

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DO POLIMENTO, EM TRÊS  
TIPOS DE ROCHA GRANÍTIICAS.**

DAMARES LUIZA SILVEIRA DE CARVALHO

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, Programa de Pós  
Graduação em Geotecnia.

ORIENTADOR: PROF.DR. JOSÉ EDUARDO RODRIGUES

SÃO CARLOS – SP  
2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



Dedico este trabalho ao meu namorado  
André, pelo amor, apoio e pela companhia  
em todos os momentos.



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria José e Oswaldo por me darem a vida, amor e apoio sobre minhas decisões, mesmo que longe deles.

A todos meus familiares, principalmente meus tios Dirce, Rui e Elsa pelo apoio incondicional e força para enfrentar as todas as dificuldades.

Ao meu irmão Junior e minha cunhada Karin, que me apoiaram mesmo antes do ingresso no mestrado.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Rodrigues pela oportunidade concedida, pela orientação e pelas críticas que foram essenciais para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antenor Braga Paraguassú, por toda ajuda, estímulo e sugestões no decorrer de toda a pesquisa.

Ao Leonardo Silveira por todo apoio durante todo o trabalho.

Ao Prof. Antônio Carlos Artur e ao amigo Roberto M. Souza pelas análises concedidas.

As minhas “manas” Márcia e Lisandra, que se tornaram minhas irmãs do coração, pela companhia nessa caminhada e por toda ajuda na resolução de problemas.

A todos os meus amigos Rafaela, Giovana, Juliana, Carla, Natália, Aline, Kelly, Vanessa, Nene e colegas de departamento por sempre estarem de alguma forma presentes.

Aos professores do Departamento de Geotecnia que contribuíram para meu aperfeiçoamento profissional.

Aos técnicos e funcionários Sr. Antonio, Décio, Dito, Zé Luis, Oscar, Maristela, Neiva, Álvaro, Toninho e Herivelton que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Departamento de Geotecnia, da Escola de Engenharia de São Carlos, pela infraestrutura concedida.

A CAPES pelo financiamento da pesquisa.



## ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivo .....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	Utilização de rochas para fins construtivos e ornamentais.....	3
2.1.1	Rochas Ornamentais .....	4
2.2	Caracterização tecnológica de rochas ornamentais.....	9
2.2.1	Análise petrográfica, NBR 12.768 (ABNT, 1992).....	10
2.2.2	Índices físicos, NBR 12.766 (ABNT, 1992).....	11
2.2.3	Resistência ao desgaste abrasivo (AMSLER) NBR 12.042 (ABNT, 1992) 13	
2.2.4	Abrasão profunda, NBR 13818 (ABNT, 1997) .....	15
2.2.5	Microdureza Knoop.....	15
2.2.6	Coefficiente de atrito dinâmico, NBR 13818 (ABNT, 1997) .....	16
2.2.7	Resistência à compressão uniaxial, NBR 12767 (ABNT, 1992f) .....	16
2.3	Panorama do setor de rochas ornamentais.....	17
2.4	Etapas do ciclo produtivo .....	19
2.4.1	Lavra (extração) .....	20
2.4.2	Desdobramento de blocos .....	22
2.4.3	Acabamentos .....	24
2.5	Polimento de rochas ornamentais .....	25
2.5.1	Politrizes manuais de bancada Fixa.....	26
2.5.2	Politrizes de ponte móvel com bancada fixa.....	27



2.5.3	Politrizes multicabeças com esteiras transportadoras.....	28
2.5.4	Simulador de polimento de rocha (SPR) .....	29
2.6	Fatores influentes no processo de polimento de rochas ornamentais.....	32
2.6.1	Acabamento da serrada .....	32
2.6.2	Dureza da rocha.....	33
2.6.3	“Fechamento” do polimento.....	33
2.7	Parâmetros analisados no polimento .....	35
2.7.1	Brilho .....	35
2.7.2	Rugosidade.....	36
2.7.3	Desgaste .....	38
2.8	Abrasivos .....	40
2.9	Fatores influentes no processo abrasivo .....	44
2.9.1	Dureza .....	44
2.9.2	Tamanho das partículas.....	45
2.9.3	Velocidade relativa e Carga aplicada .....	46
2.9.4	Temperatura .....	46
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	49
3.1	Escolha e preparação das amostras .....	49
3.1.1	Preto São Gabriel.....	51
3.1.2	Azul Fantástico.....	54
3.1.3	Amarelo Ornamental.....	57
3.2	Modificações nos equipamentos .....	60
3.3	Procedimento dos ensaios.....	66

4	RESULTADOS .....	71
4.1	Rugosidade das amostras.....	71
4.1.1	Preto São Gabriel.....	73
4.1.2	Azul Fantástico.....	74
4.1.3	Amarelo Ornamental .....	76
4.2	Valores de perda de massa.....	77
4.3	Valores de brilho .....	86
4.1	Brilhos pontuais .....	98
4.1	Distância Percorrida .....	101
5	ANÁLISES DOS DADOS.....	103
5.1	Rugosidade das amostras.....	103
5.2	Perda de massa.....	103
5.3	Brilho.....	106
5.1	Perda de massa x Brilho .....	112
5.2	Análise Estatística .....	116
5.2.1	Objetivo e Metodologia .....	116
5.2.2	Análises da variação do brilho entre as etapas 120# - 220# e 120# - 400#	
	117	
6	CONCLUSÃO.....	119
6.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	120
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	123



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. “Máquina Amsler”(SOSSAI, 2006).....	14
Figura 2. (A) Processo de perfuração do bloco (B) Detalhe do furo no bloco. Pedreiras da empresa Braminas, Vermelho Bragança e Azul Fantástico respectivamente (Bragança Paulista-SP).....	21
Figura 3. (A) Processo de serragem no tear (B) Chapas serradas. Braminas (Bragança Paulista-SP).....	22
Figura 4. (A) Reservatório de cal e (B) Misturador de lama (água, cal e granalha). Braminas (Bragança Paulista-SP).....	23
Figura 5. Modelo de politriz manual (CETEMAG, 2003).....	26
Figura 6. Politriz de ponte móvel de três cabeçotes (CETEMAG, 2003).....	27
Figura 7. Politriz Multicabeças. Braminas (Bragança Paulista).....	29
Figura 8 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de pin-on-disk (SILVEIRA, 2007).....	30
Figura 9. Politriz e conjunto de dispositivos acoplados para a montagem do SPR (SILVEIRA, 2007).....	30
Figura 10. Equipamento para ensaio de simulação de polimento em rocha (SILVEIRA, 2007). .....	31
Figura 11- Processo de Resinagem. (A) Aplicação da resina e (B) Estufa para secagem da resina. Braminas (Bragança Paulista).....	34
Figura 12. Plotagem de Rt x L (RIBEIRO, 2005).....	38
Figura 13. Esquema de desgaste a dois e a três corpos (ZUM-GAHR, 1987).....	39
Figura 14- Cabeçote da politriz com água. Braminas (Bragança Paulista).....	47

Figura 15. Extrator com coroa diamantada. ....	50
Figura 16. Placa polida do “Granito” Preto São Gabriel .....	51
Figura 17. Placa polida do “Granito” Azul Fantástico.....	54
Figura 18. Placa polida do “Granito” Amarelo Ornamental .....	57
Figura 19. SPR- Simulador de polimento de rocha. (A) Torre, (B) Pesos, (C) Alavanca e (D) Haste.....	61
Figura 20. (A) Prato giratório, (B) Película de geomembrana, .....	62
Figura 21. (A) Copo porta abrasivo e (B) Rebolo .....	63
Figura 22. (A) Parafuso <i>Halen</i> .....	63
Figura 23. Detalhe da adaptação do conta-giros na politriz .....	63
Figura 24. <i>Glossmeter</i> . (A) Placa de metal, (B) Abertura e (C) Área de leitura . ....	64
Figura 25. <i>Glossmeter</i> . Placa de metal encaixada no aparelho .....	64
Figura 26. ARC- Avaliador de rugosidade de chapas.(A) Sistema de braços, (B) Defletômetro e (C) Carro de leitura.....	65
Figura 27. (A) Ponta de leitura e (B) Contato direto do braço com o defletômetro. ....	66
Figura 28. Identificação da amostra.....	66
Figura 29 – Faixas de medida de rugosidade inicial.....	67
Figura 30 – Sequência de rebolos abrasivos.....	68
Figura 31- Materiais na estufa.....	69
Figura 32- Balança.....	69
Figura 33- Medição de brilho .....	70
Figura 34- Intervalos de medida de brilho .....	70

Figura 35- Amostra utilizada na medição de rugosidade superficial. Observar o sentido de leitura, seus pontos de início e fim e os trechos ensaiados A e B.....	72
Figura 36. Gráficos da rocha Preto São Gabriel correspondentes aos perfis de rugosidade inicial dos trechos A e B, antes de serem submetidos às combinações 1,2 e3 de polimento. ....	74
Figura 37 . Gráficos da rocha Azul Fantástico correspondentes aos perfis de rugosidade inicial dos lados A e B, antes de serem submetidos às combinações 1,2 e3 de polimento. ....	75
Figura 38. Gráficos da rocha Amarelo Ornamental correspondentes aos perfis de rugosidade inicial dos lados A e B, antes de serem submetidos às combinações 1,2 e3 de polimento. ....	77
Figura 39. Gráficos de perda de massa das 9 combinações. ....	84
Figura 40. Medidas de brilho X Grana abrasiva dos seis intervalos medidos. Preto São Gabriel. ....	93
Figura 41. Medidas de brilho X Grana abrasiva dos seis intervalos medidos. Azul Fantástico. ....	95
Figura 42. Medidas de brilho X Grana abrasiva dos seis intervalos medidos. Amarelo Ornamental. ....	97
Figura 43. Gráfico do “granito” Azul Fantástico na combinação 3 (2min, 1 bar e 600rpm), com enfoque no ponto 3 de leitura na etapa abrasiva de 600#. ....	98
Figura 44. “Granito” Azul Fantástico- Sequência de polimento da etapa 3 no terceiro ponto de leitura.....	100
Figura 45. Gráfico de perda de massa do “granito” Preto São Gabriel nas combinações de 1 a 9.....	104

Figura 46. Gráfico de perda de massa do “granito” Azul Fantástico nas combinações de 1 a 9. .....	105
Figura 47. Gráfico de perda de massa do “granito” Amarelo Ornamental nas combinações de 1 a 9. ....	105
Figura 48. Valores médios de brilho dos três tipos de rocha. Combinação 1(A), combinação 2(B) e combinação 3(C) .....	110
Figura 49. Valores médios de brilho do Preto São Gabriel nas 9 combinações.....	111
Figura 50. Valores médios de brilho do Azul Fantástico nas 9 combinações.....	111
Figura 51. Valores médios de brilho do Amarelo Ornamental nas 9 combinações .....	112
Figura 52- Perda de massa x Brilho. Preto São Gabriel.....	113
Figura 53 - Perda de massa x Brilho. Azul Fantástico.....	114
Figura 54 - Perda de massa x Brilho. Amarelo Ornamental. ....	116

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Combinações das amostras em função da carga, velocidade e tempo nas etapas abrasivas de 24# ao lustro.....	68
Tabela 2 – Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 1 ( 1bar, 200rpm e 2 min).....	78
Tabela 3 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 2 ( 1bar, 400rpm e 2 min).....	78
Tabela 4 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 3 ( 1bar, 600rpm e 2 min).....	79
Tabela 5 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 4 ( 1bar, 200rpm e 4 min).....	79
Tabela 6 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 5 ( 1bar, 400rpm e 4 min).....	80
Tabela 7 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 6 ( 1bar, 600rpm e 4 min).....	80
Tabela 8 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 7 ( 1bar, 200rpm e 6 min).....	81
Tabela 9 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 8 ( 1bar, 400rpm e 6 min).....	81
Tabela 10 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 9 ( 1bar, 600rpm e 6 min).....	82
Tabela 11- Valores de perda de massa total do PSG. ....	85
Tabela 12- Valores de perda de massa total do AF. ....	85
Tabela 13- Valores de perda de massa total do AO.....	86



<b>Tabela 14 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 1 .....</b>	<b>87</b>
<b>Tabela 15 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 2 .....</b>	<b>87</b>
<b>Tabela 16 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 3 .....</b>	<b>88</b>
<b>Tabela 17 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 4 .....</b>	<b>88</b>
<b>Tabela 18 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 5 .....</b>	<b>89</b>
<b>Tabela 19 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 6 .....</b>	<b>89</b>
<b>Tabela 20 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 7 .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabela 21 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 8 .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabela 22 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 8 .....</b>	<b>91</b>
<b>Tabela 23 – Número de voltas e distâncias percorridas pelo abrasivo sobre as amostras (comb.1). .....</b>	<b>101</b>
<b>Tabela 24 – Número de voltas e distâncias percorridas pelo abrasivo sobre as amostras (comb.2). .....</b>	<b>102</b>

Tabela 25 – Número de voltas e distâncias percorridas pelo abrasivo sobre as amostras (comb.3).....	102
Tabela 26 – Médias dos valores de brilho medidos nas 9 combinações do PSG.....	107
Tabela 27 – Médias dos valores de brilho medidos nas 9 combinações do AF.....	107
Tabela 28 – Médias dos valores de brilho medidos nas 9 combinações do AO. ....	107
Tabela 29 – Dados obtidos por análise estatística, referentes aos três tipos de rocha. ....	118



## RESUMO

CARVALHO, D. L. S. (2010). Determinação de parâmetros do polimento, em três tipos de rochas graníticas. São Carlos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 128p.

O polimento de rochas ornamentais na indústria brasileira é um processo empírico. Nesse processo, elementos como tempo, velocidade de rotação e carga aplicada na politriz são combinados de diversas maneiras para a obtenção do brilho. O presente trabalho, a partir de ensaios no Simulador de Polimento de Rochas (SPR), obteve informações mais precisas sobre quais combinações envolvendo essas variáveis são as mais eficientes para se atingir o brilho ideal em cada tipo de rocha. Para alcançar os resultados foram executadas e comparadas nove combinações para cada uma das rochas estudadas, considerando as influências das características composicionais, estruturais e texturais. Foram feitas modificações e adaptações nos aparelhos SPR e *Glossmeter*, uma vez que apresentavam a possibilidade de afetar a veracidade dos resultados. Os resultados e análises feitas mostram que é possível eliminar uma etapa abrasiva no processo de polimento. Cada tipo de rocha responde de maneira distinta em relação às combinações para obtenção do brilho ideal, levando à uma combinação específica para cada rocha. Os aprimoramentos do processo obtidos podem promover a redução custos para os fabricantes em relação a tempo, energia e abrasivos.

*Palavras-chave:* rochas graníticas, polimento, brilho.



## ABSTRACT

CARVALHO, D. L. S. (2010). Determinação de parâmetros do polimento, em três tipos de rochas graníticas. São Carlos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 128p.

The ornamental stones polishing in the industry is considered an empirical process. In this process, variables such as time, rotation speed and intensity of the load applied are combined in different operation conditions to obtain the desired brightness. Using the Polishing Rocks Simulator (SPR), this present research aims to obtain information about which combinations of these variables are the most efficient to achieve the desired brightness in each type of rock. To achieve these objectives nine combinations were compared over three types of rocks in order to analyze the influence of each rock characteristics such as composition, structure and texture. Some modifications and adjustments were made on the Glossmeter and the SPR because they could influence the results accuracy. The obtained results and analysis shows that a step can be eliminated in the abrasive polishing process. Each type of rock responds differently to the employed combinations to reach the desired brightness. These analyses conduct to a specific combination for each rock. The achieved process improvement can reduce the costs for the industry in respect of time, energy and abrasives.

*Keywords:* granitic rocks, polishing, brightness.



# 1 INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais inserem-se em um importante setor da economia mundial. Do ponto de vista comercial, os principais tipos de rochas ornamentais são os granitos e os mármore. Essa classificação que predomina no mercado é bastante genérica e nem sempre corresponde à classificação correta para rochas. Além desses tipos rochosos, tem-se os genericamente conhecidos no mercado como rochas naturais (por exemplo: ardósias, alguns arenitos, etc.), as quais não requerem acabamento superficial.

Nos dias atuais, as aplicações de rochas ornamentais são muitas e podem ser reunidas em quatro grupos: (i) arquitetura e construção; (ii) construção e revestimento de elementos urbanos; (iii) arte funerária; e (iv) arte e decoração. Essa diversidade de aplicações gera um conjunto imenso de produtos, dentre os quais se destacam os pisos e revestimentos, que segundo Montani (2004); consomem cerca de 70% da produção mundial de mármore e de granito.

O Brasil, devido à sua grande diversidade geológica, se destaca como um dos principais produtores mundiais de rochas ornamentais. Contudo, sua participação no mercado se faz, na maioria das vezes, como produtor de matéria prima. Esse fato ocorre em virtude da ausência de trabalhos científicos que abordem o processo de polimento e também pelo fato da rocha na indústria não ser tratada como elemento principal, onde características distintas entre cada tipo a ser polido.

No intuito de aperfeiçoar o processo de polimento, o Grupo de Pesquisa em Rochas Ornamentais do Departamento de Geotecnia da EESC-USP, desenvolveu o Simulador de Polimento de Rochas – SPR, que permite diversas combinações entre carga, velocidade e



tempo, e que por meio do atrito entre dois corpos, abrasivo e rocha, gera o polimento das amostras de granito.

Os granitos possuem um papel importante no mercado mundial e esse fato impulsiona a condução de estudos de diversos tipos sobre o processo de polimento dessas rochas. Para que se tenha sucesso nesta empreitada faz-se necessário o entendimento global desde o processo de extração, realizado para a obtenção de blocos, passando pelo desdobramento dos blocos, normalmente efetuado em teares multilâminas convencionais (chapa + granalha de ferro) ou em teares multilâminas diamantadas e finalmente o polimento efetuado em várias etapas com abrasivos de diferentes granulações.

## **1.1 Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo principal estabelecer as condições ideais de polimento para as rochas estudadas em função das suas diferenças petrográficas (estruturas, texturas e composição mineral) e seu comportamento em relação aos resultados de brilho e perda de massa.

A finalidade colimada é a de obter melhor qualidade no brilho final e otimizar o processo industrial, reduzindo conseqüentemente custos com abrasivos, energia e tempo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### ***2.1 Utilização de rochas para fins construtivos e ornamentais***

Desde os primórdios a rocha é empregada na construção de obras civis e monumentos (pontes, estradas, aquedutos, palácios, castelos, templos e túmulos) desde que exista a disponibilidade dessa matéria prima em condições mínimas de aproveitamento, fazendo assim parte da história das civilizações.

As rochas começaram a ser utilizadas com função ornamental por volta de 3.000 a.C. pelos mesopotâmios. Os egípcios as empregaram como elementos estruturais de grandes edificações e, posteriormente, os gregos por meio da escultura e da arquitetura.

Finalmente, os romanos solidificaram seu uso nas obras públicas mais aguerridas da Antiguidade. Por volta do ano 80 a.C., os romanos começaram a utilizá-las em revestimento de grandes construções de alvenaria, principalmente por motivos estéticos dando a estas obras um aspecto opulento e duradouro, com isso tornaram-se os pioneiros nesta modalidade.

As rochas ornamentais possuem diversas aplicações, podendo ser reunidas em quatro grupos: Arquitetura e Construção, Construção e Revestimento de elementos urbanos, Arte Funerária e Arte e Decoração. A partir dessa diversidade de aplicações é gerado um conjunto de produtos que pode ser sintetizado em: blocos, chapas, ladrilho e placas para revestimento de paredes, fachadas, escadas e pisos.

### **2.1.1 Rochas Ornamentais**

A rocha ornamental, segundo a norma ABNT NBR 15012:2003, é um “material rochoso natural submetido a diversos graus ou tipos de beneficiamento, utilizado para exercer função estética”.

A rocha de revestimento é definida pela ABNT, como: “rocha natural que, submetida a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil”.

Com a evolução tecnológica, o uso das rochas ficou cada vez mais focado em determinados empregos, servindo principalmente como revestimentos de interiores e exteriores de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras e em peças isoladas como tampos de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral.

As rochas devem ser submetidas, devido à esse avanço, aos mais diversos tipos de testes e simulações, de modo a ser possível definir limites de espessura, de tamanho, de dureza, para as mais adequadas aplicações.

Com o surgimento dos materiais artificiais, o setor das rochas ornamentais enfrentou grande concorrência no mercado. Mesmo sendo impossível garantir a homogeneidade total para todas as rochas ornamentais, como ocorre no caso dos produtos cerâmicos, isto não significa que estes materiais tenham menor qualidade (CAMPELLO, 2002).

O padrão cromático é o atributo mais importante das rochas ornamentais quando comercializadas. Em função dessa característica do material, as rochas podem ser classificadas como: comuns, clássicos ou excepcionais.

Os materiais ditos clássicos, como por exemplo, os granitos claros e mármore travertino, mantêm-se no mercado com certa regularidade, enquanto os excepcionais

(movimentados, azuis, vermelhos, multicores entre outros) apresentam-se em períodos de grandes vendas para depois recuarem, ocasionando o aquecimento ou arrefecimento do mercado.

De acordo com Frascá & Quitete (2000), os padrões estéticos da rocha estabelecidos pela cor, textura e estrutura advêm do modo de formação, composição mineral, padrões de orientação e deformação nela impressos por sua história geológica. No que se diz respeito à comercialização e uso das rochas, o visual é o fator principal, sendo imposto por modismos e não necessariamente pelas características tecnológicas dos materiais. Os “granitos” são os materiais rochosos mais utilizados por atenderem uma gama maior das exigências de mercado.

#### **2.1.1.1 “Granitos”**

Existem dois grandes grupos comerciais de rochas ornamentais, que são a dos “granitos” que englobam as rochas silicáticas e a dos “mármore” que são entendidos como qualquer rocha carbonática. Outros materiais como os quartzitos e ardósias, também utilizados com fins ornamentais, mantêm suas designações corretas (FRASCÁ, 2003).

O tamanho, forma e distribuição dos minerais constituintes, juntamente com a estrutura e a textura das rochas graníticas, permitem classificá-las comercialmente por granitos homogêneos e movimentados.

Os granitos homogêneos são aqueles com estrutura isotrópica, com vasto emprego em diversos tipos de uso e possuem preços mais baixos que os movimentados, salvo quando constituem materiais excepcionais ou consagrados pelo mercado.

Os granitos movimentados correspondem a tipos rochosos que sofreram deformação ainda no estado plástico, fazendo com que seus constituintes minerais sejam distribuídos em porções diferenciadas, tais como bandas e/ou direções preferenciais. Essas rochas apresentam desenhos com geometria peculiares impressos em suas chapas, difíceis de serem copiados em materiais artificiais (MESQUITA, 2002).

Dentro do grupo comercial dos “granitos” existem inúmeros tipos de rocha, entre eles estão os Sienitos, Gnaisses e Granitos, que serão especificados respectivamente a seguir. Os Sienitos são rochas ígneas intermediárias, formadas por feldspatos potássicos como minerais essenciais e o quartzo que geralmente não atinge mais que 5%. Possuem características estéticas favoráveis, semelhantes às dos granitos, salvo quanto à alterabilidade. Os Gnaisses são as rochas metamórficas, de estrutura bandada ou orientada. Sua composição é dependente da formação da rocha original. Apresentam durabilidade similar à dos granitos, exceto quando exibem a presença de espessas biotitas que facilitam a alteração. A resistência mecânica dos gnaisses varia segundo a direção da aplicação dos esforços em relação à sua estrutura. Os Granitos são rochas ígneas ácidas, formadas por cristais de feldspatos potássicos, plagioclásio, mica e quartzo como minerais essenciais. É muito grande a variedade de granitos, que são diferenciados pela textura e coloração. Possuem grau de alteração pequeno e resistência mecânica relativamente alta (FRAZÃO, 2002).

### **2.1.1.2 Elementos duráveis e decorativos**

As rochas como elemento durável e decorativo em revestimento horizontais e verticais, têm as seguintes funções:

- Manter aspectos estéticos ao longo do tempo;
- Proteger a estrutura do intemperismo;
- Promover o isolamento térmico na edificação;
- Facilitar a limpeza;
- Manter higidez no ambiente.

### **2.1.1.3 Solicitações devido ao uso**

As rochas quando submetidas ao uso, podem sofrer as seguintes solicitações:

- Atrito e desgaste;
- Ataque por produtos de limpeza;
- Impacto físico;
- Ação das intempéries;
- Líquidos agressivos;
- Ar e gases poluentes.

Os tipos mais comuns de deteriorações nas rochas são: alteração de cor/manchas (problema de assentamento); desgaste por abrasão (impacto de partículas carregadas pelo vento ou tráfego intenso de pessoas); desagregação (perda de coesão pelo destacamento de cristais por solicitação mecânica); escarificação (processo de quebra e fraturamento de alguns minerais da rocha); eflorescência (formação superficial de substâncias geralmente esbranquiçadas e de aspecto cristalino, geralmente provenientes da argamassa);

esfoliação/escamação (destacamento de lâminas múltiplas da rocha); e por fim trincas e quebras (decorrentes da maneira como foi assentada).

#### **2.1.1.4 Desempenho**

Os materiais rochosos à semelhança de outros materiais de construção não são eternos, entretanto devem permanecer por um período economicamente razoável. Envelhecem com o passar do tempo e se degradam em maior ou menor proporção, dependendo da sua composição mineralógica e dos ambientes onde foram aplicados.

A caracterização tecnológica deve ser feita para conhecer as propriedades da rocha, pois estas devem possuir algumas qualidades para suportar as solicitações previstas e atender às exigências dos usuários, sendo elas: alta resistência ao risco (pisos de elevado tráfego); alta resistência mecânica (pisos suspensos necessitam de alta resistência); alta resistência ao intemperismo e agentes agressivos (principalmente em regiões litorâneas ou muito poluídas); alta resistência ao desgaste e impacto (requisito observado principalmente para pisos); alta resistência física; alta resistência à flexão (principalmente em revestimentos fixados por ancoragem metálica); baixa absorção de líquidos (para que não ocorra deterioração e manchamentos); baixa dilatação térmica (para garantir estabilidade do revestimento); e aspecto estético agradável.

Os métodos de ensaio específicos para o estudo da previsão de desempenho das rochas ornamentais são os de alterabilidade (intemperismo artificial, exposição às atmosferas salinas em câmaras climáticas, saturação e secagem, variações térmicas e exposição em atmosferas

ricas em dióxido de enxofre em câmaras climáticas) e os físicos mecânicos que serão descritos no capítulo 2.2.

## ***2.2 Caracterização tecnológica de rochas ornamentais***

O uso de materiais pétreos sem o conhecimento real de suas qualidades e limitações é cada vez menor devido à exigência de especificações do mercado (SILVEIRA, 2007).

As rochas ornamentais, quando em uso, são submetidas às mais variadas solicitações, tais como atrito ou desgaste, impacto, ação das intempéries, ataques químicos por produtos de limpeza, etc. Ao selecionar qualquer material rochoso para uso na construção civil, se faz necessário uma caracterização tecnológica, que compreende a aplicação de diversas técnicas, a maioria normatizada, destinadas ao conhecimento das propriedades desses materiais.

Os predicados de uma rocha são influenciados pela composição mineralógica, textura, arranjo dos minerais, número de vazios e grau de alteração. Visto que estes materiais são de natureza diversificada, há a necessidade de conhecer suas propriedades que serão diferentes entre si. Desse modo ensaios e análises são executados de maneira a possibilitar e conhecer as propriedades físicas, físico-mecânicas e petrográficas. Grandes alterações nas propriedades mecânicas, por exemplo, podem ser atribuídas a variações das características petrográficas das rochas, fazendo-se necessário o conhecimento de suas propriedades.

Conforme Frazão & Paraguassú (1998), a execução dos ensaios deve ser antecedida de amostragem criteriosa dos materiais para se garantir uma confiabilidade dos resultados, pois esses dependem da representatividade da amostra. A amostragem, portanto, deve ter volumes e massas suficientes para atender às pesquisas a serem realizadas.



Os principais ensaios executados para a caracterização de rochas ornamentais são: análise petrográfica, índices físicos que englobam a porosidade, massa específica e absorção d'água, desgaste Amsler, compressão uniaxial, abrasão profunda, coeficiente de atrito dinâmico e microdureza Knoop. Alguns desses ensaios serão pormenorizados a seguir:

### **2.2.1 Análise petrográfica, NBR 12.768 (ABNT, 1992)**

Conforme Frazão (2002), a análise petrográfica proporciona a identificação litológica e informações sobre a composição mineralógica (minerais essenciais, acessórios e secundários e suas quantidades); granulação, texturas (forma e arranjo dos minerais); estruturas das rochas (arranjo macroscópico); estado de alteração dos minerais (sãos ou alterados e tipo de alteração); e grau e tipo de microfissuração (fissuras abertas ou preenchidas, intercristalina ou intracristalina). Trata-se do único método de investigação laboratorial que possibilita a visualização e avaliação detalhada dos constituintes da rocha.

Algumas estruturas, como a microfissuração, podem ser relevantes no comportamento mecânico dos materiais rochosos, influenciando significativamente em suas propriedades.

Essa análise é realizada também com o intuito de observar a presença de minerais chamados nocivos ou deletérios, pois esses minerais em interação com fatores climáticos ou com substâncias ocorrentes no meio, onde a rocha será aplicada, podem prejudicar o desempenho do material.

A análise petrográfica pode ser realizada por métodos diretos através de observações a olho nu (observações macroscópicas) ou por lâminas petrográficas realizadas por microscopia óptica em seções delgadas da rocha com espessuras da ordem de 3  $\mu\text{m}$ .

Estes métodos diretos podem ser completados por vias indiretas como análise térmica diferencial e química e também pela análise difratométrica de raios X. Essas análises são necessárias quando na composição da rocha existir minerais que não sejam identificados por meio óptico. Para complementar estas análises podem ser feitos também testes de coloração mineral seletiva.

Ribeiro (2005) cita as seguintes características petrográficas e mineralógicas dos materiais rochosos como de interesse para o uso na construção civil:

- Estado de alteração, que influencia na durabilidade e nas propriedades físicas e mecânicas do material;
- Presença de minerais deletérios ou nocivos, que podem provocar reações com substâncias presentes no cimento Portland (quando a rocha é usada como agregado para concreto e apresentar alterações por reações com substâncias presentes na atmosfera e de uso doméstico, ou quando a rocha é usada como revestimento);
- Composição mineralógica quando minerais com propriedades físico-químicas que interagem com as propriedades dos ligantes betuminosos (quando a rocha é usada como agregado em pavimentação).

### **2.2.2 Índices físicos, NBR 12.766 (ABNT, 1992)**

São denominados índices físicos da rocha as propriedades de massa específica seca ou saturada, porosidade aparente e absorção de água. Para a determinação dos valores dessas propriedades são utilizados fragmentos de rocha com 5 a 7 cm de diâmetro, que são pesados

ao ar, após a secagem em estufa, depois de saturado em água e na condição submersa, posteriormente à saturação, segundo diretrizes da norma NBR 12.766 (ABNT, 1992).

### **2.2.2.1 Massa específica e porosidade**

Como não existe rocha com compacidade absoluta, pode -se afirmar que em todos os materiais rochosos há ocorrência de vazios. Sendo assim, o volume da rocha é formado pelo conjunto dos minerais constituintes e os vazios entre eles.

A quantidade de vazios de uma rocha é inversamente proporcional à sua compacidade, refletindo em sua massa específica e por consequência em sua porosidade.

Por esta razão, são encontradas diversas definições para massa específica e para porosidade. Com isso, na prática a massa específica aparente é a mais aplicável em rochas, sendo representada pela relação entre a massa das partículas sólidas e o volume da rocha.

A massa específica aparente é influenciada pela umidade. Por este motivo, adota-se a determinação dessa massa no seu estado seco e saturado. Quando a determinação da massa for em seu estado natural, o teor de umidade deve ser conhecido.

Quanto à porosidade, a mais aplicada também é a aparente, que correlaciona o volume de vazios e o volume da rocha. Alta porosidade significa, geralmente, alto índice de absorção d'água, tornando os minerais da rocha mais suscetíveis ao ataque pelas águas e outros agentes químicos (FRAZÃO, 2002).

### **2.2.2.2 Absorção**

O coeficiente de absorção d'água é o elemento de avaliação preliminar da compactação, resistência e durabilidade da rocha, sendo um fator crucial na escolha do material para usos que envolvam prolongados contatos com água.

Frazão (2002) relata que a absorção é a quantidade de água, ou qualquer líquido, hábil a preencher os poros da rocha e representa a capacidade da rocha em absorver e reter líquido em seus poros.

Para obtenção dessa propriedade deve-se fazer a diferença entre o peso da rocha saturada, correspondendo ao grau máximo de saturação que a rocha pode alcançar, e o peso da rocha seca. Recomenda-se que ensaios mecânicos de rochas com alta absorção d'água sejam realizados também no estado saturado, por ocorrer um aumento da massa específica, da condutividade térmica e uma queda da resistência mecânica, devido ao enfraquecimento das ligações intergranulares.

A absorção sempre terá valores inferiores aos da porosidade, tanto absoluta quanto aparente, devido à existência de vazios não acessíveis à penetração de água ou líquidos.

### **2.2.3 Resistência ao desgaste abrasivo (AMSLER) NBR 12.042 (ABNT, 1992)**

O teste Amsler mede a resistência dos materiais frente à solicitação abrasiva, de acordo com a norma NBR 12.042 (ABNT, 1992). Esse é efetuado com dois corpos de prova friccionados em areia quartzosa granulometricamente selecionada. A medida de desgaste,

expressa em milímetros, é aferida após 500 e 1.000 giros da roda de fixação dos corpos de prova no equipamento de ensaio (Figura 1).



**Figura 1. “Máquina Amsler”(SOSSAI, 2006)**

A resistência ao desgaste é normalmente proporcional à dureza dos minerais constituintes da rocha. Rochas silicatadas (graníticas) são mais resistentes que as carbonatadas (mármore e travertinos). Algumas rochas são menos abrasíveis do que as outras devido aos minerais que a constituem e ao seu grau de compactação, refletindo em uma menor resistência ao risco ou penetração de um corpo estranho na sua superfície (FRAZÃO, 2002).

A textura das rochas constitui um elemento também muito significativo, pois o seu desgaste pode ocorrer tanto por abrasão, quanto por arranque (escarificação) dos constituintes mineralógicos.

#### **2.2.4 Abrasão profunda, NBR 13818 (ABNT, 1997)**

O ensaio de abrasão profunda mede o comprimento da ranhura gerada por um disco de aço em uma superfície plana de um corpo de prova. Este ensaio foi desenvolvido para ladrilhos cerâmicos e depois adaptado para rochas ornamentais.

Seguindo as diretrizes da norma, para a sua determinação, são utilizados 3 corpos-de-prova de 10x10x2cm de cada granito. Cada corpo-de-prova é colocado no abrasímetro de modo a tangenciar o disco rotativo. O reservatório do equipamento é preenchido com alumina e ajustado para permitir um fluxo contínuo durante a rotação do disco.

São medidos os comprimentos das cavidades em cada corpo de prova após o ensaio e é estabelecido que o material deva apresentar um volume máximo de material removido por abrasão profunda menor ou igual a 175mm<sup>3</sup>.

Pelo comprimento da cavidade é calculada a resistência à abrasão profunda, que é expressa em volume de material (mm<sup>3</sup>).

#### **2.2.5 Microdureza Knoop**

A Microdureza Knoop é um teste que determina a dureza, por meio de uma impressão feita por um diamante, na superfície da amostra. A área produzida pela ponta dividida pela carga utilizada na superfície avaliada resulta no valor de dureza. Assim, quanto maior a impressão produzida, menor a dureza. A ponta Knoop produz uma impressão em forma de losango, sendo que a área é calculada a partir da diagonal maior. Se a superfície na área da impressão ficar danificada a ponto de impedir a identificação das extremidades da diagonal, uma nova impressão é feita, de preferência no mesmo grão mineral (QUITETE, 2002).

### **2.2.6 Coeficiente de atrito dinâmico, NBR 13818 (ABNT, 1997)**

A relação entre as forças tangencial e vertical que atuam sobre a superfície ensaiada é definida como sendo coeficiente de atrito dinâmico.

Para a sua avaliação, é utilizado um equipamento denominado “Scivolosímetro” que dispõe de um deslizador motorizado tipo “Tortus” que se movimenta com velocidade constante sobre as superfícies polida e seca, caminhamento perpendicular ao bandamento gnáissico e bruta e molhada.

Para avaliar esse coeficiente, é utilizado um equipamento denominado “Scivolosímetro”, que por meio de um deslizador motorizado do tipo “Tortus” se movimenta com velocidade constante.

As medições são executadas tanto em superfícies secas quanto em molhadas. Existe diferença de medição para materiais heterogêneos e homogêneos, sendo elas:

- Duas medidas uma paralela e outra perpendicular na face polida (heterogêneos);
- Direção perpendicular às estrias de serragem (homogêneos).

### **2.2.7 Resistência à compressão uniaxial, NBR 12767 (ABNT, 1992f)**

O ensaio de compressão uniaxial é exigível para todas as utilizações possíveis de uma rocha ornamental (revestimentos verticais, pisos, degraus e tampos).

O ensaio é realizado em seis corpos de prova com formato cúbico no estado seco, segundo a norma em uma prensa hidráulica servo-controlada com capacidade de 200t, sendo os resultados expressos em kgf/cm<sup>2</sup> ou MPa.

Rochas anisótropas e principalmente as movimentadas, com estruturas definidas por minerais placóides (micas), tendem a apresentar valores distintos da tensão de ruptura, de acordo com o posicionamento do eixo do corpo de prova em relação a essas estruturas. Rochas isotrópicas, de granulação fina a média, são por sua vez normalmente mais resistentes à ruptura por compressão uniaxial.

### ***2.3 Panorama do setor de rochas ornamentais***

O mercado de rochas ornamentais envolve transações com materiais brutos, acabados ou semi-acabados. Os produtos acabados ou semi-acabados agregam maior valor, portanto os produtos brutos não devem constituir uma base permanente de negócios para o mercado externo. Devido a esta agregação, a margem de lucro pode sobrepujar cinco vezes a obtida com a matéria prima, tornando-se atrativa ao produtor.

O setor de rochas ornamentais tem evoluído a cada ano e se tornado cada vez mais preponderante na economia de diversos países, com um crescimento médio na produção mundial ao longo dos anos 90 de 6% ao ano e que, no Brasil, foi um dos poucos setores da economia que apresentou crescimento nas taxas anuais de produção (MONTANI, 2004).

A produção de rochas ornamentais e de revestimento evoluiu de 1,8 milhões de toneladas na década de 20, para um patamar em 2007 de 92,8 milhões de toneladas/ano (CHIODI, 2008a). Já no primeiro semestre de 2008, as exportações brasileiras de rochas ornamentais tiveram um declínio devido à crise do mercado imobiliário dos EUA e fecharam o ano com uma variação negativa de 13,17% em relação ao faturamento e 20,98% de acordo com o volume físico (CHIODI, 2009).



Esta queda nas vendas também foi agravada pela desinformação do consumidor americano sobre notícias inverídicas que relatam a exalação de radônio em granitos brasileiros. Desprovidas de rigor técnico e com intenção alarmista, estas notícias causaram preocupação entre os consumidores, gerando inúmeros pedidos de informação e esclarecimentos para os fornecedores. O mercado brasileiro se mobilizou pelo fato de ser o maior exportador para o mercado norte-americano, tanto em valor quanto em volume físico (CHIODI, 2008b).

No período de janeiro a novembro de 2009 se comparado com o mesmo período em 2008, houve um decréscimo de 26,56% no faturamento e de 17,60% no volume físico totalizando 1.537.745,13 t de materiais brutos e processados correspondentes a US\$ 654,07 milhões. A participação de rochas processadas neste período foi de 79,79% e 50,82%, compondo respectivamente US\$ 521,87 milhões e 781.412,67 t (CHIODI, 2009b).

As exportações brasileiras, devido à crise financeira mundial, atualmente buscam por outros compradores como: a Ásia, o Oriente Médio entre outros. Para se obter uma conquista de novos mercados se faz necessário atender a várias exigências, dentre elas a melhora da infra-estrutura e o custo de produção a fim de se atingir produtos de qualidade com preços competitivos. O Brasil possui uma vantagem em relação a outros países exportadores que é a diversidade de materiais e jazidas com grande capacidade de volume a ser extraído (COSTA, 2009).

O mercado interno foi o que menos sentiu os efeitos da crise, sendo aquecido por consequência do segmento da construção civil. As empresas, para conseguir atender a demanda interna, estão investindo na formação de profissionais qualificados e principalmente na aquisição de máquinas e equipamentos, especialmente de acabamentos.

As empresas que atuam tanto interna quanto externamente foram menos penalizadas, já as que tentaram retornar para o mercado interno encontraram algumas dificuldades. Os preços praticados e o tipo de material comercializado para exportação são diferentes. Materiais do tipo exóticos estão sendo inseridos no mercado interno aos poucos, pois os convencionais sempre mantiveram a atratividade no mercado (CASTRO, 2009).

#### ***2.4 Etapas do ciclo produtivo***

As explorações das jazidas ornamentais são realizadas por meio da combinação das diversas técnicas disponíveis visando à otimização do ciclo produtivo e assim gerar resultados mais econômicos para o produtor. Os aspectos geológicos e estruturais da jazida, geralmente apresentam variações que são decisivas para a escolha da tecnologia a ser empregada na lavra (REGADAS, 2006).

O ciclo produtivo das rochas ornamentais envolve diversas etapas. A primeira diz respeito à extração á céu aberto (lavra). A segunda é o desdobramento dos blocos, onde estes são cortados em forma de chapas com diversas espessuras. A última etapa do ciclo é a transformação das placas em um produto final através da realização do polimento, lustro, corte e acabamentos finais utilizando equipamentos denominados de politrizes.

### **2.4.1 Lavra (extração)**

Os processos da lavra devem ser definidos de acordo com a sequência temporal e espacial de operações e ciclos de trabalho que proporcionem o melhor aproveitamento de uma jazida. Em função do volume da reserva, do seu estado de fraturamento, localização da área, morfologia dos afloramentos e características do material, é feita a escolha do método de lavra a ser executado. A extração de blocos se caracteriza pela retirada de um produto útil e economicamente favorável de dimensão variada.

A lavra para rochas ornamentais pode ser feita em: matacões e maciços rochosos. Os matacões consistem em porções específicas de um maciço rochoso, individualizados a partir da ação do intemperismo nas fraturas. São blocos geralmente com forma arredondada causada pelo fenômeno de “acebolamento”, estando muitas vezes deslocados da sua posição original devido ao rolamento que pode vir a ocorrer. Cabe salientar que na maioria dos casos estes não são aflorantes, sendo detectados somente após a remoção de solo, dificultando, portanto, a previsão do volume a ser extraído.

A lavra em maciços rochosos possui componentes funcionais de operação que abrangem degraus, praça principal, praças secundárias, pistas, rampas e frentes. Os degraus são definidos pela altura e topo de bancada, onde sofrerá o desmonte. Na praça principal, normalmente localizada na base da pedreira, se realiza o esquadrejamento final dos blocos e as operações necessárias ao seu transporte. As praças secundárias estão designadas às intervenções funcionais de apoio ao desmonte. As vias de acesso de ligação entre praças são as pistas e rampas, sendo trafegadas por veículos respectivamente de rodas pneumáticas e de esteiras. A frente de exploração é aquela que vai ser desbastada num determinado momento, enquanto a frente geral é determinada como o limite da lavra.

Faz-se necessário destacar, que a configuração da lavra de maciços rochosos é basicamente determinada pela inclinação do terreno.

Para o desmonte das rochas existem as técnicas cíclicas e as de corte contínuo. Nas cíclicas os cortes para isolar o volume de rocha são obtidos basicamente através das perfurações, podendo ser contínuas, onde são executados furos justapostos de modo a se obter um plano de ruptura, ou com explosivos que são baseadas na colocação destes em furos um próximo ao outro (Figura 2). A carga aplicada é suficiente para romper somente o espaço entre eles definindo o plano de corte desejado. Nas técnicas de corte contínuo o uso da perfuração e explosivos não são predominantes. Pode ser executado por fio helicoidal, *Jet-flame*, cortador a corrente, cortador a corrente diamantada, fio diamantado e jato de água. Após a extração, ocorre o desdobramento do material bruto em chapas cujo processo é denominado beneficiamento primário.



(A)

(B)

**Figura 2. (A) Processo de perfuração do bloco (B) Detalhe do furo no bloco. Pedreiras da empresa Braminas, Vermelho Bragança e Azul Fantástico respectivamente (Bragança Paulista-SP).**

## 2.4.2 Desdobramento de blocos

Convencionalmente as chapas são serradas com 1cm, 2cm e 3cm de espessura, podendo atingir 6cm em função do uso específico do material. O processo de serragem é realizado em teares, através de um quadro com lâminas de aço paralelas, em movimentos pendulares, retilíneos ou curvo-retilíneos-curvo cortando os blocos (Figura 3) ou nos talha-blocos, que serram as rochas utilizando discos diamantados, com diâmetros variados e capacidade para corte de até 1,20m, sendo mais indicados para blocos menores (inviáveis em teares), para a produção de chapas e tiras com 1 cm de espessura ou peças com mais de 3 cm de espessura.



(A)



(B)

**Figura 3. (A) Processo de serragem no tear (B) Chapas serradas. Braminas (Bragança Paulista-SP)**

A serragem de blocos em teares é a mais tradicional e vastamente difundida, principalmente por combinar produtividade elevada e maior maleabilidade no

esquadrejamento (RIBEIRO, 2005). A serragem nos teares é auxiliada por uma lama de água, cal e granalha, derramada sobre o bloco para realizar o corte e resfriar as lâminas (Figura 4). Os teares mais modernos possuem equipamentos de controle da lama abrasiva, que garante sua viscosidade sem exceder as porcentagens devidas e de alimentação que deve ser constante.



(A)

(B)

**Figura 4. (A) Reservatório de cal e (B) Misturador de lama (água, cal e granalha). Braminas (Bragança Paulista-SP)**

Não devem ser colocados na mesma serrada, blocos com alturas diferentes e materiais de durezas distintas, pois podem provocar desgastes diferenciais das lâminas, vibração do equipamento, má planicidade das chapas e até fragmentação do material.

Os teares mais modernos possuem capacidade de obtenção de até 200 chapas por vez e estão substituindo os com capacidade média de 60 chapas, gerando assim uma redução de energia, tempo e consequentemente custos para o desdobramento dos blocos.

Novos teares estão sendo inseridos no mercado utilizando fio diamantado. Em relação ao sistema de corte tradicional, o custo é bem menor, podendo chegar a custar cerca de quatro vezes menos, pois necessita de obras menores de fundação para o apoio da sua base, gastando sete dias em média para colocar o tear em funcionamento. Na maioria dos casos o corte é tão preciso que dispensa a necessidade de levigamento nas chapas, proporcionando 30% de economia no polimento das chapas.

O sistema é totalmente automatizado, com acompanhamento computadorizado, que por sua vez aumenta a capacidade de produção e não gera a lama residual advinda dos materiais (granalha, cal e água), pois são utilizados apenas o fio e água para o corte. Devido a não utilização de lama obtém-se um grande ganho ambiental (COSTA,2009).

A etapa seguinte à serragem é o beneficiamento final onde é dado o acabamento nas chapas. A qualidade do beneficiamento final no caso do polimento está diretamente ligada ao acabamento da serragem, pois quanto melhor a qualidade da serrada, menos rugosa será a superfície da placa e conseqüentemente mais fácil será o processo.

### **2.4.3 Acabamentos**

O termo beneficiamento secundário pode ser entendido como todas as tecnologias aplicadas nos processos que conferem as características dimensionais de conformação e especificação do produto final.

Essas tecnologias de beneficiamento são: apicoamento, flamejamento e polimento (levigamento, polimento e lustro) com posterior esquadrejamento no caso de chapas.

O apicoamento é na maioria das vezes manual, com picão, mas pode ser feito mecanicamente. Esse acabamento é utilizado para obter superfícies antiderrapantes. No flamejamento, após o levigamento a placa é exposta ao fogo através de um maçarico acompanhado por um jato d'água para resfriamento e confere um aspecto rugoso à superfície, para que exerçam também a função de antiderrapantes (FRAZÃO, 2002).

De acordo com Frazão (2002), o levigamento ou desbaste representa o desgrossamento ou retificação das chapas, com criação de superfícies planares e paralelas, porém ainda ásperas. O polimento retira a aspereza e proporciona o “fechamento” dos grãos minerais, criando uma superfície lisa, mas não brilhante. O lustro é executado com a intenção de obter o brilho, através do espelhamento das faces dos cristais constituintes da rocha, na superfície lisa. Todas estas operações são efetuadas em politrizes.

Em todo o processo de beneficiamento de rocha ornamental, existem lacunas no conhecimento, gerando custos que contribuem para uma inviabilidade da indústria brasileira em competir com o seu produto acabado ou semi-acabado, no mercado internacional. O polimento está entre os vários processos empíricos no setor, sendo um dos mais importantes para o resultado final do produto (SILVEIRA, 2007). Uma abordagem mais aprofundada sobre este tema será apresentada no capítulo a seguir.

## ***2.5 Polimento de rochas ornamentais***

O Processo de polimento se caracteriza na redução da rugosidade das superfícies das placas rochosas por meio da retirada de material. Os responsáveis por essa retirada são os abrasivos que a partir do atrito gerado pela ação destes, em movimento sobre a placa, ocorre a



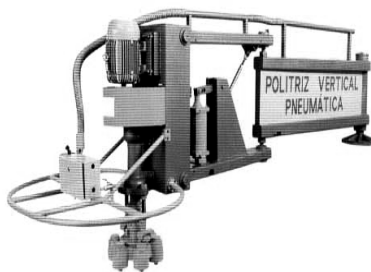
transformação da superfície rugosa e opaca, em plana com uma determinada intensidade de brilho. Por meio desse desgaste são ressaltadas a coloração, a textura e a aparência do material.

Esse procedimento é alcançado utilizando as politrizes, máquinas de polir que imprimem à superfície o brilho e o “fechamento” dos contatos dos grãos minerais. É importante frisar as variantes operacionais, pois elas podem influenciar no processo final. Como por exemplo, a água cujas funções são: diminuir a temperatura de atrito entre o rebolo abrasivo e a rocha e retirar os fragmentos de rocha e de abrasivos através de centrifugação.

Existem no mercado politrizes manuais de bancada fixa, de ponte móvel com bancada fixa e multicabeças com esteiras transportadoras.

### **2.5.1 Politrizes manuais de bancada Fixa**

As politrizes manuais de bancada fixa são usadas em pequenas marmorarias onde a produção varia entre 1 e 2 m<sup>2</sup> por hora. As suas utilizações são bem limitadas, devido à produtividade e qualidade. A politriz manual (Figura 5) é constituída de uma coluna de sustentação com um braço, que possui em sua extremidade um conjunto de cabeçotes, onde são prendidos os rebolos abrasivos. As chapas de rocha são colocadas horizontalmente sobre bancadas fixas, construídas ao lado da coluna de sustentação (SILVEIRA, 2007).



**Figura 5. Modelo de politriz manual (CETEMAG, 2003)**

Como este equipamento depende diretamente da ação do operador, a pressão do cabeçote e a trajetória de movimento na superfície a ser polida não são uniformes gerando variações de qualidade ao longo da mesma chapa. Em função destas limitações não se consegue obter um nível elevado de produção e produtos de alta qualidade.

### 2.5.2 Politrizes de ponte móvel com bancada fixa

As politrizes de ponte móvel com bancada fixa (Figura 6) são usadas somente em pequena escala de produção, pois são máquinas antigas. Estas máquinas são constituídas por um conjunto moto redutor, que aciona um cabeçote de polimento, sustentado por uma ponte que se desloca sobre trilhos obtendo-se, assim, uma variedade de movimentos simultâneos sobre a superfície a ser polida (SILVEIRA, 2007). Mesmo não sendo tão avançada tecnologicamente, em relação às manuais, superam o nível de produção e de qualidade do produto final. Entretanto ainda deixam a desejar no que se diz respeito à necessidade constante de troca de abrasivos, dependência da sensibilidade do operador da máquina para determinar esta troca e tempo de parada entre cargas.



**Figura 6. Politriz de ponte móvel de três cabeçotes (CETEMAG, 2003).**

### **2.5.3 Politrizes multicabeças com esteiras transportadoras**

As politrizes multicabeças com esteiras transportadoras (Figura 7) são empregadas tanto para o polimento de mármore como de granitos, podendo ser encontrados equipamentos com 8 a 20 cabeças.

Segundo informações obtidas da empresa Braminas de Bragança Paulista, as facilidades operacionais, devido ao alto nível de automação, aparecem com a programação das velocidades de esteira e alarme indicativo de término do abrasivo. A produtividade desses equipamentos varia de acordo com a dureza do material; para os granitos que apresentam dureza média a produção pode chegar até 40m<sup>2</sup> por hora. Nesta empresa é utilizado o mesmo tipo de abrasivo, carga de cada cabeça constante (1,5Kg), em materiais diferentes e o fator variante operacional é a velocidade de rotação que vai de 18 a 25 cm/min, dependendo da dureza do material e qualidade da serrada. Cabe salientar que estes parâmetros diferem de uma empresa para outra de acordo com suas necessidades.

Esses equipamentos atingem um polimento de alta qualidade, com um lustro bastante uniforme.

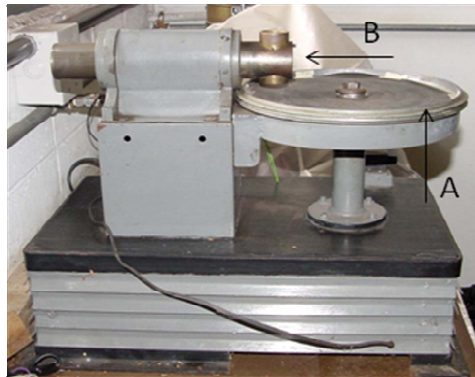


**Figura 7. Politriz Multicabeças. Braminas (Bragança Paulista)**

#### **2.5.4 Simulador de polimento de rocha (SPR)**

No intuito de aprimorar o processo de polimento, o Grupo de Pesquisa em Rochas Ornamentais do Departamento de Geotecnia da EESC-USP desenvolveu o Simulador – SPR (Simulador de Polimento de Rocha).

Esse simulador se baseia nos fundamentos do ensaio “*pin-on-disk*”, utilizado na medição do desgaste de ligas metálicas. Possui um disco giratório abrasivo (Figura 8)(A) e uma amostra em forma de pino que é pressionada contra o disco(B). Diferentemente ao ensaio “*pin-on-disk*”, o SPR possui um prato giratório para a amostra e um abrasivo em forma de pino que é fixado por uma haste. Essa inversão de papéis ocorre devido ao fato de não conseguir dados representativos em função do tamanho da amostra de rocha, acarretando na incompreensão de fatores importantes (SILVEIRA, 2005).

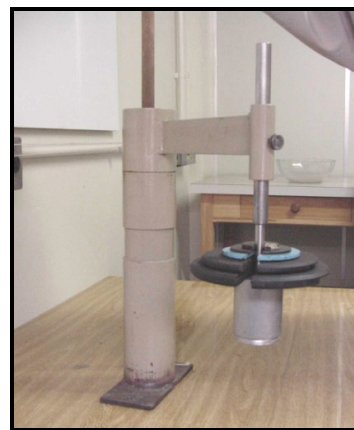


**Figura 8 - Equipamento utilizado para a realização do ensaio de pin-on-disk (SILVEIRA, 2007).**

Para montagem do SPR, foi utilizada uma politriz de preparação de lâmina delgada para rochas (Figura 9 A) e um conjunto de dispositivos acoplados com haste, peso e braço (Figura 9 B). Nas Figura 10A e B são mostrados respectivamente o equipamento montado e detalhes deste sendo utilizado (SILVEIRA, 2007).



**(A)**



**(B)**

**Figura 9. Politriz e conjunto de dispositivos acoplados para a montagem do SPR (SILVEIRA, 2007).**



(A)



(B)

**Figura 10. Equipamento para ensaio de simulação de polimento em rocha (SILVEIRA, 2007).**

A finalidade deste simulador é constatar as condições em relação à carga, tempo e velocidade mais aconselhadas para se obter a melhor qualidade no polimento de um determinado tipo litológico. Deve-se ressaltar que sua flexibilidade em determinar as velocidades e cargas aplicadas, auxilia no processo de polimento industrial, eliminando assim algumas de suas etapas, conseqüentemente diminuindo gastos com abrasivos, energia elétrica, tempo de produção e outras variáveis.

Para se utilizar o SPR é necessário pré estabelecer as velocidades (*rpm*), cargas (*bar*) e tempos (*min*) a serem aplicados. As simulações devem ser realizadas usando todas as possíveis combinações entre as variáveis, tendo como finalidade obter uma análise mais detalhada dos dados alcançados, visando à otimização do processo de polimento industrial em cada tipo de rocha estudada (SILVEIRA, 2005).

## **2.6 Fatores influentes no processo de polimento de rochas ornamentais**

As características de cada material refletem de maneiras diferentes no processo de polimento de rochas, sendo fundamentais no desenvolvimento do processo. A seguir são apresentados os diversos fatores influentes neste processo.

### **2.6.1 Acabamento da serrada**

A serrada é a etapa do beneficiamento primário que confere à placa uma determinada rugosidade, que depende da qualidade de corte sofrido pelo bloco. Quanto menos rugosa a placa, maior sua qualidade, conseqüentemente menor o gasto com abrasivos no processo de polimento.

A eficiência da serragem está intimamente ligada à composição e concentração da mistura abrasiva, sendo necessário ter cuidado para que no decorrer do corte não ocorram variações em sua concentração (COIMBRA FILHO, 2006). Ao analisar o acabamento da serrada deve-se:

- Correr por toda a extensão da chapa, nas direções horizontal, vertical e diagonal, uma régua de alumínio grande, para verificar se há empeno;
- Observar a presença de canaletas e entradas de lâminas nas cabeceiras de chapas, causadas por mal tensionamento ou quebra do bico destas lâminas.

### **2.6.2 Dureza da rocha**

Os granitos são as rochas mais estudadas, divididos em duros, médios e macios como, por exemplo, Azul Fantástico, Verde Labrador e Preto São Gabriel respectivamente. Esta classificação é feita empiricamente através de métodos operacionais, como por exemplo, o tempo gasto na serrada, a velocidade de polimento e consumo de abrasivos. Antecedendo o início do processo de polimento deve ser estabelecida qual a seqüência de abrasivos mais indicada a ser aplicada na chapa, de acordo com a dureza do material (RIBEIRO et al.,2004).

### **2.6.3 “Fechamento” do polimento**

O processo de polimento é dividido em três partes (levigamento, polimento e lustro), nas indústrias o “fechamento” dos poros ocorre após a etapa de levigamento (abrasivo 120#), onde os poros da placa são preenchidos em um procedimento de resinagem (aplicação de resina (A) e secagem em estufa (B) (Figura 11)), esse método ressalta a cor do material e gera uma superfície mais uniforme. A rocha depois de seca em estufa é recolocada na politriz para o início do polimento e em seguida o lustro da placa.





(A)



(B)

**Figura 11- Processo de Resinagem. (A) Aplicação da resina e (B) Estufa para secagem da resina.**

**Braminas (Bragança Paulista)**

O “fechamento” ocorre em espaços ou depressões que algumas placas podem apresentar no processo de polimento (SILVEIRA,2007). Tal fator está relacionado principalmente com a mineralogia, tamanho dos cristais, direção de corte em relação à orientação dos cristais, preenchimento de micro e macro discontinuidades, textura, arranjo do mineral, grau de alteração, etc.

Muitas vezes a pressão de carregamento nos rebolos abrasivos, durante o polimento, supera a resistência mecânica do material, gerando a quebra e a abertura dos poros. Especificamente em granitos, as variáveis que mais influem nas propriedades mecânicas são: tamanho e forma dos grãos, grau de embricamento, tipo de contato e composição mineralógica (RIBEIRO *et al.*, 2004).

## **2.7 Parâmetros analisados no polimento**

Segundo Silveira (2007), os principais parâmetros analisados no polimento de rochas ornamentais são o brilho, a rugosidade e o desgaste. Nas próximas subseções são apresentados detalhes de cada um desses parâmetros.

### **2.7.1 Brilho**

Brilho é a capacidade de reflexão da luz visível incidida, ou seja, o aspecto geral de uma superfície quando reflete a luz (DANA, 1956). Alguns autores como Erdogan (2000) defendem a idéia de conciliar o processo de polimento com métodos de análise de imagens. Este método consiste em um sistema que utiliza luz refletida a 60 graus em uma chapa, sendo o brilho captado por uma câmera de vídeo com alta definição, que conectada a um computador transfere os dados para a obtenção de gráficos. Estes gráficos mostram os valores de brilho sendo inversamente proporcionais à rugosidade das chapas, ou seja, quanto maior o brilho menor a rugosidade.

O *Glossmeter* é o equipamento mais utilizado para a medição de brilho. Este aparelho foi desenvolvido fundamentalmente através do procedimento ditado pela norma ASTM D 523-94. Os medidores de brilho foram desenvolvidos para superfícies metálicas homogêneas, sendo também muito utilizados atualmente no setor de rochas ornamentais.

Os aparelhos de medição de brilho têm a capacidade de medir até 100 pontos, onde o índice, exigido pelo mercado, deve superar 70 pontos medidos na escala dos aparelhos e

quanto maior a desigualdade dos aspectos estéticos (movimentos) de uma rocha, maior o número de medidas necessário para uma média representativa.

As variáveis do material que influenciam no brilho são: micro e macro-poros e fissuras de borda de grãos, intracristalinas, intercristalinas e de clivagem.

O brilho final de uma placa de granito é influenciado também por fatores não inerentes à rocha a ser polida, como por exemplo, a escolha do abrasivo, a carga e a velocidade de rotação das cabeças de polimento e a velocidade do avanço da placa, ou seja, as variáveis operacionais (SILVEIRA, 2007).

### **2.7.2 Rugosidade**

As rugosidades são imperfeições na superfície das placas, caracterizadas pelas micro-irregularidades geométricas deixadas na superfície do material trabalhado, decorrentes da etapa de beneficiamento primário. Estas micro-irregularidades geralmente são sobrepostas a outras irregularidades, decorrentes dos erros de forma da superfície e da vibração relativa entre o instrumento cortante e a peça (CARPINETTI, L.C.R,1996). Durante o processo de polimento essas irregularidades vão sendo retiradas por meio do desgaste provocado pela politriz.

De acordo com os mesmos autores, em mecânica de precisão, a rugosidade da superfície pode vir a afetar propriedades físicas do material, tais como: desgaste, níveis de atrito, transmissão de calor e resistência mecânica.

Em uma placa de rocha polida, quanto menor a rugosidade melhor as características do produto final, portanto o controle da rugosidade, ao longo do processo de polimento, é um ótimo indicador de qualidade em cada etapa de beneficiamento.

Conforme os estudos relatados por Grasselli (2001) são apresentados a seguir, diversos métodos de mensuração da rugosidade sendo eles bidimensionais e tridimensionais.

Bidimensionais com contato: Perfilômetros com apalpador (sensores) e perfilômetros stylus (agulha).

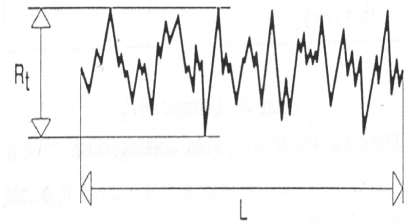
Bidimensionais sem contato: Perfilômetros a laser, equipamentos pneumáticos e sistemas acústicos e ultrasônicos.

Tridimensionais com contato: Máquinas de medição.

Tridimensionais sem contato: Fotogrametria, interferometria e câmeras de alta precisão.

Dentre todos os aparelhos que medem a textura nas superfícies será descrito o Avaliador de Rugosidade de Chapas – ARC (Perfilômetro stylus), desenvolvido no Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

O ARC é um equipamento que obtém as alturas entre as depressões e as saliências no sentido ortogonal da serrada que são plotadas em um gráfico definindo, assim, o perfil de rugosidade de uma chapa de comprimento L, onde se visualiza os seus parâmetros, como por exemplo, o  $R_t$  que representa a altura máxima entre pico e vale (Figura 12) (RIBEIRO *et al*, 2006).



**Figura 12. Plotagem de  $R_t$  x  $L$  (RIBEIRO, 2005)**

Este perfilômetro é constituído por um corpo de aço, com pés ajustáveis com parafuso para o nivelamento do sistema, um carro de medição com um defletômetro digital acionado por um sistema de braços interligados, sendo que em um deles é fixada a ponta de vídeo que toca a superfície da chapa. O carro de medição é deslocado por meio de uma rosca sem fim, acionada manualmente, contando-se os giros em um cilindro graduado. Por meio de uma conexão e uma interface, as medidas do defletômetro são enviadas para um computador portátil, através de uma porta serial (RIBEIRO *et al*, 2006).

A determinação da rugosidade também pode ser feita pelo coeficiente de atrito, medido com o scivolosímetro (RIBEIRO, 2005).

### **2.7.3 Desgaste**

A tribologia abrange estudos do atrito e do desgaste de corpos, que não são atributos inerentes dos materiais e sim características da interação dos materiais com as variáveis do processo, no qual são submetidos. Segundo conceitos da engenharia mecânica dentro da tribologia, o desgaste se dá pela interação entre as propriedades intrínsecas do material, o

abrasivo e as variáveis operacionais do processo, onde uma porcentagem de material é perdida (ZUM GAHR,1987).

O tipo de desgaste que ocorre no processo de polimento de rocha é o abrasivo. O mesmo autor define que o desgaste por abrasão se caracteriza por movimento relativo entre um corpo duro e uma superfície mais “mole”, ocorrendo perda de volume. O desgaste abrasivo pode ser dividido de acordo com o tipo de contato. O contato a dois corpos se faz quando um abrasivo desliza ao longo de uma superfície e o contato a três corpos ocorre com o movimento do abrasivo entre duas superfícies, gerando uma superfície mais grosseira que a deixada pelo processo a dois corpos (Figura 13).

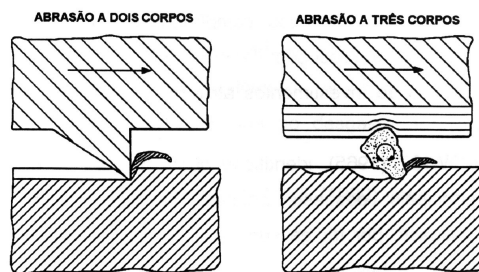


Figura 13. Esquema de desgaste a dois e a três corpos (ZUM-GAHR, 1987).

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).

Os fatores de influência no sistema tribológico são:

- Composição dos materiais;
- Acabamento da superfície;

- Natureza das condições de contorno;
- Carga aplicada;
- Velocidade relativa entre corpos;
- Natureza do movimento entre corpos;
- Natureza do contato;
- Temperatura da região interfacial;
- Características da máquina a ser utilizada.

## **2.8 Abrasivos**

STACHOWAIAK & BATCHELOR (1993), definiram o abrasivo como um fragmento ou grão apto a causar rápido ou eficiente desgaste em uma superfície sólida.

Os principais fatores que atuam de forma marcante para a escolha do material a ser utilizado como abrasivo são: estrutura do material, dureza do material, comportamento mecânico, forma dos grãos, distribuição granulométrica e tamanho médio dos grãos. (SILVEIRA, 2007 *apud* MOMBER, KOVACEVIC, 1998)

Quando um material, sob uma determinada força, tem a facilidade de romper outro, isto é denominado friabilidade; os abrasivos utilizados para o polimento estão na classificação dos mais friáveis.

Existem abrasivos naturais e artificiais, sendo eles:

- Abrasivos naturais: diamante, coríndon;
- Abrasivos artificiais: diamante industrial, magnesiano, resinado, carbetto de silício, óxido de alumínio entre outros.

No setor de rochas ornamentais, os abrasivos mais tradicionais utilizados pela indústria são: abrasivos magnesianos, diamantados e resinóides.

O óxido de magnésio é usado como ligante nos abrasivos magnesianos, que segundo De Azeredo *et al*, atendem pelo nome de Sorel, possuem o carbetto de silício (especificado por SiC) com função abrasiva e são destinados às indústrias que utilizam máquinas de polimento manual ou semi-automático. As superfícies obtidas neste tipo de acabamento são lisas e planas, sendo necessárias sucessivas operações, onde a granulometria é decrescente. São fabricados em todas as granas, de 16# aos 1200# mesh, fundamentais para o beneficiamento de chapas.

Os abrasivos diamantados são fabricados com as partículas abrasivas introduzidas em liga de ferro e cobalto ou em resina, já os resinóides são os que representam a evolução tecnológica em relação ao polimento de rochas. As vantagens da sua utilização em máquinas multicabeças são: melhoria na qualidade do corte, melhor qualidade da água reciclada, redução de energia e redução do tempo morto de produção (SILVEIRA,2007).

Segundo os dados fornecidos por fabricantes existem diferenças de desempenho entre os dois tipos de abrasivo, que são fundamentalmente causadas pela composição de cada um, onde o magnesiano é produzido com uma liga cimentícia e carbetto de silício e o resinóide é um material a base de resina e diamante industrializado, com altíssima dureza e poder de corte bem maior que o tradicional, trazendo como benefício a agressão ao material que foi reduzida em até 35%.

A pressão de trabalho aplicada com o abrasivo magnesiano é de 2,0 kg a 4,0 kg, que foi reduzida pela metade, com a utilização do resinóide, chegando de 0,0 kg a 2,0 kg. A redução da pressão nas chapas diminui o custo de manutenção em até 40% em comparação com o abrasivo convencional.



A produtividade dos dois abrasivos é bem distinta, com o tradicional obtém-se uma produção mínima de 50m<sup>2</sup> e máxima de 2000m<sup>2</sup> e o resinóide atinge 1500m<sup>2</sup> e 15000m<sup>2</sup> respectivamente. O valor de cada peça de abrasivos resinóides é bem maior que o tradicional, mas mesmo assim o custo benefício acaba sendo melhor pelo fato dele produzir uma quantidade maior por m<sup>2</sup>.

Devido sua boa operacionalidade, as paradas na máquina para troca de abrasivos não são mais necessárias com o uso dos abrasivos resinóides, sendo que com os convencionais são realizadas de 15 a 30 ao dia.

O consumo de energia é um fator de extrema importância na indústria. O abrasivo resinóide trabalha com até 60% a menos de amperagem em comparação com os magnesianos, além de não gerar pico de energia durante o dia por não fazer paradas contínuas, devido ao término de abrasivos. Cada partida de motor de 20 CV chega a consumir energia de 30 minutos de trabalho da politriz.

No caso dos magnesianos, existe uma produção de 90% de resíduos sólidos por jogo, os quais estes são trocados em média 35 vezes por dia, gerando assim uma quantidade significativa de resíduos, já os resinóides geram 1% de resíduos não sendo necessária a sua troca durante o dia.

Estudos trazem novas possibilidades de abrasivos para o mercado, como os de sílica-poliéster e os epóxi-sílica (SiO<sub>2</sub>).

Os estudos do abrasivo composto por sílica-poliéster executados por De Azeredo et al. (2008) apresentam as seguintes características:

- Os resultados obtidos nos testes dimensionais de diminuição de altura e perda de massa indicam que as coroas abrasivas (sílica-15% poliéster), apresentaram resultados superiores aos apresentados pelas coroas abrasivas disponíveis

atualmente no mercado, sendo estes resultados relevantes quanto ao desempenho destas ferramentas;

- Os testes de rugosidade permitiram verificar que as características da superfície produzida na placa de granito pelas coroas de sílica-15% poliéster, são tão boas quanto à propiciada pelas coroas comerciais, apresentando 0,005mm e 0,004mm respectivamente de variação média de profundidade (rugosidade), ou seja, ambas as coroas oferecem acabamento similar;
- A rota convencional (para carbetos de silício imerso em uma matriz de cimento) leva cerca de 20 dias para que seja efetuada a cura das coroas abrasivas, ao passo que para a nova rota e materiais sugeridos neste trabalho, o tempo de cura é de aproximadamente 2 horas, o que pode vir a resultar em uma produtividade superior devido à economia de tempo de processamento.

O desenvolvimento do abrasivo epóxi-sílica realizado por De Oliveira *et al*, (2008) permite fazer algumas considerações:

- A rota desenvolvida para o processamento de compósitos à base de epóxi-SiO<sub>2</sub>, para a aplicação como coroas abrasivas de desbaste e polimento de placas de rochas ornamentais, foi alcançada com sucesso sendo realizada com simplicidade e rapidez.
- Dentre os compósitos a base do sistema epóxi-SiO<sub>2</sub>, as amostras que apresentam melhor resultado foram as que possuem 85% SiO<sub>2</sub>. Estas, além de superarem em 4 vezes a coroa abrasiva no desempenho de abrasão, apresentaram um resultado 34,6 vezes inferior ao da coroa comercial em termos de perda de massa, levando a um ganho no desempenho global.

## **2.9 Fatores influentes no processo abrasivo**

Conforme os estudos relatados por Silveira (2007), abrasividade é a capacidade de determinado abrasivo remover material submetido ao processo de desgaste. Existem diversos fatores que podem vir a influenciar a abrasividade, sendo:

- Estrutura;
- Dureza;
- Comportamento mecânico;
- Forma dos grãos;
- Tamanho médio dos grãos.

Alguns parâmetros do processo abrasivo possuem alta relevância para a qualidade final do produto, tais como, a dureza, o tamanho das partículas abrasivas, a velocidade relativa e a carga aplicada, os quais serão especificados a seguir.

### **2.9.1 Dureza**

Quando se fala sobre dureza pode estar se referindo tanto do abrasivo, quanto do material a ser polido. A resistência que as superfícies apresentam ao risco é denominada de dureza, sendo considerada como uma das propriedades mais importantes do material que sofre desgaste.

Devido à dureza estar ligada à estrutura atômica dos minerais constituintes da rocha, pode-se dizer que quanto mais forte a união entre os átomos dos minerais, mais duro será o material.

Em relação à dureza dos abrasivos, o princípio básico da função abrasiva é a diferença de dureza entre os seus componentes básicos e a rocha a ser desbastada. O abrasivo deve manter valor na escala de *Mohs* superior ao da placa de rocha, para que ocorra o desgaste.

Um exemplo é o Sorel, cujo componente básico é o SiC (Carbeto de silício) com dureza nesta escala de 9,5, superior à do granito, que nesta mesma escala não ultrapassa 7,0 (SILVEIRA, 2007).

A técnica para a determinação desta propriedade mais usada em rocha é a determinação por microdureza ou microindentação. Esta técnica utiliza pontas de diamante, escolhidas em função do material a ser ensaiado, para tal medição. Estas pontas são chamadas de *Vickers* e *Knoop*.

### **2.9.2 Tamanho das partículas**

Existe uma relação do tamanho da partícula abrasiva e a taxa de desgaste, que mostra quanto maior o tamanho da partícula, maior a taxa de desgaste.

Este aumento de desgaste é causado pelo material excedente a ser retirado diante da carga imposta por uma partícula de abrasivo maior, sob as mesmas condições de ensaio. Portanto pode-se dizer que a resistência ao desgaste é inversamente proporcional ao tamanho do abrasivo, ou seja, quanto maior a partícula abrasiva menor será a resistência ao desgaste (SILVEIRA, 2007).

### **2.9.3 Velocidade relativa e Carga aplicada**

Segundo Silveira (2007), um dos primeiros trabalhos acerca deste assunto foi o de Haworth em 1949. Este autor ensaiou amostras de aço SAE 1045 temperado, variando a carga e a velocidade de uma roda de borracha. Ao manter constante a carga e modificar a velocidade de 250 rpm para 1035 rpm, foi possível notar um acréscimo na taxa de perda de massa, de aproximadamente duas vezes, enquanto que, dobrando-se a carga e mantendo a velocidade constante, o valor da taxa de desgaste do abrasivo aumentou em duas vezes e meia. Pode-se afirmar que a influência tanto na qualidade do produto final, quanto na economia de produção de uma indústria, advém tanto da carga aplicada nas placas dos cabeçotes, quanto da velocidade de rotação destas.

### **2.9.4 Temperatura**

Silveira (2007) define que a temperatura influencia na resistência ao desgaste do material, pois o aumento desta causa diminuição na dureza dos minerais. No processo de polimento a temperatura deve ser controlada, por causa do maquinário, que pode sofrer alguns problemas em função do calor gerado pela rotação do cabeçote abrasivo e atrito entre os corpos. A diminuição da temperatura é feita através de jatos de água, que saem dos cabeçotes (Figura 14), que também são uteis para a retirada de material desgastado.

Poucos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre a influência da temperatura, devido principalmente a dificuldades de adaptar aparelhos para a realização de ensaios laboratoriais com à temperatura controlada.



**Figura 14- Cabeçote da politriz com água. Braminas (Bragança Paulista)**



### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os materiais rochosos utilizados na pesquisa foram escolhidos a partir da mineralogia, análises de mercado e efeito estético.

A análise das diferentes respostas das rochas escolhidas em relação a uma combinação de polimento específica, executada por meio de ensaios no SPR (Simulador de Polimento de Rocha), foi realizada por meio de medições de rugosidade, brilho, perda de massa e distância percorrida pelo abrasivo.

#### ***3.1 Escolha e preparação das amostras***

O abrasivo escolhido para a pesquisa foi o magnésiano, que é tradicionalmente usado nas marmorarias. Na escolha foram considerados alguns fatores como:

- Menor preço no mercado, considerando-se que os abrasivos mais caros como os resinóides e diamantados precisam de uma máquina (politriz) em bom estado para se tornarem viáveis economicamente para o fabricante;
- Fácil manuseio, não necessitando de mão de obra especializada, contrariando os de alto custo, os quais exigem operadores experientes e assistência técnica direta do fabricante, pois, caso contrário, o prejuízo pode se tornar grande devido à má operação;
- O magnésiano ainda é o mais utilizado nas indústrias do setor.



Foi feita a retirada dos corpos de prova abrasivos dos rebolos por intermédio de um extrator, que contém uma coroa diamantada giratória que promove o corte. Foram extraídos dois corpos de prova de cada rebole, com forma cilíndrica de diâmetro de 1,7 cm, totalizando 20 corpos (10 etapas). A cada quatro corpos retirados amolou-se a coroa, para se obter melhor acabamento.

A escolha dos tipos rochosos foi feita tendo como fator fundamental as características da formação, textura (tamanho e forma dos grãos), estrutura, composição mineralógica, grau de alteração, estética e alta aceitação no mercado. Os tipos de rocha escolhidos para amostragem foram: Preto São Gabriel, Azul Fantástico e Amarelo Ornamental

A etapa seguinte envolveu a retirada dos corpos de prova de rocha ( Figura 15), que também foram retirados por extrator com diâmetro de 15 cm. Foram obtidos, desta forma, 18 corpos de prova, cilíndricos, de cada tipo rochoso, número este que possibilitou fazer as combinações necessárias tanto de carga, como de velocidade e de tempo.



**Figura 15. Extrator com coroa diamantada.**

### **3.1.1 Preto São Gabriel**

Este tipo de rocha ocorre no município de São Rafael, cerca de 20 km de Colatina, Espírito Santo (Figura 16). As análises petrográficas, descrições macro e microscópicas e as caracterizações tecnológicas dessa rocha foram cedidas pelo Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/ UNESP - Rio Claro pelo professor Antonio Carlos Artur. Suas características petrográficas são:

#### **Análise Petrográfica**

Sigla Amostra: PSG

Natureza da Rocha: Rocha Magmática

Classificação Petrográfica: Hiperstênio diorito

Nome Comercial: Preto São Gabriel



**Figura 16. “Granito” Preto São Gabriel**

## Descrição Macroscópica

Trata-se de uma rocha de estrutura maciça, coloração cinza escura esverdeada, com textura 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 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 tamanhos variados, desde sub-milimétricos até 2 a 3 mm, podendo formar agregados de lamelas com até 5mm, com lamelas bem definidas.

Os demais máficos (hiperstênio e hornblenda) ocorrem na forma de pequenos prismas, bastante 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 particularmente associados aos minerais máficos de uma forma geral. Como minerais traços associados à magnetita estão à titanita, com seu característico hábito em cunha, e sulfetos, visíveis na forma de pequenos pontos dourados extremamente raros nas amostras.

### Descrição Microscópica

<b>Composição</b>	<b>(% modal)</b>
<b>Mineralógica</b>	
<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>	10,01
<i>Opacos</i>	8,4

### Caracterização Tecnológica

Massa Específica: 2.960 kg/m<sup>3</sup>

Porosidade: 0,96 %

Absorção D'água: 0.33 %

Resistência à Compressão Simples: 113.7 MPA

Resistência ao Desgaste Amsler: 1.00

Coefficiente de Dilatação Térmica Linear: 6.6 10<sup>-3</sup> mm/m°C.

### **3.1.2 Azul Fantástico**

Monzogranito que ocorre na porção nordeste do Município de Bragança Paulista - SP (Figura 17). As análises petrográficas, descrições macro e microscópicas e as caracterizações tecnológicas dessa rocha foram cedidas pelo Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/ UNESP - Rio Claro pelo professor Antonio Carlos Artur. Suas principais características petrográficas serão descritas a seguir:

#### **Análise Petrográfica**

Sigla Amostra: AF

Natureza da Rocha: Rocha Magmática

Classificação Petrográfica: Monzogranito Porfiróide Serial Gnaissificado

Nome Comercial: Azul Fantástico



**Figura 17. “Granito” Azul Fantástico.**

## Descrição Macroscópica

Rocha de aspecto estético exótico em função da presença de cristais azulados de quartzo, róseos a acastanhados de feldspatos e pontuações pretas de biotita, classificada petrograficamente como biotita monzogranito megaporfirítico serial gnaissificado. A foliação gnáissica é marcada pela maior ou menor isorientação dos megacristais de feldspato potássico e de lamelas de biotita, apresentando faixas e lentes mais deformadas que outras porções da rocha. Quando há presença intensa de veios feldspáticos métricos e espessuras milimétricas o material ganha a designação comercial de Azul Fantasia ou Azul Florido.

A textura é megaporfirítica serial com matriz inequigranular média a grossa, hipidiomórfica, com grãos de dimensões médias entre 2 mm e 8 mm, gradando até as dimensões dos fenocristais. Estes perfazem cerca de 20% do volume da rocha e exibem formas retangulares, ovaladas ou irregulares com dimensões que oscilam de 0,5 cm x 2,0 cm até 2,0 cm x 6,0 cm. Os contatos mais freqüentes na matriz são os côncavo-convexos e lobulados, sendo o tipo plano quase exclusivo da biotita e dos agregados de quartzo recristalizados com textura poligonal presentes nas faixas mais afetadas pela protomilonitização. Os fenocristais apresentam contatos côncavo-convexos, lobulados a interlobados e serrilhados.

O microfissuramento é baixo a moderado, caracterizado pelo predomínio de planos intragrãos sobre os intergrãos, ambos bem desenvolvidos e pela baixa comunicação. Podem ocorrer planos preenchidos por sericita, epídoto e carbonatos. Dentre todos os minerais o quartzo é o mais afetado pelo microfissuramento.

A alteração mineral é disseminada, variando de ausente a pouco desenvolvida, principalmente nos feldspatos, especialmente as pertitas do microclínio.

### Descrição Microscópica

Composição	(% modal)
<b>Mineralógica</b>	
Quartzo	25,0
FeldspatoPotássico (Microclínio)	15,0
Plagioclásio (Oligoclásio)	40,0
Biotita	17,0
Acessórios	3,0
Secundários	--

\* Acessórios: opacos, titanita, apatita, zircão.

\* Minerais Secundários: sericita, epidoto, clorita, argilominerais, carbonatos.

### Caracterização Tecnológica

Massa Específica: 2.699 kg/m<sup>3</sup>

Porosidade: 0.68 %

Absorção D'água: 0.25 %

Resistência à Compressão Simples: 150.7 MPA

Resistência ao Desgaste Amsler: 0.51 mm

Coefficiente de Dilatação Térmica Linear: 5.910-3 mm/m°C

### **3.1.3 Amarelo Ornamental**

Rocha com procedência do município de Nova Venécia - ES (Figura 18). As análises petrográficas, descrições macro e microscópicas e as caracterizações tecnológicas dessa rocha foram cedidas pelo Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/ UNESP - Rio Claro pelo professor Antonio Carlos Artur. A descrição petrográfica é apresentada a seguir:

#### **Análise Petrográfica**

Sigla Amostra: AO

Natureza da Rocha: Rocha Metamórfica

Classificação Petrográfica: Granada Gnaiss Porfiroblástico

Nome Comercial: Amarelo Ornamental



**Figura 18. “Granito” Amarelo Ornamental**



## Descrição Macroscópica

O granada gnaisse quartzo-feldspático porfiroblástico, Amarelo Ornamental, pobre em biotita, com estrutura gnáissica homogênea é definido por nítido estiramento mineral. Os megacristais estão representados pelo feldspato potássico com formas ovaladas a fortemente estirados e dimensões seriadas que podem atingir cerca de 4,0 a 5,0cm ao longo do maior eixo, imersos em matriz granoblástica inequigranular média a média/grossa, com granulação predominantemente entre 3,0mm a mais ou menos 1,5cm. A granada perfaz cerca de 3,0 a 4,0% do volume da rocha e se apresenta como cristais tanto individualizados, com dimensões médias entre 2 e 5mm, quanto pequenos agregados irregulares a arredondados ou mesmo lineares que podem atingir pouco mais de 1,0cm, distribuídos de forma mais ou menos homogênea pela rocha. A coloração amarela acastanhada da rocha relaciona-se a discretos efeitos de oxidação de determinados minerais.

Apresenta uma estrutura anisotrópica, caracterizada por moderada a elevada orientação mineral e textura granoblástica inequigranular, de granulação fina a grossa. A orientação mineral é marcada pelo estiramento de cristais de quartzo, feldspatos e isoorientação de delgadas concentrações lineares descontínuas de biotita. Os contatos minerais são côncavo-convexos a lobulados e localmente com típico padrão poligonalizado, denotando boa recristalização metamórfica e, conseqüentemente, com bom entrelaçamento mineral.

Moderado a elevado estado microfissural, exibindo microfissuras intragrãos e transgranulares abertas e preenchidas por material sericítico, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro e algum epidoto e carbonatos. Muitas das microfissuras encontram-se

preenchidas por hidróxidos de ferro, provavelmente responsáveis pela coloração acastanhada exibida pela rocha. No geral os cristais de granada são pouco microfissurados.

Fraca a moderada alteração mineral, dada por moderada saussuritização do plagioclásio, acompanhada ou não por efeitos de argilização, além da oxidação e/ou discreta cloritização da biotita e com alguma sericitização do ortoclásio. Localmente ocorrem pequenas concentrações de sillimanita intensamente transformadas para muscovita.

### Descrição Microscópica

Composição Mineralógica	(% modal)
<b>Quartzo</b>	30,00
<b>FeldspatoPotássico(Ortoclásio)</b>	40,00
<b>Plagioclásio (Oligoclásio)</b>	21,00
<b>Granada</b>	3,5
<b>Biotita</b>	2,5
<b>Acessórios</b>	1,0
<b>Minerais Secundários</b>	2,0

\* Acessórios: opacos, silimanita alterada, zircão, apatita e rutilo

\* Minerais Secundários: sericita/muscovita, epidoto, argilominerais, carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro.

### Caracterização Tecnológica

Massa Específica: 2.66 kg/m<sup>3</sup>

Porosidade: 0.96 %

Absorção D'água: 0.40 %

Resistência à Compressão Simples: 90.2 MPA

Resistência ao Desgaste Amsler: 0.61 mm

Coeficiente de Dilatação Térmica Linear: 7.3 10<sup>-3</sup> mm/m°C.

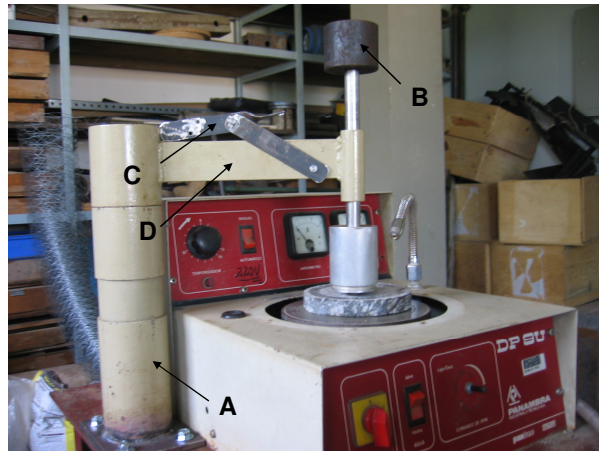
### **3.2 Modificações nos equipamentos**

Foram percebidos na fase de revisão dos aparelhos, alguns detalhes que poderiam ser melhorados e modificados, uma vez que apresentavam a possibilidade de afetar a veracidade dos resultados tanto do SPR, quanto do *Glossmeter*.

No Simulador de Polimento de Rocha (SPR) foram detectadas vibrações, deslizamento dos corpos de prova no prato giratório e má fixação do rebolo abrasivo no copo de encaixe, que causavam variações cíclicas na profundidade dos sulcos polidos das amostras. Devido a esses fatos, para se obter mais precisão dos dados coletados com o (SPR), mais exatidão na avaliação do desgaste e alcançar maior praticidade e eficiência em todo processo, houve a necessidade de alterar a altura da torre, inverter a posição das cargas aplicadas, nivelar o prato giratório e melhorar a fixação tanto da amostra de rocha no prato quanto a do rebolo abrasivo no copo. Foram executadas também modificações no aparelho *Glossmeter* que possuía uma abertura maior do que a necessária para se medir o sulco polido no SPR. Essas modificações serão mais detalhadas a seguir:

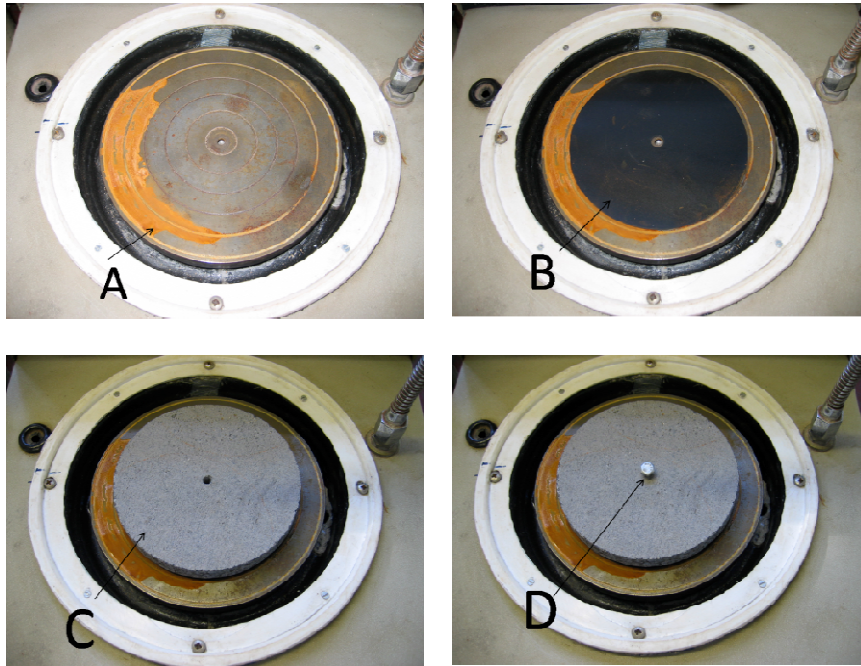
A altura da torre (A), mostrada na Figura 19, para a fixação do conjunto abrasivo foi reduzida e a posição das cargas adicionais foi invertida para atenuar vibrações e dar mais eficiência na aplicação das cargas. Estas cargas são aplicadas por pesos (B) de forma cilíndrica.

Para permitir movimentos verticais do conjunto abrasivo e maior precisão no momento de contato do abrasivo com a rocha, uma alavanca (C) foi adaptada para a suspensão da haste (D) que aloja os pesos.



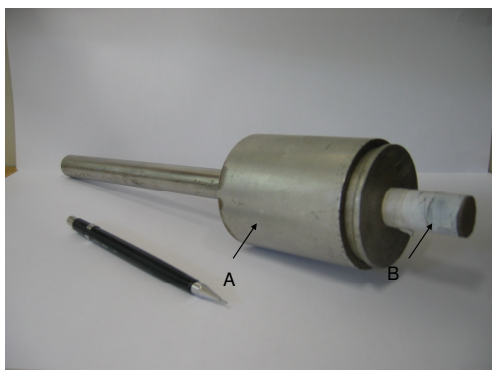
**Figura 19. SPR- Simulador de polimento de rocha. (A) Torre, (B) Pesos, (C) Alavanca e (D) Haste.**

Outra modificação feita no sistema de fixação e assentamento do corpo de prova (C), mostrado na Figura 20, eliminou problemas relacionados ao seu nivelamento e aderência no prato giratório de apoio (A). A solução foi retificá-lo em torno, proporcionando aplanamento perfeito (com tolerância de 0,06mm em um giro completo) e apoiar a amostra em uma película plástica de geomembrana (B), colocada sobre o prato. A fixação do corpo de prova no prato giratório é feita por um parafuso central (D).

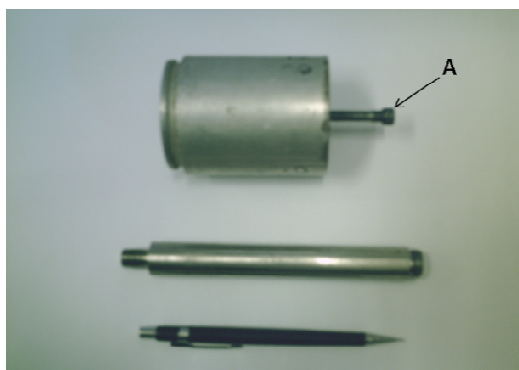


**Figura 20. (A) Prato giratório, (B) Película de geomembrana, (C) Corpo de prova e (D) Parafuso central.**

O copo porta abrasivo (A) que aparece na Figura 21, aloja o rebolo com diâmetro de 1,5cm (B) em seu interior, deixando apenas uma fração exposta, que permite seu contato com a rocha. Esse sistema foi aprimorado devido a uma folga entre o abrasivo e a parte interna do copo. O recurso encontrado para eliminar esse espaço indesejado foi envolver a amostra com fita, teflon *Veda rosca*, para dar estabilidade ao encaixe. Ao garantir maior fixação, a retirada da amostra foi dificultada, sendo necessário adaptar um parafuso no interior do copo (Figura 22), do tipo *Halen* (A), que permite empurrar o abrasivo para baixo, conforme for rosqueado, após cada etapa de desgaste.

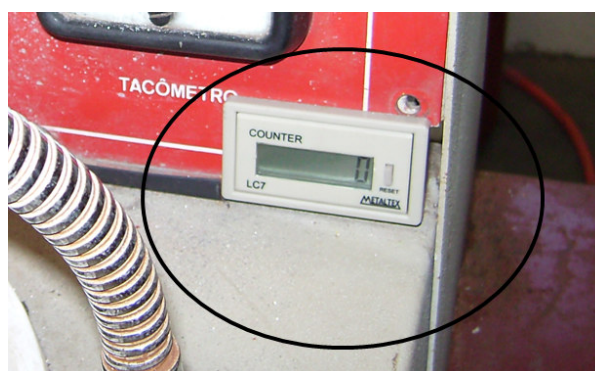


**Figura 21. (A) Copo porta abrasivo e (B) Rebolo**



**Figura 22. (A) Parafuso Halen**

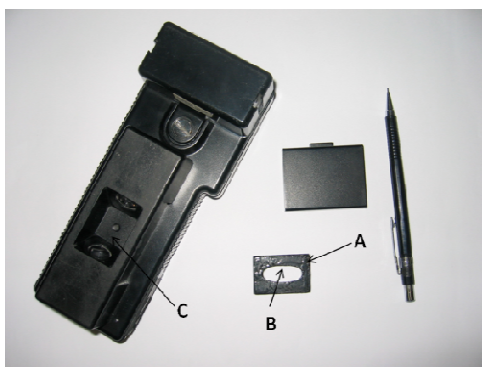
O controle de velocidade da poltriz em rpm, baseado na relação amperagem/voltagem, consumida pelo motor bifásico, não permitia obter com precisão o número de voltas nos intervalos de tempo de exposição (abrasivo x rocha). Visando contornar este problema adaptou-se um sistema de indicador digital (conta-giros) com um sensor ,do tipo *Red switch SM-1001*, fixado ao prato giratório emitindo a cada volta um pulso, este é captado pelo sensor *SM-1000 (fixo)*, onde é processado e transmitido para o painel indicador (*LC7-A* com entrada *VCA*) o número de voltas (Figura 23).



**Figura 23. Detalhe da adaptação do conta-giros na poltriz.**

Para melhoria dessa relação de número de voltas, após alguns ensaios, foi substituído o motor existente por um motor assíncrono (motor de passo), trifásico, que possibilitou um controle eletrônico mais preciso do giro do eixo do motor, dispensando a utilização do conta-giros, a partir da substituição.

Para a medida do brilho nas etapas de polimento, foi usado um *glossmeter* (Figura 24 e Figura 25), que sofreu adaptações para garantir a medição somente na área desejada da amostra. Uma placa de metal (A) nas medidas da abertura do aparelho foi recortada e nela efetuada uma abertura elíptica (B) com medidas que possibilitaram o feixe de luz alcançar somente o sulco polido.



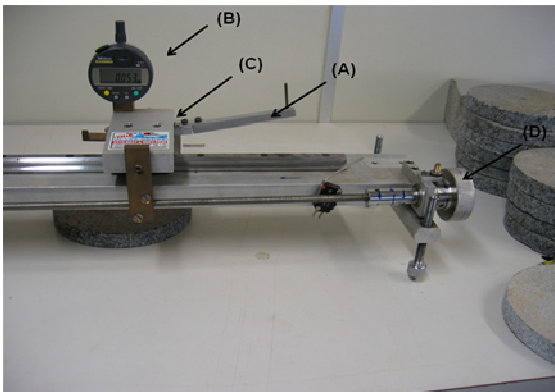
**Figura 24. Glossmeter. (A) Placa de metal, (B) Abertura e (C) Área de leitura .**



**Figura 25. Glossmeter. Placa de metal encaixada no aparelho**

Depois de encaixar a placa no aparelho, este foi calibrado, da seguinte maneira: Primeiro a tampa protetora do aparelho é retirada, deve se ajustar o número “00” girando a chave. O segundo passo é o ajuste do “span” (valor máximo de intensidade de brilho), onde a tampa protetora é encaixada e outra chave é girada até se obter o número indicado na tampa (89 ou 90).

As medidas de rugosidade inicial primeiramente foram feitas no ARC (Figura 26), por meio direto, com um sistema de braços ortogonais (A) que acionam o defletômetro (B), fazendo a leitura através de uma ponta de vídea que passa pela superfície da amostra, através do deslocamento do carro de leitura (C) acionado manualmente por um cilindro graduado (D).



**Figura 26. ARC- Avaliador de rugosidade de chapas.(A) Sistema de braços, (B) Defletômetro e (C) Carro de leitura.**

Esse sistema não permitiu o detalhamento necessário do perfil e por esse motivo algumas modificações foram feitas: uma nova ponta (Figura 27A) mais fina foi instalada, o contato com o relógio comparador ficou direto (B) e o número de pontos lidos por giro aumentou de 5 para 20, ou seja, de 0,25cm para 0,0625cm respectivamente, aumentando consequentemente a precisão do ensaio.



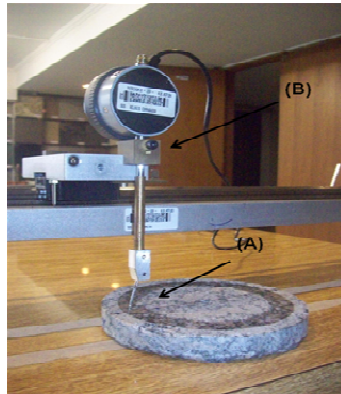


Figura 27. (A) Ponta de leitura e (B) Contato direto do braço com o defletômetro.

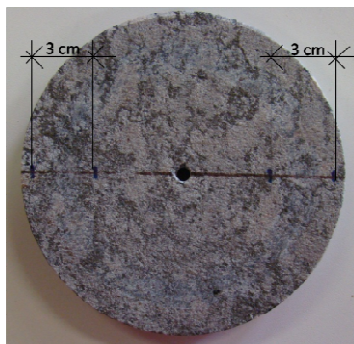
### **3.3 Procedimento dos ensaios**

As amostras depois de extraídas, com diâmetro de 15 cm, foram identificadas (Figura 28) de acordo com a sigla do seu nome comercial, abrasivo utilizado e numeração da combinação a ser feita na peça.



Figura 28. Identificação da amostra

Após a identificação dos corpos de prova, foram feitas duas medidas perpendiculares às estrias decorrentes da serrada, visando definir o perfil de rugosidade inicial de cada um deles. As medições foram feitas exatamente no local a ser polido pelo SPR, para possibilitar as análises posteriores no mesmo trecho e assim avaliar o ganho de brilho no decorrer do processo, como mostra a Figura 29.



**Figura 29 – Faixas de medida de rugosidade inicial**

A Tabela 1 apresenta as combinações efetuadas para as amostras de cada rocha em função da carga, velocidade e tempo nas etapas abrasivas de 24# ao lustro. Pode-se observar que na combinação 1, para os três tipos litológicos escolhidos (Preto São Gabriel (PSG), Azul Fantástico (AF) e Amarelo Ornamental (AO)) foi fixado um conjunto de condições operacionais com carga de 1 bar, velocidade de rotação de 200 rpm e tempo de ensaio de 2 min, no qual cada corpo de prova foi submetido às dez etapas de polimento com abrasivos de granulações 24#, 36#, 60#, 120#, 220#, 400#, 600#, 800#, 1200# e lustro. As outras linhas se referem às sucessivas combinações de condições operacionais ( carga, velocidade e tempo) para as mesmas etapas de polimento (24# ao lustro).

Tabela 1 – Combinações das amostras em função da carga, velocidade e tempo nas etapas abrasivas de 24# ao lustro.

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

Cada corpo de prova foi submetido ao desgaste com a seqüência de abrasivos 24#, 36#, 60#, 120#, 220#, 400#, 600#, 800#, 1200# e lustro (Figura 30).

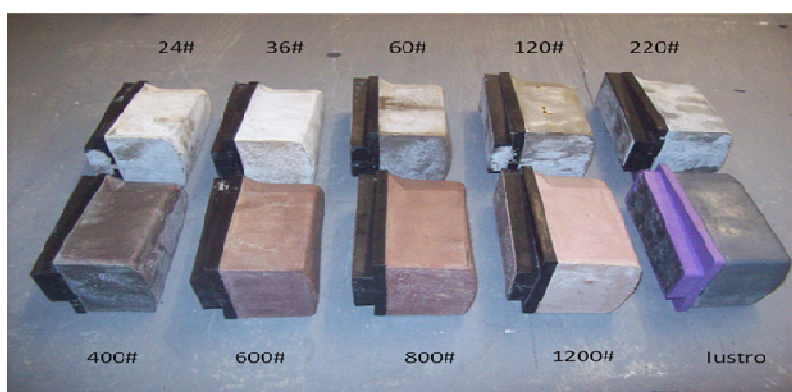


Figura 30 – Sequência de rebolos abrasivos

Durante os intervalos de troca dos abrasivos foi feita, a secagem do corpo de prova em estufa a uma temperatura de 100 °C (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), para as

medições de perda de massa (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e o registro fotográfico das amostras.

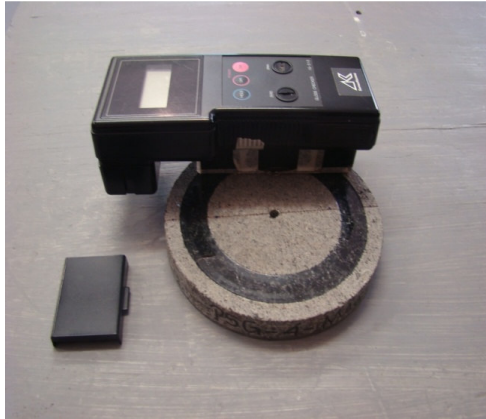


**Figura 31- Materiais na estufa**

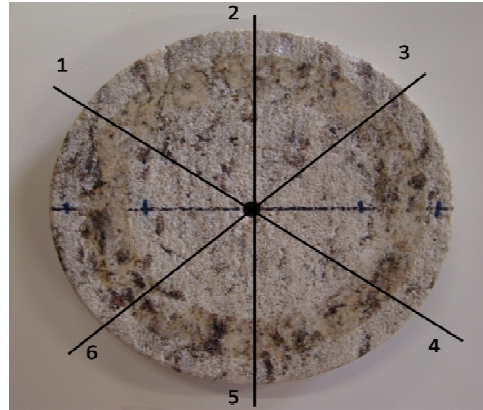


**Figura 32- Balança**

A mensuração do brilho (Figura 33) também foi realizada durante os intervalos de troca de abrasivo, em 6 intervalos (Figura 34), dos quais se extraiu o valor médio, que permitiu acompanhar a variação dos valores desta propriedade em cada etapa do processo de polimento e analisar o comportamento das rochas em relação as variações no brilho.



**Figura 33- Medição de brilho**



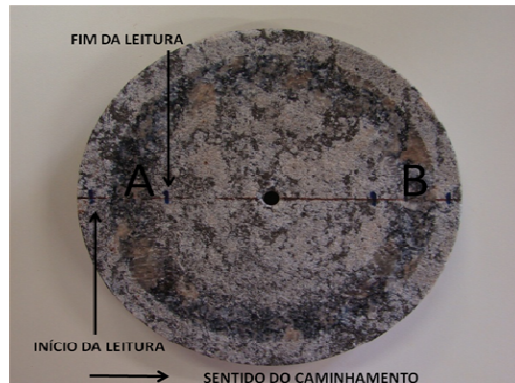
**Figura 34- Intervalos de medida de brilho**

## 4 RESULTADOS

Serão apresentados os seguintes resultados: a) rugosidade inicial de cada amostra, ou seja, antes de serem submetidas às etapas abrasivas; b) a distância percorrida pelo abrasivo, (obtidas das combinações 1, 2 e 3); c) os resultados de perda de massa do material submetido ao processo de desgaste e d) os valores de brilho (alcançados em cada troca de abrasivos) em todas as combinações (1 a 9), possibilitando a análise de sua variação média.

### ***4.1 Rugosidade das amostras***

Em todas as amostras as leituras de rugosidade foram feitas nos trechos (A e B) (Figura 35), onde o trecho, como dito anteriormente, corresponde ao total de 3 cm ( 2 x 1,5cm), sendo a distância entre os pontos de medida tomadas em intervalos de 0,0625mm e totalizando assim, 480 medições.



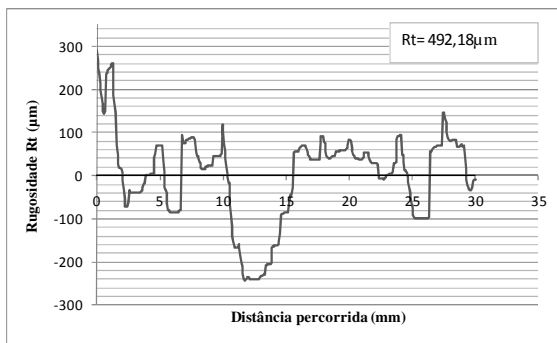
**Figura 35- Amostra utilizada na medição de rugosidade superficial. Observar o sentido de leitura, seus pontos de início e fim e os trechos ensaiados A e B.**

Foi utilizado o programa Excel para a elaboração de gráficos, nos quais as medidas de distância percorrida foram dispostas no eixo das abscissas e as de amplitude (picos e vales) no eixo das ordenadas.

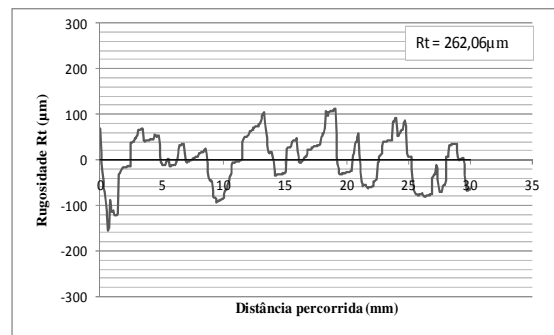
As superfícies dos materiais estudados possuem irregularidades, que podem ser transformadas em valores absolutos através do rugosímetro. Para quantificar a distância entre o maior pico e o menor vale se faz necessário conhecer o valor  $R_t$ . A seguir serão apresentados os gráficos do perfil de rugosidade inicial de três amostras, de cada rocha, antes de serem polidas nas combinações 1, 2 e 3.

### 4.1.1 Preto São Gabriel

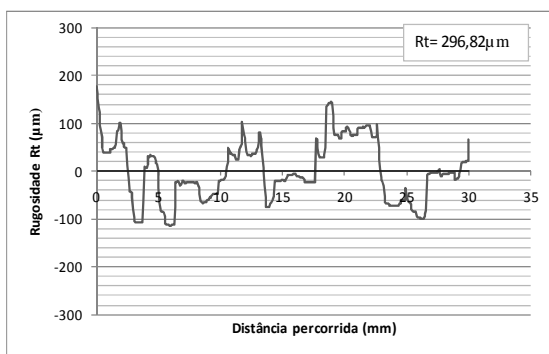
Na Figura 36 são representados os perfis de rugosidade inicial das amostras. Os perfis apresentaram valores de  $R_t$  de  $492,18\ \mu\text{m}$  e  $262,06\ \mu\text{m}$  (para a amostra que foi submetida a combinação 1),  $296,82\ \mu\text{m}$  e  $277,29\ \mu\text{m}$  (combinação 2) e  $229,14\ \mu\text{m}$  e  $383,75\ \mu\text{m}$  (combinação 3), respectivamente na ordem de leitura da amostra (A e B).



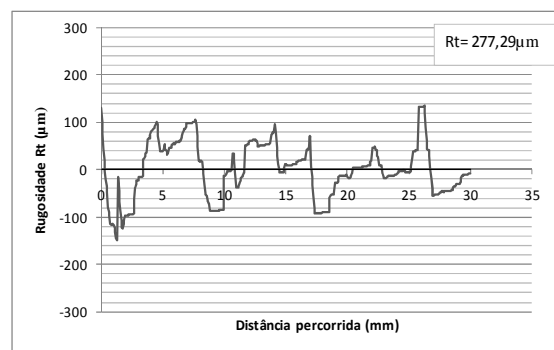
(A). Combinação 1



(B). Combinação 1

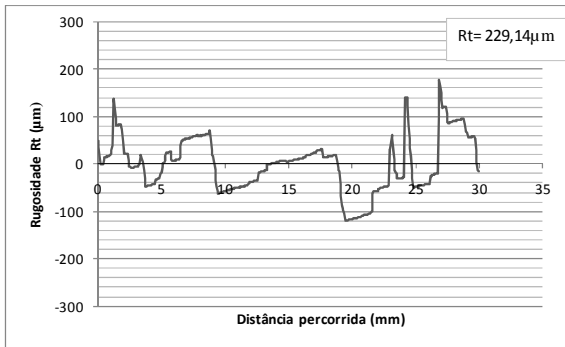


(A). Combinação 2

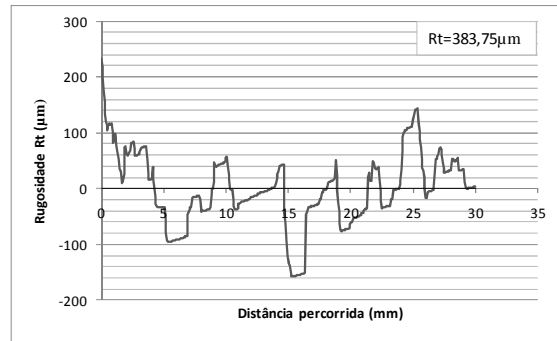


(B). Combinação 2





(A). Combinação 3

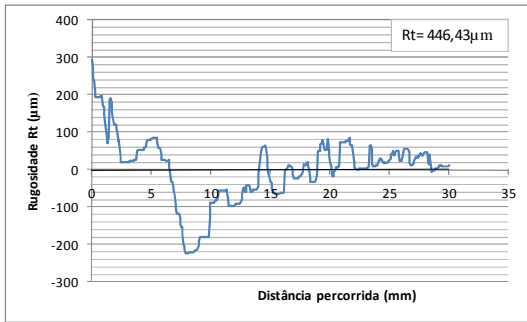


(B). Combinação 3

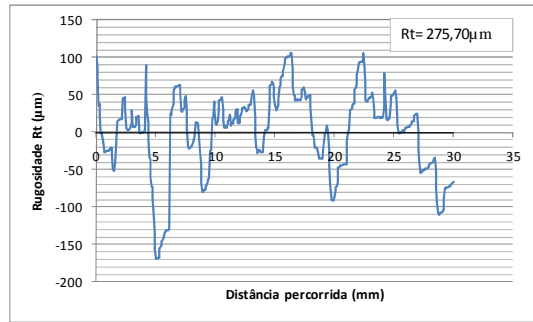
**Figura 36.** Gráficos da rocha Preto São Gabriel correspondentes aos perfis de rugosidade inicial dos trechos A e B, antes de serem submetidos às combinações 1,2 e3 de polimento.

#### 4.1.2 Azul Fantástico

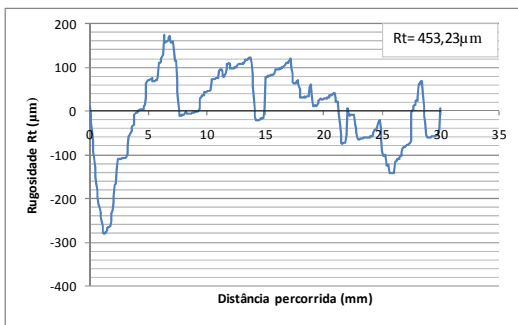
Na Figura 37 são mostrados os perfis de rugosidade inicial das amostras que antes de serem submetidas às combinações 1, 2 e 3, apresentaram valores de Rt de 446,43µm e 275,70µm (combinação 1), 453,23µm e 338,85µm (combinação 2) e 216,29µm e 370,03µm (combinação 3), respectivamente na ordem de leitura da amostra (A e B).



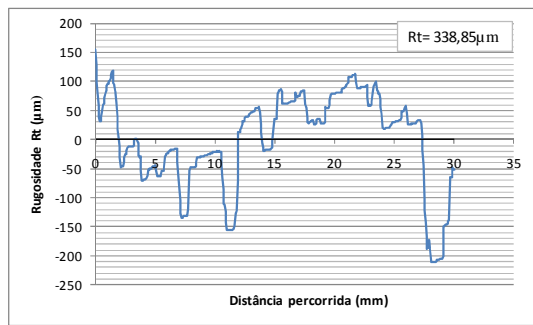
(A). Combinação 1



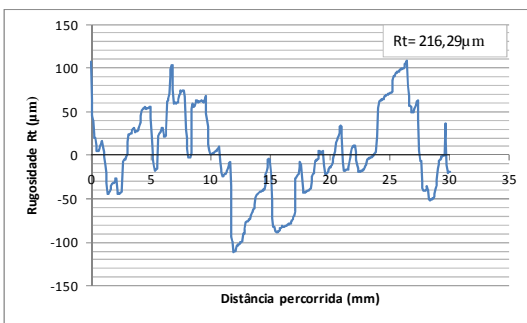
(B). Combinação 1



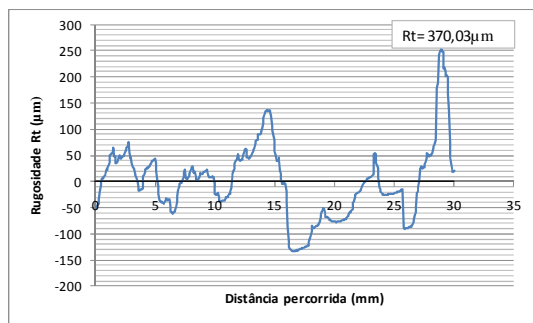
(A). Combinação 2



(B). Combinação 2



(A). Combinação 3

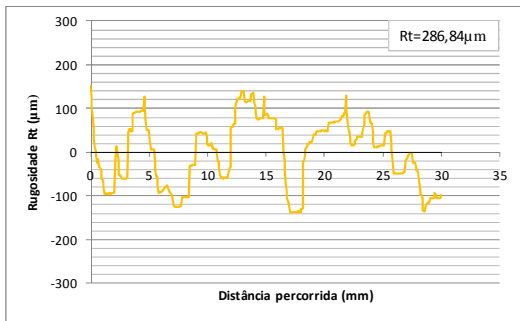


(B). Combinação 3

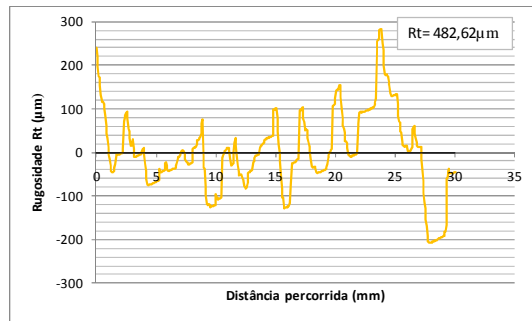
**Figura 37 . Gráficos da rocha Azul Fantástico correspondentes aos perfis de rugosidade inicial dos lados A e B, antes de serem submetidos às combinações 1,2 e3 de polimento.**

### 4.1.3 Amarelo Ornamental

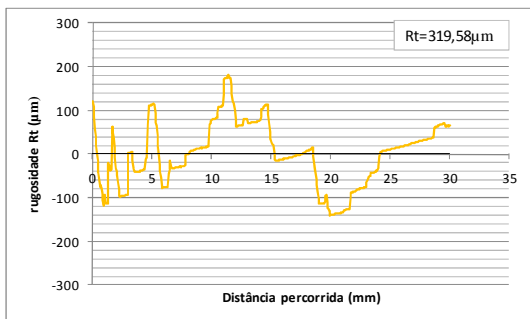
A rugosidade inicial das amostras do “granito” Amarelo Ornamental, representada na Figura 38, é determinada por meio do mesmo processo das outras rochas já citadas e apresenta valores de  $R_t$  de  $286,84\mu\text{m}$  e  $482,62\mu\text{m}$  (combinação 1),  $319,58\mu\text{m}$  e  $507,03\mu\text{m}$  (combinação 2) e  $222,01\mu\text{m}$  e  $271,73\mu\text{m}$  (combinação 3).



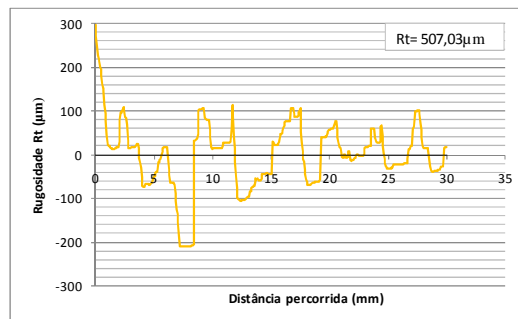
(A). Combinação 1



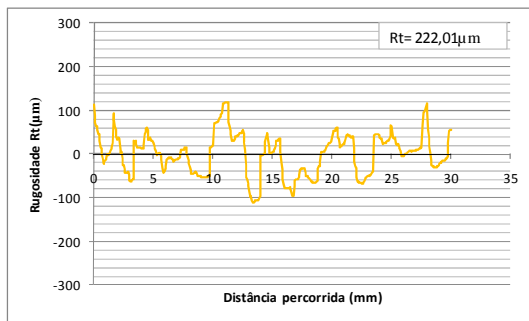
(B). Combinação 1



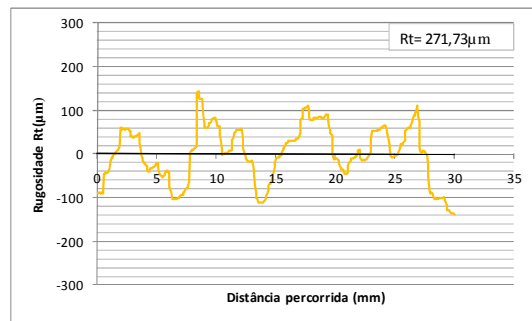
(A). Combinação 2



(B). Combinação 2



(A). Combinação 3



(B). Combinação 3

**Figura 38.** Gráficos da rocha Amarelo Ornamental correspondentes aos perfis de rugosidade inicial dos lados A e B, antes de serem submetidos às combinações 1,2 e3 de polimento.

## 4.2 Valores de perda de massa

Nas Tabela 2 à 10 estão os valores de desgaste e as porcentagens de perda de massa que as três rochas apresentaram em suas respectivas combinações (1 à 9) em todas etapas abrasivas (24# ao lustro) .

**Tabela 2 – Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 1 ( 1bar, 200rpm e 2 min).**

ABRASIVO (#)	PSG		AF		AO	
	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)
INICIAL	1034,93		979,52		957,26	
24	1033,51	0,137	979,04	0,049	955,7	0,163
36	1032,82	0,067	978,67	0,038	955,2	0,052
60	1032,46	0,035	978,37	0,031	954,82	0,040
120	1031,64	0,079	977,98	0,040	954,61	0,022
220	1031,42	0,021	977,87	0,011	954,43	0,019
400	1031,05	0,036	977,77	0,010	954,16	0,028
600	1030,87	0,017	977,66	0,011	954	0,017
800	1030,73	0,014	977,6	0,006	953,88	0,013
1200	1030,68	0,005	977,58	0,002	953,87	0,001
LUSTRO	1030,66	0,002	977,55	0,003	953,66	0,022

**Tabela 3 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 2 ( 1bar, 400rpm e 2 min).**

ABRASIVO (#)	PSG		AF		AO	
	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)
INICIAL	932,07		902,18		940,64	
24	927,66	0,473	900,91	0,141	938,72	0,204
36	926,14	0,164	900,13	0,087	937,87	0,091
60	924,89	0,135	899,45	0,076	937,02	0,091
120	923,6	0,139	898,66	0,088	936,11	0,097
220	922,95	0,070	898,28	0,042	935,7	0,044
400	922,67	0,030	898,08	0,022	935,56	0,015
600	922,51	0,017	897,98	0,011	935,43	0,014
800	922,33	0,020	897,92	0,007	935,31	0,013
1200	922,29	0,004	897,86	0,007	935,22	0,010
LUSTRO	922,26	0,003	897,7	0,018	934,98	0,026

**Tabela 4 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 3 ( 1bar, 600rpm e 2 min).**

ABRASIVO (#)	PSG		AF		AO	
	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)
INICIAL	1033,77		918,57		933,15	
24	1026,75	0,679	917,47	0,120	931,35	0,193
36	1026,63	0,012	916,81	0,072	930,34	0,108
60	1021,33	0,516	916,05	0,083	929,62	0,077
120	1019,8	0,150	915,06	0,108	928,85	0,083
220	1019,19	0,060	914,77	0,032	928,65	0,022
400	1019,02	0,017	914,53	0,026	928,48	0,018
600	1018,66	0,035	914,46	0,008	928,35	0,014
800	1018,59	0,007	914,34	0,013	928,18	0,018
1200	1018,57	0,002	914,32	0,002	928,16	0,002
LUSTRO	1018,53	0,004	914,28	0,004	928,14	0,002

**Tabela 5 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 4 ( 1bar, 200rpm e 4 min).**

ABRASIVO (#)	PSG		AF		AO	
	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)
INICIAL	1089,19		973,8		936,43	
24	1080,03	0,841	972,51	0,132	935,130	0,139
36	1078,93	0,102	972,22	0,030	934,620	0,055
60	1078,1	0,077	971,93	0,030	934,390	0,025
120	1076,53	0,146	971,2	0,075	933,700	0,074
220	1076,25	0,026	970,98	0,023	933,490	0,022
400	1075,8	0,042	970,71	0,028	933,180	0,033
600	1075,54	0,024	970,6	0,011	932,960	0,024
800	1075,4	0,013	970,57	0,003	932,760	0,021
1200	1075,34	0,006	970,54	0,003	932,51	0,027
LUSTRO	1075,3	0,004	970,49	0,005	932,460	0,005

**Tabela 6 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 5 ( 1bar, 400rpm e 4 min).**

ABRASIVO (#)	PSG		AF		AO	
	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)
INICIAL	952		926,68		966,23	
24	947,25	0,499	925,18	0,162	963,87	0,244
36	941,49	0,608	924,08	0,119	963,03	0,087
60	937,04	0,473	923,07	0,109	961,06	0,205
120	933,84 / 915,23	0,342	921,79	0,139	959,33	0,180
220	913,7	0,167	921,05	0,080	958,75	0,060
400	912,91	0,086	920,69	0,039	958,52	0,024
600	912,74	0,019	920,62	0,008	958,44	0,008
800	912,66	0,009	920,57	0,005	958,38	0,006
1200	912,64	0,002	920,56	0,001	958,25	0,014
LUSTRO	912,58	0,007	920,49	0,008	958,12	0,014

**Tabela 7 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 6 ( 1bar, 600rpm e 4 min).**

ABRASIVO (#)	PSG		AF		AO	
	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)
INICIAL	1042,64		939,83		962,28	
24	1037,31	0,511	938,25	0,168	959,5	0,289
36	1033,55	0,362	937,15	0,117	957,96	0,161
60	1028,88	0,452	935,92	0,131	956,01	0,204
120	1025,13 / 1007	0,364	934,41	0,161	954,01	0,209
220	1005,01	0,198	933,33	0,116	953,16	0,089
400	1004,5	0,051	933	0,035	952,93	0,024
600	1004,33	0,017	932,92	0,009	952,77	0,017
800	1004,25	0,008	932,89	0,003	952,74	0,003
1200	1004,17	0,008	932,88	0,001	952,63	0,012
LUSTRO	1004,14	0,003	932,87	0,001	952,56	0,007

**Tabela 8 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 7 ( 1bar, 200rpm e 6 min).**

ABRASIVO (#)	PSG		AF		AO	
	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)
INICIAL	1030,73		963,9		939,51	
24	1026,44	0,416	961,65	0,233	936,84	0,284
36	1025,33	0,108	960,82	0,086	936,46	0,041
60	1024,46	0,085	960,34	0,050	935,55	0,097
120	1022,92	0,150	959,64	0,073	934,76	0,084
220	1022,16	0,074	958,95	0,072	934,17	0,063
400	1021,45	0,069	958,49	0,048	934,14	0,003
600	1021,15	0,029	958,45	0,004	934,07	0,007
800	1021,12	0,003	958,43	0,002	933,95	0,013
1200	1021,08	0,004	958,36	0,007	933,65	0,032
LUSTRO	1021,07	0,001	958,2	0,017	933,12	0,057

**Tabela 9 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 8 ( 1bar, 400rpm e 6 min).**

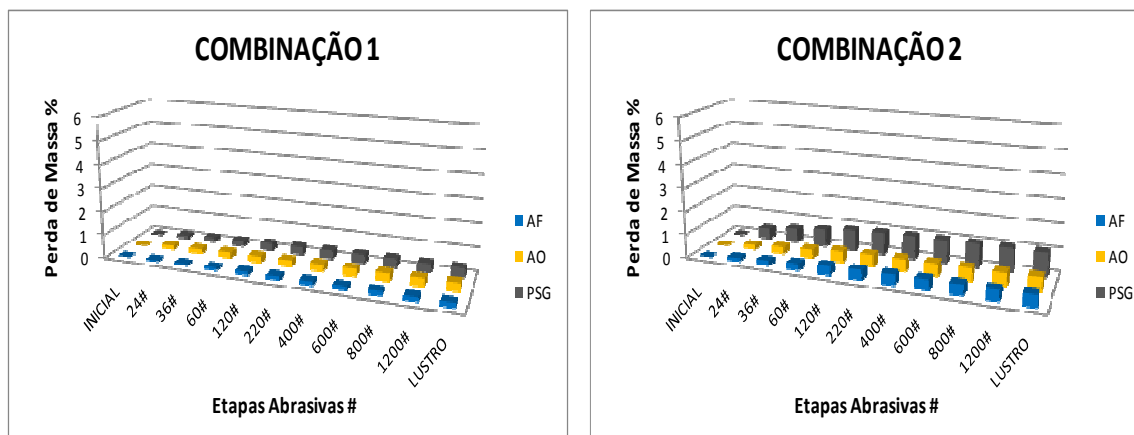
ABRASIVO (#)	PSG		AF		AO	
	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)
INICIAL	1106,77		962,66		944,55	
24	1094,04	1,150	959,79	0,298	941,69	0,303
36	1083,58	0,956	957,27	0,263	939,4	0,243
60	1075,1	0,783	954,46	0,294	936,16	0,345
120	1070,74 / 1043,98	0,406	951,89	0,269	934,13 / 930,1	0,217
220	1042,33	0,158	950,92	0,102	929,2	0,097
400	1041,52	0,078	950,34	0,061	928,59	0,066
600	1041,13	0,037	950,18	0,017	928,47	0,013
800	1040,94	0,018	950,09	0,009	928,18	0,031
1200	1040,87	0,007	950,08	0,001	928,16	0,002
LUSTRO	1040,87	0,000	950,06	0,002	928,02	0,015

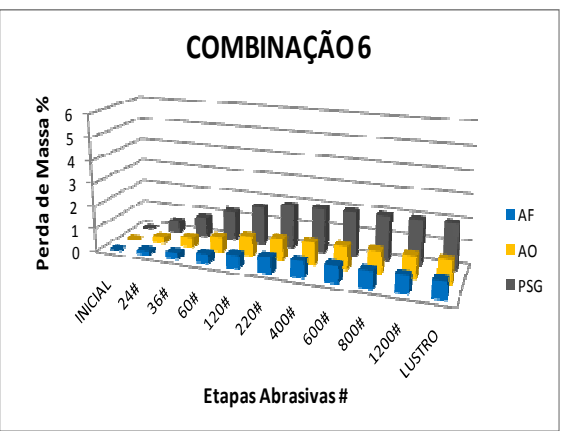
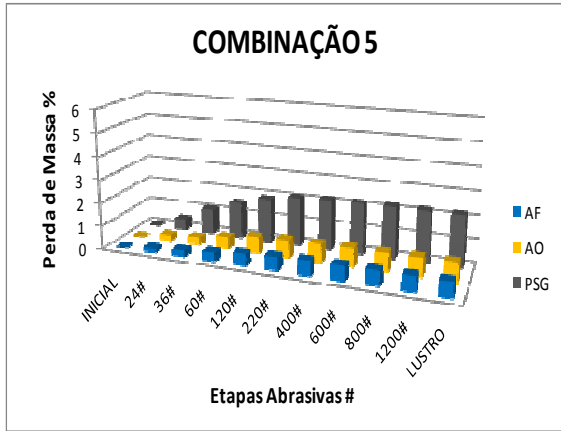
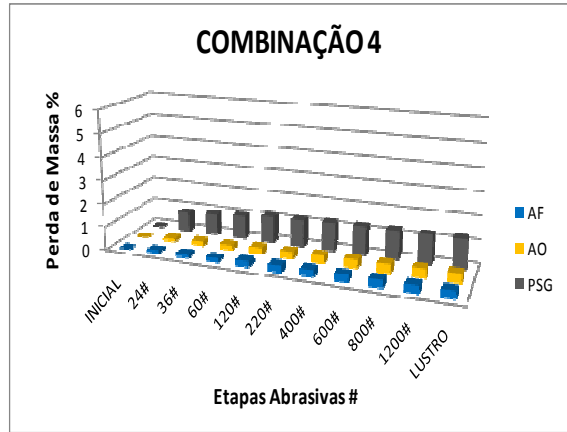
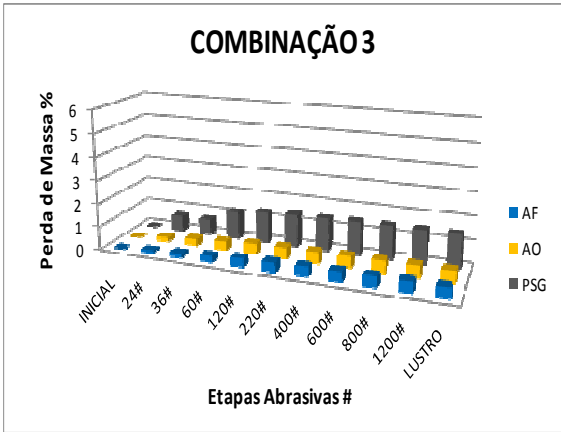


**Tabela 10 - Valores de perda de massa e suas respectivas porcentagens em cada etapa abrasiva na combinação 9 ( 1bar, 600rpm e 6 min).**

ABRASIVO (#)	PSG		AF		AO	
	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)	PESO (g)	PERDA (%)
INICIAL	1118,18		978,44		923,51	
24	1102,58	1,395	975,5	0,300	919,2	0,467
36	1086,45	1,463	972,51	0,307	914,19	0,545
60	1074,51	1,099	969,68	0,291	909,96	0,463
120	1069,9 / 1018,74	0,429	967,36	0,239	907,95 / 904,7	0,221
220	1015,94	0,275	966,21	0,119	903,08	0,179
400	1015,38	0,055	965,71	0,052	902,63 / 897,12	0,050
600	1014,8	0,057	965,68	0,003	897,100	0,002
800	1014,1	0,069	965,59	0,009	895,97	0,126
1200	1014,05	0,005	965,58	0,001	895,86	0,012
LUSTRO	1013,65	0,039	965,53	0,005	895,15	0,079

Na Figura 39 é mostrado o comportamento das três rochas estudadas, comparadas entre si, em relação à perda de massa em cada etapa abrasiva, nas nove combinações.





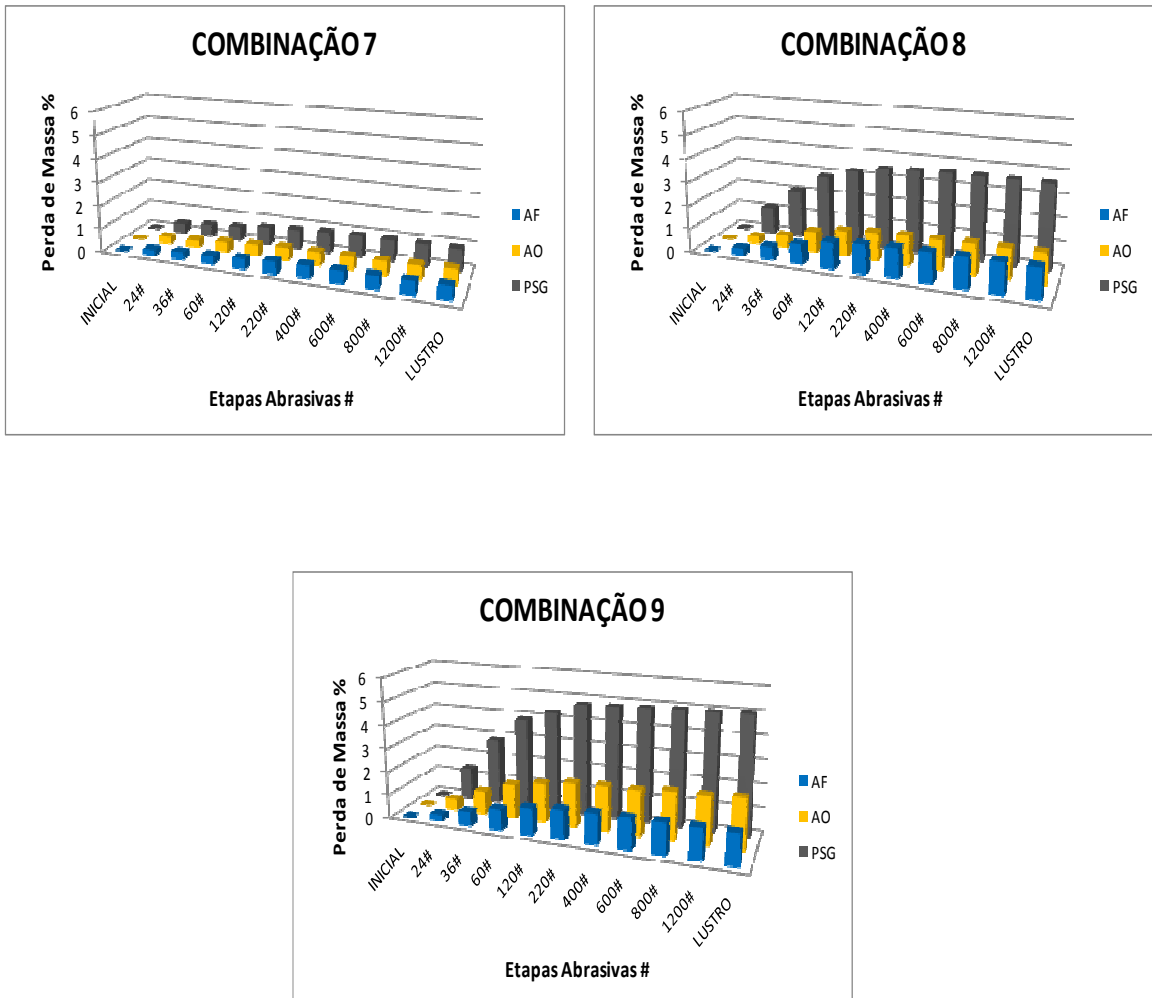


Figura 39. Gráficos de perda de massa das 9 combinações.

As porcentagens de perda de massa total dos “granitos” PSG, AF e AO em cada combinação são apresentadas nas Tabelas 11, 12 e 13, respectivamente.

**Tabela 11- Valores de perda de massa total do PSG.**

<b>COMBINAÇÕES</b>	<b>PERDA DE MASSA (%)</b>
<b>1 (1 bar, 200 rpm e 2 min.)</b>	<b>0,41</b>
<b>2 (1 bar, 400 rpm e 2 min.)</b>	<b>1,06</b>
<b>3 (1 bar, 600 rpm e 2 min.)</b>	<b>1,48</b>
<b>4 (1 bar, 200 rpm e 4 min.)</b>	<b>1,28</b>
<b>5 (1 bar, 400 rpm e 4 min.)</b>	<b>2,21</b>
<b>6 (1 bar, 600 rpm e 4 min.)</b>	<b>1,97</b>
<b>7 (1 bar, 200 rpm e 6 min.)</b>	<b>0,94</b>
<b>8 (1 bar, 400 rpm e 6 min.)</b>	<b>3,59</b>
<b>9 (1 bar, 600 rpm e 6 min.)</b>	<b>4,88</b>

**Tabela 12- Valores de perda de massa total do AF.**

<b>COMBINAÇÕES</b>	<b>PERDA DE MASSA (%)</b>
<b>1 (1 bar, 200 rpm e 2 min.)</b>	<b>0,2</b>
<b>2 (1 bar, 400 rpm e 2 min.)</b>	<b>0,49</b>
<b>3 (1 bar, 600 rpm e 2 min.)</b>	<b>0,46</b>
<b>4 (1 bar, 200 rpm e 4 min.)</b>	<b>0,34</b>
<b>5 (1 bar, 400 rpm e 4 min.)</b>	<b>0,67</b>
<b>6 (1 bar, 600 rpm e 4 min.)</b>	<b>0,74</b>
<b>7 (1 bar, 200 rpm e 6 min.)</b>	<b>0,59</b>
<b>8 (1 bar, 400 rpm e 6 min.)</b>	<b>1,31</b>
<b>9 (1 bar, 600 rpm e 6 min.)</b>	<b>1,32</b>

Tabela 13- Valores de perda de massa total do AO.

<b>COMBINAÇÕES</b>	<b>PERDA DE MASSA (%)</b>
<b>1 (1 bar, 200 rpm e 2 min.)</b>	<b>0,37</b>
<b>2 (1 bar, 400 rpm e 2 min.)</b>	<b>0,6</b>
<b>3 (1 bar, 600 rpm e 2 min.)</b>	<b>0,53</b>
<b>4 (1 bar, 200 rpm e 4 min.)</b>	<b>0,42</b>
<b>5 (1 bar, 400 rpm e 4 min.)</b>	<b>0,84</b>
<b>6 (1 bar, 600 rpm e 4 min.)</b>	<b>1,01</b>
<b>7 (1 bar, 200 rpm e 6 min.)</b>	<b>0,68</b>
<b>8 (1 bar, 400 rpm e 6 min.)</b>	<b>1,33</b>
<b>9 (1 bar, 600 rpm e 6 min.)</b>	<b>2,14</b>

### **4.3 Valores de brilho**

Nas tabelas 14 a 22 são mostrados os valores de brilho medidos nos 6 intervalos ( P1 ao P6 ), a cada troca de abrasivo (24# ao lustro) nas nove combinações executadas nos “granitos” Preto São Gabriel, Azul Fantástico e Amarelo Ornamental.

**Tabela 14 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 1  
( 1bar, 200rpm e 2 min).**

ETAPAS (#)	COMBINAÇÃO 1		
	PSG	AF	AO
24	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0
36	0;0;0;0;0;0	0;1;0;2;2;2	1;1;1;0;1;0
60	1;1;1;1;1;1	1;1;2;1;1;3	2;1;1;1;1;0
120	3;3;3;4;5;5	1;1;2;1;1;3	3;2;2;1;2;1
220	4;5;6;5;6;5	7;8;10;9;9;13	10;8;8;7;7;6
400	12;14;14;16;15;9	17;22;23;24;23;24	18;16;12;17;16;8
600	28;27;23;27;33;20	31;39;41;38;37;41	37;31;27;28;32;23
800	43;45;49;50;45;35	56;51;51;51;52;63	51;51;42;38;50;42
1200	53;60;65;63;64;49	60;60;61;58;60;76	58;52;54;51;60;51
LUSTRO	73;90;78;88;77;70	73;74;74;67;70;83	63;59;65;60;70;67

**Tabela 15 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 2  
( 1bar, 400rpm e 2 min).**

ETAPAS (#)	COMBINAÇÃO 2		
	PSG	AF	AO
24	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0
36	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0
60	0;0;0;0;0;0	1;0;1;0;0;0	0;0;0;0;0;0
120	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0
220	0;0;1;0;0;0	2;2;2;1;2;2	2;1;2;2;1;2
400	6;4;8;3;5;2	13;11;11;10;16;11	9;10;10;10;10;9
600	14;17;16;17;16;15	19;19;24;24;28;18	19;19;21;22;22;19
800	31;35;32;35;27;32	47;42;48;37;55;44	47;52;47;47;54;48
1200	63;58;68;52;65;60	80;64;76;66;78;70	72;74;71;66;72;70
LUSTRO	72;68;71;69;69;78	87;72;84;74;88;86	79;81;80;77;80;75

**Tabela 16 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 3  
( 1bar, 600rpm e 2 min).**

ETAPAS (#)	COMBINAÇÃO 3		
	PSG	AF	AO
24	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0
36	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0	0;1;1;1;1;1
60	0;0;0;0;0;0	1;0;1;1;1;0	1;2;1;1;2;1
120	0;0;0;0;0;0	1;1;1;2;2;1	2;4;3;4;4;4
220	0;0;1;0;0;0	3;4;5;3;5;4	4;6;7;6;9;7
400	7;4;9;8;0;2	14;22;11;15;17;12	18;19;15;17;18;11
600	20;17;18;18;8;18	29;30;13;25;28;22	24;34;32;32;33;26
800	43;23;40;42;25;36	43;66;43;54;45;49	64;59;62;54;57;49
1200	57;52;49;55;37;50	61;80;62;78;66;75	67;70;79;66;67;62
LUSTRO	81;70;66;69;51;76	75;87;82;84;83;90	70;77;82;73;77;65

**Tabela 17 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 4  
( 1bar, 200rpm e 4 min).**

ETAPAS (#)	COMBINAÇÃO 4		
	PSG	AF	AO
24	0;0;0;0;0;0	2;1;0;2;0;0	0;0;0;0;0;0
36	1;1;1;1;1;1	7;6;6;6;5;6	1;1;1;1;1;1
60	1;1;1;1;1;1	1;1;1;2;1;1	1;2;1;1;1;1
120	1;1;1;0;0;0	1;1;1;2;1;1	2;2;1;1;1;1
220	5;7;7;7;7;6	8;8;9;11;9;10	6;7;6;7;6;6
400	10;12;11;6;7;12	18;19;17;22;17;22	18;15;18;21;17;21
600	28;22;25;18;19;21	39;38;41;37;37;46	43;37;37;41;41;39
800	45;41;43;46;40;41	64;61;53;57;53;59	54;45;48;48;49;47
1200	63;63;71;67;51;60	67;65;67;66;66;65	55;53;50;60;55;53
LUSTRO	77;79;75;80;71;71	70;68;73;70;66;71	65;57;53;60;63;62

**Tabela 18 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 5  
( 1bar, 400rpm e 4 min).**

ETAPAS (#)	COMBINAÇÃO 5		
	PSG	AF	AO
24	0;0;0;0;0;0	1;5;1;1;1;1	1;1;1;1;1;1
36	0;0;0;0;0;0	1;5;2;1;2;2	1;2;1;2;2;2
60	0;0;0;0;0;0	2;6;3;2;2;2	1;2;1;2;2;2
120	1;0;0;0;0;0	2;4;3;2;2;4	1;2;1;2;2;2
220	2;2;1;1;1;1	5;5;5;5;3;6	2;3;2;3;5;3
400	9;12;7;7;10;7	11;9;14;11;10;12	6;6;5;9;9;7
600	25;20;22;13;25;20	27;33;24;17;22;22	28;23;25;21;19;28
800	41;37;49;48;51;34	46;45;33;34;30;42	37;33;37;35;38;33
1200	61;56;64;65;62;60	58;58;49;56;51;49	50;51;49;45;50;50
LUSTRO	71;76;72;72;73;76	74;71;57;71;70;68	61;56;53;54;61;60

**Tabela 19 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 6  
( 1bar, 600rpm e 4 min).**

ETAPAS (#)	COMBINAÇÃO 6		
	PSG	AF	AO
24	0;0;0;0;0;0	1;1;1;1;1;1	1;1;1;1;1;1
36	0;0;0;0;0;0	2;2;4;4;3;2	1;1;1;1;1;1
60	0;0;0;0;0;0	3;2;4;5;6;3	1;1;1;1;1;1
120	1;0;1;0;0;0	4;2;4;5;7;4	1;1;1;1;1;1
220	1;1;1;0;0;1	3;1;2;1;2;3	1;1;2;1;1;2
400	8;8;6;7;11;10	11;11;14;12;11;13	8;8;9;7;5;12
600	10;21;12;28;21;15	34;30;30;31;31;28	20;20;24;26;30;33
800	34;43;46;45;46;52	50;44;43;50;51;51	48;42;41;45;46;39
1200	63;62;56;66;70;80	59;61;61;69;66;66	58;57;57;60;61;51
LUSTRO	72;72;71;74;78;86	71;80;73;73;72;75	60;63;61;65;70;58



**Tabela 20 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 7  
( 1bar, 200rpm e 6 min).**

ETAPAS (#)	COMBINAÇÃO 7		
	PSG	AF	AO
24	1;1;1;1;1;1	0;0;0;0;0;0	1;0;0;0;1;1
36	3;3;4;4;3;4	4;3;3;2;4;5	5;5;4;4;6;6
60	2;3;3;3;3;3	5;6;5;6;6;8	5;5;4;4;6;6
120	2;3;3;3;3;3	5;6;5;6;7;11	6;5;5;5;6;7
220	3;5;4;7;3;4	8;10;10;10;10;15	5;5;5;6;7;6
400	11;9;10;10;8;11	15;15;17;16;11;22	18;17;20;15;15;19
600	16;26;27;34;30;16	30;29;35;40;47;36	39;33;37;31;38;44
800	54;53;43;53;55;52	54;51;54;50;63;53	53;43;43;44;54;56
1200	71;65;68;70;71;70	64;72;76;64;81;73	62;53;55;61;61;61
LUSTRO	77;73;75;75;76;74	73;80;79;77;84;83	71;70;68;73;68;74

**Tabela 21 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 8  
( 1bar,400rpm e 6 min).**

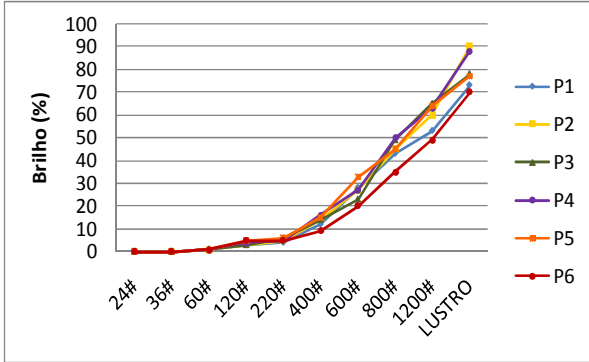
ETAPAS (#)	COMBINAÇÃO 8		
	PSG	AF	AO
24	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0	0;1;1;1;1;0
36	0;0;0;0;0;0	1;1;1;1;1;1	1;1;1;1;1;1
60	0;0;0;0;0;0	1;1;1;1;1;1	1;1;1;1;1;1
120	0;0;0;0;0;0	1;1;1;1;1;1	1;1;1;1;1;1
220	2;1;1;1;1;1	2;1;2;2;2;3	2;1;2;2;2;2
400	9;11;7;9;7;8	7;7;12;10;10;10	8;8;8;8;11;7
600	20;18;18;21;17;23	25;21;43;39;35;28	22;20;20;34;30;30
800	43;37;38;50;42;46	49;46;53;54;45;47	51;37;48;53;56;46
1200	56;54;54;65;51;50	58;54;58;62;64;60	63;57;65;64;65;57
LUSTRO	65;63;62;68;64;67	62;58;60;69;68;61	66;65;67;69;70;65

**Tabela 22 - Valores dos 6 intervalos de brilho medidos nas etapas abrasivas na combinação 8  
( 1bar, 600rpm e 6 min).**

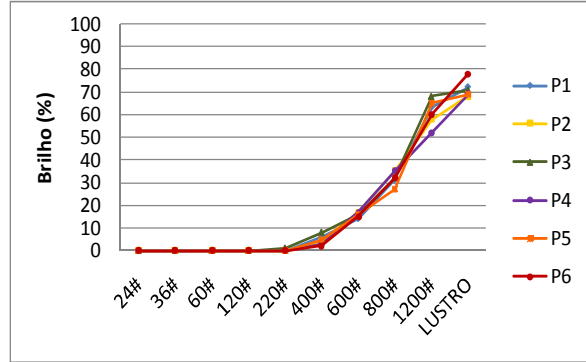
ETAPAS (#)	COMBINAÇÃO 9		
	PSG	AF	AO
24	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0	0;0;0;0;0;0
36	0;0;0;0;0;0	1;1;1;1;1;1	1;1;1;1;1;1
60	0;0;0;0;0;0	1;1;1;1;1;1	1;1;1;1;1;1
120	0;1;1;0;0;0	1;1;1;1;1;1	1;1;1;1;1;1
220	0;0;0;0;0;0	1;2;1;2;2;1	0;1;1;1;1;1
400	10;10;11;11;4;9	10;9;11;13;14;11	5;9;9;11;7;11
600	18;18;27;18;11;22	36;42;37;35;36;34	9;16;16;22;13;30
800	36;43;43;43;30;33	41;54;63;50;49;46	27;33;41;47;45;48
1200	64;58;70;66;49;42	62;64;66;62;60;64	48;54;57;55;53;64
LUSTRO	72;70;75;81;68;66	69;70;70;66;66;69	50;63;61;63;64;66

Nas Figura 40, 41 e 42 pode-se observar o progresso dos valores de brilho que foram obtidos por meio das medidas relacionadas nas tabelas 10 a 19.

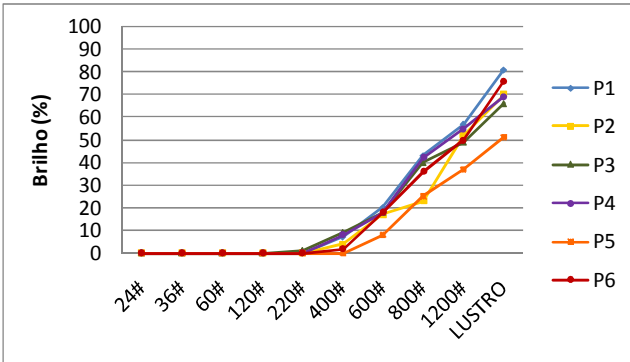
## Preto São Gabriel



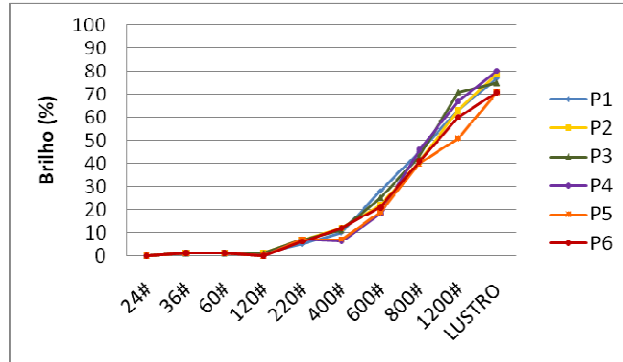
(COMB.1). (1bar, 200 rpm e 2 min.)



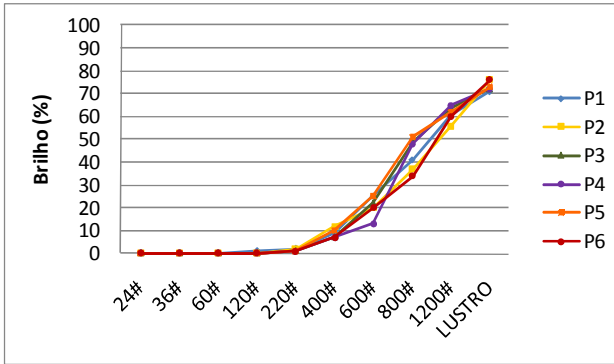
(COMB.2). (1bar, 400rpm e 2 min.)



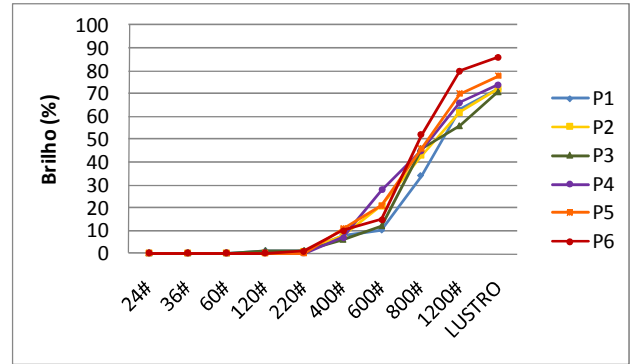
(COMB.3). (1bar, 600rpm e 2 min.)



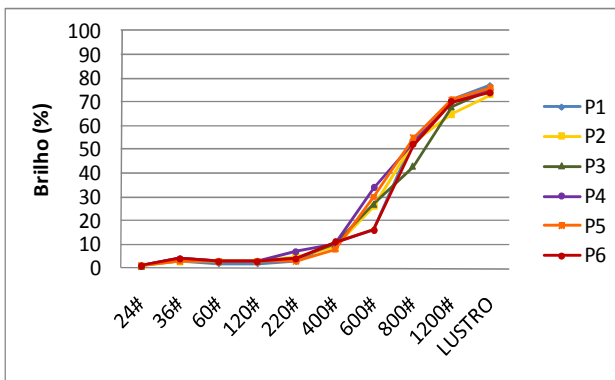
(COMB.4). (1bar, 200rpm e 4 min.)



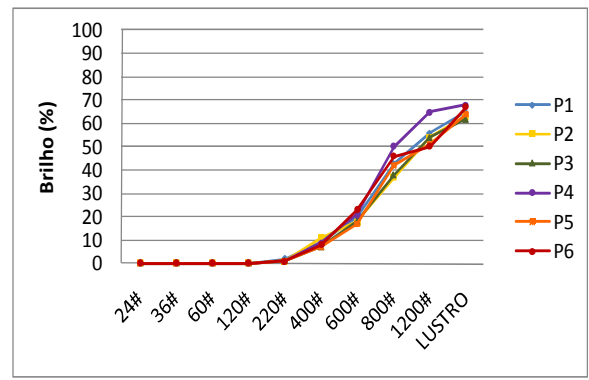
(COMB.5). (1bar, 400rpm e 4 min.)



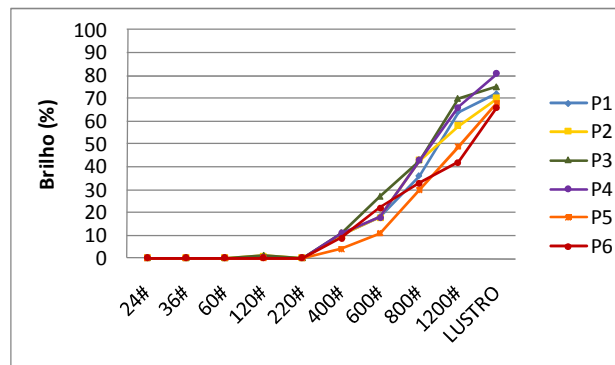
(COMB.6). (1bar, 600rpm e 4 min.)



(COMB.7). (1bar, 200rpm e 6 min.)



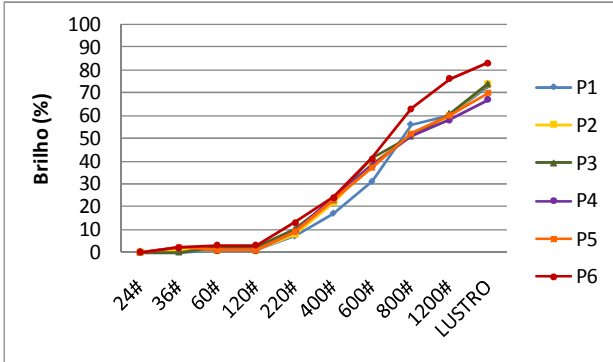
(COMB.8). (1bar, 400rpm e 6 min.)



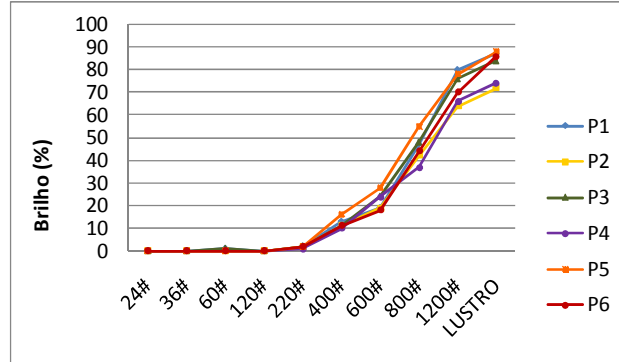
(COMB.9). (1bar, 400rpm e 6 min.)

Figura 40. Medidas de brilho X Grana abrasiva dos seis intervalos medidos. Preto São Gabriel.

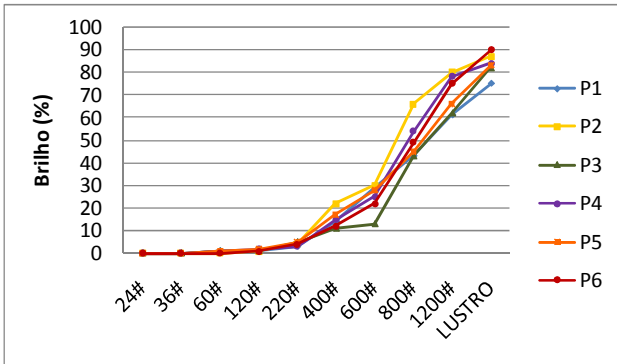
## Azul Fantástico



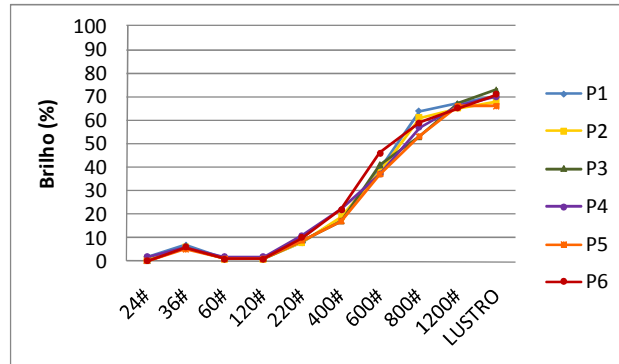
(COMB.1). (1bar, 200rpm e 2 min.)



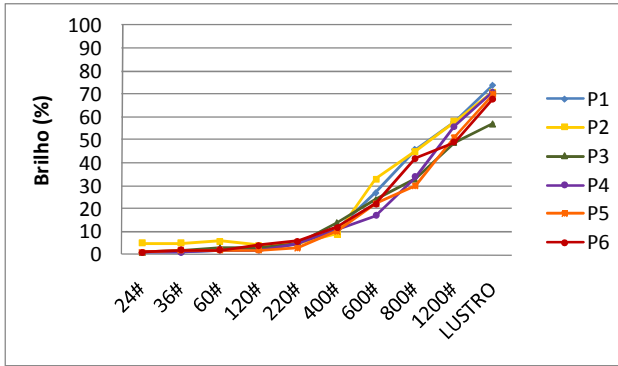
(COMB.2). (1bar, 400rpm e 2 min.)



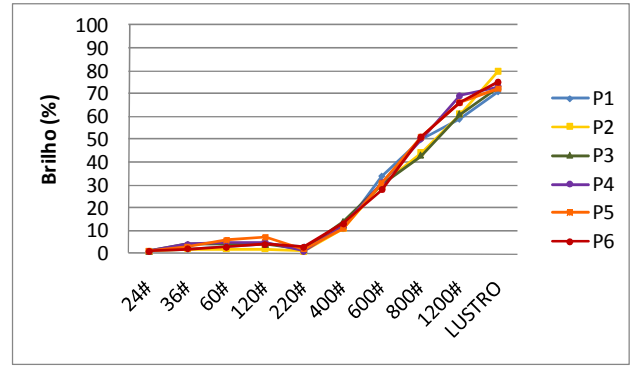
(COMB.3). (1bar, 600rpm e 2 min.)



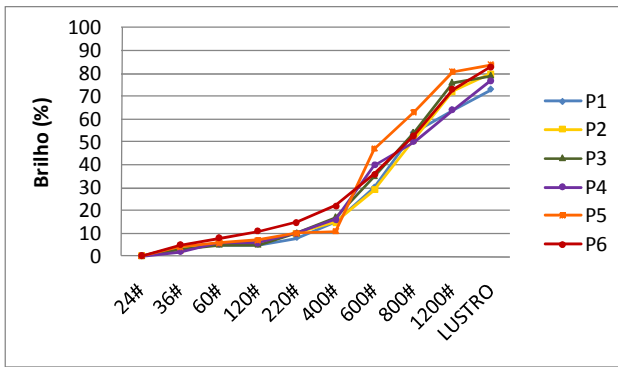
(COMB.4). (1bar, 200rpm e 4 min.)



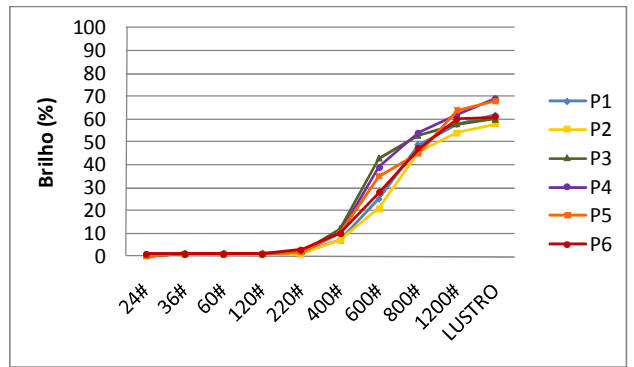
(COMB.5). (1bar, 400rpm e 4 min.)



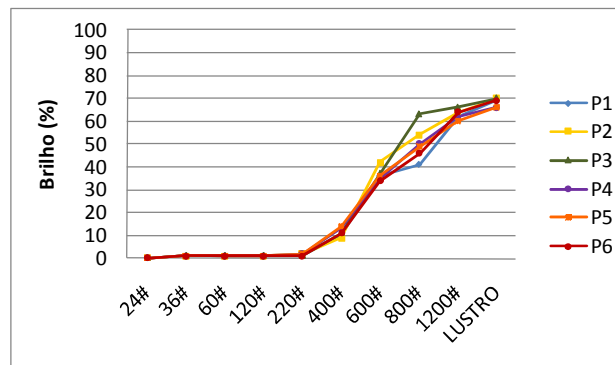
(COMB.6). (1bar, 600rpm e 4 min.)



(COMB.7). (1bar, 200rpm e 6 min.)



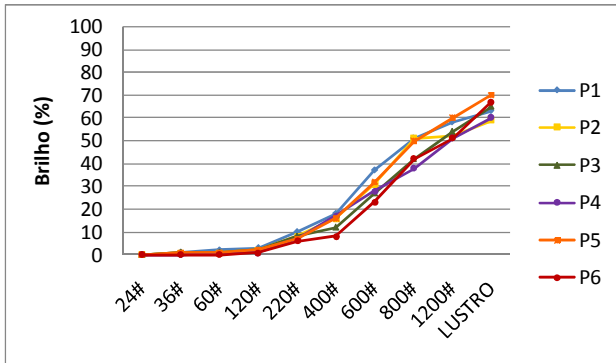
(COMB.8). (1bar, 400rpm e 6 min.)



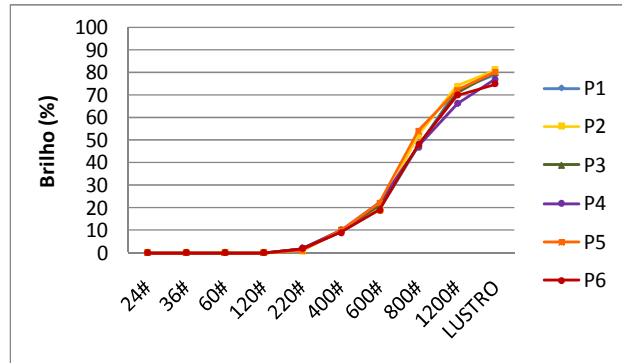
(COMB.9). (1bar, 600rpm e 6 min.)

Figura 41. Medidas de brilho X Grana abrasiva dos seis intervalos medidos. Azul Fantástico.

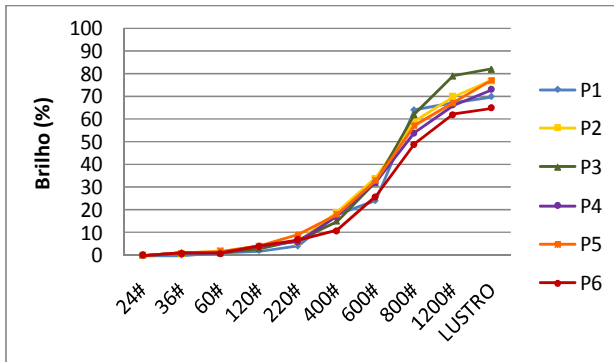
## Amarelo Ornamental



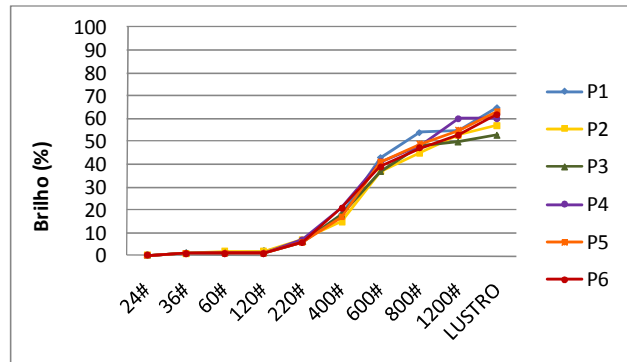
(COMB.1). (1bar, 200rpm e 2 min.)



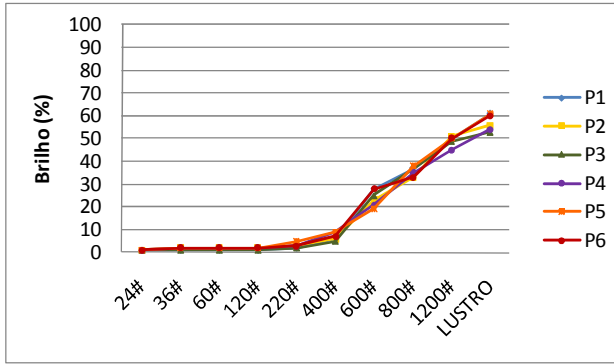
(COMB.2). (1bar, 400rpm e 2 min.)



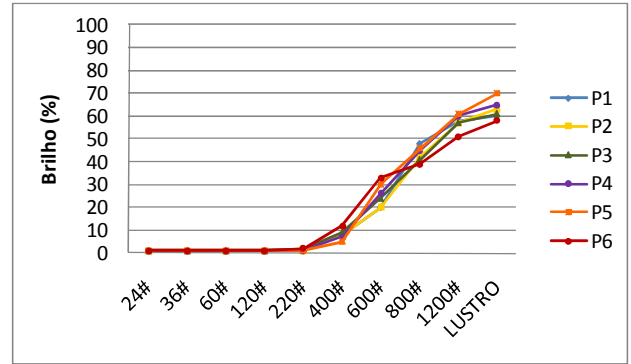
(COMB.3) (1bar, 600rpm e 2 min.)



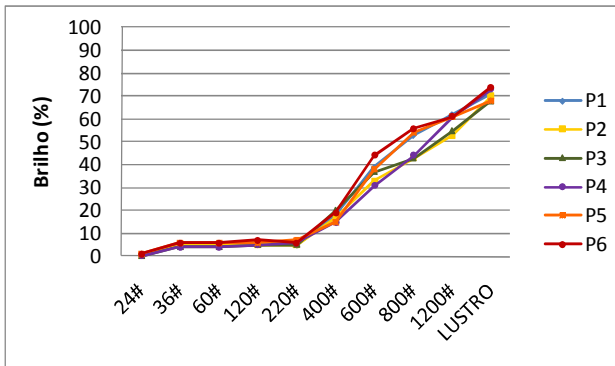
(COMB.4) (1bar, 200rpm e 4 min.)



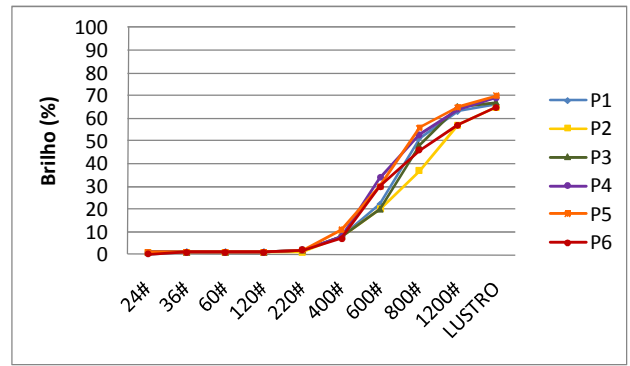
(COMB.5) (1bar, 400rpm e 4 min.)



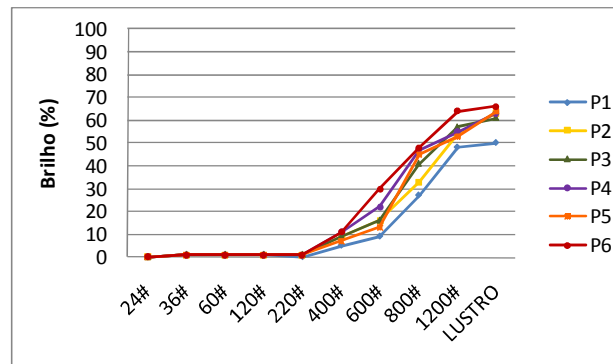
(COMB.6) (1bar, 600rpm e 4 min.)



(COMB.7) (1bar, 200rpm e 6 min.)



(COMB.8) (1bar, 400rpm e 6 min.)



(COMB.9) (1bar, 600rpm e 6 min.)

Figura 42. Medidas de brilho X Grana abrasiva dos seis intervalos medidos. Amarelo Ornamental.



## 4.1 Brilhos pontuais

Foram observadas durante o processo de polimento, algumas medições de brilho fora da tendência dos outros intervalos na mesma amostra. Um desses foi escolhido para análise de imagens (Figura 44). O intervalo se refere à amostra do “granito” Azul Fantástico e foi registrado na 3ª combinação de polimento executada, cujas coordenadas em destaque são: 13% x 600# e 43% x 800#, como é mostrado a Figura 43. Esse intervalo apresentou um índice de brilho menor que os outros da mesma amostra no momento citado e retomou seu crescimento durante o restante do processo, atingindo um valor final equiparável aos os outros intervalos.

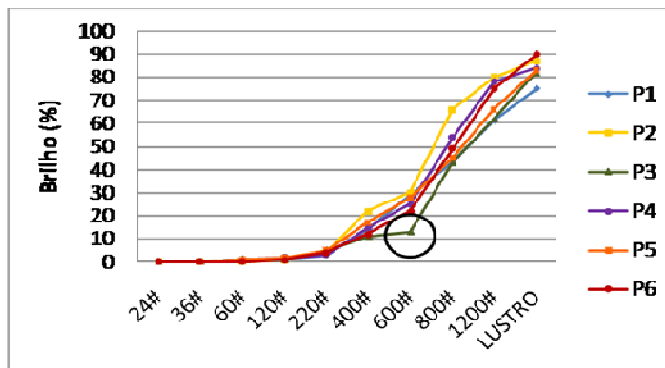


Figura 43. Gráfico do “granito” Azul Fantástico na combinação 3 (2min, 1 bar e 600rpm), com enfoque no ponto 3 de leitura na etapa abrasiva de 600#.

Uma determinada área da amostra, composta por cristais diferentes, pode gerar com o polimento desgastes distintos em função da dureza de cada cristal, causando angulações

diferentes da superfície dos cristais e gerando mudanças no comportamento do brilho em cada etapa abrasiva. Essa mudança comportamental pode ocorrer em função da posição dos cristais em relação ao ângulo de incidência da luz e também pode ser causada por defeitos cristalográficos, inclusões, geminações entre outros fatores, que não serão abordados neste trabalho.



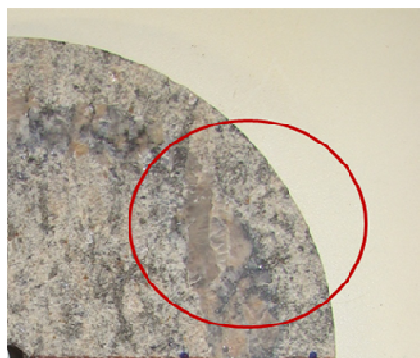
(A).24#



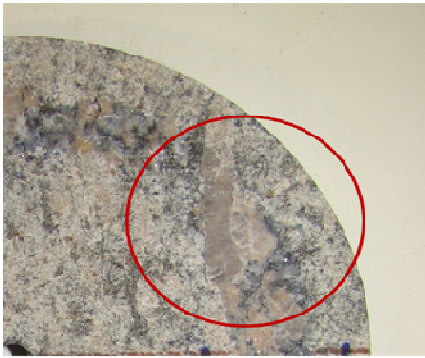
(B).36#



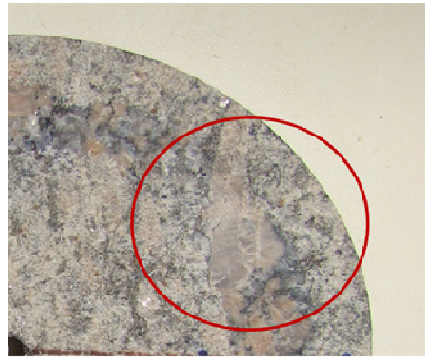
(C).60#



(D).120#



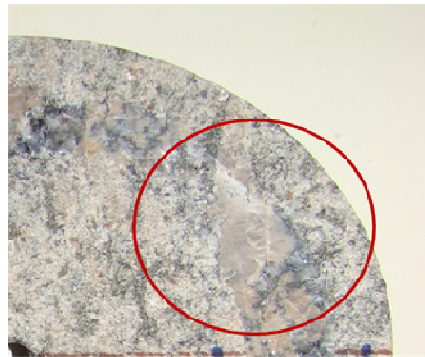
(E).220#



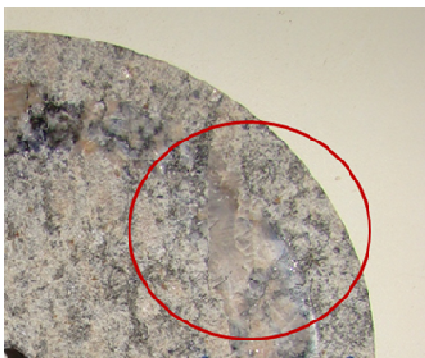
(F).400#



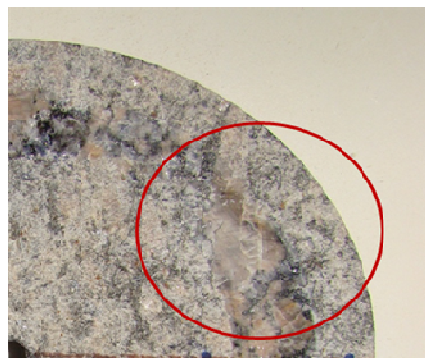
(G).600#



(H).800#



(I).1200#



(J).LUSTRO

**Figura 44. “Granito” Azul Fantástico- Sequência de polimento da etapa 3 no terceiro ponto de leitura.**

#### 4.1 Distância Percorrida

O número de voltas nas três primeiras combinações foi registrado por meio de um conta-giros instalado no SPR; esses valores multiplicados pelo perímetro ( $2\pi \times r$ ) da amostra quantificam o percurso do abrasivo sobre a superfície da rocha, durante o tempo de exposição. Nas Tabelas 23, 24 e 25 são apresentados esses valores em todas as etapas abrasivas.

combinação 1						
etapa abrasiva (#)	PSG		AF		AO	
	voltas	distância (m)	voltas	distância (m)	voltas	distância (m)
24	401	138,58	404	139,61	380	131,32
36	404	139,61	398	137,54	402	138,92
60	389	134,43	426	147,22	400	138,23
120	412	142,38	400	138,23	388	134,08
220	401	138,58	403	139,27	407	140,65
400	399	137,88	399	137,88	382	132,01
600	401	138,58	410	141,69	386	133,39
800	396	136,85	398	137,54	397	137,19
1200	409	141,34	410	141,69	402	138,92
lustro	404	139,61	415	143,41	399	137,88
Distância total		1387,83		1404,07		1362,60

Tabela 23 – Número de voltas e distâncias percorridas pelo abrasivo sobre as amostras (comb.1).

combinação 2						
etapa abrasiva (#)	PSG		AF		AO	
	voltas	distância (m)	voltas	distância (m)	voltas	distância (m)
24	451	155,85	400	138,23	463	160,00
36	459	158,62	459	158,62	466	161,04
60	450	155,51	447	154,47	435	150,33
120	450	155,51	463	160,00	445	153,78
220	439	151,71	470	162,42	446	154,13
400	461	159,31	450	155,51	476	164,49
600	472	163,11	451	155,85	460	158,96
800	461	159,31	480	165,88	474	163,80
1200	468	161,73	447	154,47	439	151,71
lustro	440	152,05	459	158,62	469	162,07
Distância total		1572,71		1564,07		1580,32

**Tabela 24 – Número de voltas e distâncias percorridas pelo abrasivo sobre as amostras (comb.2).**

combinação 3						
etapa abrasiva (#)	PSG		AF		AO	
	voltas	distância (m)	voltas	distância (m)	voltas	distância (m)
24	506	174,86	498	172,10	494	170,71
36	521	180,04	497	171,75	506	174,86
60	459	158,62	504	174,17	523	180,74
120	540	186,61	498	172,10	509	175,90
220	514	177,63	475	164,15	473	163,46
400	510	176,24	506	174,86	509	175,90
600	510	176,24	520	179,70	515	177,97
800	529	182,81	557	192,49	610	210,80
1200	551	190,41	535	184,88	535	184,88
lustro	613	211,84	545	188,34	580	200,43
Distância total		1815,31		1774,53		1815,65

**Tabela 25 – Número de voltas e distâncias percorridas pelo abrasivo sobre as amostras (comb.3).**

## **5 ANÁLISES DOS DADOS**

### ***5.1 Rugosidade das amostras***

Os dois valores de rugosidade inicial  $R_t$  (Trechos A e B) obtidos em cada amostras ( referentes a combinação 1, 2 e 3) foram utilizados para calcular a média dos  $R_t$  para cada tipo de rocha. O “granito Preto São Gabriel (PSG) apresentou o valor médio de 323,54  $\mu\text{m}$ , o Azul Fantástico (AF) de 350,08  $\mu\text{m}$  e o Amarelo Ornamental (AO) de 348,30  $\mu\text{m}$ .

O PSG foi o que apresentou menor valor, mas sem muita discrepância em relação aos “granitos” AF e AO, que apresentaram maior proximidade entre as suas médias, o que leva a identificar uma condição inicial muito próxima para os três tipos de rocha, como é desejável.

### ***5.2 Perda de massa***

Em todos os casos a maior porcentagem de perda de massa ocorreu nas etapas de desbaste (24#, 36#, 60# e 120#). Trata-se de um resultado esperado levando-se em consideração justamente o objetivo dessas etapas, que é o de retirar as imperfeições da rocha para iniciar as etapas de polimento com abrasivos de granulação mais fina.

Pode-se observar nos gráficos da Figura 45 que a sequência em relação às perdas de massa em todas as combinações foi análoga (PSG, AO e AF), seguindo a ordem da maior perda para a menor.

Conforme já referido anteriormente, os granitos são classificados empiricamente na indústria da pedra, em relação à sua dureza, como duros, médios e moles. O “granito” Preto São Gabriel nessa classificação se encaixa como mole e os “granitos” Azul Fantástico e Amarelo Ornamental como duros.

O “granito” Preto São Gabriel, apresentou uma perda de massa maior do que os outros tipos ensaiados, em todas as combinações, devido a sua composição ter uma pequena porcentagem de quartzo e sua resistência ao Desgaste Amsler (1,00mm) ser maior do que os das outras rochas estudadas.

As maiores perdas ocorreram nas combinações 9, 8 e 5 com as respectivas porcentagens de 5%, 3,62% e 2,22%, as menores nas combinações 1, 7 e 2 com 0,41%, 0,93% e 1,05% (Figura 45).

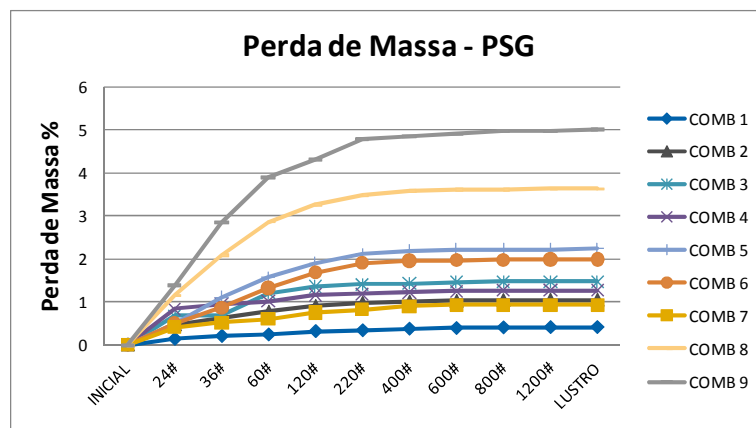


Figura 45. Gráfico de perda de massa do “granito” Preto São Gabriel nas combinações de 1 a 9.

Os outros dois tipos de rocha escolhidos apresentam composição mineralógica, características texturais e tecnológicas semelhantes, como por exemplo, maior quantidade de quartzo em suas composições e resultados de desgaste Amsler próximos (AF 0,51 mm e o AO

0,61mm), sendo por isso, classificados como duros. Tais fatores de similaridade podem justificar as possíveis semelhanças de resultados durante o processo.

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. As porcentagens de maior perda foram AF: 1,32%, 1,31% e 0,74% e AO: 2,14%, 1,32% e 1,01%. Os valores de menor perda foram AF: 0,20%, 0,33% e 0,47% e AO: 0,37%, 0,42% e 0,54% (Figura 46 e 47Figura 47).

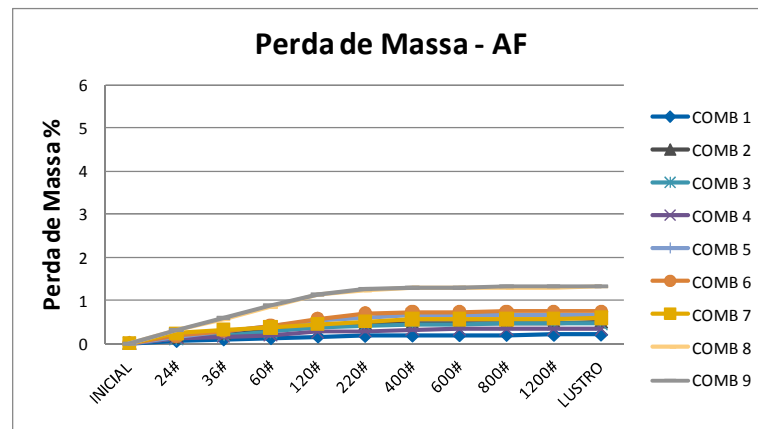


Figura 46. Gráfico de perda de massa do “granito” Azul Fantástico nas combinações de 1 a 9.

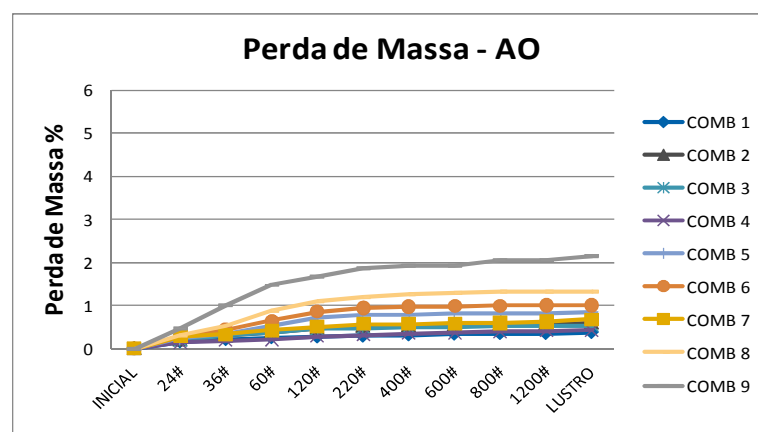


Figura 47. Gráfico de perda de massa do “granito” Amarelo Ornamental nas combinações de 1 a 9.



A análise das figuras 45, 46 e 47 permite verificar que os granitos AF e AO apresentaram as perdas de massa nas mesmas combinações, tanto nas maiores quanto nas menores. O mesmo não ocorreu com o PSG, talvez pelo fato de ser a rocha mais mole, o que já foi mostrado pela Resistência ao Desgaste Amler.

As duas rochas mais “duras” AF e AO apresentaram menor perda de massa em comparação com o PSG. A menor perda em todos os casos aconteceu na combinação 1 (1 bar, 200 rpm e 2 min), que possui o menor valor de velocidade e menor tempo de exposição. As amostras evidenciaram outra similaridade representada pela maior perda de massa na combinação 9 ( 1 bar, 600 rpm e 6 min), que possui a condição mais enérgica quanto à velocidade e tempo de exposição.

### **5.3 Brilho**

Os valores de brilho medidos em 6 intervalos (P1 ao P6), a cada troca de abrasivo (24# ao lustro), nas nove combinações executadas nos “granitos” Preto São Gabriel, Azul Fantástico e Amarelo Ornamental foram usados para calcular a média de brilho alcançada em cada etapa (Tabela 26, 27 e 28).

**Tabela 26 – Médias dos valores de brilho medidos nas 9 combinações do PSG**

MÉDIAS DE BRILHO X ETAPAS ABRASIVAS - PRETO SÃO GABRIEL										
	24#	36#	60#	120#	220#	400#	600#	800#	1200#	LUSTRO
COMB.1	0,00	0,00	1,00	3,83	5,17	13,33	26,33	44,50	59,00	79,33
COMB.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	4,67	15,83	32,00	61,00	71,17
COMB.3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	5,00	16,50	34,83	50,00	68,83
COMB.4	0,00	1,00	1,00	0,50	6,50	9,67	22,17	42,67	62,50	75,50
COMB.5	0,00	0,00	0,00	0,17	1,33	8,67	20,83	43,33	61,33	73,33
COMB.6	0,00	0,00	0,00	0,33	0,67	8,33	17,83	44,33	66,17	75,50
COMB.7	1,00	3,50	2,83	2,83	4,33	9,83	24,83	51,67	69,17	75,00
COMB.8	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	8,50	19,50	42,67	55,00	64,83
COMB.9	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	9,17	19,00	38,00	58,17	72,00

**Tabela 27 – Médias dos valores de brilho medidos nas 9 combinações do AF**

MÉDIAS DE BRILHO X ETAPAS ABRASIVAS - AZUL FANTÁSTICO										
	24#	36#	60#	120#	220#	400#	600#	800#	1200#	LUSTRO
COMB. 1	0,00	1,17	1,50	1,50	9,33	22,17	37,83	54,00	62,50	73,50
COMB. 2	0,00	0,00	0,33	0,00	1,83	12,00	22,00	45,50	72,33	81,83
COMB. 3	0,00	0,00	0,67	1,33	4,00	15,17	24,50	50,00	70,33	83,50
COMB. 4	0,83	6,00	1,17	1,17	9,17	19,17	39,67	57,83	66,00	69,67
COMB. 5	1,67	2,17	2,83	2,83	4,83	11,17	24,17	38,33	53,50	68,50
COMB. 6	1,00	2,83	3,83	4,33	2,00	12,00	30,67	48,17	63,67	74,00
COMB. 7	0,00	3,50	6,00	6,67	10,50	16,00	36,17	54,17	71,67	79,33
COMB. 8	0,17	1,00	1,00	1,00	2,00	9,33	31,83	49,00	59,33	63,00
COMB. 9	0,00	1,00	1,00	1,00	1,50	11,33	36,67	50,50	63,00	68,33

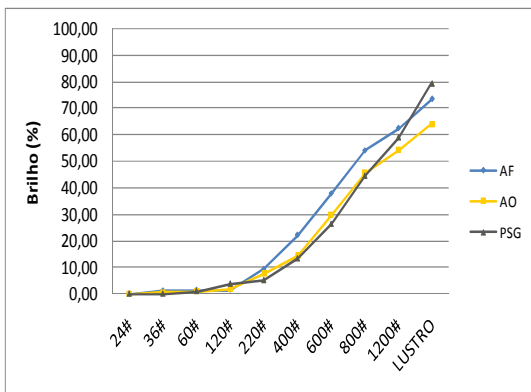
**Tabela 28 – Médias dos valores de brilho medidos nas 9 combinações do AO.**

MÉDIAS DE BRILHO X ETAPAS ABRASIVAS - AMARELO ORNAMENTAL										
	24#	36#	60#	120#	220#	400#	600#	800#	1200#	LUSTRO
COMB.1	0,00	0,67	1,00	1,83	7,67	14,50	29,67	45,67	54,33	64,00
COMB.2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	9,67	20,33	49,17	70,83	78,67
COMB.3	0,00	0,83	1,33	3,50	6,50	16,33	30,17	57,50	68,50	74,00
COMB.4	0,00	1,00	1,17	1,33	6,33	18,33	39,67	48,50	54,33	60,00
COMB.5	1,00	1,67	1,67	1,67	3,00	7,00	24,00	35,50	49,17	57,50
COMB.6	1,00	1,00	1,00	1,00	1,33	8,17	25,50	43,50	57,33	62,83
COMB.7	0,50	5,00	5,00	5,67	5,67	17,33	37,00	48,83	58,83	70,67
COMB.8	0,67	1,00	1,00	1,00	1,83	8,33	26,00	48,50	61,83	67,00
COMB.9	0,00	1,00	1,00	1,00	0,83	8,67	17,67	40,17	55,17	61,17

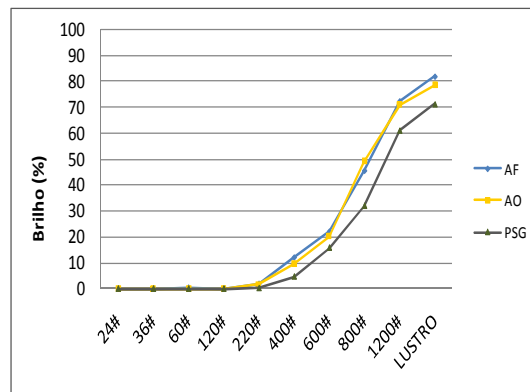
Conforme ilustrado na Figura 48, foi possível depreender que as condições operacionais aplicadas para o “granito” Preto São Gabriel foram suficientes na maioria dos

casos para se atingir o brilho mínimo exigido pelo mercado de 70% com exceção da combinação 3 e 8. O Azul Fantástico mostrou bons resultados, mas o número de combinações que não atingiu a especificação aumentou em relação ao PSG (4, 5, 8 e 9). Observando os valores do Amarelo Ornamental pode-se notar que das nove combinações efetuadas, seis delas não atingiram o valor exigido no mercado (comb. 1, 4, 5, 6, 8 e 9).

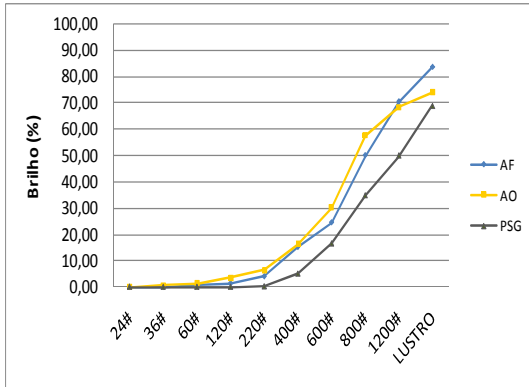
Pode-se perceber que a etapa abrasiva 220#, nas combinações menos agressivas (200 rpm), acrescentou pouco brilho, não tendo muita significância em relação às etapas seguintes. As combinações mais agressivas na etapa 220# (400rpm e 600 rpm) não trouxeram acréscimo de brilho, ficaram em sua maioria estáveis, ou até perderam brilho, prejudicando o processo de polimento (Figura 48).



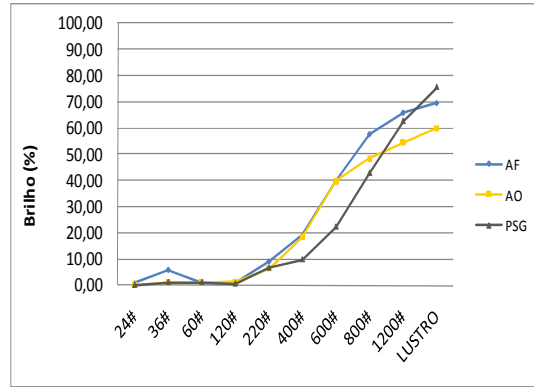
(COMB.1)



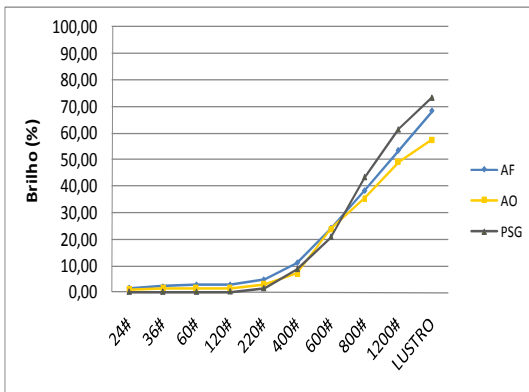
(COMB.2)



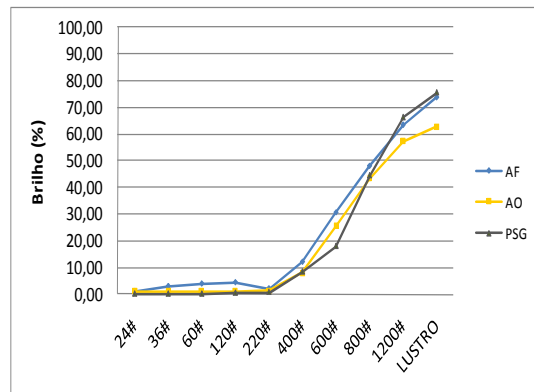
(COMB.3)



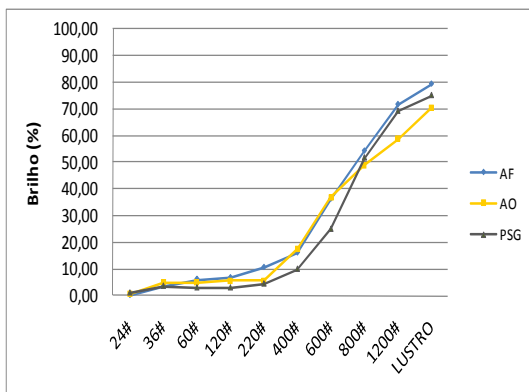
(COMB.4)



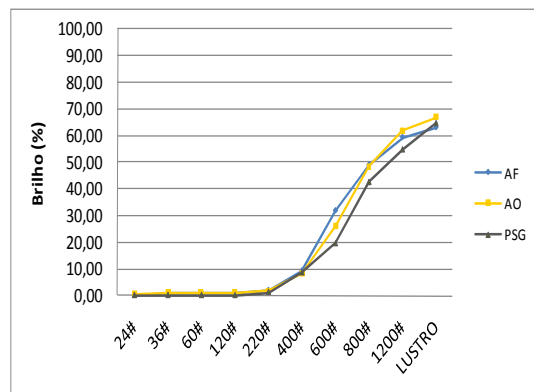
(COMB.5)



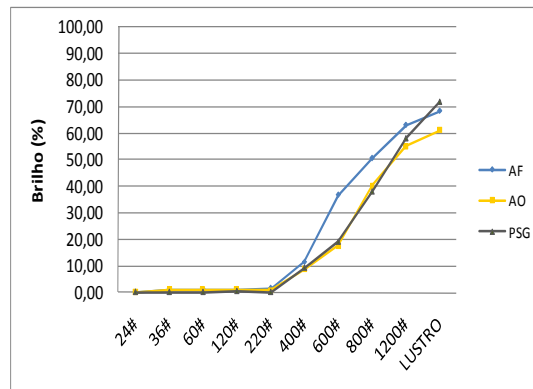
(COMB.6)



(COMB.7)



(COMB.8)



(COMB.9)

**Figura 48. Valores médios de brilho dos três tipos de rocha. Combinação 1(A), combinação 2(B) e combinação 3(C)**

Para a rocha PSG (Figura 49) o maior valor de brilho obtido foi na primeira combinação (79,33%). Valor esse também maior entre as três rochas analisadas nessa combinação.

A rocha AF (Figura 50) apresentou o melhor resultado na combinação 3 (83,50%), condição de mesmo tempo de exposição (2 min) e maior velocidade (600rpm) em relação a comb. 1.

O “granito” AO (Figura 51) teve um resultado médio em relação aos resultados das outras rochas, o seu maior valor de brilho (78,67%) ocorreu na combinação 2, que também tem o mesmo tempo de exposição das anteriores, mas com velocidade de 400rpm.

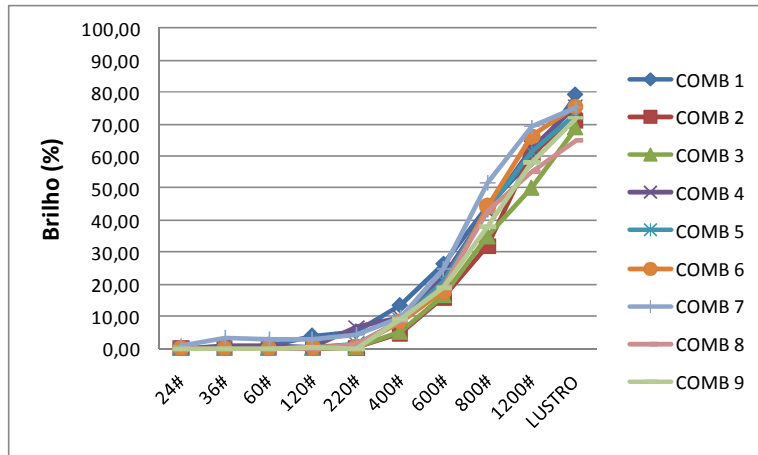


Figura 49. Valores médios de brilho do Preto São Gabriel nas 9 combinações.

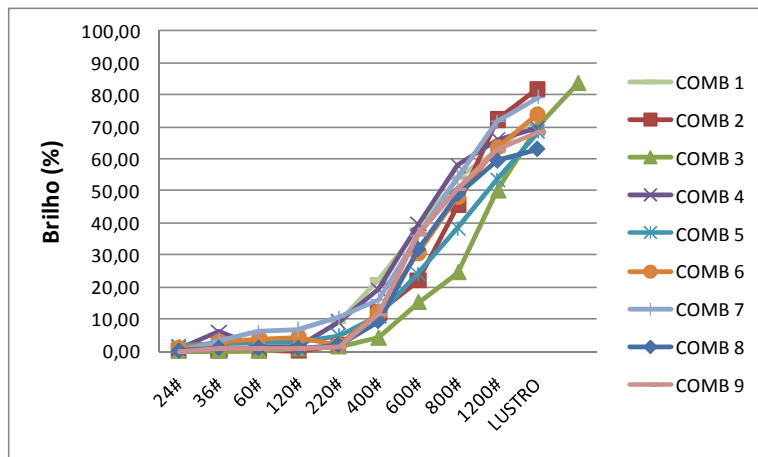


Figura 50. Valores médios de brilho do Azul Fantástico nas 9 combinações

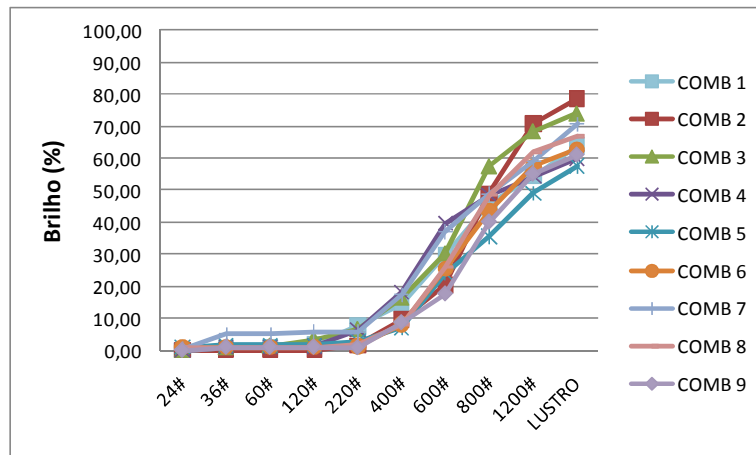


Figura 51. Valores médios de brilho do Amarelo Ornamental nas 9 combinações

### 5.1 Perda de massa x Brilho

Foi realizada a correspondência de perdas de massa com os brilhos obtidos. Os valores dessa correspondência são:

**Preto São Gabriel:** Combinação 1 (79,33% brilho x 0,41% perda)

Combinação 2 (71,17% brilho x 1,05% perda)

Combinação 3 (68,83% brilho x 1,47% perda)

Combinação 4 (75,50% brilho x 1,27% perda)

Combinação 5 (73,33% brilho x 2,22 % perda)

Combinação 6 (75,50% brilho x 1,98% perda)

Combinação 7 (75,00% brilho x 0,93% perda)

Combinação 8 (64,83% brilho x 3,62% perda)

Combinação 9 (72,00% brilho x 5,00% perda)

Pode-se observar nas combinações 4 e 5 que houve decréscimo do valor de brilho ao se aumentar o rpm de 200 para 400. Esse fato possivelmente ocorreu devido possível arrancamento de minerais micáceos formando degraus ou exposição de clivagem nos feldspatos (comb. 5).

A partir do cruzamento dos dados de brilho X perda de massa, pode-se dizer que a rocha PSG, quando apresentou a maior perda de massa, se atingiu um dos menores brilhos (comb.9), e onde experimentou a menor perda de massa apresentou o maior valor de brilho (comb.1) (Figura 52).

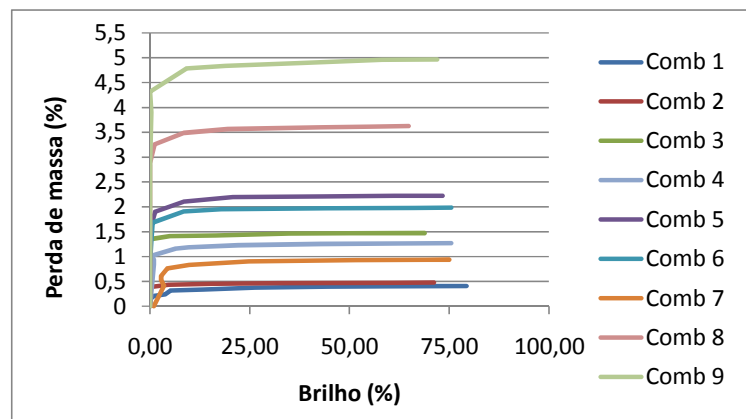


Figura 52- Perda de massa x Brilho. Preto São Gabriel.



**Azul Fantástico:** Combinação 1 (73,50% brilho x 0,20% perda)

Combinação 2 (81,83% brilho x 0,50% perda)

Combinação 3 (83,50% brilho x 0,47% perda)

Combinação 4 (69,67% brilho x 0,34% perda)

Combinação 5 (68,50% brilho x 0,67% perda)

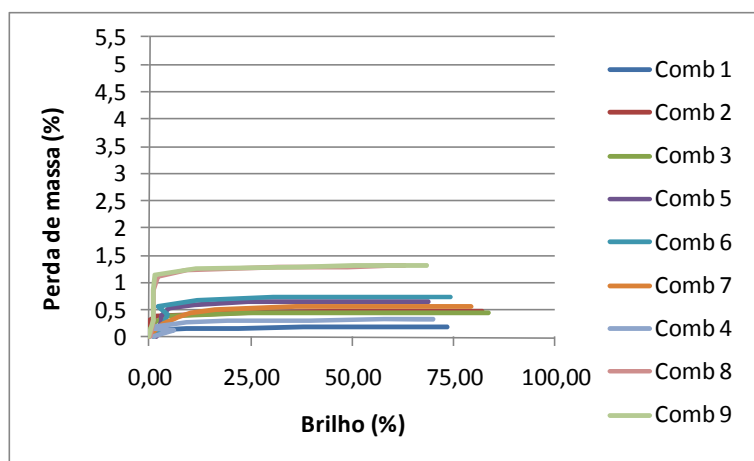
Combinação 6 (74,00% brilho x 0,74% perda)

Combinação 7 (79,33% brilho x 0,59% perda)

Combinação 8 (63,00% brilho x 1,31% perda)

Combinação 9 (68,33% brilho x 1,32% perda)

Para essa rocha, onde ocorreu menor perda de massa, o brilho alcançado não foi o maior, mas atingiu um valor maior que 70% (comb.1). Na etapa que se obteve a maior perda de massa o brilho atingido foi um dos menores, não alcançando o valor exigido no mercado (comb.9) (Figura 53).



**Figura 53 - Perda de massa x Brilho. Azul Fantástico.**

**Amarelo Ornamental:** Combinação 1 (64,00% brilho x 0,38% perda)

Combinação 2 (78,67% brilho x 0,60% perda)

Combinação 3 (74,00% brilho x 0,54% perda)

Combinação 4 (60,00% brilho x 0,42% perda)

Combinação 5 (57,50% brilho x 0,84% perda)

Combinação 6 (62,83% brilho x 1,01% perda)

Combinação 7 (70,67% brilho x 0,68% perda)

Combinação 8 (67,00% brilho x 1,33% perda)

Combinação 9 (61,17% brilho x 2,14% perda)

Pode-se observar um comportamento contrário do granito Amarelo Ornamental se comparado ao Preto São Gabriel. Na combinação 2 o aumento de rpm, de 200 (comb. 1) para 400 (comb.2) não causou decréscimo de brilho e sim o seu progresso, resultando o melhor valor não só para as combinações com dois minutos, mas também o maior brilho de todas as combinações.

Ao se observar o Amarelo Ornamental, pode-se constatar que tanto na combinação com maior perda de massa quanto na menor, 9 e 1 respectivamente, não se conseguiu chegar a valores maiores que 70% (Figura 54). Não sendo possível correlacionar com as rochas anteriores.

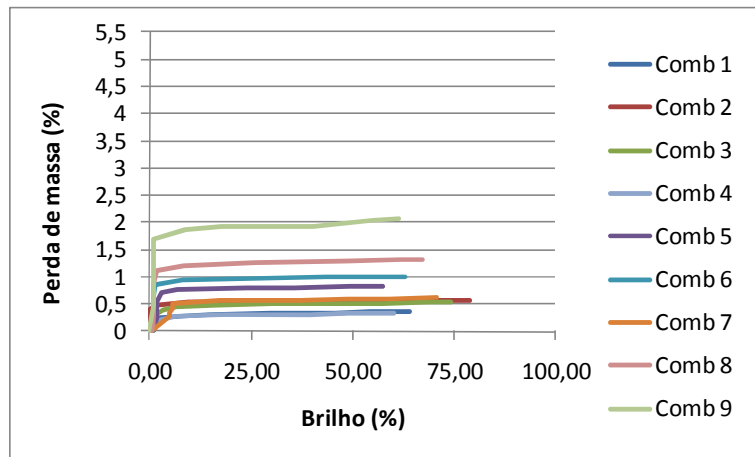


Figura 54 - Perda de massa x Brilho. Amarelo Ornamental.

## 5.2 Análise Estatística

A fim de obter maior confiabilidade nos resultados, foi realizado um tratamento estatístico a partir de análises de progressão de brilho do processo.

### 5.2.1 Objetivo e Metodologia

Com o objetivo de comparar a variável resposta brilho segundo o tipo de rocha, abrasivo e combinação foi utilizado um modelo linear de efeitos mistos (McLean et al, 1991).

Os modelos lineares de efeitos mistos (efeitos aleatórios e fixos) são utilizados na análise de dados em que as respostas de um mesmo indivíduo estão agrupadas e a suposição de independência entre observações num mesmo grupo não é adequada. No modelo de efeitos mistos utilizado, foram considerados como efeito aleatório o ponto em que foram executadas as medidas, como efeitos fixos, o tipo, o abrasivo e a combinação e a interação destes fatores.

Caso não haja correlação entre as observações, uma ANOVA (análise de variância) é um caso particular deste modelo.

Tal modelo tem como pressuposto que o resíduo obtido através da diferença entre os valores preditos pelo mesmo e os valores observados tenha distribuição normal com média 0 e variância constante. O ajuste do modelo foi feito através do software SAS versão 9 (Littell et al., 1996).

### **5.2.2 Análises da variação do brilho entre as etapas 120# - 220# e 120# - 400#**

Para analisar o cruzamento dos dados se faz necessário uma hipótese nula ( $H_0$ ), que neste trabalho se refere à não progressão de brilho entre as etapas abrasivas 120# à 220#.

O p-value é o nível de significância observado, aqui definido como a probabilidade de qualquer média da amostra ser mais extrema que a média da amostra  $X$  extraída para o teste, sem rejeitar a hipótese nula. A partir do exposto e da definição de p-value, temos:

Se o p-value for maior ou igual a  $X$ , então a hipótese nula será aceita. Se o p-value for menor ou igual a  $X$  então a hipótese nula será rejeitada. Quanto menor for o p-value, mais forte será a evidência para rejeitar a hipótese nula.

A decisão de um teste de hipóteses é aceitar ou rejeitar a  $H_0$ . Qualquer que seja a decisão procura-se tomar a decisão correta, sabendo que isso não será possível em 100% das vezes.

A decisão do teste de hipóteses será resultado da comparação do p-value com o nível de significância que o analista julgar mais adequado, que no caso desta análise o valor é de 0,05.

O que se pode afirmar é que, por exemplo, para o nível de significância 0,05 se espera que em 95% das vezes a conclusão obtida seja correta. De outra maneira, se o teste fosse repetido um número muito grande de vezes, esperar-se-ia que a proporção de acertos fosse 95%.

Se H0 for rejeitada, o teste de hipóteses pela sua própria concepção não garante que H0 seja falsa; o teste de hipóteses sugere que haja evidências de que H0 seja falsa.

Pode-se observar na Tabela 29 que os valores de p-value referentes ao brilho obtido entre as etapas 120# e 220# foram maiores que 0,05. Tal constatação evidencia que a hipótese nula (não progressão dos valores de brilho entre 120# e 220#) foi aceita, fato este que pode indicar e reforçar a sugestão da retirada do abrasivo 220# nas combinações onde foi atingido o melhor brilho em cada tipo de rocha (PSG- comb. 1, AF- comb.3 e AO- comb. 2).

**Tabela 29 – Dados obtidos por análise estatística, referentes aos três tipos de rocha.**

Cruzamento	Tipo	Abrasivo	Comb.	Estimativa	p-value
Tipo X Abrasivo X Comb.	PSG	120# - 220#	1	-1,3333	0,4477
Tipo X Abrasivo X Comb.	PSG	120# - 400#	1	-9,5	<.0001
Tipo X Abrasivo X Comb.	AF	120# - 220#	3	-2,6667	0,1291
Tipo X Abrasivo X Comb.	AF	120# - 400#	3	-13,8333	<.0001
Tipo X Abrasivo X Comb.	AO	120# - 220#	2	-1,6667	0,3427
Tipo X Abrasivo X Comb.	AO	120# - 400#	2	-9,6667	<.0001

Pode-se notar que os valores de p-value em relação às etapas 120# e 400# foram menores que 0,05, o que segundo a mesma hipótese, mas com abrasivo diferente não pode ser aceita mostrando que o abrasivo 400#, para estas combinações, apresenta evidências de um resultado significativo de progresso de brilho em relação à etapa 120#.

## 6 CONCLUSÃO

- Duas das três rochas estudadas, Azul Fantástico e Amarelo Ornamental, apresentaram resultados semelhantes em relação à perda de massa. As maiores e menores perdas para essas rochas ocorreram nas mesmas combinações (9, 8 e 6) e (1, 3 e 4), respectivamente. Tal similaridade de resultados do desgaste dessas rochas, encontra respaldo nos valores de desgaste Amsler (0,62mm e 0,61mm) e na semelhança da composição mineralógica e textural.
- Pode-se afirmar que a combinação ideal para o polimento do “granito” Preto São Gabriel é a primeira (1 bar, 200rpm e 2 min), para o Azul Fantástico é a terceira (1bar, 600rpm e 2 min) e para o Amarelo Ornamental a segunda (1bar, 400rpm e 2 min).
- Os resultados de maior brilho foram obtidos nas etapas com a variável de tempo fixada em dois minutos para os três tipos de rocha. A possibilidade de redução de tempo de exposição da rocha remete a uma economia de energia, de abrasivos e de tempo, o que pode redundar em redução de custo do processo.
- Rochas diferentes respondem de formas distintas frente ao processo de polimento, o que comprova a sua inegável participação no sistema e conseqüentemente representa um fato importante para eliminar o empirismo no setor.

- Os valores de brilho da etapa abrasiva 220#, nas combinações menos agressivas (200 rpm), foram pouco satisfatórios em relação a sua progressão. As combinações mais agressivas (400rpm e 600 rpm) tiveram constância ou decréscimo de valores. Essa constatação sugere que se retire a etapa abrasiva 220# da sequência de polimento, pois ela não influenciou na progressão do brilho e por algumas vezes dificultou esse progresso, reduzindo determinados valores. Tais fatos foram corroborados pela análise estatística efetuada. Com essa retirada a indústria terá uma otimização do seu processo, reduzindo tempo na politriz, custo com a compra de insumos e energia devido à eliminação dessa etapa.
- Os valores de perda de massa da etapa 220# também não foram significativos em relação às etapas de desbaste.

### ***6.1 Sugestões para trabalhos futuros***

- Não foi possível correlacionar os valores obtidos de brilho e perda de massa de cada combinação com o número de voltas de cada etapa abrasiva nas três primeiras combinações. Esse cruzamento de dados entre os valores de brilho, perda de massa e percurso é sugerido para próximas pesquisas.

- Algumas combinações possíveis não foram realizadas, por motivo de demanda de tempo, portanto utilizar as mesmas rochas estudadas em condições operacionais de tempo e velocidade iguais aos usados nessa pesquisa, mudando a carga aplicada de 1bar para 2bar.
- Mudar o tipo de abrasivo, utilizando das mesmas combinações e as mesmas rochas ou rochas diferentes.
- É importante salientar que as rochas se comportam de maneiras distintas. Um dos fatores para essa ocorrência se deve à composição mineralógica de cada tipo litológico, que por consequência possuem estruturas e texturas diferentes, devido a essas diferenças deve-se aumentar o número de rochas pesquisadas utilizando as mesmas condições operacionais no SPR.





## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. In: Annual book of ASTM Standards. **ASTM D 523-94**: *Standard test method for specular gloss*. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 12042**: Materiais inorgânicos: determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 12766**: Rochas para Revestimento: Determinação da Massa Específica Seca Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d'água Aparente. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 12767**: Rochas para revestimento: determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 12768**: Rochas para revestimento: análise petrográfica. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimentos: especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 15012**: Terminologias de rochas ornamentais e de Revestimento. Rio de Janeiro, 2003.

COSTA, A.G., CAMPELLO, M.S., MACIEL,S.L, CALIXTO,C., BECERRA, J.E. ***Rochas Ornamentais e de Revestimento: Proposta de Classificação com Base na Caracterização Tecnológica.*** III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2006.

CARPINETTI, L.C.R. **Rugosidade Superficial**: Conceitos e princípios de medição. EESC/USP – Departamento de Engenharia Mecânica. 51p, 1996.

CASTRO, E.M. – Mercado interno aquecido dá novo fôlego ao setor, **Revista Rochas de qualidade**, Ano XLII, edição 208, p.7, 2009.

CENTRO TECNOLÓGICO DO MÁRMORE E GRANITO – CETEMAG. **Curso de polidor**. Apostila, Espírito Santo, 21p, 2003.

CHIODI FILHO, C. **Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no período de janeiro a novembro de 2008**, ABIROCHAS, São Paulo, Informe 24/2008.

CHIODI FILHO, C. **Radioatividade natural em materiais rochosos**. ABIROCHAS, São Paulo, Informe 18/2008.

CHIODI FILHO, C. **Síntese das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2008.**

ABIROCHAS, São Paulo, Informe 01/2009.

CHIODI FILHO, C. **Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no período de janeiro a setembro de 2009,**

ABIROCHAS, São Paulo, Informe 16/2009.

CHIODI FILHO, C. **Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no período de janeiro a novembro de 2009,**

ABIROCHAS, São Paulo, Informe 22/2009.

COIMBRA FILHO, C. G. **Relação entre processo de corte e qualidade de superfícies serradas de granitos ornamentais.** 2006. 200f. Dissertação. Universidade de São

Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2006.

COSTA, E.M. Desafios de aliar crescimento do setor e sustentabilidade ambiental. . **Rochas de Qualidade**, p.14-18, 2009.

DANA, J. D. **Manual de mineralogia.** LTC – Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro:

Editora S.A, 642p, 1956.

DE AZEREDO, S.R.; BOBROVNITCHII, G.S.; GUIMARÃES, R.S.; FILGUEIRA, M.

Desenvolvimento de um novo compósito abrasivo de desbaste de rochas ornamentais.

**Revista Matéria**, v.13, n°.1, 2008.

DE OLIVEIRA, O.C.; MATOS, M.R.; DE OLIVEIRA, L.J.; BOBROVNITCHII, G.S.;

ALGUEIRA, R.B.; FILGUEIRA, M. Processamento e desgaste abrasivo de compósitos

à base de epóxi-sílica para uso em coroas de polimento de rochas ornamentais .

**Revista Matéria**, v.13, n°.1, 2008.

ERDOGAN, M. *Measurements of polished rock surface brightness by image analysis method.*

*In: Engineering Geology 57. 65-72p, 2000.*

FRASCÁ, M. H. B. O. & QUITETE, E. B. Rochas Ornamentais do Estado de São Paulo –

Características Tecnológicas. **Rochas de Qualidade**, n°154, p.154-171, 2000.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Estudos Experimentais de Alteração Acelerada de Rochas**

**Graníticas para Revestimento.** 2003. 281f. Tese de Doutorado. Universidade de São

Paulo - Instituto de Geociências. São Paulo, 2003.

FRAZÃO, E. B. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil.** Ed. ABGE - Associação

Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. 132p, 2002.

FRAZÃO, E. B. & PARAGUASSU, A. B. Materiais Rochosos para Construção. In: OLIVEIRA, A. M. S. O. & BRITO, S. N. A. (eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, CNPq/FAPESP, p. 331-342, 1998.

GRASSELLI, G. **Shear Strength of Rock Joints on Quantified Surface Description**. 2001. 124f. Tese de Doutorado. Ecole Polytechnique Federal de Lausanne. Lausanne, 2001.

LITTELL, R. C. MILLIKEN, G. A., STROUP, W. W., WOLFINGER, R. D. **SAS System for Mixed Models**, Cary, NC: SAS Institute Inc, 1996.

MCLEAN, R.A., Sanders, W.L., and Stroup, W.W. **A Unified Approach to Mixed linear Models**, *The American Statistician*, v. 45, p. 54-64, 1991

MENEGAZZO, A. P. M. **Estudo da Correlação entre a Microestrutura e as Propriedades Finais de Revestimentos Cerâmicos do Tipo Gres Porcelanato**. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo. 250p. 2001.

MESQUITA, M. P. S. **Composição, estruturas, propriedades tecnológicas e alterabilidade dos granitos ornamentais do Stock Morrinho, Santa Quitéria (CE)**. 2002. 171f. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. Rio Claro, 2002.

MONTANI, C. **World Marketing Handbook**. Grupo Editorial Faenza Editrice. **STONE**, 245p, 2004.

QUITETE, E. B. **Dureza knoop em rochas para revestimento: metodologia e correlação com desgaste abrasivo. 2002. 70f.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo - Poli-USP. São Paulo, 2002.

REGADAS, I. C. M. C. **Aspectos relacionados às lavras de granitos ornamentais com fio diamantado no norte do estado do Espírito Santo, Brasil. 2006.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2006.

RIBEIRO, R. P. **Influência das características petrográficas de granitos no processo industrial de desdobramento de blocos. 2005. 205f.** Tese de doutorado Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2005.

RIBEIRO, R. P.; SILVEIRA, L. L. L.; PARAGUASSÚ A. B.; RODRIGUES J. E. Aplicação de Bases Conceituais de Tribologia no Beneficiamento de Granitos Ornamentais. **Revista Minerva**, v.1, p.45-50, 2004.

RIBEIRO, R. P.; SILVEIRA, L. L. L.; PARAGUASSÚ A. B.; RODRIGUES J. E. Avaliador de Rugosidade de Chapas – ARC. **Revista Pedras do Brasil**, Ano V, nº 47, p.38-41, 2006.

SILVEIRA, L. L. L. Simulador de Polimento de Rochas – SPR. 2005. **Revista Rochas de Qualidade**, Ano XXXVIII, edição 184, p.131-133, 2005.

SILVEIRA, L. L. L. **Estudo Comparativo de Granitos Ornamentais Brasileiros no Processo de Polimento Industrial**. 2007. 205f. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2007.

SOSSAI, F. J. M. **Caracterização Tecnológica de rochas Ornamentais**. 2006.87f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.

STACHOWIAK, G. W. & BATCHELOR, A. W. **“Engineering tribology”**. *Amsterdam, Elsevier*, 314 p, 1993.

WINCHELL, H. **The Knoop microhardness tester as a mineralogical tool**. *The American Mineralogist*, Lancaster, v. 30, n. 9-10, p. 583-95, 1945.

ZUM-GAHR, K. H. **Microstructure and wear of materials**. **Institute of Materials Technology. University of Siegen**. Federal Republic of Germany, v.10, 560p, 1987.





# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)