paulo: ABIROCHAS. Informe 01/2014. 24p.
- CHIODI FILHO, C (2013). **Balanço das exportações e importações de rochas ornamentais e de revestimento em 2012**. São Paulo: ABIROCHAS. Informe 01/2013. 17p.
- CHIODI FILHO, C (2012). **Balanço da Produção Mundial e do Comércio Internacional de Rochas Ornamentais em 2011**. São Paulo: ABIROCHAS. Informe 11/2012. 8p.
- COBRAL ABRASIVOS (2013). **Abrasivos para polimento de granitos**. <http://www.cobral.com.br/produtos/4/granito/>. (20/01/2013).
- DE AZEREDO, S.R; BOBROVNITCHII, G.S.; GUIMARÃES, R.S.; FILGUEIRA, M. (2008). **Desenvolvimento de um novo compósito abrasivo de desbaste de rochas ornamentais**. Revista Matéria, v.13, nº1.6p
- DE OLIVEIRA, O. C; MATOS, M. R.; DE OLIVEIRA, L. J.; BOBROVNITCHII, G. S.; ALGUEIRA, R. B.; FILGUEIRA, M. (2008). **Processamento e desgaste abrasivo de compósitos á base de epóxi-sílica para uso em coroas de polimento de rochas ornamentais**. Revista Matéria, v.13, nº8p.
- DOMPIERI, M.; SZNELWAR, J. J.; SCALABRIN, R. (2009) **Perfil de Abrasivos. Desenvolvimento de estudos para elaboração de plano duodecenal (2010-2030) de geologia, mineração e transformação mineral**. J. Mendo Consultoria. Encomendado pelo Ministério de Minas e Energia, Mineração e Transformação Mineral-SGM. 64p.
- FRAZÃO, E. B. (2002). **Tecnologia de Rochas na Construção Civil**. Ed. ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. 132 p.
- LEITÃO, V.M.F. E SILVEIRA, L.L.L. (2011). **Principais tipos de rebolos abrasivos utilizados no polimento de rochas ornamentais**. XIX Jornada de Iniciação Científica. Rio de Janeiro. Anais CETEM.4p
- MACHADO, M.; CARVALHO, D. (1992). **Técnicas para polimento e lustro de mármore e granitos**. Brasil Mineral, São Paulo, n. 102, p. 28-30.
- MOORE, M. A.; KING, F. S. (1980) *Abrasive wear of brittle solids* . National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, Bedford. Inglaterra. 18p.

- MOREIRAS, S. T. F.(2005) . **Estudo sobre o revestimento de fachadas de edifícios altos com placas de granitos ornamentais.** 92 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo 80p.
- NEVES, M.C. (2010). **Estudo experimental do polimento de diferentes “granitos” e as relações com a mineralogia.** Dissertação de Mestrado. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. 115p.
- PETERSON, M.B. (1980). *Classification of wear processes”, Wear Control Handbook, ASME, New York. pp. 9-15.*
- PINTAÚDE, G. (2002) **Análise dos regimes moderado e severo de desgaste abrasivo utilizando ensaios instrumentados de dureza.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 230p.
- RABINOWICZ, E. (1966) *Friction and Wear of Materials. Cambrige, Massachusetts, John Wiley, 243p.*
- RADI, P. A.; SANTOS, L. V. ; BONETTI, L. F. (2007) . **Tribologia, Conceitos e Aplicações.** In: XIII Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA - ENCITA, 2007, São José dos Campos. XIII ENCITA - Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA.
- RIBEIRO, R.P. (2005) **Influência das características petrográficas de granitos no processo industrial de desdobramento de blocos.** Tese de doutoramento. Escola de Engenharia de São Carlos. 205p.
- RIBEIRO, R.P.; SILVEIRA, L.L.; PARAGUASSÚ, A.B.; RODRIGUES, J.E. (2004) **Aplicação de bases conceituais de tribologia no beneficiamento de granitos ornamentais.** Revista Minerva. São Carlos. V1. N1. p.45-50. 2004.
- SHEN JY; LIN W, OMORI H; WU XP (2006) **Mechanism of Surface formation for Natural granite grinding. Key Engeneering Materials.:** pp 161 - 165.

- SILVEIRA, L. L. L. ; LEITAO, V. M. F.(2012) . *Analysis of the Behavior of Abrasive Tool Performed With Alternative Resin Tested in the Polishing Rock Simulator (PRS). Globalstone Congress, Borba.Portugal.7p.*
- SILVEIRA, L.L.L. (2007) **Polimento de rochas ornamentais: um enfoque tribológico ao processo.** Tese de Doutorado. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. 205p.
- SILVEIRA, L.L.L; RODRIGUES, J.E.; PARAGUASSÚ, A.B.; RIBEIRO, R.P. (2005) **Simulador de Polimento de Rochas – SPR.** In: I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. Guarapari.
- SILVEIRA, L.L.L; RODRIGUES, J.E.; PARAGUASSÚ, A.B. (2005). **Estudo do desgaste de dois granitos ornamentais brasileiros em simulador de polimento.** In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Florianópolis . pp. 2290-2301.
- SILVEIRA, L. L. L. ; RODRIGUES, J. E. ; PARAGUASSÚ, A. B. ; RIBEIRO, R. P. . (2004) **Application of tribological concepts on the polishing of dimension stones.** In: 32nd International Geological Congress, 2004, Florença. 32nd International Geological Congress, 2004.
- SOUZA, D. V. ; VIDAL, F. W. H. ; CASTRO, N. F. (2012). **Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de rochas ornamentais.** JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20, 2012, Rio de Janeiro. Anais da XX Jornada de Iniciação Científica - CETEM. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI.
- TURCHETTA, S. (2003) *Tecnologie di Lavorazione Delle Pietre Naturali.* Tese de Doutorado – Università Degli Studi di Cassino, Italy. 261p.
- TREZONA R.I., ALLSOPP D.N., HUTCHINGS I.M (1999). *Transitions between two-body and three-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test.* Wear. University of Cambridge, Department of Materials Science and Metallurgy, Cambridge, UK, 10p.
- USIWAL (2013). **Satélites para polidoras de chapas de mármore e granitos.** Disp: <http://www.usiwal.ind.br/Site2009/index.php>. Acessado em 15 de fevereiro de 2013.

- XIE, J.; TAMAKI, J. (2007) *Parameterization of micro-hardness distribution in granite related to abrasive machining performance. Journal of Materials Processing Technology*. 186: pp 253-258.
- ZUAZO TORRES, P. (1995) Elaboración de Marmoles y Granitos. In: LÓPEZ JIMENO, C. (ed.). Manual de rocas ornamentales: Prospección, Explotación, Elaboración e Colocación. Madrid: Gráficas Arias Montano. Cap. 16. pp. 353-397.
- ZUM-GAHR, K.H. (1987) *Microstructure and wear of materials. Institute of Materials Technology. University of Siegen, Siegen, Federal Republic of Germany*, v. 10.

ANEXOS

ANEXO 1

FICHAS RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DAS ROCHAS ESTUDADAS

VERMELHO BRASÍLIA

Anexo 1.1 Síntese da caracterização tecnológica do sienogranito Vermelho Brasília.

Petrografia	Mineralogia		<p><u>Minerais essenciais</u>: quartzo (32,0%), microclínio (41,0%), oligoclásio (16,0%) e biotita (5,0%);</p> <p><u>Acessórios</u> (2,0%): opacos, apatita, zircão e granada;</p> <p><u>Minerais secundários</u> (4,0%): sericita, muscovita, epidoto, clorita, carbontatos, argilo-minerais, hidróxidos de ferro.</p>
	Estrutura		Discreta orientação de fluxo, evidenciada por grosseira orientação preferencial dos cristais alongados de microclínio.
	Textura		Fanerítica média a grossa, inequigranular.
	Granulação (mm)	Variação	30 a 50 (ou mais)
		Predominância	5 a 30
	Contatos minerais		Interlobados (côncavos – convexos) a parcialmente retilíneos, refletindo, no geral, em bom entrelaçamento mineral.
	Microfissuramento	Grau	Baixo
		Tipo	Intergranular
		Características	Preferencialmente nos cristais de quartzo; as microfissuras mostram-se tanto fechadas quanto abertas, neste caso, preenchidas por minerais opacos, sericita e algum epidoto.
	Alteração Mineral	Grau	Fraca a moderada
		Minerais	Argilomineralização dos cristais de feldspatos, manifestando-se sob forma de manchas pulverulentas, de coloração acastanhada devido ao efeito da pigmentação por óxidos e hidróxidos de ferro.
Índices físico-mecânicos	Massa específica		2.621kg/m³
	Porosidade		0,69 %
	Absorção d'água		0,26 %
	Resistência à Compressão Uniaxial		209,9 MPa
	Resistência ao Desgaste Amsler		0,51 mm

PRETO SÃO GABRIEL

Anexo 1.1 Síntese da caracterização tecnológica do sienogranito Preto São Gabriel.

Petrografia	Mineralogia		<u>Minerais essenciais</u> : quartzo (3,0%), feldspato potássico (41,5%), andesina (58,5%), hornblenda (5,3), biotita (10,3%) e hiperstênio (10,1); <u>Acessórios</u> (8,4%): magnetita, titanita e sulfetos; <u>Minerais secundários</u> (4,0%):
	Estrutura		Foliação discreta, marcada pela orientação dos minerais máficos
	Textura		Fanerítica média a fina, inequigranular.
	Granulação (mm)	Variação	2 a 7 mm
		Predominância	5 mm
	Microfissuramento	Grau	mediano
		Tipo	Intergranular
		Características	Controlado pela clivagem do hiperstênio
	Alteração Mineral	Grau	Fraca a moderada
		Minerais	Argilomineralização dos cristais de feldspatos, manifestando-se sob de pequenas cavidades associadas aos mineirais máficos e argilominerais.
Índices físico-mecânicos	Massa específica		2,960kg/m³
	Porosidade		0,96 %
	Absorção d'água		0,33 %
	Resistência à Compressão Uniaxial		113,7 MPa
	Resistência ao Desgaste Amsler		1,00 mm

ANEXO 2

DADOS DETALHADOS DAS MEDIÇÕES DE BRILHO DA SIMULAÇÃO DO VERMELHO BRASÍLIA

Tabela 34 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C1.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0
24	0	0	0	0	0	0	0,0	24	0	0	0	0	0	0	0,0
36	1	1	1	1	0	1	0,8	36	1	1	1	0	1	1	0,8
60	2	3	1	2	1	1	1,7	60	1	1	1	1	1	1	1,0
120	2	3	2	2	2	2	2,2	120	1	0	0	0	0	0	0,2
220	3	3	3	4	2	2	2,8	220	1	1	0	1	0	0	0,5
400	8	6	6	7	6	5	6,3	400	1	1	1	1	1	1	1,0
600	23	23	23	20	11	15	19,2	600	4	4	4	3	2	5	3,7
800	31	27	33	32	21	24	28,0	800	20	22	23	17	10	19	18,5
1200	47	43	39	38	29	39	39,2	1200	43	47	28	41	26	37	37,0
Lustro	50	47	40	45	36	39	42,8	Lustro	45	50	41	42	29	53	43,3

Tabela 35 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C2.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0
24	1	1	0	1	1	2	1,0	24	1	1	1	1	1	1	1,0
36	1	1	1	1	1	1	1,0	36	2	2	2	2	1	1	1,7
60	1	1	1	2	2	1	1,3	60	2	2	2	2	2	1	1,8
120	2	1	1	3	3	3	2,2	120	1	1	1	1	1	1	1,0
220	6	4	3	7	5	7	5,3	220	1	1	1	1	1	1	1,0
400	8	7	9	10	9	12	9,2	400	2	1	1	1	1	1	1,2
600	21	17	17	21	18	22	19,3	600	6	3	3	3	14	2	5,2
800	36	29	33	41	27	45	35,2	800	42	30	29	25	50	15	31,8
1200	51	40	34	55	41	60	46,8	1200	51	36	45	39	64	33	44,7
Lustro	52	44	34	56	56	64	51,0	Lustro	54	50	51	45	71	40	51,8

Tabela 36 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C3.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0
24	2	2	2	2	2	1	1,83	24	1	1	1	1	1	1	1,1
36	1	2	2	2	2	1	1,66	36	1	1	1	1	2	1	1,16
60	1	2	4	3	2	2	2,33	60	1	2	1	1	2	2	1,5
120	2	2	3	4	3	3	2,83	120	0	1	1	0	1	0	0,5
220	2	2	3	3	3	2	2,50	220	1	1	1	1	1	1	1,0
400	10	9	8	7	10	9	8,83	400	1	2	2	3	3	3	2,33
600	21	20	19	25	21	18	20,67	600	15	19	15	19	13	18	16,5
800	40	42	34	53	54	35	43,0	800	22	28	26	32	27	32	27,83
1200	49	48	41	60	66	43	51,17	1200	61	54	57	58	49	56	55,83
Lustro	49	49	50	59	62	47	52,67	Lustro	65	58	59	67	60	63	62,0

Tabela 37 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C4.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0
24	1	1	1	1	1	1	1,0	24	1	1	1	1	1	1	1,0
36	1	1	1	1	1	2	1,16	36	1	1	2	1	1	1	1,16
60	1	1	1	1	1	1	1,0	60	1	1	2	2	2	1	1,5
120	2	2	3	6	3	4	3,33	120	0	0	0	0	0	0	0,0
220	2	2	3	3	2	3	2,5	220	0	0	0	1	0	1	0,33
400	10	14	23	21	14	20	17,0	400	2	2	4	3	4	3	3,0
600	14	23	32	32	28	28	26,17	600	4	5	3	3	6	4	4,16
800	21	25	44	43	34	36	33,83	800	30	60	39	26	27	25	34,5
1200	40	38	48	49	34	41	41,67	1200	35	60	53	53	44	29	45,67
Lustro	48	39	58	54	49	45	48,83	Lustro	43	70	63	60	61	36	55,5

Tabela 38 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C5.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0
24	1	1	1	1	1	1	1,0	24	1	1	1	1	1	1	1,0
36	2	2	2	2	1	1	1,66	36	3	1	2	3	1	2	2,0
60	2	3	3	2	2	3	2,5	60	3	2	2	1	2	3	2,16
120	4	5	6	4	5	2	4,33	120	1	0	1	1	0	1	0,66
220	6	8	10	5	9	4	7,0	220	1	1	2	1	1	1	1,16
400	29	31	34	22	30	25	28,5	400	3	2	3	3	2	3	2,66
600	49	36	44	27	46	45	41,17	600	19	11	16	18	20	22	17,67
800	59	53	57	33	48	36	47,67	800	40	32	39	54	44	36	40,83
1200	55	56	61	43	58	52	54,17	1200	68	62	48	58	47	53	56,0
Lustro	68	63	68	43	55	42	56,5	Lustro	73	71	61	72	53	61	65,17

Tabela 39 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C6.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0
24	2	1	1	2	1	2	1,5	24	1	1	1	1	1	1	1,0
36	14	9	7	13	10	12	10,83	36	1	1	2	2	2	1	1,5
60	2	2	1	2	2	1	1,66	60	2	2	4	4	4	3	3,16
120	9	11	6	7	13	11	9,5	120	1	0	0	1	1	0	0,5
220	18	18	11	18	14	13	15,33	220	1	1	1	1	1	1	1,0
400	35	35	26	29	39	36	33,33	400	15	9	10	13	17	15	13,17
600	6	50	39	42	41	43	36,83	600	17	22	22	23	18	21	20,5
800	62	58	52	64	50	54	56,67	800	41	42	46	52	51	50	47,0
1200	66	77	54	69	53	47	61,0	1200	51	58	53	57	50	56	54,17
Lustro	69	75	59	74	60	78	69,17	Lustro	57	63	66	62	69	59	62,67

Tabela 40 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C7.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0
24	1	2	2	1	3	2	1,83	24	3	2	2	3	2	2	2,33
36	5	5	5	8	6	4	5,5	36	2	3	2	2	1	3	2,16
60	6	7	9	8	11	7	8,0	60	1	0	1	1	0	0	0,5
120	6	7	9	6	8	7	7,16	120	1	1	1	1	1	1	1,0
220	5	7	9	6	7	7	6,83	220	1	1	1	1	1	1	1,0
400	26	23	28	34	29	26	27,67	400	13	14	18	12	8	9	12,33
600	25	38	33	38	30	28	32,0	600	11	10	14	12	6	12	10,83
800	44	40	43	53	44	44	44,67	800	47	38	38	57	36	44	43,33
1200	54	50	64	69	51	54	57,0	1200	50	56	57	54	59	52	54,67
Lustro	50	56	56	70	58	60	58,33	Lustro	72	60	53	71	64	69	64,83

Tabela 41 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C8.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0
24	3	5	4	5	5	4	4,33	24	2	2	2	3	2	2	2,16
36	7	7	9	6	6	6	6,83	36	4	3	3	3	3	3	3,16
60	8	8	7	9	7	11	8,33	60	1	1	1	1	1	1	1,0
120	11	9	9	10	7	11	9,5	120	1	1	2	1	1	2	1,33
220	12	10	10	12	9	12	10,83	220	2	1	2	2	1	2	1,66
400	22	23	27	28	17	24	23,5	400	9	4	9	7	8	7	7,33
600	30	45	33	31	32	29	33,33	600	16	21	34	27	29	26	25,5
800	33	51	47	39	27	35	38,67	800	42	35	46	26	35	56	40,0
1200	33	58	48	40	40	33	42,0	1200	51	47	56	41	53	60	51,33
Lustro	36	59	50	49	40	42	46,0	Lustro	59	49	60	50	53	74	57,5

Tabela 42 – Valores de brilho para o “granito” Vermelho Brasília para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C1.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,0
24	3	2	2	3	6	3	3,16	24	3	4	4	2	7	3	3,83
36	13	9	7	9	10	11	9,83	36	5	8	6	6	7	5	6,16
60	13	9	10	9	10	11	10,33	60	8	10	9	7	7	9	8,33
120	13	11	12	9	12	11	11,33	120	2	4	3	2	3	2	2,66
220	21	15	13	17	16	17	16,5	220	10	8	7	9	7	6	7,83
400	23	23	22	28	25	26	24,5	400	19	20	23	13	24	18	19,5
600	44	43	33	45	47	40	42,0	600	23	22	21	22	17	26	21,83
800	58	53	46	47	55	58	52,83	800	48	57	60	60	43	50	53,0
1200	70	61	51	54	62	67	60,83	1200	57	69	71	60	61	63	63,5
Lustro	70	63	53	64	67	70	64,5	Lustro	62	69	72	67	79	74	70,5

ANEXO 3

DADOS DETALHADOS DAS MEDIÇÕES DE BRILHO DA SIMULAÇÃO DO PRETO
SÃO GABRIEL

Tabela 43 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C1.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00
24	0	0	0	0	0	0	0,00	24	0	0	0	0	0	0	0,00
36	1	1	0	0	1	1	0,67	36	1	1	1	1	1	1	1,00
60	2	2	1	1	1	1	1,33	60	3	2	1	1	1	1	1,50
120	2	2	2	3	2	2	2,17	120	0	0	0	0	0	0	0,00
220	2	2	1	2	2	1	1,67	220	0	0	0	1	0	0	0,17
400	3	7	6	6	8	5	5,83	400	1	1	1	2	3	2	1,67
600	20	19	19	22	24	16	20,00	600	3	4	2	4	2	3	3,00
800	25	32	22	30	32	28	28,17	800	24	23	18	17	20	22	20,67
1200	37	33	33	36	40	28	34,50	1200	24	33	32	23	24	27	27,17
Lustro	41	39	33	41	45	40	39,83	Lustro	28	38	37	37	39	35	35,67

Tabela 44 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C2.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00
24	0	0	0	0	0	0	0,00	24	0	0	0	0	0	0	0,00
36	1	1	0	1	1	0	0,67	36	2	1	1	2	2	1	1,50
60	2	2	3	2	2	1	2,00	60	2	1	1	1	2	2	1,50
120	3	4	4	4	3	2	3,33	120	0	0	0	0	0	0	0,00
220	4	4	4	4	3	2	3,50	220	0	1	1	0	1	1	0,67
400	15	16	17	14	8	6	12,67	400	2	3	5	4	3	3	3,33
600	30	26	28	20	18	20	23,67	600	7	6	8	8	10	9	8,00
800	28	27	29	27	21	21	25,50	800	33	27	26	35	37	32	31,67
1200	29	30	35	35	27	22	29,67	1200	38	42	42	45	46	42	42,50
Lustro	41	36	39	41	30	25	35,33	Lustro	46	43	47	52	50	43	46,83

Tabela 45 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C3.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00
24	0	0	0	0	0	0	0,00	24	0	0	0	0	0	0	0,00
36	1	1	1	1	1	1	1,00	36	1	2	2	1	1	1	1,33
60	1	2	2	2	2	2	1,83	60	2	4	4	2	2	2	2,67
120	2	2	2	2	3	3	2,33	120	0	0	0	0	0	0	0,00
220	4	4	5	6	4	5	4,67	220	1	1	1	2	2	2	1,50
400	12	14	18	24	19	16	17,17	400	2	5	3	4	3	3	3,33
600	23	26	36	39	25	30	29,83	600	10	14	10	16	10	10	11,67
800	25	30	53	47	31	35	36,83	800	32	37	44	47	39	39	39,67
1200	29	33	60	46	37	44	41,50	1200	48	52	53	56	51	50	51,67
Lustro	34	43	55	51	40	45	44,67	Lustro	55	65	61	61	57	60	59,83

Tabela 46 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C4.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00
24	0	0	0	0	0	0	0,00	24	0	0	0	0	0	0	0,00
36	1	1	1	1	1	1	1,00	36	1	1	1	1	1	1	1,00
60	2	2	2	3	2	4	2,50	60	3	2	3	2	3	4	2,83
120	3	3	3	4	3	6	3,67	120	1	0	0	0	0	0	0,17
220	3	3	3	4	3	4	3,33	220	1	1	1	1	1	1	1,00
400	10	10	10	9	11	14	10,67	400	3	3	4	2	3	2	2,83
600	23	23	21	32	31	29	26,50	600	3	3	4	4	6	3	3,83
800	30	29	29	39	45	47	36,50	800	33	28	34	35	30	21	30,17
1200	35	35	36	44	46	42	39,67	1200	42	47	47	40	47	40	43,83
Lustro	40	37	36	51	52	55	45,17	Lustro	50	43	51	44	46	54	48,00

Tabela 47 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C5.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00
24	0	0	0	0	0	0	0,00	24	0	0	0	0	0	0	0,00
36	2	2	1	1	2	2	1,67	36	1	2	2	2	2	1	1,67
60	3	3	3	3	3	3	3,00	60	2	2	3	5	3	2	2,83
120	3	3	3	3	3	3	3,00	120	0	0	0	0	0	0	0,00
220	6	9	5	6	8	6	6,67	220	1	1	1	1	1	1	1,00
400	13	23	16	16	19	19	17,67	400	8	6	7	8	8	8	7,50
600	29	26	22	25	27	23	25,33	600	5	5	6	4	5	6	5,17
800	34	34	36	41	36	34	35,83	800	37	37	46	42	48	44	42,33
1200	40	40	38	44	42	36	40,00	1200	63	57	60	62	64	60	61,00
Lustro	42	47	43	48	48	45	45,50	Lustro	64	61	69	68	68	60	65,00

Tabela 48 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C6.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00
24	1	0	1	1	1	1	0,83	24	1	1	1	1	1	1	1,00
36	3	2	2	3	2	2	2,33	36	3	3	2	2	3	4	2,83
60	3	3	3	4	4	4	3,50	60	5	4	5	3	5	5	4,50
120	4	5	5	5	4	5	4,67	120	0	0	0	0	0	0	0,00
220	8	12	10	9	8	9	9,33	220	1	1	1	1	1	1	1,00
400	22	28	27	21	19	24	23,50	400	10	10	10	9	9	10	9,67
600	31	38	35	36	24	33	32,83	600	18	20	20	20	18	22	19,67
800	37	38	39	40	31	44	38,17	800	57	51	54	47	41	46	49,33
1200	50	60	53	47	42	54	51,00	1200	73	64	70	70	64	69	68,33
Lustro	52	60	59	51	42	56	53,33	Lustro	73	64	70	70	66	69	68,67

Tabela 49 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C7.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00
24	1	0	1	1	1	1	0,83	24	1	1	1	1	1	1	1,00
36	2	2	2	2	1	3	2,00	36	1	1	1	1	1	1	1,00
60	5	2	2	2	4	5	3,33	60	3	4	5	4	4	4	4,00
120	5	9	6	5	4	6	5,83	120	0	0	0	0	0	0	0,00
220	6	9	6	5	4	6	6,00	220	1	1	1	1	1	1	1,00
400	17	13	11	18	10	17	14,33	400	3	3	5	3	3	6	3,83
600	32	30	36	31	21	35	30,83	600	9	8	15	8	8	12	10,00
800	37	31	37	40	33	44	37,00	800	48	44	45	48	38	36	43,17
1200	46	44	44	48	40	45	44,50	1200	55	53	57	53	54	58	55,00
Lustro	48	51	44	53	45	47	48,00	Lustro	56	60	62	65	63	60	61,00

Tabela 50 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C8.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00
24	1	1	1	2	2	2	1,50	24	1	1	2	2	2	1	1,50
36	4	3	3	3	3	3	3,17	36	3	4	3	3	3	3	3,17
60	5	4	3	4	4	4	4,00	60	3	4	4	3	4	3	3,50
120	7	6	5	7	7	6	6,33	120	0	0	0	0	0	0	0,00
220	13	10	9	11	10	11	10,67	220	1	1	1	1	1	1	1,00
400	21	18	18	17	16	18	18,00	400	7	7	7	8	7	6	7,00
600	48	38	37	46	50	48	44,50	600	29	30	20	28	20	22	24,83
800	52	44	44	47	52	54	48,83	800	49	50	47	45	44	42	46,17
1200	66	55	53	51	52	64	56,83	1200	59	59	57	59	62	54	58,33
Lustro	66	58	57	56	58	65	60,00	Lustro	64	65	62	61	63	60	62,50

Tabela 51 – Valores de brilho para o “granito” Preto São Gabriel para os abrasivos magnesianos e resinóide na combinação C9.

BRILHO MAGNESIANO								BRILHO RESINÓIDE							
	1	2	3	4	5	6	Média		1	2	3	4	5	6	Média
Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00	Inicial	0	0	0	0	0	0	0,00
24	1	1	2	2	2	2	1,67	24	2	2	4	3	3	3	2,83
36	4	4	5	5	5	6	4,83	36	5	4	5	5	5	6	5,00
60	4	3	5	5	5	6	4,67	60	7	9	9	8	9	7	8,17
120	8	9	10	10	10	10	9,50	120	0	0	0	0	0	0	0,00
220	8	9	9	9	9	8	8,67	220	1	1	1	1	1	1	1,00
400	17	19	22	24	27	22	21,83	400	12	13	10	13	11	10	11,50
600	41	33	46	50	52	50	45,33	600	21	21	10	13	16	15	16,00
800	46	42	51	55	58	56	51,33	800	55	57	53	50	49	50	52,33
1200	58	56	61	62	63	67	61,17	1200	60	63	63	63	62	62	62,17
Lustro	58	61	61	62	65	69	62,67	Lustro	62	66	64	65	65	65	64,50