

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

JEFFERSON LUIZ CAMARGO

**INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS NA QUALIDADE DO
POLIMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Rio Claro - SP

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

JEFFERSON LUIZ CAMARGO

**INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS NA QUALIDADE DO
POLIMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia Regional.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Artur
Co-orientador: Dr. Leonardo Luiz Lyrio da
Silveira

Rio Claro - SP

2013

552 Camargo, Jefferson
C172i Influência das propriedades petrográficas na qualidade do
polimento de rochas ornamentais / Jefferson Camargo. - Rio
Claro : [s.n.], 2013
201 f. : il., figs., tabs., quadros

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Antonio Carlos Artur
Coorientador: Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

1. Petrologia. 2. Petrografia. 3. Tribologia. I. Título.

JEFFERSON LUIZ CAMARGO

**INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES PETROGRÁFICAS NA QUALIDADE DO
POLIMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Geologia
Regional para obtenção do título de Mestre em
Geologia Regional.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Artur

Co-orientador: Dr. Leonardo Luiz Lyrio da
Silveira

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Carlos Artur - Orientador

Departamento de Petrologia e Metalogenia – DPM
Instituto de Geociências e Ciências Exatas IGCE/UNESP, Rio Claro – SP.

Profa. Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck

Departamento de Petrologia e Metalogenia – DPM
Instituto de Geociências e Ciências Exatas IGCE/UNESP, Rio Claro – SP.

Prof. Dr. Rogério Pinto Ribeiro

Departamento de Geotecnia
Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, São Carlos – SP.

Rio Claro, 6 de março de 2013.

*Dedico este trabalho aos meus pais, Edmilson e Rivanda,
com amor e gratidão pelo apoio recebido ao longo da
minha vida estudantil.*

À Carolina, por fazer os meus dias mais felizes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, pois sem Ele essa jornada não seria cumprida.

Aos meus pais Edmilson e Rivanda, que sempre me alimentaram de incentivo e me ensinaram atingir meus objetivos com persistência.

A minha esposa Carolina, pela presença em tudo na minha vida, pelo amor, paciência e ajuda ao longo de todo trabalho e ao meu sogro Jocely e sogra Nylcimar pelo apoio.

Ao co-orientador e amigo Dr. Leonardo Lyrio da Silveira por sempre plantar a semente da “busca do conhecimento”, pelo incentivo, críticas e sugestões, além do acompanhamento ao longo da pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Carlos Artur, pela confiança em mim depositada, pela atenção e ajuda no amadurecimento das idéias ao longo do trabalho, tenho certeza que embora à distância nossa sintonia foi muito boa.

Ao Centro de Tecnologia Mineral-CETEM, em nome da MSc. Nuria Fernández Castro, pelo incentivo e apoio em todos os sentidos no desenvolvimento deste trabalho e também pelas sugestões e ajuda, principalmente na etapa de discussão dos dados.

Ao Instituto Federal de Educação-IFES, Campus de Cachoeiro de Itapemirim/ES, por disponibilizar a politriz para realização dos experimentos de polimento e ao técnico Tcharllis Demartini pelo auxílio no manuseio do equipamento e suporte durante esta etapa.

Ao Professor Saulo Berilli do IFES, pelo auxílio na instalação do inversor de frequência na politriz.

Ao Luciano Belchior pela ajuda na etapa de calibração da politriz, onde o satélite foi pesado sob diferentes pressões utilizando uma balança equipada com um célula de carga.

A Cobral Abrasivos e Minérios Ltda. pela doação dos abrasivos magnesianos utilizados nesta pesquisa.

Ao MSc. Thiago Bolonini (sapolito) e o futuro geólogo Hieres Vettorazzi pela ajuda na interpretação dos ensaios de caracterização tecnológica.

A república Zé Comédia, que por muitas vezes me acolheu em Rio Claro.

Ao técnico Vitor, do laboratório de ensaios em rochas ornamentais da Escola SENAI Mario Amato pela realização do ensaio de Resistência à Abrasão Profunda.

Ao MSc. Eduardo Quitete do IPT, da Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, pela realização do ensaio de Dureza *knoop* e pelo fornecimento de bibliografias.

Aos membros da banca de qualificação (Professora Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck e Professor Dr. Rogério Pinto Ribeiro) pelas sugestões.

Ao técnico Adilson Rossini, do laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais da Unesp, pela força na realização do ensaio de Desgaste Amsler.

A Wana pela ajuda na etapa experimental de polimento e medição de brilho das amostras.

A Millena, Elton, Izabela, Vagner, Abiliane, Prudente, Léo Cattabriga, Eymard, Pedro, Flávio, entre outros, que em momentos distintos me ajudaram com muita boa vontade.

As empresas que permitiram a medição da velocidade de rotação de satélite em politrizes e/ ou o acompanhamento do processo industrial utilizando equipamentos semi-automáticos e automáticos: Gramazini Granitos e Mármore Thomazini Ltda., Maqstone Pedras e Máquinas Ltda., Granitos Colodetti Ltda., GMG Grolla Mármore e Granitos Ltda., Polimento Capixaba Ltda., Decolores Mármore e Granitos do Brasil Benef. Com. Exp. Imp. Ltda., Granipiso Mármore e Granitos Ltda. e Multigran Indústria e Comércio de Granitos Ltda.

À todas as pessoas que de alguma forma colaboraram direta ou indiretamente para que este trabalho chegasse ao seu final.

Muito Obrigado

“É fazendo que se aprende a fazer aquilo que se deve aprender a fazer” Aristóteles [3-- A.C.?].

RESUMO

O polimento de rochas ornamentais em escala industrial é realizado em equipamentos denominados politrizes, podendo estes serem semi-automáticos ou automáticos. O polimento é realizado pelo atrito gerado no movimento rotacional de elementos abrasivos dispostos em cabeçotes, denominados satélites, sob pressão, contra a superfície da rocha. Em ambos os tipos de politrizes, a velocidade de rotação do satélite é invariável, o que implica em uma velocidade de corte constante. Devido à grande variedade de tipos litológicos que são utilizados para fins ornamentais, a possibilidade de se alterar a velocidade com que o rebolo abrasivo passa sobre a superfície da chapa de rocha pode permitir uma otimização deste processo. Com o propósito de demonstrar a importância da velocidade de corte para o processo, em oposição à idéia de que quanto maior for essa, melhor seria o brilho final das chapas, bem como confirmar a influência das variáveis petrográficas no processo de polimento, três rochas ornamentais brasileiras, conhecidas comercialmente como Verde Labrador, Cinza Castelo e Preto Indiano, foram submetidas a diferentes situações de desgaste, visando aperfeiçoar esta etapa levando em consideração as características intrínsecas dos materiais pétreos. Para esta pesquisa foram definidas 24 situações operacionais distintas, variando pressão de carregamento (1 e 2kgf/cm²), velocidade de rotação de satélite (300, 400, 500 e 600 rpm) e a de exposição do satélite sobre a rocha (1, 2 e 3). Para isso, foi instalado um inversor de frequência em uma politriz semi-automática que possibilitou a variação da velocidade de rotação de satélite para realização dos experimentos. Para conhecer os materiais pétreos foi realizada a caracterização petrográfica e tecnológica. Assim, foram realizados os testes de polimento, sendo cada rocha submetida a 10 sequências de rebolos abrasivos do tipo magnésiano, a saber: 24, 36, 60, 120, 220, 400, 600, 800, 1200 e lustro, totalizando 720 amostras. Para cada amostra, foi quantificada a perda de massa de abrasivo em cada etapa do processo e medido o brilho obtido com intuito de aferir a qualidade do polimento. Foram realizadas 30 medições por amostra, totalizando 7200 para cada tipo de rocha. Posteriormente, os resultados médios de brilho e perda de massa foram conjugados e determinado o Índice de Eficiência de Polimento das situações correspondentes aos maiores brilhos obtidos em cada granulometria de abrasivo. Os resultados mostraram que no sistema tribológico existente no polimento de rochas ornamentais a variável rocha atua como elemento ativo, desgastando mais ou menos abrasivo e apresentando brilho de acordo com as propriedades petrográficas e em função da solicitação imposta. Notou-se que, no geral, os maiores valores de brilho foram alcançados quando conjugada a maior pressão do satélite (2kgf/cm²) com a exposição máxima testado. Com velocidade de rotação de satélite de 400 rpm, na maior parte dos casos, obtiveram-se os melhores resultados de brilho. Portanto, pode se dizer que o aumento da velocidade com que o abrasivo passa sobre a superfície da rocha pode não refletir em aumento do brilho superficial.

Palavras-chave: Petrografia, tribologia, polimento, rochas ornamentais.

ABSTRACT

The polishing of dimension stones at industrial scale is done in equipments called polishing machines, and they may be semi-automatic or automatic. Polishing is acquired by the friction generated by the rotational motion of the grinding tools fixed on polishing heads under pressure against the stone surface. In both cases the rotation speed of the polishing head is invariable, which implies in a constant cutting speed. Because of the wide variety of lithologies that are used for ornamental purposes, the possibility of changing the speed the grinding tools pass over the surface of the slab of stone could allow an optimization of this process. In order to define the importance of cutting speed and opposing the idea that the greater the velocity applied onto the slab, the better brightness is produced, and also to confirm the idea that petrographic variables are also important agents in the polishing process, three Brazilian dimension stones, known commercially as Verde Labrador, Cinza Castelo and Preto Indiano, were subjected to different wear situations, aiming the optimization of this step, taking into consideration the intrinsic characteristics of stone materials. For this research 24 distinct operational situations were defined, varying pressure (1 to 2kgf/cm²), rotational speed of the polishing head (300, 400, 500 and 600 rpm) and the exposure of the polishing head onto the slab of stone (1, 2, and 3). A frequency inverter was installed in a semi-automatic polishing machine which allowed the variation of the speed of the polishing head for these experiments. The stones were petrographically and technologically characterized. The polishing tests were conducted applying, to each kind of stone, 10 sequences of abrasive tools of magnesium type, namely 24, 36, 60, 120, 220, 400, 600, 800, 1200 and lustrum, totalizing 720 samples. The loss of abrasive mass was quantified in each step of the process and measured the brightness of the samples with the aim of assessing the quality of polishing. Brightness was measured at 30 points in each sample, totalizing 7200 measurements per stone. Subsequently the average results of brightness and weight loss were combined to determine a Polishing Efficiency Index for the situation corresponding to higher brightness obtained in each phase of polishing. The results showed that the stone is an active element in the tribological system of stones polishing, wearing out more or less abrasives and showing brightness according to the petrographic properties and depending on the solicitation imposed. The highest brightness values were achieved, in general, when conjugated the highest pressure of the polishing head (2kgf/cm²) with the maximum exposure tested. The rotation speed of 400 rpm of the polishing head, in most cases, proved effectiveness in obtaining the best brightness results. Therefore, it can be said that increasing the speed at which the abrasive passes over the slab of stone surface may not reflect in the increase of brightness.

Keywords: Petrography, tribology, polishing, dimension stone.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Exportações mensais do setor de rochas ornamentais 2010-2012.....	22
Figura 2. Evolução do volume físico anual das exportações brasileiras de rochas ornamentais.....	23
Figura 3. Esquema ilustrando o comportamento físico e mecânico de uma rocha, como resultado da interação entre os aspectos petrográficos definidos pela mineralogia, textura e estrutura.....	30
Figura 4. Esquema utilizado para a realização da caracterização da microdureza em placas de rochas ornamentais.....	35
Figura 5. Esquema de desgaste a dois e três corpos.....	38
Figura 6. Relação esquemática entre taxa de desgaste e razão entre dureza do abrasivo e dureza do material desgastado.....	38
Figura 7. Representação esquemática das formas de desgaste em rebolos.....	40
Figura 8. Variação das taxas de desgaste de aço AISI 1020 em função da força aplicada [kgf] e da configuração do sistema utilizando Abrasivo: SiC 250 μ m.....	40
Figura 9. Representação esquemática dos mecanismos de remoção de material no desgaste abrasivo.....	41
Figura 10. Relação entre as parcelas de microcorte e microsulcamento e a razão entre o ângulo de corte e o ângulo de corte crítico.....	42
Figura 11. Modelo esquemático do desgaste abrasivo por uma partícula cônica.....	43
Figura 12. Reflexão especular da luz a partir de uma superfície rugosa.....	50
Figura 13. Modelo de politriz manual.....	54
Figura 14. Tipos de politrizes semi-automáticas.....	54
Figura 15. Modelo de politriz automática multicabeça.....	54
Figura 16. Tipos de movimentos de satélites em politrizes semi-automáticas.....	55
Figura 17. Tipos de satélites utilizados no polimento de granitos.....	56
Figura 18. Detalhamento do movimento oscilatório.....	56
Figura 19. Exemplo de um prato com os abrasivos do tipo <i>frankfurt</i> acoplados.....	57
Figura 20. Rebolos abrasivos magnesianos utilizados no polimento de rochas ornamentais.....	59
Figura 21. Rebolos abrasivos diamantados resinóides utilizados no polimento de rochas ornamentais.....	59
Figura 22. Rebolos abrasivos diamantados de ligas metálicas utilizados no polimento de rochas ornamentais.....	60
Figura 23. Sequência metodológica adotada na presente pesquisa.....	65
Figura 24. Mapa esquemático de acesso rodoviário à lavra do charnoquito Verde Labrador.....	67
Figura 25. Mapa esquemático de acesso rodoviário à lavra do granito Cinza Castelo.....	68
Figura 26. Mapa esquemático de acesso rodoviário à lavra do gnaiss Preto Indiano.....	69

Figura 27. Politriz semi-automática utilizada para realização dos experimentos.....	70
Figura 28. Diagrama de blocos de um inversor de frequência.....	70
Figura 29. Esquema do inversor IGBT trifásico.....	71
Figura 30. Sequência dos rebolos abrasivos magnesianos utilizados.....	72
Figura 31. Procedimento de calibração das pressões de carregamento.....	74
Figura 32. Coeficiente de correlação da carga aplicada pelo satélite e o peso correspondente sobre a chapa de rocha.....	75
Figura 33. Medição da velocidade de rotação de satélite de uma politriz semi-automática.....	76
Figura 34. Coeficiente de correlação da velocidade de rotação de satélite com a frequência (Hz).....	77
Figura 35. Medição da área da chapa polida em uma empresa.....	78
Figura 36. Demarcação do sentido de movimento do satélite na chapa.....	78
Figura 37. Abrasivo 60 <i>mesh</i> antes e depois de ser afiado.....	79
Figura 38. Nomenclatura de uma etapa de teste no charnoquito Verde Labrador.....	79
Figura 39. Exemplo de tabela confeccionada para controle dos ciclos de polimento no charnoquito Verde Labrador.....	80
Figura 40. Operação de uma etapa de polimento.....	81
Figura 41. Substituição dos abrasivos.....	82
Figura 42. Demarcação dos pontos de amostragem de rocha em um ciclo de polimento..	83
Figura 43. Coleta e preparação das amostras.....	83
Figura 44. Abrasivos dispostos na estufa.....	84
Figura 45. Pesagem dos abrasivos.....	84
Figura 46. Exemplo de ficha elaborada para a medição da perda de massa dos rebolos abrasivos.....	85
Figura 47. Exemplo de ficha elaborada para o controle das medições de brilho.....	86
Figura 48. Amostra de rocha com esquema de leituras de brilho adotado.....	86
Figura 49. Medição do brilho em uma amostra com o <i>glossmeter</i>	87
Figura 50. Dimensão de um abrasivo magnesiano.....	87
Figura 51. Satélite de polir com circunferências internas e externas do rebolo abrasivo..	88
Figura 52. Obtenção do índice de eficiência de polimento.....	90
Figura 53. Ladrilho polido do charnoquito Verde Labrador.....	93
Figura 54. Aspecto geral do granito Cinza Castelo polido.....	96
Figura 55. Chapa do gnaiss Preto Indiano polido.....	97
Figura 56. Correlação entre a densidade aparente e o percentual de minerais máficos e demais minerais pesados nas rochas estudadas.....	103
Figura 57. Correlação entre a porosidade aparente e a absorção de água das rochas estudadas.....	104
Figura 58. Resultados do ensaio de velocidade de propagação de ondas.....	107

Figura 59. Correlação entre resistência à compressão uniaxial e o grau de microfissuramento das rochas estudadas.....	108
Figura 60. Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear e o grau de microfissuramento das rochas estudadas.....	110
Figura 61. Correlação entre desgaste abrasivo Amsler e o percentual de quartzo presente nas rochas estudadas.....	111
Figura 62. Correlação entre os resultados de desgaste (abrasão profunda) e o percentual de quartzo nas rochas estudadas.....	113
Figura 63. Correlação entre os resultados de desgaste Abrasão Profunda e o desgaste Amsler nas rochas estudadas.....	114
Figura 64. Resultado do ensaio de microdureza <i>knoop</i> (Relação da frequência cumulativa e a dureza correspondente).....	115
Figura 65. Correlação entre o desgaste abrasivo Amsler e a microdureza <i>knoop</i> nas rochas estudadas.....	116
Figura 66. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 120 <i>mesh</i>	118
Figura 67. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 120 <i>mesh</i>	120
Figura 68. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaisse Preto Indiano utilizando abrasivo 120 <i>mesh</i>	121
Figura 69. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 220 <i>mesh</i>	123
Figura 70. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 220 <i>mesh</i>	124
Figura 71. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaisse Preto Indiano utilizando abrasivo 220 <i>mesh</i>	126
Figura 72. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 400 <i>mesh</i>	127
Figura 73. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 400 <i>mesh</i>	129
Figura 74. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaisse Preto Indiano utilizando abrasivo 400 <i>mesh</i>	130
Figura 75. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 600 <i>mesh</i>	132
Figura 76. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 600 <i>mesh</i>	133
Figura 77. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaisse Preto Indiano utilizando abrasivo 600 <i>mesh</i>	135
Figura 78. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 800 <i>mesh</i>	136
Figura 79. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 800 <i>mesh</i>	138

Figura 80. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaisse Preto Indiano utilizando abrasivo 800 <i>mesh</i>	139
Figura 81. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 1200 <i>mesh</i>	141
Figura 82. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 1200 <i>mesh</i>	142
Figura 83. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaisse Preto Indiano utilizando abrasivo 1200 <i>mesh</i>	144
Figura 84. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo lustro.....	145
Figura 85. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo lustro.....	147
Figura 86. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaisse Preto Indiano utilizando abrasivo lustro.....	148
Figura 87. Correlação dos melhores brilhos com a velocidade de rotação de satélite no charnoquito Verde Labrador.....	151
Figura 88. Correlação dos melhores brilhos com a velocidade de rotação de satélite no granito Cinza Castelo.....	151
Figura 89. Correlação dos melhores brilhos com a velocidade de rotação de satélite no gnaisse Preto Indiano.....	152
Figura 90. Correlação dos melhores brilhos com a pressão de carregamento do satélite no charnoquito Verde Labrador.....	153
Figura 91. Correlação dos melhores brilhos com a pressão de carregamento do satélite no granito Cinza Castelo.....	153
Figura 92. Correlação dos melhores brilhos com a pressão de carregamento do satélite no gnaisse Preto Indiano.....	154
Figura 93. Correlação dos melhores brilhos com a exposição do satélite sobre a chapa de rocha do charnoquito Verde Labrador.....	154
Figura 94. Correlação dos melhores brilhos com a exposição do satélite sobre a chapa de rocha do granito Cinza Castelo.....	155
Figura 95. Correlação dos melhores brilhos com a exposição do satélite sobre a chapa de rocha do gnaisse Preto Indiano.....	155
Figura 96. Correlação dos melhores brilhos com a perda de massa de abrasivo no charnoquito Verde Labrador.....	156
Figura 97. Correlação dos melhores brilhos com a perda de massa de abrasivo no granito Cinza Castelo.....	156
Figura 98. Correlação dos melhores brilhos com a perda de massa de abrasivo no gnaisse Preto Indiano.....	157
Figura 99. Correlação dos melhores brilhos com o Índice de Eficiência de polimento no charnoquito Verde Labrador.....	158
Figura 100. Correlação dos melhores brilhos com o Índice de Eficiência de polimento no granito Cinza Castelo.....	158

Figura 101. Correlação dos melhores brilhos com o Índice de Eficiência de polimento no gnaisse Preto Indiano..... 159

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Fatores que afetam o comportamento atritante.....	36
Tabela 2. Nomenclatura das amostras e condições operacionais utilizadas no Simulador de Polimento de Rocha (SPR).....	44
Tabela 3. Combinações das amostras em função da pressão, velocidade e tempo nas etapas abrasivas de 24 <i>mesh</i> ao lustro.....	45
Tabela 4. Combinações do ensaio de polimento das amostras utilizando o Simulador de Polimento de Rocha (SPR).....	46
Tabela 5. Escala de Mohs.....	61
Tabela 6. Tabela de correlação da carga aplicada pelo satélite e o peso correspondente sobre a chapa de rocha.....	75
Tabela 7. Correlação da velocidade de rotação de satélite com a frequência (Hz).....	76
Tabela 8. Referência dos pontos de coleta de amostra de rocha em cada etapa de um ciclo de polimento.....	82
Tabela 9. Requisitos para granitos.....	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Esquema comparativo dos termos utilizados para classificação do desgaste abrasivo.....	43
Quadro 2. Classificação de abrasivos.....	58
Quadro 3. Síntese dos dados petrográficos das rochas estudadas.....	100
Quadro 4. Síntese dos resultados de caracterização tecnológica.....	102
Quadro 5. Resultados da determinação da microdureza Knoop.....	102
Quadro 6. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 120 mesh no polimento do Verde Labrador.....	118
Quadro 7. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 120 mesh no polimento do Cinza Castelo.....	119
Quadro 8. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 120 mesh no polimento do Preto Indiano.....	121
Quadro 9. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 220 mesh no polimento do Verde Labrador.....	122
Quadro 10. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 220 mesh no polimento do Cinza Castelo.....	124
Quadro 11. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 220 mesh no polimento do Preto Indiano.....	125
Quadro 12. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 400 mesh no polimento do Verde Labrador.....	127
Quadro 13. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 400 mesh no polimento do Cinza Castelo.....	128
Quadro 14. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 400 mesh no polimento do Preto Indiano.....	130
Quadro 15. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 600 mesh no polimento do Verde Labrador.....	131
Quadro 16. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 600 mesh no polimento do Cinza Castelo.....	133
Quadro 17. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 600 mesh no polimento do Preto Indiano.....	134
Quadro 18. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 800 mesh no polimento do Verde Labrador.....	136
Quadro 19. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 800 mesh no polimento do Cinza Castelo.....	137
Quadro 20. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 800 mesh no polimento do Preto Indiano.....	139
Quadro 21. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 1200 mesh no polimento do Verde Labrador.....	140
Quadro 22. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 1200 mesh no polimento do Cinza Castelo.....	142

Quadro 23. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 1200 mesh no polimento do Preto Indiano.....	143
Quadro 24. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo lustro no polimento do Verde Labrador.....	145
Quadro 25. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo lustro no polimento do Cinza Castelo.....	146
Quadro 26. Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo lustro no polimento do Preto Indiano.....	148
Quadro 27. Síntese dos resultados tribológicos de polimento.....	150

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	22
-------------------------	-----------

1.1. Objetivo	25
----------------------------	-----------

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS E TRIBOLOGIA	26
---------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

2.1. Considerações Sobre Rochas Ornamentais	26
----------------------------------------------------------	-----------

2.2. Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais para Revestimento	26
--------------------------------------------------------------------------------------	-----------

2.2.1. Análise Petrográfica.....	27
----------------------------------	----

2.2.2. Determinação da Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água.	30
------------------------------------------------------------------------------------	----

2.2.3. Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas	31
------------------------------------------------------------------------------	----

2.2.4. Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial.....	31
---------------------------------------------------------------	----

2.2.5. Determinação do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear	33
----------------------------------------------------------------------	----

2.2.6. Determinação do Desgaste por Abrasão Amsler	33
----------------------------------------------------------	----

2.2.7. Determinação da Resistência à Abrasão Profunda	33
-------------------------------------------------------------	----

2.2.8. Determinação da Microdureza <i>Knoop</i>	33
-------------------------------------------------------	----

2.3. Introdução a Tribologia	35
-------------------------------------------	-----------

2.3.1. Classificação do Desgaste Abrasivo	41
-------------------------------------------------	----

2.3.2. Modelos Analíticos do Processo de Desgaste Abrasivo	43
------------------------------------------------------------------	----

2.4. Tribologia Aplicada ao Polimento de Rochas Ornamentais	44
--------------------------------------------------------------------------	-----------

2.4.1. Variáveis que Influem no Polimento de Rochas Ornamentais	47
-----------------------------------------------------------------------	----

2.4.2. Polimento Industrial de Rochas Ornamentais	51
---------------------------------------------------------	----

2.4.2.1. Controle de Qualidade do Polimento	52
---------------------------------------------------	----

2.4.3. Máquina de Polir	53
-------------------------------	----

2.4.3.1. Funcionamento dos Cabeçotes no Polimento de Granitos e Mármore	56
-------------------------------------------------------------------------	----

2.4.3.2. Abrasivos	57
--------------------------	----

2.4.4. Principais Fatores que Influem na Abrasividade	61
-------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS	64
----------------------------------	-----------

3.1. Materiais Rochosos, Equipamento e Insumo Utilizado na Pesquisa	66
----------------------------------------------------------------------------------	-----------

3.1.1. Rochas Estudadas	66
-------------------------------	----

3.1.1.1. Procedência das Rochas Estudadas	66
-------------------------------------------------	----

3.1.2. Equipamento Utilizado	69
------------------------------------	----

3.1.3. Abrasivos Utilizados	71
-----------------------------------	----

3.2. Métodos	72
---------------------------	-----------

3.2.1. Revisão Bibliográfica	72
3.2.2. Análise Petrográfica e Caracterização Tecnológica	72
3.2.3. Polimento	74
3.2.3.1. Calibração da Politriz.....	74
3.3. Etapa Experimental	80
3.4. Avaliação da Perda de Massa Abrasiva	83
3.5. Avaliação da Qualidade do Polimento.....	85
3.6. Cálculos dos Mecanismos de Desgaste.....	87
3.7. Cálculo do Índice de Eficiência do Polimento	90
CAPÍTULO 4	
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	92
4.1. Análise Petrográfica	92
4.1.1. Charnoquito (Verde Labrador).....	92
4.1.2. Granito (Cinza Castelo)	95
4.1.3. Gnaiss (Preto Indiano)	97
4.2. Caracterização Tecnológica	101
4.2.1. Determinação da Densidade Aparente, da Porosidade Aparente e da Absorção de Água (Índices Físicos)	103
4.2.2. Determinação da Propagação de Ondas Ultrassônicas Longitudinais	106
4.2.3. Resistência a Compressão Uniaxial	108
4.2.4. Coeficiente de Dilatação Térmica Linear	109
4.2.5. Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler).....	111
4.2.6. Resistência a Abrasão Profunda	113
4.2.7. Microdureza <i>Knoop</i>	115
4.3. Análise Tribológica dos Resultados de Ensaios Realizados na Politriz Semi-Automática.....	116
4.3.1. Verde Labrador (Abrasivo 120 <i>mesh</i>)	117
4.3.2. Cinza Castelo (Abrasivo 120 <i>mesh</i>)	119
4.3.3. Preto Indiano (Abrasivo 120 <i>mesh</i>).....	120
4.3.4. Verde Labrador (Abrasivo 220 <i>mesh</i>)	122
4.3.5. Cinza Castelo (Abrasivo 220 <i>mesh</i>)	123
4.3.6. Preto Indiano (Abrasivo 220 <i>mesh</i>).....	125
4.3.7. Verde Labrador (Abrasivo 400 <i>mesh</i>)	126
4.3.8. Cinza Castelo (Abrasivo 400 <i>mesh</i>)	128
4.3.9. Preto Indiano (Abrasivo 400 <i>mesh</i>).....	129
4.3.10. Verde Labrador (Abrasivo 600 <i>mesh</i>)	131
4.3.11. Cinza Castelo (Abrasivo 600 <i>mesh</i>)	132
4.3.12. Preto Indiano (Abrasivo 600 <i>mesh</i>).....	134
4.3.13. Verde Labrador (Abrasivo 800 <i>mesh</i>)	135
4.3.14. Cinza Castelo (Abrasivo 800 <i>mesh</i>)	137
4.3.15. Preto Indiano (Abrasivo 800 <i>mesh</i>).....	148
4.3.16. Verde Labrador (Abrasivo 1200 <i>mesh</i>)	140

4.3.17. Cinza Castelo (Abrasivo 1200 <i>mesh</i>)	141
4.3.18. Preto Indiano (Abrasivo 1200 <i>mesh</i>)	143
4.3.19. Verde Labrador (Abrasivo lustro)	144
4.3.20. Cinza Castelo (Abrasivo lustro)	146
4.3.21. Preto Indiano (Abrasivo lustro).....	147
4.4. Síntese dos Resultados Tribológicos de Polimento.....	149
4.5. Fatores Petrográficos que Influenciam na Tribologia do Polimento.....	160
CAPÍTULO 5	
CONCLUSÕES.....	163
5.1. Sugestões para Trabalhos Futuros	164
CAPÍTULO 6	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	165
ANEXO A – Tabelas Contendo os Resultados dos Ensaios Físicos-Mecânicos.....	173
ANEXO B – Tabelas Contendo os Resultados de Brilho, Perdas de Massa de Abrasivo e o Índice de Eficiência de Polimento Utilizando Granulometria de 24 a 60 <i>mesh</i>.....	196

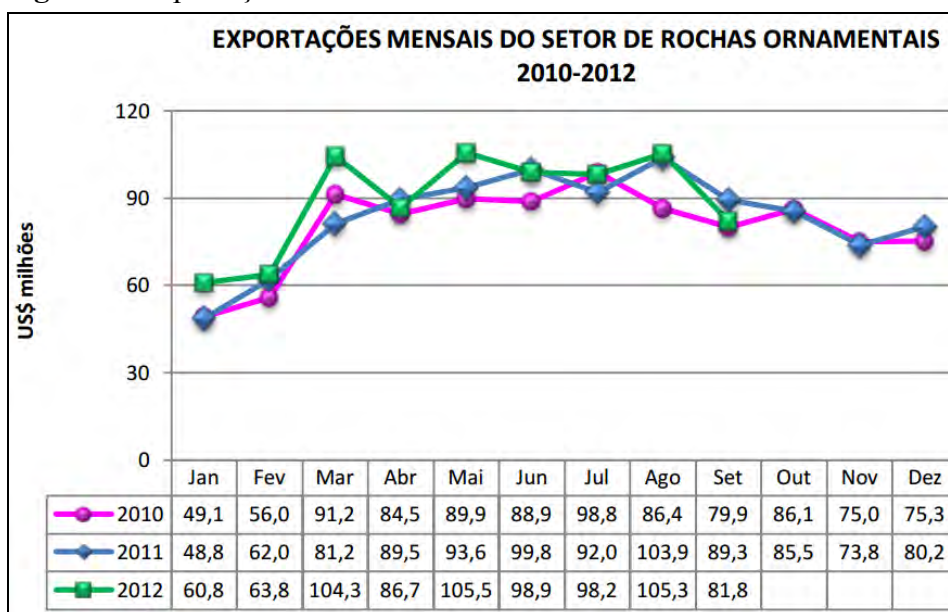
CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

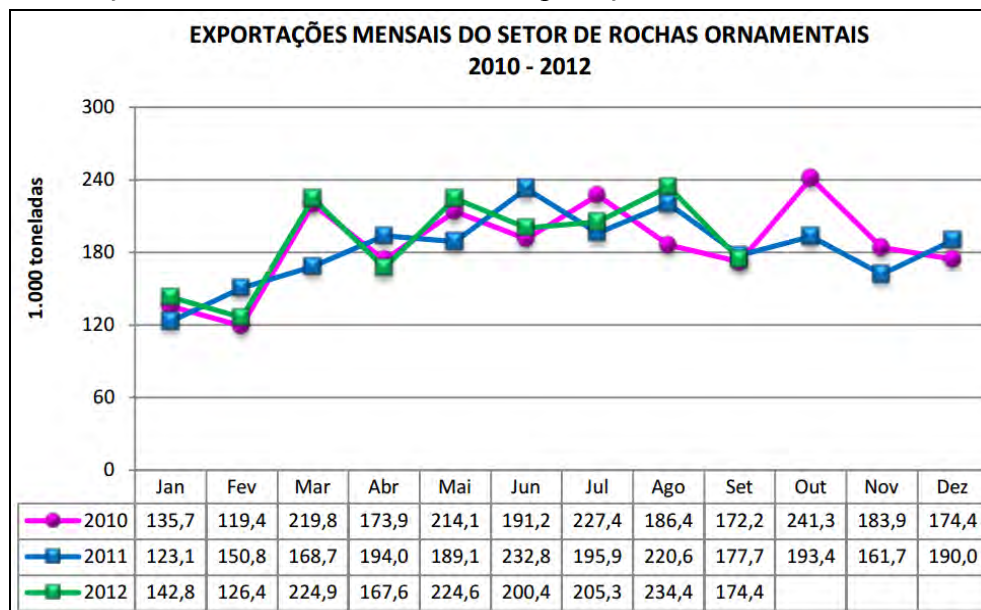
As rochas ornamentais e de revestimento representam uma importante e crescente área do setor mineral brasileiro, o qual vem sendo impulsionado pelo aumento da aplicação de materiais pétreos com diferentes graus de acabamentos em obras diversas da engenharia bem como pelo desenvolvimento de tecnologias aplicáveis ao processo de exploração, beneficiamento primário (serragem) e secundário (polimento, entre outros).

Conforme dados da Abirochas (2012) as exportações do período janeiro-setembro de 2012 atingiram US\$ 805,31 milhões e 1.700.823,34 t, mantendo variação positiva tanto em faturamento (+5,95%), quanto em volume físico (+2,91%), frente ao mesmo período de 2011 (Figura 1 e 2). As alíquotas de participação de rochas processadas no total das exportações, tanto em faturamento quanto em volume físico continuam superiores, quando comparado com o ano de 2011.

Figura 1. Exportações mensais do setor de rochas ornamentais 2010-2012.



Fonte: Abirochas (2012).

Figura 2. Evolução do volume físico anual das exportações brasileiras de rochas ornamentais.

Fonte: Abirochas (2012).

Alguns países atuam de forma acentuada no desenvolvimento de tecnologias que são empregadas no setor de rochas ornamentais (China, Itália, Turquia, Índia, Espanha) tanto na exploração quanto no beneficiamento. Neste cenário, o Brasil ainda atua de forma incipiente, onde a participação das empresas no desenvolvimento de pesquisas é pouca expressiva. Entretanto, nos últimos anos o Brasil tem apresentado uma significativa melhora na qualidade operacional de seu parque industrial, principalmente se referindo às técnicas de beneficiamento primário e secundário, mas ainda não teve uma sensibilização para a importância de desenvolver tecnologias nacionais de uma forma mais intensa, nesse importante setor produtivo brasileiro (RIBEIRO, 2005).

No que diz respeito a qualidade do polimento, Kaschner (1996) descreve que a intensidade do brilho que uma placa de rocha apresenta é função das propriedades refletivas dos minerais que compõem a rocha, sendo também inversamente proporcional à rugosidade da superfície. Logo, o brilho e o lustro de uma rocha ornamental são obtidos pela eliminação destas rugosidades herdadas na etapa de serragem e pelo “fechamento dos poros” entre os diferentes minerais que formam a rocha. Isto se dá pela ação de elementos abrasivos que, conduzidos em movimentos de atrito sobre o material, vão desbastando-o até atingir o grau de polimento desejado através do uso de abrasivos com granulometrias decrescentes.

Para Silveira (2007) “fechamento dos poros” ocorre em espaços ou depressões que as placas apresentam. Tal fator está relacionado principalmente com a mineralogia, sanidade da

rocha, tamanho dos cristais, direção de corte em relação à orientação dos cristais, preenchimento de micro e macro descontinuidades, textura, arranjo mineral, etc. O processo de polimento está inserido no contexto tribológico com o desgaste do tipo abrasivo a dois corpos (rebolo abrasivo e rocha), sendo que o terceiro elemento formador do sistema é a máquina de polir e suas variáveis operacionais. Portanto, é de grande importância o conhecimento dos mecanismos de atrito e desgaste.

O atrito e o desgaste não são propriedades intrínsecas dos materiais, mas sim características da interação destes materiais com variáveis operacionais, sendo estes responsáveis, respectivamente, por dissipações de energia e matéria. O atrito é a resistência ao deslocamento e é gerado a partir da interação de sólidos em determinadas áreas de contato e o desgaste é a perda progressiva de material da superfície de um corpo sólido devido ao contato e movimento relativo deste com outro corpo sólido, líquido ou gasoso (ZUM GAHR, 1987).

Atualmente as principais politrizes utilizadas no beneficiamento de rochas ornamentais são classificadas em dois tipos: semi-automáticas e automáticas. Em ambos os casos os rebolos abrasivos são acoplados em cabeçotes, também denominados satélites, no qual giram em velocidade constante. Acredita-se que a variação desta velocidade pode contribuir de forma a otimizar esta etapa.

As características intrínsecas dos materiais rochosos (composição mineralógica, sanidade, textura e estrutura) são muito importantes para compreensão do processo de desgaste, pois a rocha é um elemento ativo no processo.

O estudo da Tribologia envolvida no polimento de rochas propicia maior conhecimento dos fenômenos envolvidos no processo industrial, contribuindo assim para a redução do empirismo. Cabe salientar que já foram desenvolvidos alguns trabalhos com abordagem do tribossistema descrito, no qual se iniciou com o desenvolvimento e experimentação em um Simulador de Polimento de Rochas (SPR) em escala laboratorial (SILVEIRA, 2007; CARVALHO, 2010; NEVES, 2010).

Cabe ressaltar a carência de estudos relacionados ao polimento de rochas ornamentais, mostrando assim o desafio em avançar no aprimoramento deste processo industrial.

A presente pesquisa é um tema de interesse do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI, Núcleo Regional do Espírito Santo, no qual já desenvolve pesquisas principalmente relacionadas ao setor de rochas ornamentais.

Esta pesquisa foi desenvolvida no Cetem/ES, mas contou com importantes apoios das seguintes instituições: Universidade Estadual Paulista - UNESP, Instituto de Geociências e

Ciências Exatas - IGCE, Instituto Federal de Educação do Espírito Santo (IFES), Campus de Cachoeiro de Itapemirim/ES, Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e a Escola SENAI “Mario Amato” em São Bernardo do Campo/SP.

No princípio, houve a necessidade de interação com algumas empresas que realizam o beneficiamento secundário, pois foi de fundamental importância para calibrar a etapa experimental, nesta fase contou-se com o apoio das seguintes empresas: Gramazini Granitos e Mármore Thomazini Ltda., Maqstone Pedras e Máquinas Ltda., Granitos Colodetti Ltda., GMG Grolla Mármore e Granitos Ltda., Polimento Capixaba Ltda., Decolores Mármore e Granitos do Brasil Benef. Com. Exp. Imp. Ltda., Granipiso Mármore e Granitos Ltda. e Multigran Indústria e Comércio de Granitos Ltda. Os experimentos de polimento foram realizados em uma politriz semi-automática de escala industrial de propriedade do IFES.

1.1. Objetivos

- Estudar a resposta que algumas rochas silicáticas apresentarão quando submetidas a uma nova variável operacional “a variação da velocidade de rotação do satélite de polir”, visando otimizar a etapa de polimento de rochas ornamentais;
- Sugerir um índice de qualidade “Índice de Eficiência de Polimento” para auxiliar na avaliação do custo/benefício do polimento;
- Destacar a influência das propriedades petrográficas das rochas no tribossistema estudado.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS E TRIBOLOGIA

2.1. Considerações Sobre Rochas Ornamentais

As rochas ornamentais, do ponto de vista comercial, são subdivididas basicamente em mármore e granitos, numa designação mais ampla do que na terminologia petrológica tradicional. Os granitos abrangem, genericamente, as rochas silicatadas (granitos, sienitos, charnoquitos, gabros, basaltos, dioritos, gnaisses, migmatitos, granulitos, etc.), enquanto os mármore englobam as rochas carbonatadas (calcários, essencialmente calcíticos, e dolomitos, essencialmente dolomíticos). Alguns outros tipos litológicos, incluídos também no campo das rochas ornamentais são os quartzitos, arenitos, serpentinitos e ardósias, também muito importantes setorialmente (BRANDÃO *et. al.*, 1991).

Meyer (2003) destaca que o padrão textural e estrutural classificam os materiais rochosos em dois grupos: os homogêneos e os movimentados. Os granitos homogêneos caracterizam-se por possuírem minerais distribuídos aleatoriamente, enquanto os granitos movimentados correspondem aos gnaisses e migmatitos que apresentam algum tipo de estrutura ou textura definida pela concentração ou orientação preferencial de seus constituintes minerais, estruturas migmatíticas, bandamento e foliação.

Segundo Frazão e Paraguassú (1998) as rochas como elementos duráveis e decorativos incluem a função de manter aspectos estéticos ao longo do tempo, proteger a estrutura do intemperismo, promover o isolamento térmico na edificação e também facilitar a limpeza, assim como, manter a higiene no ambiente.

2.2. Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais para Revestimento

A rocha ornamental para fins de revestimento é obtida por meio de vários processos, no qual se inicia na exploração (obtenção do bloco), transporte (lavra-indústria), beneficiamento primário (serragem) e beneficiamento secundário (polimento ou outro tipo de acabamento).

Ao longo dessas etapas as rochas são submetidas a solicitações, como: atrito, desgaste e impacto, e quando aplicadas como materiais de revestimento podem também serem expostas a ataques por produtos de limpeza, ações intempéries (chuvas e vento) ou outros líquidos agressivos.

O conhecimento das propriedades tecnológicas pode contribuir tanto para melhorar o entendimento das etapas de exploração e beneficiamento de rochas quanto subsidiar uma indicação mais segura de uso, de modo que as características físico-mecânicas e estéticas se mantenham preservadas o maior tempo possível.

A caracterização tecnológica de rochas ornamentais é realizada por meio de ensaios e análises, cujo principal objetivo é a obtenção de parâmetros petrográficos, químicos, físicos e mecânicos do material que permitam a qualificação da rocha para uso no revestimento de edificações (FRASCÁ, 2003). Os ensaios são executados segundo procedimentos normatizados pela entidade nacional, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e internacionais como: *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *European Commitee for Standardization* (CEN), *Deutsches Institut Für Normung* (DIN), *Association Française de Normalisation* (AFNOR), entre outras. A seguir são mostrados alguns dos principais ensaios de caracterização de rochas ornamentais.

2.2.1. Análise Petrográfica

Os princípios desta análise são determinados pela norma NBR 15845-anexo A (ABNT, 2010) na qual especifica o método para execução da análise petrográfica de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações. O objetivo da análise é fornecer a composição mineralógica, aspectos texturais, estruturais, estado microfissural e a alteração da rocha, parâmetros estes que poderão comprometer o comportamento tecnológico da mesma.

Ribeiro (2005) descreve que a análise integrada de características como a composição mineralógica, textura, estrutura, grau e tipo de alteração e estado microfissural pode auxiliar na explicação do comportamento físico e mecânico dos materiais submetidos a ensaios tecnológicos ou observado no decorrer das etapas de serragem e de polimento.

A contagem modal dos minerais presentes na rocha deve ser realizada, visando o enquadramento e classificação segundo o diagrama QAP, proposto pela IUGS e publicado por STRECKEISEN (1976).

Interpretações sobre a influência das propriedades petrográficas no comportamento físico-mecânico das rochas já foram aplicadas e discutidas por Frazão e Farjallat (1995), Rodrigues *et. al.* (1996 e 1997), Navarro (1998), Tuğrul e Zarif (1999), Navarro e Artur (2001), Navarro (2002a), Navarro e Artur (2002), Mesquita (2002), Frascá (2003), Meyer (2003), Ribeiro (2005), Navarro (2006), Lima *et. al.* (2010), Pazeto (2011), dentre outros. Em razão da falta de normatização para classificação da granulação, textura, grau de alteração e microfissuramento da rocha, foram aplicadas classificações já empregadas por alguns dos autores citados, conforme detalhado a seguir.

O tamanho dos grãos minerais é um parâmetro que pode influir nas propriedades físico-mecânicas e na alterabilidade das rochas. Para classificação da granulação a rocha foi analisada com base nas dimensões limítrofes dos cristais determinadas a seguir.

- Fina: diâmetro médio predominante dos cristais inferior a 1,0 mm;
- Média-fina: diâmetro médio predominante entre 1 e menos de 3 mm;
- Média: diâmetro médio entre 3 e menos de 7 mm;
- Média-grossa: diâmetro médio entre 7 e 10 mm.

Com relação aos aspectos texturais/tamanho relativo dos cristais as rochas podem ser classificadas em:

- Equigranular: textura em que os grãos minerais exibem o mesmo tamanho ou variando dentro de uma estreita faixa;
- Inequigranular: textura onde os grãos minerais apresentam diferenças de tamanho de até 1:10, sem que os grãos maiores sobressaiam em relação aos menores;
- Porfírica: textura que apresentam megacristais pelo menos cinco vezes maiores que a grandeza média dos grãos da matriz, sobressaindo-se em relação às dimensões da matriz.

Com relação aos tipos de contatos minerais, esses podem ser classificados em três tipos básicos:

- Plano;
- Côncavo-convexo;
- Serrilhado.

Cada tipo é quantificado de acordo com a média das contagens executadas em microscópio, onde a determinação do aumento varia de acordo com a granulação da rocha: aumento de 4x para granulações média/grossa e de 10x para as granulações finas.

A alteração mineral como saussuritização, sericitização, epidotização, argilização, cloritização, oxidação e demais transformações minerais representa fator determinante no comportamento físico-mecânico das rochas. Em relação à intensidade da alteração mineral, Meyer (2003) apresentou a seguinte classificação:

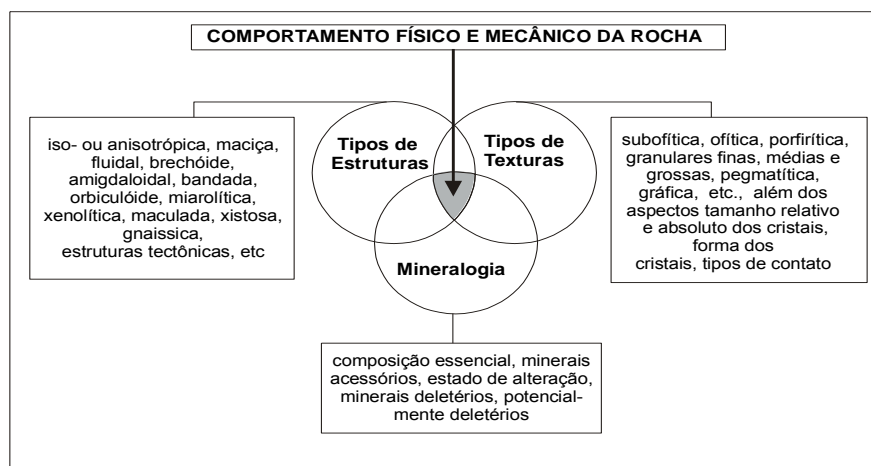
- ❖ Grau de alteração intenso: > 60%;
- ❖ Grau de alteração moderado: > 30 a 60%;
- ❖ Grau de alteração incipiente: > 10 a 30%;
- ❖ Grau de alteração muito incipiente: > 5 a 10%;
- ❖ Ausente: até 5%.

Outro aspecto importante é o grau de microfissuramento mineral, no qual deve ser expresso em número de microfissuras por mm^2 , equivalente a média das contagens efetuadas ao nível macroscópico na superfície das placas e em microscópico através de seções delgadas representativas da rocha. As microfissuras são classificadas em intragranulares, intergranulares e transgranulares, devendo-se caracterizá-las quanto ao grau de intercomunicabilidade entre elas e se vazias ou preenchidas e, neste caso, quais os materiais de preenchimento. Também para o caso das microfissuras minerais, não há normas oficiais estabelecendo critérios para a determinação deste parâmetro nas rochas, tornando sua avaliação bastante subjetiva. Uma das classificações adotada na literatura brasileira deve-se a Meyer (2003), conforme abaixo especificado:

- ✓ Alto > 0,25 microfissuras por mm^2 ;
- ✓ Moderado 0,1 a 0,25 microfissuras por mm^2 ;
- ✓ Baixo < 0,1 microfissuras por mm^2 .

Segundo Navarro (2002a) as variáveis petrográficas podem ser agrupadas genericamente em três categorias: composição mineral, texturas e estruturas, que definem um trinômio de complexa interrelação que responde pelo comportamento físico e mecânico da rocha (Figura 3).

Figura 3. Esquema ilustrando o comportamento físico e mecânico de uma rocha, como resultado da interação entre os aspectos petrográficos definidos pela mineralogia, textura e estrutura.



Fonte: Navarro (2002a).

O mesmo autor enfatiza que devido à complexidade das interações apresentadas, muitas rochas com feições composicionais, texturais e estruturais diferentes podem apresentar propriedades físicas e mecânicas semelhantes, ou ainda, rochas com composições, texturas e estruturas semelhantes podem apresentar comportamentos tecnológicos distintos. Portanto, é correto admitir que cada variável petrográfica seja responsável por parte da variabilidade presente em um dado tecnológico e que a somatória dessas variáveis definem o comportamento físico e mecânico da rocha.

2.2.2. Determinação da Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água

Os princípios são especificados pela norma NBR 15845-anexo B (ABNT, 2010) que especifica o método para determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água em rochas (Índices Físicos) que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações.

Segundo Frazão (2002) uma rocha no seu estado natural apresenta-se como um conjunto de minerais interligados, constituído pelos minerais e pelos vazios entre eles. A maior ou menor quantidade de vazios gera menor ou maior compacidade da rocha, que refletirá numa maior ou menor porosidade.

O índice de absorção de água, por exemplo, indica a capacidade de uma rocha ser encharcada por líquidos. O índice de absorção de água nunca é, portanto, superior ao de porosidade aparente, destacando-se que uma rocha com alta porosidade não tem,

necessariamente, alta absorção de água, pois seus poros e cavidades podem não ser comunicantes (BAÊTA, 2004 *apud* BOLONINI, 2011).

A norma NBR 15844 (ABNT, 2010) apresenta requisitos específicos para granitos utilizados como material de revestimento valores de densidade aparente superiores a 2.550kg/m^3 , porosidade aparente e absorção de água inferiores a 1,0% e 0,4%, respectivamente.

2.2.3. Determinação da Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas

A determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas longitudinais (m/s) permite avaliar, indiretamente, o grau de alteração e de coesão das rochas, pois os valores relativamente mais altos, num conjunto de corpos de prova de uma mesma amostra ou entre amostras petrograficamente semelhantes, indicam um menor grau de alteração e uma maior coesão entre seus minerais formadores. A anisotropia influencia a velocidade de propagação, no sentido de que os planos de foliação funcionam como barreiras ao percurso da onda ultrassônica, o que diminui sua velocidade (FRASCÁ, 2001).

Navarro (2002b) ressalta que o procedimento permite uma avaliação quantitativa da orientação mineral, dado esse que pode ser correlacionado com parâmetros tecnológicos.

A determinação deve ser executada com base na norma D 2845 (ASTM, 2008), sendo este um procedimento não destrutivo que pode ser realizado em todos os corpos de provas destinados aos ensaios de compressão uniaxial, flexão por carregamento 3 e 4 pontos, dilatação térmica linear, entre outros. O equipamento utilizado para realização do ensaio é denominado de *Pundit - Portable Ultrasonic non Destructive Digital Indicating Test*.

Frazão e Farjallat (1995) sugerem um limite aceitável da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas para rochas ornamentais silicáticas como sendo superior ou igual a 4000m/s .

2.2.4. Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial

A norma NBR 15845-anexo E (ABNT, 2010) é adotada para realização do ensaio de resistência à compressão uniaxial, que tem por objetivo avaliar a resistência da rocha quando submetida a esforços compressivos e obter um parâmetro indicativo da sua integridade física.

A resistência mecânica das rochas está condicionada a uma série de fatores intrínsecos

que influenciam diretamente, embora com pesos diferentes, os valores finais. Dentre estes se destacam a direção do esforço de compressão em relação à estrutura, o estado de alteração, a presença ou ausência de microfissuras na rocha, a anisotropia, as dimensões dos minerais e a porosidade da rocha (FIGUEIREDO, 1997).

De acordo com Vidal *et. al.* (1999) as placas de rocha para revestimento raramente sofrem solicitações de compressão e, apesar do ensaio ser solicitado mais frequentemente para avaliação da resistência dos materiais sobre os quais vão atuar forças verticais, este constitui um índice valioso da qualidade das placas de revestimento. Sabe-se que elevados valores de resistência à compressão implicam, geralmente, em materiais de alta resistência mecânica.

A norma NBR 15844 (ABNT, 2010) considera uma resistência mínima de 100 MPa requerida para granitos destinados a revestimentos verticais e horizontais.

2.2.5. Determinação do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

A determinação do coeficiente de dilatação térmica linear baseia-se na norma NBR 15845-anexo C (ABNT, 2010). Este ensaio tem como objetivo determinar o coeficiente de dilatação térmica linear dos materiais rochosos quando submetidos a variações de temperatura no intervalo de 0° a 50°C. Este parâmetro indica o comportamento esperado das rochas quando expostas a raios solares, a ambientes frios ou quando sujeitas a grandes oscilações de temperatura (congelamento/degelo). Para este parâmetro a norma NBR 15844 (ABNT, 2010) requer um coeficiente de dilatação térmica linear menor que $8,0 \times 10^{-3}$ mm/m.° C para granitos destinados a revestimentos verticais e horizontais.

Para Frazão e Farjallat (1995) a taxa de dilatação térmica linear nas rochas depende da composição mineral, do arranjo, da estrutura, tamanho dos grãos e temperatura.

Segundo Lima (2002) a dilatação térmica é um dos fatores de deterioração da rocha mais influentes, por se tratarem de materiais com baixa condutividade térmica, as rochas sofrem alteração térmica mais intensa na superfície que no interior, desenvolvendo tensões diversas que provocam fendilamentos. Nas rochas, a dilatação térmica depende da composição mineralógica (principalmente do conteúdo de quartzo para o caso de granitos) e ou da estrutura, mas também é influenciada por outros fatores petrográficos tais como pela porosidade, tamanho dos cristais, relações de contatos minerais e anisotropia estrutural da rocha.

Segundo Frazão e Farjallat (1996) há uma correlação qualitativa entre o coeficiente de

dilatação térmica linear e o grau de microfissuramento. Enquanto em rochas com baixo grau de microfissuramento a dilatação se reflete diretamente num aumento do volume, em rochas com elevados graus de microfissuramento parte da dilatação é absorvida pelo fechamento das microfissuras.

2.2.6. Determinação do Desgaste por Abrasão Amsler

O ensaio procura simular em laboratório o desgaste por atrito em uma rocha quando aplicada em um ambiente com alto tráfego de pessoas, como em estações de metrô, rodoviárias, shopping e aeroportos. A taxa de desgaste de uma rocha está associada à dureza dos seus constituintes minerais, à granulação, ao tipo de contato entre os grãos, a porosidade e a existência de microfissuras. O ensaio deve ser realizado de acordo com as diretrizes da norma da NBR 12.042 (ABNT, 1992). A Norma NBR 15844 (ABNT, 2010) especifica desgaste máximo de 1,0mm para este ensaio em rochas silicáticas.

2.2.7. Determinação da Resistência à Abrasão Profunda

A determinação da resistência à abrasão profunda segue as diretrizes da norma NBR 13818-anexo E (ABNT, 1997). Inicialmente foi desenvolvida para determinação da resistência de ladrilhos cerâmicos e posteriormente foi adequada para medir à abrasão de mármore e granitos.

Spínola (1998) empregou a abrasão profunda com intuito de relacionar a qualidade da superfície serrada de chapas de granitos com o consumo energético da fase de polimento.

2.2.8. Determinação da Microdureza *Knoop*

A dureza *Knoop* é definida pela área (formato losangular), produzida por uma ponta de diamante, dividida pela carga empregada para produzir uma impressão na superfície testada. Assim sendo, quanto maior a impressão produzida, menor a dureza da rocha. A norma EN 14205-2003 rege este ensaio.

A utilização do ensaio de microdureza *knoop* para auxiliar na caracterização de materiais rochosos foi recomendada por Frisa Morandini e Mancini (1982), no qual indicaram a realização de impressões em 20 pontos alinhados e igualmente espaçados de 1mm, sob carga de 1,96N (200gf). Os autores confeccionaram um “diagrama de distribuição de dureza”,

alinhando os valores em ordem crescente, onde os valores registrados relativos aos primeiros 25%, 50% e 75% da curva (quartil inferior, mediana e quartil superior) são nomeados “frequências cumulativas”: HK25, HK50 e HK75. Ainda os mesmos autores sugeriram que se fosse determinado um “coeficiente de heterogeneidade”, definido como HK_{75}/HK_{25} .

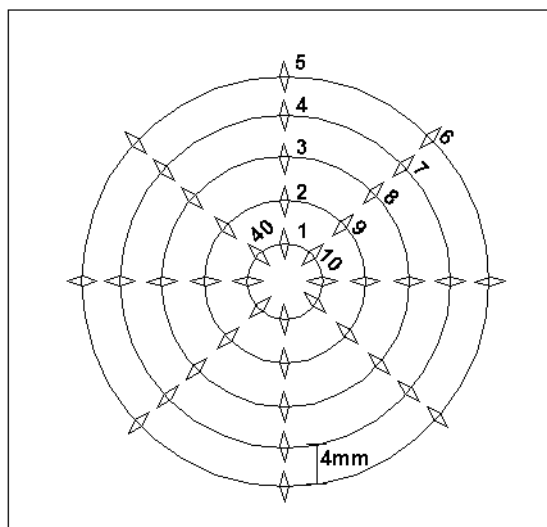
Frisa Morandini e Mancini (1982) complementaram que o valor HK_{75} indicaria a influência dos minerais mais duros da rocha, que afeta a abrasividade da rocha, ou seja, importante na avaliação do desgaste de ferramentas de corte, o valor HK_{25} seria um bom indicador de desgaste por abrasão, onde os minerais de dureza baixa são efetivamente desgastados, enquanto que os minerais mais duros são removidos por escarificação, independentemente de sua dureza e o valor HK_{50} seria um valor muito próximo da dureza média da rocha ($HK_{média}$).

Para Quitete e Kahn (2003) os principais parâmetros obtidos da determinação da microindentação são a HK_{25} e o $HK_{média}$, pois foram estes que apresentaram maiores correlações com a granulação, desgaste e teor de quartzo. Eles propõem ainda, a utilização da dureza *knoop* na previsão da durabilidade do lustro das rochas submetidas ao tráfego de pedestres.

Para a realização do ensaio Quitete (2002) recomenda a realização de dez medições em quatro direções a 45° em placas polidas em cada litotipo rochoso, com dimensões de 5cm x 5cm de base e 2cm de altura. A dureza *Knoop* é obtida através de 40 impressões em cada corpo de prova sob uma pressão de 1,96N.

Conforme sugerido pelo mesmo autor as primeiras 5 medidas são obtidas a 4mm a partir do centro do corpo de prova. Em seguida o corpo de prova deve ser rotacionado por aproximadamente 45° para realização de mais 5 medidas. Este procedimento é ilustrado no esquema abaixo (Figura 4).

Figura 4. Esquema utilizado para a realização da caracterização da microdureza em placas de rochas ornamentais.



Fonte: Quitete (2002).

Quitete e Kahn (2003) estudando a correlação da dureza *knoop* com desgaste abrasivo em rochas ornamentais chegaram a conclusão que a dureza *Knoop* e o desgaste abrasivo Amsler fornecem dados com tendência à proporcionalidade direta, ou seja, quanto maior a dureza menor o desgaste. Entretanto, essa associação não é precisa, sendo baixa a correlação entre estas duas propriedades ($R^2 = 0,49$ para HK25 e $0,32$ para $HK_{média}$). A dureza de micro impressão e o desgaste abrasivo são parâmetros que podem ser associados a diversos tipos de situações com ocorrência de desgaste, seja da rocha ou de ferramenta utilizada para alterá-la, como os diversos tipos de ferramenta de corte, de perfuração e de polimento.

2.3. Introdução a Tribologia

Tribologia é um termo que foi idealizado para definir “a ciência e a tecnologia da interação de superfícies em movimento relativo e as práticas relacionadas a estas”, sendo fundamentada em três pilares: o atrito, o desgaste e a lubrificação. A palavra se forma do radical “tribos” que significa roçar-esfregar e do sufixo “logos” - estudo. (DOWSON, 1979 *apud* SINATORA, 2005).

As principais aplicações dos fundamentos da Tribologia apoiam-se na mecânica, física, química e ciências dos materiais. Porém, se mostrou de extrema importância na compreensão dos fenômenos físicos existentes nas diferentes etapas de beneficiamento de rochas ornamentais (RIBEIRO, 2005; SILVEIRA, 2007; NEVES, 2010; CARVALHO, 2010, entre outros). Diante desta constatação, faz-se necessário tecer alguns comentários acerca da

aplicação original desta Ciência e posteriormente a sua contribuição para o setor de rochas ornamentais.

Uma das propostas para a descrição dos fatores que afetam o comportamento atritante foi apresentado por Blau (2001), conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1. Fatores que afetam o comportamento atritante.

Categoria	Fator
Geometria do contato	Conformidade dos componentes (macro escala das superfícies em contato)
	Rugosidade da superfície (aspectos microscópicos - forma e distribuição de tamanho de asperezas)
	Ondulação da superfície
	Direcionalidade da superfície com respeito ao movimento relativo
Propriedade do fluido e do fluxo	Regime de lubrificação (limite, misto, hidrodinâmico, elasto-hidrodinâmico - espessura do filme e pressão)
	Características de viscosidade do fluido e como estas afetam o fluxo newtoniano ou não newtoniano
	Efeitos de temperatura e pressão na viscosidade
	Efeitos da tensão de cisalhamento na viscosidade em filmes ultrafinos
Propriedades químicas dos lubrificantes	Formação ou alteração dos filmes devido ao atrito
	Estabilidade dos modificadores do coeficiente de atrito com o tempo
	Oxidação e acidificação dos lubrificantes
Movimento relativo	Movimento unidirecional ou alternado
	Constância do movimento (acelerações, pausas, paradas-partidas)
	Magnitude da velocidade relativa à superfície
Forças aplicadas	Magnitude da força normal (pressão de contato)
	Constância das forças aplicadas
Terceiro corpos	Características das partículas que entram nos lubrificantes
	Características da relação entre as partículas na interface (partículas de desgaste, contaminantes externos, camadas de pós lubrificantes)
Temperatura	Efeitos térmicos sobre os materiais (instabilidades termoelásticas)
	Efeitos térmicos nas propriedades dos lubrificantes (viscosidade, fluxo, possibilidade de cavitação)
	Combinação da temperatura induzida "por atrito" e da temperatura ambiente
Rigidez e vibração	Complância de Contato (stick-slip)
	Amortecimento de vibração ou vibrações externas
	Realimentação entre estímulo "por atrito" e resposta estrutural.

Fonte: Blau (2001).

Segundo Bayer (1994) *apud* Altera (2009), existe pelo menos três modos em que o desgaste pode ser classificado:

- Pela aparência dos vestígios de dano: sulcamento, cavacos, lascamentos, riscamentos, polimentos, fissuras e trincas, entre outros;
- Pelos mecanismos físicos-químicos que causaram a perda de material: adesão, abrasão, delaminação e oxidação;
- Pelas condições onde o desgaste ocorreu: desgaste lubrificado ou não lubrificado, desgaste

por deslizamento metal-metal, desgaste por rolamento, desgaste por deslizamento em alta tensão, desgaste metálico em altas temperaturas, etc.

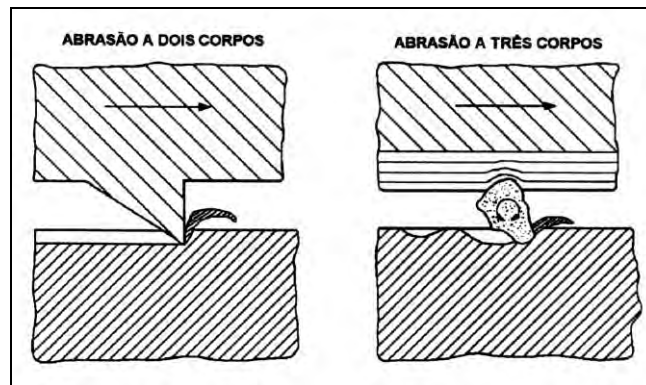
Segundo a norma DIN 50320 (1997), nos processos de desgaste estão envolvidos basicamente quatro mecanismos de desgaste ou uma combinação deles. Estes mecanismos são:

- Abrasão: remoção de material por sulcamento, corte, fadiga e trincamento;
- Adesão: formação e posterior rompimento de ligações adesivas interfaciais. Por exemplo, juntas soldadas a frio;
- Fadiga: fadiga mecânica e a posterior formação de trincas em regiões de superfície devido a tensões cíclicas tribológicas que resultam na separação de material;
- Reação triboquímica: formação de produtos de reações químicas resultantes da interação química entre os elementos de um tribossistema, iniciada por ação tribológica. Muitas vezes é designado apenas por oxidação, já que é a condição normalmente mais influente para esse mecanismo.

Segundo Zum Gahr (1987) em contatos por deslizamento, o desgaste pode ocorrer por mecanismos de desgaste por adesão, oxidação, fadiga e/ou abrasão. Apesar de poder ser composto pelos quatro mecanismos ou uma interação entre eles, frequentemente, os dados superficiais pelo contato por abrasão (como no riscamento de sólidos) são chamados apenas de desgaste abrasivo, já que a abrasão é o mecanismo mais importante para o desgaste. O tipo de desgaste verificado nas diferentes etapas de beneficiamento de rochas ornamentais, incluindo o polimento, é o desgaste abrasivo.

De acordo com Zum Gahr (1987) o desgaste por abrasão se caracteriza por movimento relativo entre um corpo “duro” e uma superfície mais “mole”. Neste processo, o corpo duro pode ser fraturado e a superfície mais mole pode ser trincada e/ou deformada, sendo tais materiais removidos da superfície, resultando mensurável perda de volume. O desgaste abrasivo pode ser dividido em relação ao tipo de contato, podendo ser a dois e a três corpos. O primeiro ocorre quando um abrasivo desliza ao longo de uma superfície, e o segundo quando um abrasivo desliza entre duas superfícies. A Figura 5 mostra, de forma esquemática, os dois tipos de processos abrasivos em relação ao contato.

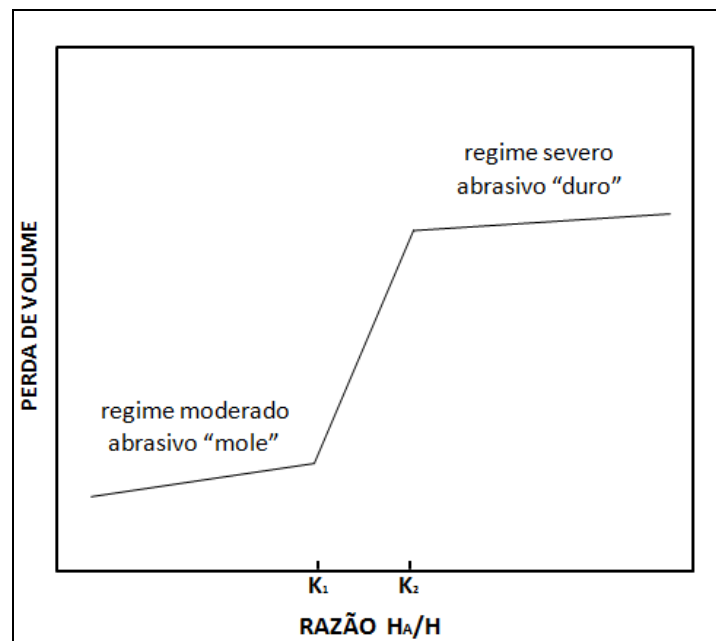
Figura 5. Esquema de desgaste a dois e três corpos.



Fonte: Zum Gahr (1987).

Kruschov (1957) *apud* Pintaúde (2002) descreve que a dureza entre os minerais da escala *Mohs* corresponde razoavelmente a um parâmetro utilizado para prever o regime de desgaste abrasivo moderado e severo, sendo a razão entre dureza do abrasivo e dureza do material desgastado H_A/H . A curva característica de transição dos dois níveis de taxas de desgaste é observada em função desta razão, no qual K_1 e K_2 são os valores que definem a região de transição dos regimes moderado e severo (Figura 6). Estes valores são de 0,7 a 1,1 para K_1 e 1,3 a 1,7 para K_2 (os valores correspondem a razão entre a dureza *Vickers* de cada mineral subsequente da escala de *Mohs*).

Figura 6. Relação esquemática entre taxa de desgaste e razão entre dureza do abrasivo (H_A) e dureza do material desgastado (H).



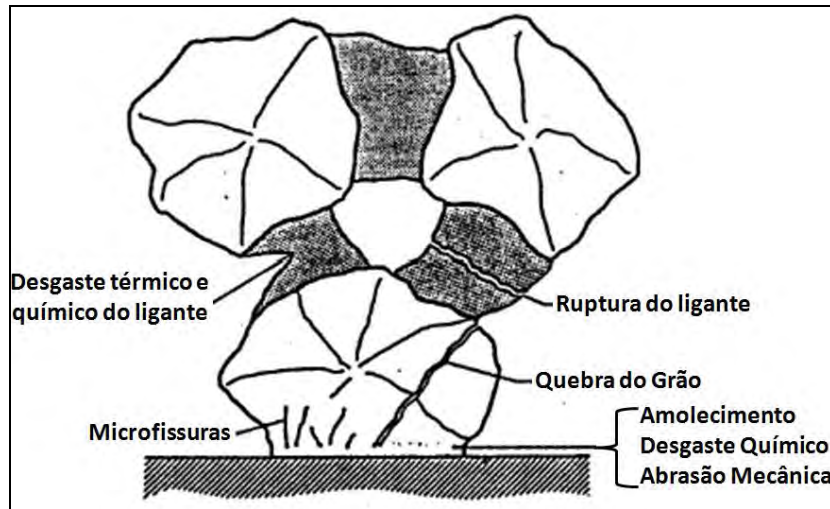
Legenda: K_1 - Ponto que delimita o início da região de transição; K_2 - Ponto que delimita o final da região de transição; H_A - Dureza do abrasivo; H - Dureza do material desgastado (N/mm^2). **Fonte:** Kruschov (1957) *apud* Pintaúde (2002).

Os valores H_A/H propostos por Kruschov para prever os regimes de desgaste abrasivo consideram apenas materiais monofásicos. Posteriormente Larsen Basse e Premaratne (1983) obtiveram resultados para materiais polifásicos, onde mostraram que a região de transição ficou compreendida entre valores H_A/H de 1 a 1,2 considerando durezas $HV_{0,05}$. Além da razão H_A/H , é preciso considerar as características do tribossistema e o tipo de dureza para prever o regime de desgaste operante.

Moore e King (1980) acrescentam que a dureza é certamente um fator determinante no regime de desgaste, pois influencia na taxa de deterioração do abrasivo, e assim na geometria das partículas abrasivas e no tipo de contato.

Segundo Konig (1991) o desgaste dos grãos abrasivos tem início nas camadas cristalinas próximas à camada superficial da partícula abrasiva. Acredita-se que nessas camadas, as temperaturas extremamente altas levam a fenômenos de oxidação e de difusão que reduzem a resistência abrasiva do material. Forma-se uma camada menos resistente à compressão e que com a ação mecânica subsequente é removida por abrasão. Com isso, novas camadas cristalinas do abrasivo ficam submetidas a esse tipo de desgaste. Com a ação mecânica e térmica também é possível ocorrer fadiga da estrutura cristalina em locais com falhas (impurezas, contornos de grãos, variações de dureza, etc.) onde principiam fissuras de fadiga. Essas fissuras podem se propagar e levar ao lascamento de partes do grão. Este autor acrescenta ainda que em muitas situações, o desgaste dos grãos abrasivos é a causa imediata para o desgaste do ligante. Com o achatamento do gume tem-se um aumento da força de atrito que leva a aumentos da força de corte e com isso, pode-se ultrapassar a resistência mecânica do ligante. Existe também a possibilidade de quebra de vários grãos abrasivos em cadeia. O desgaste pode estar localizado no abrasivo ou no ligante, dependendo de como o está ancorado no ligante. O ligante também pode sofrer desgaste sem a atuação do abrasivo devido à ação química ou térmica do meio. Na Figura 7 é mostrado a representação das formas de desgaste de rebolo abrasivos.

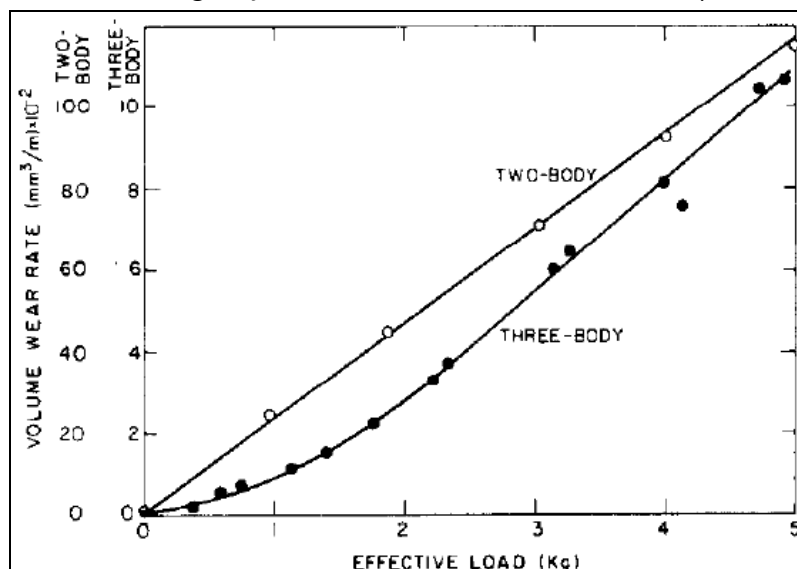
Figura 7. Representação esquemática das formas de desgaste em rebolos.



Fonte: König (1991).

A velocidade em que o abrasivo atinge a superfície desgastada é uma variável importante, sendo este tipo classificado como abrasão por erosão. A interpretação usual define a abrasão a dois corpos como o sistema no qual as partículas ou as asperezas estão rigidamente fixas no segundo corpo, fazendo com que penetrem e causem riscos no primeiro corpo. Por sua vez, a abrasão a três corpos é o sistema no qual os abrasivos estão livres para rolarem. Como consequência disso, ensaios a dois corpos podem gerar taxas de desgaste uma ordem de grandeza maior que as observadas em ensaios a três corpos, como mostra a Figura 8 (MISRA e FINNIE, 1980 *apud* PINTAÚDE, 2002).

Figura 8. Variação das taxas de desgaste de aço AISI 1020 em função da força aplicada [kgf] e da configuração do sistema. Abrasivo: SiC 250 μ m.



Fonte: Misra e Finnie (1980) *apud* Pintaúde (2002).

2.3.1. Classificação do Desgaste Abrasivo

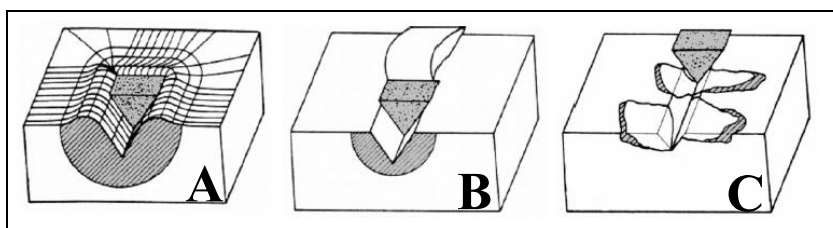
Gates (1998) classificou o desgaste abrasivo agrupando as situações práticas com as características comuns, dividindo em três grupos:

1. Situação: descrição das condições macroscópicas que produzem o desgaste, como a geometria do contato, tensões e velocidade de deslizamento;
2. Mecanismos: processo microscópico pelos quais os fragmentos de desgaste são gerados;
3. Manifestações: fenômenos observáveis, como as taxas de desgaste, transições de taxas de desgaste e características da superfície desgastada e dos fragmentos gerados.

Segundo Hutchings (1992) os mecanismos de desgaste abrasivo podem envolver tanto deformação plástica como fratura frágil. Basicamente existem três modos distintos de abrasão por deformação plástica:

- Microsulcamento (Figura 9a): ocorre deformação plástica do material da superfície e deslocamento de parte do material para as laterais do sulco formado;
- Microcorte (Figura 9b): é caracterizado pela remoção através do corte do material e consequente formação de um fragmento de corte. Um dos fatores determinantes do tipo de mecanismo é o ângulo de corte α .
- Microtrincamento (Figura 9c): é um processo de fragmentação da superfície frágil, pela formação e crescimento de trincas, devido à ação da partícula abrasiva. O fenômeno interfacial envolvido é complexo e os vários mecanismos de desgaste podem ocorrer de forma combinada, somando-se a dependência de diferentes fatores que podem favorecer maior ou menor severidade no desgaste abrasivo.

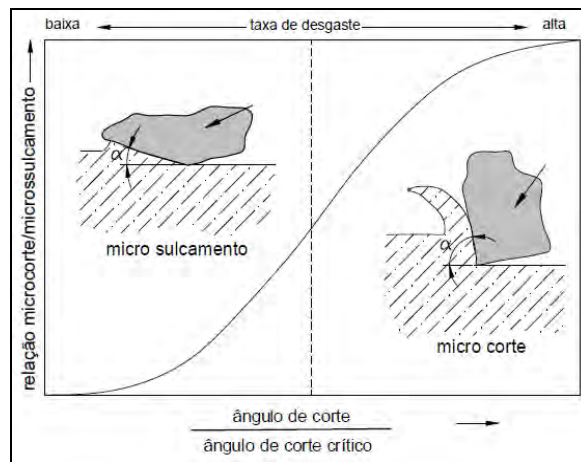
Figura 9. Representação esquemática dos mecanismos de remoção de material no desgaste abrasivo.



Legenda: A) microsulcamento; B) microcorte; C) microtrincamento. **Fonte:** Adaptado de Zum Gahr (1987).

Este autor diz que a remoção do sulco para os lados até o destacamento, ou seja, a proporção de microsulcamento para microcorte depende do ângulo de ataque (α) das partículas abrasivas. Quando o ângulo de ataque da partícula abrasiva é maior que um ângulo crítico, há um destacamento do material de uma superfície por microcorte. Teoricamente, o ângulo crítico de ataque descreve uma forma de transição entre microsulcamento e microcorte. A Figura 10 mostra esta relação.

Figura 10. Relação entre as parcelas de microcorte e microsulcamento e a razão entre o ângulo de corte e o ângulo de corte crítico.



Fonte: Zum Gahr (1987).

Gates (1998) propõe um esquema comparativo dos termos utilizados para classificação do desgaste abrasivo baseado na severidade: desgaste suave, severo ou extremo (Quadro 1). Neste esquema, não há preocupação com o estabelecimento de transições bem definidas, como tamanho de partículas e tensões de contato, uma vez que os valores críticos são também dependentes de inúmeras outras variáveis, como por exemplo, as propriedades do material desgastado.

Quadro 1. Esquema comparativo dos termos utilizados para classificação do desgaste abrasivo.

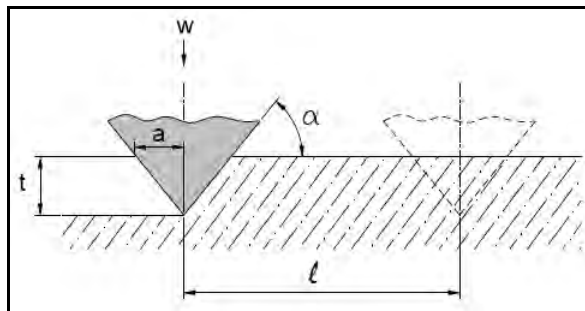
Situações típicas	Modo de desgaste abrasivo		
	Brando	Severo	Extremo
Tamanho da partícula	Pequena	Moderada	Grande
Restrição ao movimento da partícula	Sem restrição	Parcialmente restrita	Fortemente restrita
Forma da partícula	Arredondada	Angulosa	Angulosa
Tensões de contato	Baixas - insuficiente para fraturar partículas	Moderadas - suficiente para fraturar as partículas	Severas - pode causar deformação macroscópica ou fratura frágil do material desgastado
Mecanismo dominante	Microsulcamento	Microcorte	Microcorte e/ou microtrincamento
Termos equivalentes	* Abrasão a baixas tensões * Riscamento * Três Corpos a baixas	* Abrasão a altas tensões * Trituração * Três corpos a altas	* Goivadura * Dois corpos a altas tensões

Fonte: Modificado de Gates (1998).

2.3.2. Modelo Analítico do Processo de Desgaste Abrasivo

O modelo de Stachowiak (2001) *apud* Pintaúde (2002), considerando isoladamente o desgaste por deformação plástica, uma partícula é idealizada como um cone formando um ângulo de corte α com a superfície desgastada de um material dúctil, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11. Modelo esquemático do desgaste abrasivo por uma partícula cônica.



Fonte: Adaptado de Stachowiak (2001) *apud* Pintaúde (2002).

Onde:

t: microsulco de profundidade formado quando a partícula se move;

w: força tangencial aplicada;

α : ângulo do cone;

ℓ: distância de deslizamento.

2.4. Tribologia Aplicada ao Polimento de Rochas Ornamentais

O estudo pioneiro sobre o polimento de rochas ornamentais com um enfoque tribológico ao processo foi desenvolvido por Silveira (2007) no qual trabalhou com a investigação da interação do tribossistema composto pela rocha, pelo abrasivo e por condições operacionais. Foi desenvolvido um equipamento em laboratório que possibilitou a simulação do processo de polimento, em diversas condições operacionais, considerando as variáveis: tempo, velocidade de rotação e intensidade das pressões aplicadas (Simulador do polimento de rochas - SPR). O objetivo foi identificar quais situações seriam mais indicadas para obter a melhor qualidade de polimento em um determinado litotipo rochoso. A Tabela 2 mostra as nomenclaturas das amostras e as condições operacionais utilizadas na etapa experimental.

Tabela 2. Nomenclatura das amostras e condições operacionais utilizadas no Simulador de Polimento de Rocha (SPR).

AMOSTRAS						TEMPO (min.)	CARGA (bar)	VELOCIDADE (rpm)
PI1A	VB1A	CC1A	DS1A	VL1A	CB1A	2	1	200
PI1B	VB1B	CC1B	DS1B	VL1B	CB1B	2	1	400
PI1C	VB1C	CC1C	DS1C	VL1C	CB1C	2	1	600
PI2A	VB2A	CC2A	DS2A	VL2A	CB2A	4	1	200
PI2B	VB2B	CC2B	DS2B	VL2B	CB2B	4	1	400
PI2C	VB2C	CC2C	DS2C	VL2C	CB2C	4	1	600
PI3A	VB3A	CC3A	DS3A	VL3A	CB3A	6	1	200
PI3B	VB3B	CC3B	DS3B	VL3B	CB3B	6	1	400
PI3C	VB3C	CC3C	DS3C	VL3C	CB3C	6	1	600
PI4A	VB4A	CC4A	DS4A	VL4A	CB4A	2	2	200
PI4B	VB4B	CC4B	DS4B	VL4B	CB4B	2	2	400
PI4C	VB4C	CC4C	DS4C	VL4C	CB4C	2	2	600
PI5A	VB5A	CC5A	DS5A	VL5A	CB5A	4	2	200
PI5B	VB5B	CC5B	DS5B	VL5B	CB5B	4	2	400
PI5C	VB5C	CC5C	DS5C	VL5C	CB5C	4	2	600
PI6A	VB6A	CC6A	DS6A	VL6A	CB6A	6	2	200
PI6B	VB6B	CC6B	DS6B	VL6B	CB6B	6	2	400
PI6C	VB6C	CC6C	DS6C	VL6C	CB6C	6	2	600

Legenda: PI – Preto Indiano; VB – Vermelho Brasília; CC – Cinza Castelo; DS – Desert Storm; VL – Verde Labrador; VB – Vermelho Capão Bonito. **Fonte:** Silveira (2007).

Especificamente em relação ao gnaisse Preto Indiano este autor concluiu que a granulometria do abrasivo e o grau de anisotropia da rocha são condicionantes diretos da taxa de consumo de abrasivo, sendo que quanto mais anisotrópica for à rocha maior a probabilidade de ocorrência de desgaste abrasivo por fadiga. O maior consumo de abrasivo redundou em melhor qualidade do produto final, visto que sugere uma melhor (ou ideal) interação entre o abrasivo e a rocha. A relação entre a perda de massa da rocha e do abrasivo que pode vir a mostrar a situação mais adequada em termos da melhor qualidade de polimento e ao mesmo tempo de menor custo. O autor sugeriu estudos posteriores voltados para a definição da situação ideal entre consumo de abrasivo e qualidade final em escala real.

Posteriormente, Carvalho (2010) estudou os parâmetros do polimento em três tipos de rochas graníticas usando o SPR, a partir das seguintes combinações das amostras em função da pressão, velocidade e tempo, nas etapas de polimento utilizando abrasivos (24 *mesh* ao lustro), conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Combinações das amostras em função da pressão, velocidade e tempo nas etapas abrasivas de 24 *mesh* ao lustro.

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

Legenda: PSG – Preto São Gabriel; AF – Azul Fantástico; AO – Amarelo Ornamental. **Fonte:** Carvalho (2010).

A autora concluiu que as 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 severa quanto à velocidade e tempo de exposição. Já com relação aos maiores valores de brilho para a rocha PSG o maior valor de brilho obtido (79,33) foi na primeira combinação,

correspondendo, também, ao maior valor do brilho entre as três rochas analisadas nessa combinação. A rocha AF apresentou o melhor resultado (83,50 de brilho) na combinação 3, com o mesmo tempo de exposição (2 min.) e maior velocidade (600rpm) em relação a combinação 1, situação em que o “granito” AO teve um resultado médio em relação aos resultados das outras rochas. O maior valor de brilho (78,67) da rocha AO ocorreu na combinação 2, submetida ao mesmo tempo de exposição das anteriores, mas com velocidade de 400rpm.

Neves (2010) desenvolveu um estudo experimental do polimento de diferentes “granitos” e as relações com a mineralogia. Para realização dos experimentos utilizou-se o SPR, levando em consideração os três tipos de rochas estudadas, bem como as condições de ensaio (Tempo, Pressão e Velocidade), totalizando 9 combinações por tipo de rocha passando pelas 10 etapas abrasivas (24mesh ao lustro), como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Combinações do ensaio de polimento das amostras utilizando o Simulador de Polimento de Rocha (SPR).

AMOSTRAS			COMBINAÇÕES	TEMPO (min)	CARGA (bar)	VELOCIDADE (rpm)
VB	CA	JR	1	2	1	200
VB	CA	JR	2	2	1	400
VB	CA	JR	3	2	1	600
VB	CA	JR	4	4	1	200
VB	CA	JR	5	4	1	400
VB	CA	JR	6	4	1	600
VB	CA	JR	7	6	1	200
VB	CA	JR	8	6	1	400
VB	CA	JR	9	6	1	600

Legenda: VB – Vermelho Brasília; CA – Cinza Andorinha; JR – Jacarandá Rosado. **Fonte:** Neves (2010).

Neves (2010) concluiu em todos os casos que a menor perda de massa foi na combinação 1 (2min; 1bar; 200rpm), que possui os menores valores de velocidade e de tempo de exposição. As amostras evidenciaram outra similaridade representada pela maior perda de massa na combinação 9 (6min; 1bar; 600rpm), onde são maiores a velocidade e o tempo de exposição aos abrasivos. Já os valores de brilho máximo para cada tipo litológico foram alcançados em situações operacionais distintas, sendo que o brilho de 70, foi conseguido em todas as rochas a uma pressão de 1 bar e no menor tempo de operação (2 minutos), mas com

velocidade de 400rpm para o “granito” Cinza Andorinha e de 600rpm para os “granitos” Vermelho Brasília e Jacarandá Rosado.

2.4.1. Variáveis que Influem no Polimento de Rochas Ornamentais

Algumas peculiaridades da rocha tais como mineralogia, dureza, microfissuras, textura, estrutura, granulação, etc., são de fundamental importância para a compreensão do processo de polimento. As principais variáveis relacionadas à rocha e ao processo são descritas abaixo.

Características da rocha

- Composição mineralógica: o conhecimento dos minerais que compõe uma rocha é uma importante ferramenta para compreender o processo de polimento. Por exemplo, as rochas compostas essencialmente por feldspatos tendem a apresentar melhor fechamento no polimento que rochas com muita granada, muscovita, biotita e quartzo.
- Fissuras e microfissuras: as rochas que apresentam um alto grau de microfissuramento geralmente não apresentam boa qualidade final de polimento. Grandes fenocristais de feldspato K comumente são microfissurados.
- Dureza da rocha: a maioria das rochas carbonatadas (mármore; travertinos) encontram-se na faixa de dureza baixa ou média (2-3), as silicatadas e quartzo-feldspáticas correspondem a materiais normalmente de durezas altas (5-6) e só em casos isolados atingem durezas extremas (>7), como é o caso de alguns quartzitos. O tempo de realização do beneficiamento primário (desdobramento do bloco) está diretamente relacionado à dureza da rocha (serrabilidade). No beneficiamento secundário, o controle da pressão dos cabeçotes sobre a chapa deve levar em consideração a dureza da rocha, pois a perda de massa do abrasivo e da rocha são diretamente influenciadas.
- Textura: rochas com texturas equigranulares finas geralmente apresentam melhor qualidade final que rochas com texturas equigranulares grossas e inequigranulares.
- Estrutura: o desgaste da rocha e de abrasivo é diferenciado quando uma rocha apresenta bandamento composicional, pois as bandas claras (mais ricas em quartzo e feldspato) são mais duras que as bandas mais escuras (maiores percentuais de minerais máficos).

O denominado “fechamento do polimento” é uma característica relacionada aos espaços e às depressões que algumas placas já polidas podem apresentar. Este fator está diretamente

relacionado com a mineralogia, o tamanho dos cristais, a direção de corte em relação à orientação dos cristais, o preenchimento de micro e macro descontinuidades, bem como textura, arranjo do mineral, grau de alteração, entre outros. (SILVEIRA *et al.*, 2008).

Outros fatores não petrográficos

- Qualidade da superfície da chapa bruta (beneficiamento primário): é um condicionante importante do beneficiamento primário que reflete no beneficiamento secundário. Superfícies mais rugosas tendem a consumir mais abrasivos;
- Tipo de abrasivo: o tipo abrasivo contribui para apurar qualidade final do produto, por exemplo, os abrasivos diamantados, além de agilizar o processo, pois garantem maior poder de corte e maior brilho da chapa;
- Equipamento: tecnologias diferentes apresentam respostas distintas, onde a automação insere mais mobilidade ao processo.
- Qualidade e o fluxo de água no sistema, pois este influencia diretamente no resfriamento das partes em contato (abrasivo e rocha) e na limpeza dos resíduos oriundos desta interação.

Erdogan (2000) *apud* Silveira (2007) descreve que os mármore e calcários que são rochas constituídas essencialmente por apenas um mineral apresentam maiores valores de brilho que rochas magmáticas com alto conteúdo em micas e com granulação grosseira. O mesmo autor relata que o brilho é afetado pelos seguintes fatores:

- ✓ Tipos de minerais que constituem a rocha;
- ✓ Obliquidade entre a orientação do cristal e o plano de corte;
- ✓ Relação de contato entre os minerais;
- ✓ Porosidade;
- ✓ Clivagem;
- ✓ Limites dos cristais distintos;
- ✓ Microfraturas preenchidas ou não.

Para Simmons e Richter (1976) *apud* Silveira (2007) as micro-descontinuidades, chamadas por eles de microfissuras subdividem em:

- ❖ Fissuras de borda de grão: podem ser subdivididas em coincidentes ou não coincidentes ao limite atual do cristal. É normalmente difícil fazer a distinção entre estes dois tipos pelo fato de que a visualização do limite do grão muitas vezes não é óbvia. Em rochas que sofrem solicitação térmica ou mecânica as fissuras de borda de grãos podem se propagar e se tornarem contínuas ao longo de vários espaços intercrystalinos;
- ❖ Fissuras intracrystalinas: se caracterizam por serem relativamente pequenas geralmente muito menores do que o diâmetro do grão (em comprimento) e cerca de 1 µm ou menos em espessura. Tais fissuras, quando naturais, podem estar preenchidas por outro material;
- ❖ Fissuras intercrystalinas: tais fissuras se caracterizam por serem maiores do que as fissuras intracrystalinas, mas são morfologicamente similares. Em solicitação mecânica, as fissuras intercrystalinas são normalmente orientadas subparalelamente à direção de maior tensão;
- ❖ Fissuras de clivagem: é um importante subitem das fissuras do tipo intracrystalina e merece ser considerada separadamente. Elas são separações ao longo dos planos de clivagem de um mineral e ocorrem frequentemente com vários comprimentos dentro de um determinado mineral. Vários planos de clivagem dentro do grão podem se fissurar. Em certas rochas, fissuras de clivagem podem estar preenchidas por materiais de alteração.

Segundo Callister (2000) são chamados de transparentes os materiais capazes de transmitir a luz, sendo possível identificar objetos através destes, de translúcidos quando é possível atravessar a luz e não é possível identificar objetos e de opacos aqueles materiais que são impenetráveis à transmissão da luz visível.

A diafaneidade na mineralogia é a propriedade óptica que distingue os três tipos de materiais citados acima. Todos os minerais que compõem uma amostra de rocha têm sua capacidade própria de refletir a luz.

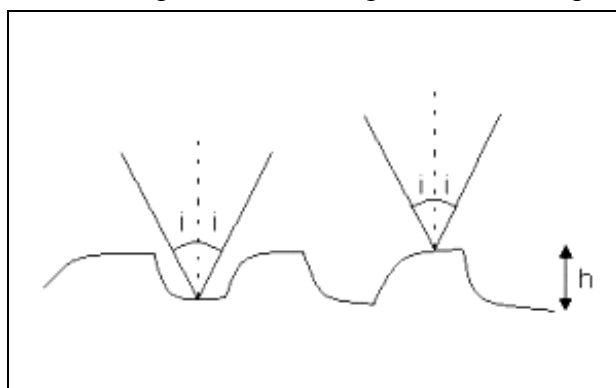
Segundo Batista (2004) a superfície de um corpo sólido irá apresentar-se brilhante desde que tenha uma lisura tão grande que permita uma intensa reflexão da luz, ocasião na qual se diz que a referida superfície está polida. Para obter-se tal lisura, o processo comumente mais utilizado é o denominado polimento, o qual implica no fato de partículas serem removidas da superfície do tal corpo, o que consiste no fenômeno denominado abrasão.

Brilho é a capacidade de reflexão da luz visível incidida, ou seja, o aspecto geral de uma superfície quando reflete a luz (DANA, 1956).

Meeten (1986) *apud* Pazeto (2011) descreve que os fatores que afetam o brilho são a topografia da superfície, o índice de refração do material e o ângulo da luz incidente. Portanto, materiais com superfícies rugosas, que refletem menor quantidade de luz nesta direção, parecem então foscos e materiais com superfícies lisas, as quais possuem maior capacidade de refletir a luz incidente na direção especular, parecem brilhosas.

Conforme já descrito, as sucessivas etapas de polimento aumentam a planicidade da superfície da chapa de rocha e conseqüentemente a reflexão especular acrescentando brilho a cada etapa. Na Figura 12 é possível observar a reflexão especular da luz a partir de uma superfície rugosa.

Figura 12. Reflexão especular da luz a partir de uma superfície rugosa.



Fonte: Meeten (1986) *apud* Pazeto (2011).

Genericamente, numa situação em que seja pretendido tornar altamente lisa (polida) uma superfície originalmente pouco lisa (ou seja, muito rugosa), é muitas vezes utilizado um agente abrasivo composto de partículas inicialmente mais grosseiras, as quais tem basicamente a capacidade de rapidamente remover grandes porções do material da peça que está sendo polida, mantendo ou preferencialmente já diminuindo o grau da rugosidade original; a seguir, outros de tais agentes podem ser aplicados, cujos grãos têm tamanhos progressivamente menores (o que conseqüentemente leva ao fato de tais agentes receberem a denominação de cada vez menos grosseiros, que equivale a mais finos); o último destes agentes deverá ter partículas extremamente menores que as do primeiro, para que assim à referida superfície seja conferida o alto grau de lisura almejado, ou seja, o brilho (BATISTA, 2004).

Segundo Silveira *et. al.* (2008) o beneficiamento de rochas ornamentais pode ser analisado sobre a ótica da Tribologia, pois compreende-se por uma sucessão de etapas de desgaste abrasivo, que se inicia com a serragem dos blocos e vai até o polimento final das

placas. O desgaste está embasado no tribossistema, onde as propriedades intrínsecas da rocha, do abrasivo e das variáveis operacionais são elementos ativos no processo.

- Rocha – mineralogia, textura, estrutura, porosidade, granulação, grau de microfissuramento, grau de alteração;
- Abrasivo – dureza, ligante, forma, tamanho e tipo do elemento abrasivo;
- Processo – tipo de equipamento, velocidade de avanço, pressão aplicada, fluxo de água, velocidade de corte e tipo de movimento.

Velocidade de Corte (V_c):

Batista (2004), estudando a eficiência do polimento (perda de massa e à rugosidade superficial) em superfícies de vidro e de amálgama, por pontas de “borracha abrasiva” ou pastas para polimento, observou que a velocidade de corte exerce substancial influencia sobre a intensidade das forças de corte, pois aumentando a velocidade um grão abrasivo passa a remover um cavaco de menor volume, dado o aumento de sua frequência de contato com o substrato. A menor espessura destes cavacos significa que foram desenvolvidas, para cada grão, menores forças tangenciais e normais de corte, resultando em menor rugosidade superficial da peça usinada; conseqüentemente, o desgaste da própria ponta deve ter sido menor.

De acordo com Wainer *et. al.* (1992) *apud* Ribeiro (2004) o volume de material removido por abrasão aumenta ligeiramente com a velocidade de deslizamento até 2.5 m/s. Este fato foi atribuído ao aquecimento da superfície provocada pelo atrito das partículas abrasivas, o que provoca uma diminuição das propriedades mecânicas do material.

No polimento de rochas ornamentais o termo velocidade de corte (V_c) pode ser entendido como a velocidade tangencial instantânea resultante da extensão percorrida pelo rebolo abrasivo em função da área a ser polida em um tempo determinado. Para essa determinação é importante conhecer o perímetro médio (satélite-abrasivo), a velocidade periférica (satélite) e o número de rebolos abrasivos por satélite.

2.4.2. Polimento Industrial de Rochas Ornamentais

Na indústria, o beneficiamento primário de rochas ornamentais compreende-se pelo desdobramento dos blocos em chapas (serragem), posteriormente a este processo, as chapas que necessitam de um reforço estrutural são teladas e posteriormente levigadas, resinadas e

polidas.

A etapa de resinagem e polimento têm como função principal conferir brilho, além de dar um fechamento maior dos poros e com isso diminuir a infiltração de água, evitando assim a alteração da rocha por hidrólise. O polimento é realizado pelo atrito gerado no movimento rotacional de elementos abrasivos dispostos em cabeçotes, denominados satélites, sob pressão, contra a superfície da rocha, sendo este movimento atritante constantemente refrigerado com água em abundância. A sequência granulométrica definida (mais grossos para o levigamento e cada vez mais finos para o polimento e lustro final), onde cada granulometria visa retirar as irregularidades deixadas pela etapa antecessora.

Alencar *et. al.* (1996) destaca que a vazão de água é muito importante no polimento de chapas, pois uma vazão menor do que a recomendada ocasiona aumento do consumo de abrasivo e perda de qualidade no polimento. Em equipamentos semi-automáticos a recomendação é de uma vazão de 20 a 30 litros/min.

Na fase de polimento, fatores como a composição mineral da rocha, o teor e as dimensões dos grãos de quartzo, a estrutura da rocha e sua cor, controlam a manutenção ou a perda do lustro (ARTUR *et. al.*, 2002).

No processo de beneficiamento secundário, a alteração do plagioclásio, a presença de minerais com diferentes durezas, formas, e as microfissuras presentes, favorecem um microfissuramento adicional da superfície e um “superpolimento” dos minerais mais aptos ao polimento, o que posteriormente, num provável reequilíbrio de tensões, causam a degradação da placa da rocha (FRASCÁ e QUITETE, 2000 *apud* RIBEIRO, 2005).

2.4.2.1. Controle de Qualidade do Polimento

A escolha do tipo de abrasivo, a pressão e velocidade de rotação das cabeças de polimento e a velocidade de avanço da placa também são variáveis que assumem uma grande importância no brilho da placa (BLASI *et. al.*, 1995 *apud* SILVEIRA, 2007).

Em escala industrial, a determinação da qualidade do polimento é feita por métodos empíricos. Como regra geral, tal parâmetro é inferido pela granulometria dos abrasivos utilizados durante as etapas de levigamento e polimento.

Um dos equipamentos mais utilizados para a medição do brilho é o glossmeter. Tal equipamento foi desenvolvido baseado no procedimento padrão ditado pela norma ASTM D 523-94.

Souza e Gonçalves (2010) avaliaram a cor, brilho e rugosidade de três granitos ornamentais com características texturais e de meteorização diferentes, no sentido de identificar eventuais diferenças e os possíveis fatores responsáveis, podendo assim contribuir para melhorar a qualidade do respectivo polimento e relataram que a determinação das características físico-mecânicas da rocha é imprescindível para avaliar a sua aptidão como material ornamental e também para estimar a durabilidade do polimento superficial.

Spínola (2000) destaca que nenhuma superfície polida de rocha é isenta de irregularidades ou imperfeições, em consequência de vários fatores, tais como a constituição mineralógica, grau de meteorização e tamanho do grão.

2.4.3. Máquina de Polir

Na maioria dos casos o processamento do polimento de rochas ornamentais é realizado em uma máquina denominada politriz. Tanto a etapa de levigamento quanto a de polimento são executadas pelo equipamento citado. Esses equipamentos vão desde as versões manuais, que exigem a operação direta do operador até linhas totalmente automatizadas. No entanto, todos os modelos podem ser agrupados em três tipos: politrizes manuais (Figura 13), politrizes semi-automáticas (Figura 14) e politrizes automáticas (Figura 15).

Na década de trinta iniciou-se o processo de polimento de mármore e similares em escala industrial, com o emprego de politrizes manuais, onde usavam a areia e posteriormente Carbetto de Silício (SiC) como elemento abrasivo (abrasão a três corpos). Até o final dos anos sessenta, a técnica de polimento pouco evoluiu, sendo esses avanços relacionados basicamente ao desenvolvimento de rebolos abrasivos rígidos, onde o mecanismo de desgaste é do tipo dois corpos, além de ajustes nos equipamentos. Nas politrizes manuais a pressão do cabeçote e a trajetória de movimento sobre a superfície a ser polida são controladas pelo operador, por esse motivo, são frequentes as variações da qualidade do polimento ao longo de uma mesma chapa, além da baixa produção média de 1 a 2m²/hora.

Figura 13. Modelo de poltriz manual constituída de um braço móvel, no qual em sua extremidade tem um cabeçote onde são fixados os rebolos abrasivos.



Fonte: Nordemarmores (2012).

Figura 14. Tipos de poltrizes semi-automáticas com 1 (A), 2 (B) e 3 (C) cabeçotes.



Fonte: CETEM-ES/MCTI (2012).

Figura 15. Modelo de poltriz automática multicabeça.

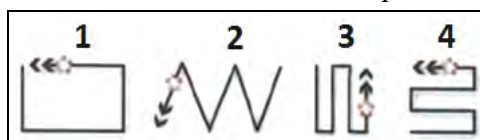


Fonte: CETEM-ES/MCTI (2012).

Em meados da década de 70 surgiram as politrizes semi-automáticas, as quais são constituídas de um conjunto moto redutor que aciona um cabeçote de polimento que é suportado por uma ponte que se desloca sobre trilhos, permitindo uma variedade de movimentos simultâneos sobre a superfície a ser polida. As principais vantagens frente à politriz manual foram à possibilidade de programação de uma tensão de carregamento uniforme, constante e mais elevada, além do aumento considerável de produção.

As politrizes semi-automáticas geralmente dispõem de quatro tipos de movimentos dos satélites (Figura 16) que geralmente são conjugados na etapa de polimento. No entanto, a programação dos movimentos, sequência de abrasivos e o tempo de trabalho são determinados pelo operador.

Figura 16. Tipos de movimentos de satélites em politrizes semi-automáticas.



Legenda: 1) contorno; 2) zig zag; 3) transversal; 4) longitudinal. **Fonte:** Metafill (2012).

A grande inovação referente ao polimento de placa de rocha ocorreu no final da década de 70, com a invenção das politrizes multicabeças automáticas, que proporcionou um aumento considerável na produção de placas polidas, pois embora tenha sido inegável o avanço no processo de polimento de granitos com a politriz semi-automática, a mesma possuía algumas limitações em relação à produtividade, à qualidade e à uniformidade no acabamento como, por exemplo, a necessidade de troca constante dos rebolos abrasivos, o grande tempo de parada entre as cargas e descargas chapas na bancada, a dependência da sensibilidade do operador para saber o momento ideal para trocar um abrasivo mais grosso por um mais fino e a grande possibilidade de um polimento não uniforme entre chapas de um mesmo material (KASCHNER, 1996).

As politrizes automáticas multicabeças possuem automação muito superior e são munidas de esteira transportadora onde as chapas correm longitudinalmente passando pelos diversos cabeçotes. O movimento dos mesmos é transversal e a pressão sobre as chapas pode ser ajustada individualmente, além da possibilidade de programação da velocidade da esteira. Os abrasivos são acoplados na parte inferior do cabeçote, de forma sequencial, do grão maior para o menor, no sentido de movimentação das placas, de modo que ao sair no final da esteira o material esteja polido. A grande variedade de politrizes automáticas no mercado oferecem

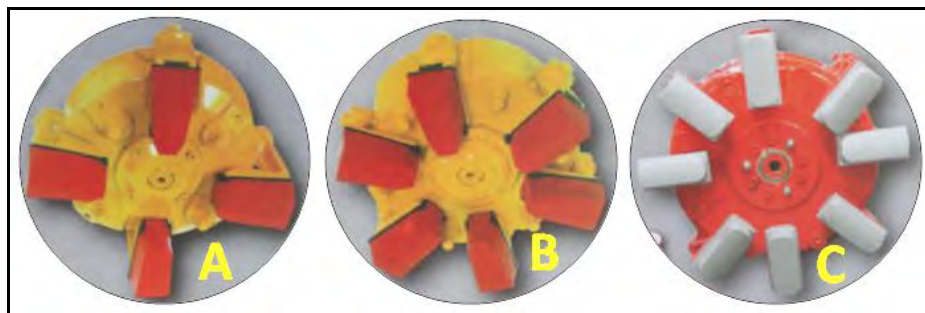
configurações que vão de 8 a 22 cabeçotes por equipamento, com produtividade de até 2 metros lineares por minuto no polimento e até 3 metros para o levigamento.

2.4.3.1. Funcionamento dos Cabeçotes no Polimento de Granitos e Mármore

No polimento de “granitos” os rebolos abrasivos são acoplados na parte inferior dos cabeçotes em uma peça denominada de “satélite”. Esta peça geralmente é encontrada em configurações de 4, 6 ou 8 rebolos (Figura 17), sendo mais comum o de 6 rebolos.

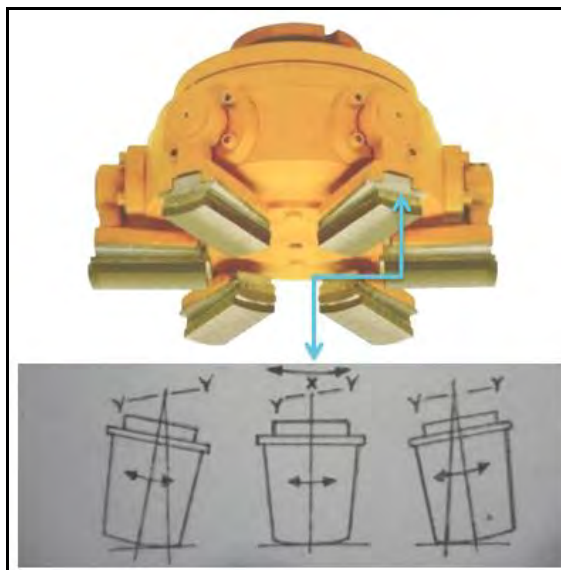
Cabe salientar que além do movimento de rotação do satélite, os rebolos também se movimentam de forma oscilatória em torno de um eixo longitudinal. Em virtude deste movimento o contato do abrasivo com a chapa é linear (Figura 18). Desta forma, é possível aumentar a pressão sobre a chapa.

Figura 17. Tipos de satélites utilizados no polimento de granitos.



Legenda: A) satélite com 4 rebolos abrasivos; B) satélite com 6 rebolos abrasivos; C) satélite com 8 rebolos abrasivos. **Fonte:** Breton (2011).

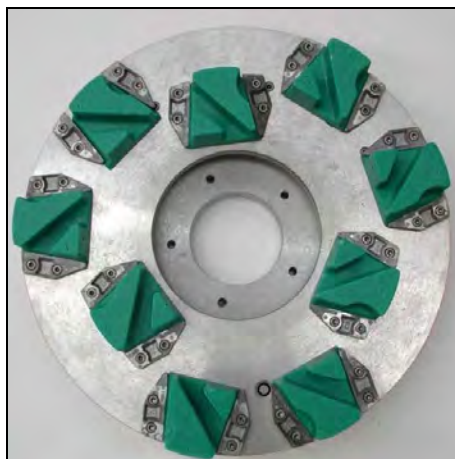
Figura 18. Detalhamento do movimento oscilatório.



Nota: Rotação no eixo x e oscilação no eixo y. **Fonte:** Adaptado de Paço (2008).

No polimento de “mármore” são utilizados rebolos abrasivos do tipo *Frankfurt*, os quais são acoplados em um “prato” (Figura 19), que fica na parte inferior do cabeçote. O “prato” pode ter tamanhos variados e conseqüentemente suportará quantidades diferentes de rebolos abrasivos, sendo geralmente 6 a 9 rebolos.

Figura 19. Exemplo de um prato com os abrasivos do tipo *frankfurt* acoplados.



Fonte: Breton (2012).

2.4.3.2. Abrasivos

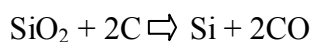
Os abrasivos podem ser divididos em duas classes: naturais e sintéticos. Os naturais abrangem todas as rochas e minerais usados para fins de abrasivos que não tenham sido submetidos a processos químicos e físicos, com exceção de processos de cominuição, moldagem e ligação. Abrasivos sintéticos são feitos por ação de calor ou química de metais ou outros minerais brutos. O Quadro 2 apresenta os abrasivos mais importantes, classificados por tipo e forma como são utilizados na indústria em geral (DOMPIERI *et. al.*, 2009).

Quadro 2. Classificação de abrasivos.

Abrasivos Naturais				Abrasivos Sintéticos		Tipos de Produtos Abrasivos
Dureza Superior (> 7,0 Mohs)	Dureza Intermediária		Dureza Inferior (<5,5 Mohs)			
	Abrasivos de Sílica	Outras Rochas/Minerais				
Diamante (10,0)	Calcedônia	Calcáreo argiloso	Apatita	Carbeto de boro	Negro-de-fumo (tipo lamparina)	Grãos abrasivos e pós livres
Corindon (9,0)	Chert	Basalto	Calcita	Nitreto de boro	Cal	Grãos abrasivos aglomerados em discos, blocos e formas
Esmeril (7,0-9,0)	Flint	Fedspato	Giz	Carbonato de cálcio precipitado	Magnésia precipitada	Abrasivos revestidos; grãos com liga em papel e tecido
Granada (6,5-7,5)	Novaculita	Granito	Argila	Fosfato de cálcio	Dióxido de manganês	Grãos abrasivos e pós; pastas por meio de óleo ou água
Estaurolita (7,0-7,5)	Quartzo	Micaxisto	Diatomita	Óxidos de cério	Periclásio artificial	Grãos abrasivos e pós; forma de tijolos ou barras, ligas com graxa, cola ou cera
	Quartzito	Perlita	Dolomita	Óxido de cromo	Carbeto de silício	
	Arenito	Pedra-pomes	Óxidos de Ferro	Argila calcinada à	Carbeto de tântalo	Grãos abrasivos e pós; forma de moagens
	Areia silicosa	Conglomerado de quartzo	Calcário	Diamante	Óxido de estanho	Mochas naturais moldadas em pedras de moagem
			Piçarra	Alumina fundida	Carbeto de titânio	
			Silte	Vidro	Carbeto de tungstênio	Rochas naturais moldadas em pedra de afiação
			Talco	Óxidos de ferro	Óxido de zircônio	Rochas naturais moldadas em pedra de polimento
			Trípoli		Silicato de Zircônio	
			Carbonato de cálcio	Abrasivos metálicos, incluindo granalha esférica e angular, palhas de aço, latão e cobre		Rochas naturais moldadas em blocos para revestimento de moinhos
				Blocos de porcelana para revestimentos de moinho e corpos moedores		Seixos naturais e manufaturados, para moinhos.

Fonte: Dompieri *et. al.* (2009).

Os rebolos abrasivos utilizados no beneficiamento de chapas de rochas ornamentais são compostos normalmente de partículas abrasivas imersas em uma matriz (ligante). Os rebolos genericamente podem ser divididos em duas categorias: magnesianos e diamantados. Os denominados magnesianos são compostos de SiC como elemento abrasivo e imersos em matriz cerâmica (cimento magnésio-Sorel). O uso do SiC é devido a sua elevada dureza, sendo 9,5 na escala de *Mohs*, além da particularidade de ser infusível e quimicamente inerte. A fabricação deste composto é conseguida através do aquecimento de quartzo ou areia com demasiado coque (tipo de combustível derivado do carvão betuminoso), em forno elétrico a 2.000° – 2.500 °C como explicado na reação abaixo.



Os abrasivos magnesianos utilizados no polimento de granitos são fabricados com granulometria de 16 até 1500 *mesh* e os empregados no polimento de mármore, começam

com granulometria de 20 até 1200 *mesh*. A Figura 20 apresenta exemplo de abrasivo magnesiano utilizado no polimento de granito e mármore. Cabe ressaltar que os mesmos são de tecnologia ultrapassada, mas ainda são muito utilizados na indústria.

Figura 20. Rebolos abrasivos magnesianos utilizados no polimento de rochas ornamentais.

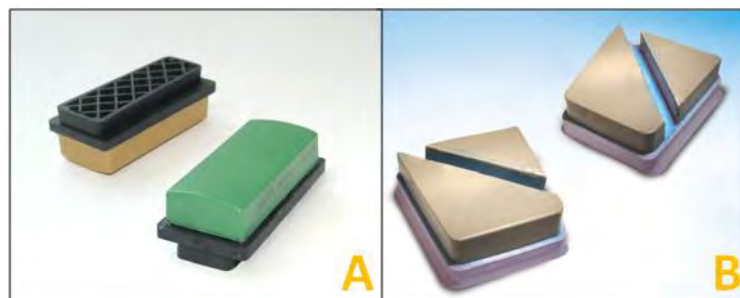


Legenda: A) Abrasivo magnesiano utilizado no polimento de granito; B) Abrasivo magnesiano (*Frankfurt*) utilizado no polimento de mármore. **Fonte:** Cobral (2012).

Os rebolos abrasivos diamantados, no entanto são classificados em dois grupos, fato esse pelo uso de ligantes distintos, sendo um de matriz polimérica (poliéster ou epóxi) denominados de resinoide e outro de liga metálica. Em ambos os casos as partículas abrasivas responsáveis pela ação de polimento é o diamante sintético. A Figura 21 ilustra um modelo rebolo abrasivo diamantado resinoide utilizado no polimento de granito e mármore.

Os rebolos abrasivos resinoides são chamados também de abrasivos diamantados resinoides (ADRs), aglomeram partículas de diamante com maior poder de abrasão, proporcionando uma maior qualidade no fechamento e brilho final dos granitos. Ao mesmo tempo, são mais duráveis e tem menor custo de produção por m² em comparação com os magnesianos. Sua granulação varia de 120 a 1500 *mesh* (NEVES, 2010).

Figura 21. Rebolos abrasivos diamantados resinoides utilizados no polimento de rochas ornamentais.

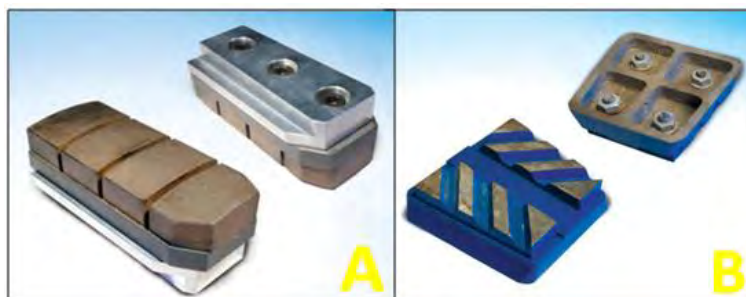


Legenda: A) Abrasivo diamantado resinoide utilizado no polimento de granito; B) Abrasivo diamantado resinoide (*Frankfurt*) utilizado no polimento de mármore. **Fonte:** Cobral (2012).

Em um rebolo diamantado a função da matriz é de fixar rigidamente os grãos de

diamante para que continue agregado o maior tempo possível, possibilitando executar sua ação total, até perder seu poder de corte, quando será interrompida dando lugar ao afloramento de outro grão abrasivo emergindo da matriz. Se a matriz for muito mole o diamante poderá se desprender antes de realizar a ação completa e, se for muito dura, o desgaste do diamante pode se planificar com a face da matriz, diminuindo o poder de corte da ferramenta. Os elementos mais comuns que constituem a liga metálica são: cobre, estanho, cobalto, níquel, prata, cromo, manganês, molibdênio, vanádio e titânio. A Figura 22 apresenta um rebolo abrasivo diamantado de liga metálica utilizado no polimento de rochas. Essa classe de abrasivo pode apresentar sua liga formulada com diferentes durezas, porém, sempre utilizando o diamante como elemento abrasivo. Uma técnica consolidada para produção das ligas metálicas é baseada na metalurgia do pó com a tecnologia da sinterização outra é a eletrodeposição, na qual não ocorre a concreção do diamante, mas ele é depositado em uma base de aço formando camada de espessura igual ao tamanho do grão (TURCHETTA, 2003).

Figura 22. Rebolos abrasivos diamantados de ligas metálicas utilizados no polimento de rochas ornamentais.



Legenda: A) Abrasivo diamantado de liga metálica utilizado no polimento de granito; B) Abrasivo diamantado de liga metálica (*Frankfurt*) utilizado no polimento de mármore. **Fonte:** Cobral (2012).

Os abrasivos diamantados fabricados em liga metálica, resina epoxídica ou poliéster são os que representam a maior evolução tecnológica dos últimos anos referente ao polimento de rochas. Utilizados a cerca de dez anos na Europa e a cerca de 15 anos no Brasil, estes abrasivos trazem inúmeras vantagens na sua utilização em máquinas multi-cabeças. Os principais ganhos que estes materiais proporcionam são: aumento de produtividade, qualidade final das chapas padronizada, melhor qualidade da água reciclada, diminuição no consumo de energia elétrica e redução do tempo morto.

2.4.4. Principais Fatores que Influem na Abrasividade

A abrasividade da rocha está condicionada a quantidade de sílica que a mesma apresenta, portanto quanto maior a quantidade de sílica, mais abrasiva torna-se a rocha.

De acordo com Nussbaum (1988) a capacidade de determinado abrasivo em remover material submetido ao processo de desgaste é chamada de abrasividade. As características físicas ou propriedades dos materiais abrasivos são principalmente:

- Dureza;
- Tenacidade/Friabilidade;
- Resistência ao atrito e estabilidade química.

Agus *et. al.* (1995 e 1996) *apud* Silveira (2007) introduziram um parâmetro para a avaliação da perda do material abrasivo:

$$P_{Abr} = H_p \cdot S \cdot \rho_p \cdot d_p \cdot m_A$$

Onde:

P_{Abr} – Perda de abrasivo;

H_p – Dureza do material abrasivo;

S – Forma da partícula;

ρ – Peso específico do material;

d – Diâmetro da partícula;

m – Taxa de fluxo de massa.

A dureza é definida como a resistência de um mineral ao risco. O método está baseado na capacidade de penetração de um material por outro mais duro. A Tabela 5 expressa a escala de dureza de *Mohs* (FRIEDRICH MOHS, 1824).

Tabela 5. Escala de *Mohs*.

TABELA MOHS	
1 - Talco	6 - Feldspato
2 - Gipsita	7 - Quartzo
3 - Calcita	8 - Topázio
4 - Fluorita	9 - Corindon
5 - Apatita	10 - Diamante

Fonte: Friedrich Mohs (1824).

Coseglio (2009) descreve que a razão entre a dureza do abrasivo e a dureza da superfície é determinante para o mecanismo de desgaste operante e, conseqüentemente, para a taxa de remoção de material. Foi observado experimentalmente um valor crítico de 1,2 para esta relação de durezas, para que o abrasivo seja capaz de remover efetivamente o material de uma superfície.

Lee (2002) *apud* Aigueira e Filgueira (2006) ressalta que o uso de abrasivos numa superfície sólida resulta em remoção de material. Analisando do ponto de vista do material a ser trabalhado, o mecanismo de desgaste depende das propriedades mecânicas do sólido. Em um sólido dúctil, o mecanismo básico de desgaste está relacionado com a deformação plástica; paralelamente, a dureza é o parâmetro que governa a quantidade de material a ser removido.

Xu (2001) *apud* Aigueira e Filgueira (2006) destaca que o estudo de materiais para uso em ferramentas abrasivas nas atividades de beneficiamento de rochas ornamentais, tais como desbaste, polimento e lustro vem crescendo bastante nas últimas décadas, acompanhando a evolução experimentada a partir da década de 80 pelas ferramentas de corte de rochas, do tipo disco serra, fios perolados, etc.

Segundo Przyklenk (1993) *apud* Oliveira *et. al.* (2008) o desgaste da ferramenta inicia-se através do desgaste da partícula abrasiva, causando o seu abaulamento (planificação ou embotamento do grão abrasivo). Em seguida, a matriz polimérica também sofre um desgaste que causa a diminuição da área na qual a partícula abrasiva se sustenta sobre tal matriz. Com o aumento desse desgaste até um ponto crítico, a partícula abrasiva se desprende e uma nova camada de partículas abrasivas começa a surgir. Esse desprendimento das partículas para o surgimento de uma nova camada é chamado de protusão ou “pull-out”.

Aigueira e Filgueira (2006) estudaram o mecanismo e resistência à abrasão de compósitos à base de poliéster-SiC (Carbeto de Silício) para uso em coroas de polimento de rochas ornamentais, que normalmente são feitas à base do compósito cimento magnésiano (sorel) e SiC. Os compósitos foram produzidos utilizando-se concentrações variáveis de SiC (5-10-20-30-50%) proporcionais ao sistema poliéster-SiC. Os compósitos foram submetidos a testes de desgaste, simulando uma situação de polimento de rochas ornamentais. As amostras que apresentaram melhores resultados foram as que possuíam 50% SiC. Estas superaram em 5 vezes as amostras de Sorel-SiC no desempenho de abrasão, porém as mesmas apresentaram um resultado 4,6 vezes maior em termos de perda de massa, o que leva ao empate no desempenho global.

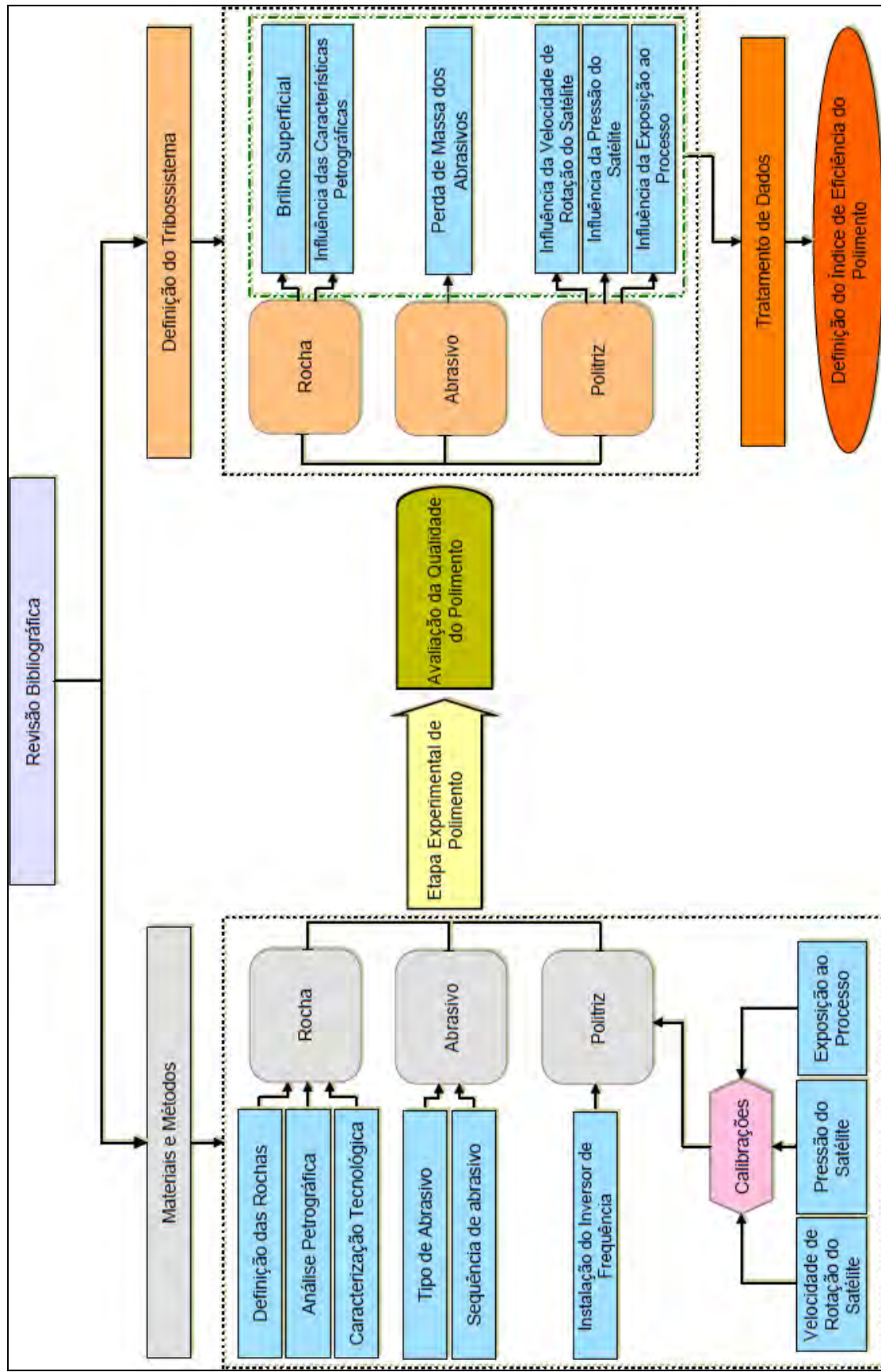
Oliveira *et. al.* (2008) pesquisando compósitos produzidos nas estequiometrias epóxi (70-75-80-85-90) % em peso SiO₂ (Dióxido de Silício), destacaram que no mecanismo de desgaste não ocorreu auto-afiação das partículas abrasivas, sendo este desgaste dominado pelo comportamento dúctil da matriz epóxi, propiciou uma aderência satisfatória com o SiO₂, o qual por sua vez sofreu aplainamento e soltura durante o polimento, mas propiciando o surgimento de novas partículas cortantes que se encontravam no “*bulk*” do compósito. Dentre os compósitos a base do sistema epóxi-SiO₂, comparando os resultados obtidos dos testes de desgaste juntamente com a análise das micrografias, as amostras que apresentaram melhor resultado foram as que possuem 85% SiO₂. 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 expressivo no desempenho global.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada está embasada nos conceitos da Tribologia com enfoque no polimento de rochas ornamentais, de forma a conhecer como a variável velocidade de rotação de satélite pode acelerar ou retardar o processo de desgaste que acontece nas sucessivas etapas do processo de polimento levando em consideração as características intrínsecas das rochas estudadas. A sequência metodológica utilizada nesta pesquisa é esquematicamente apresentada na Figura 23.

Figura 23. Sequência metodológica adotada na presente pesquisa



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1. Materiais Rochosos, Equipamento e Insumo utilizado na pesquisa.

3.1.1. Rochas Estudadas

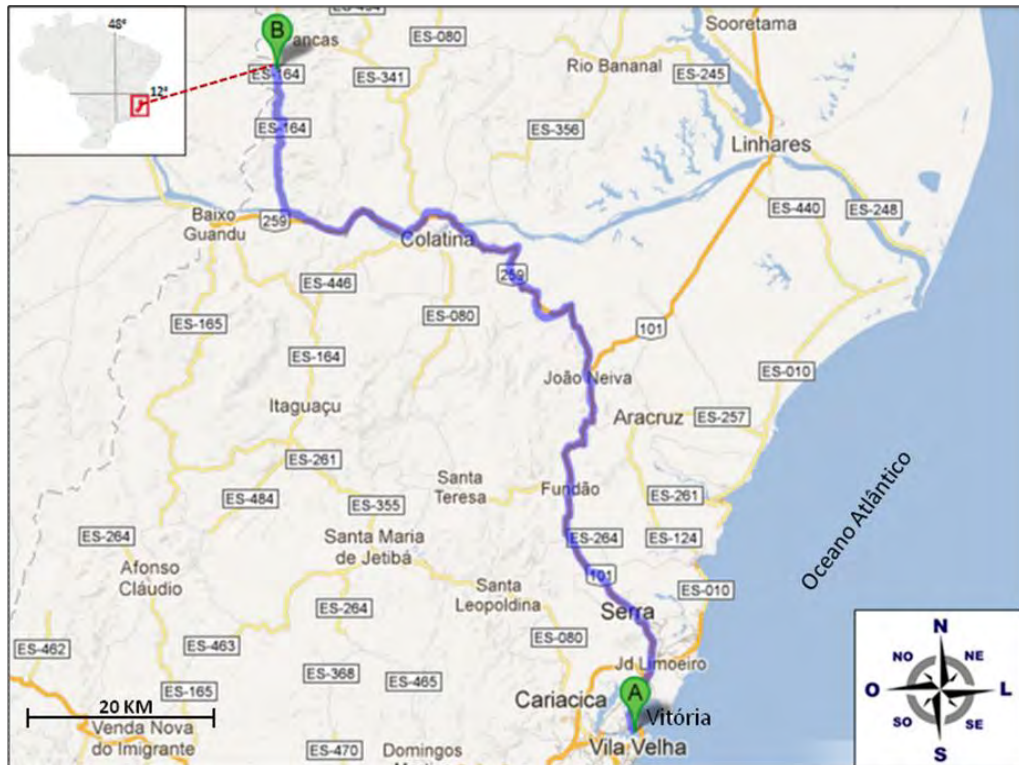
Para estudar a influência da velocidade de rotação de satélite no polimento de rochas foram selecionados três litotipos rochosos com aspectos petrográficos, texturais e estruturais distintos, justamente para comparar os resultados obtidos e tentar relacionar quais características intrínsecas mais influenciaram na ação de desgaste, levando em consideração a exposição ao processo, às velocidades de rotação e pressões do satélite testado. Os materiais escolhidos foram um charnoquito denominado Verde Labrador, um granito comercialmente conhecido como Cinza Castelo e um gnaisse designado Preto Indiano.


O Cetem/ES adquiriu 6 chapas de rocha bruta por material estudado, num total de 101m², para realização dos experimentos.

3.1.1.1. Procedência das Rochas Estudadas

O charnoquito Verde Labrador é explotado no município de Baixo Guandú/ES, mesorregião noroeste do Estado do Espírito Santo, na região fronteira do Estado com Minas Gerais, na localidade de Alto Mutum Preto. O local está distante 200 km da capital, Vitória. O acesso pode ser realizado a partir da capital pela BR 101 até altura de João Neiva, depois pela rodovia BR-259 até o trevo de Pancas, onde se inicia a rodovia ES-164 até a lavra (Figura 24). As cidades adjacentes mais importantes são: Colatina ao sul e Linhares a leste.

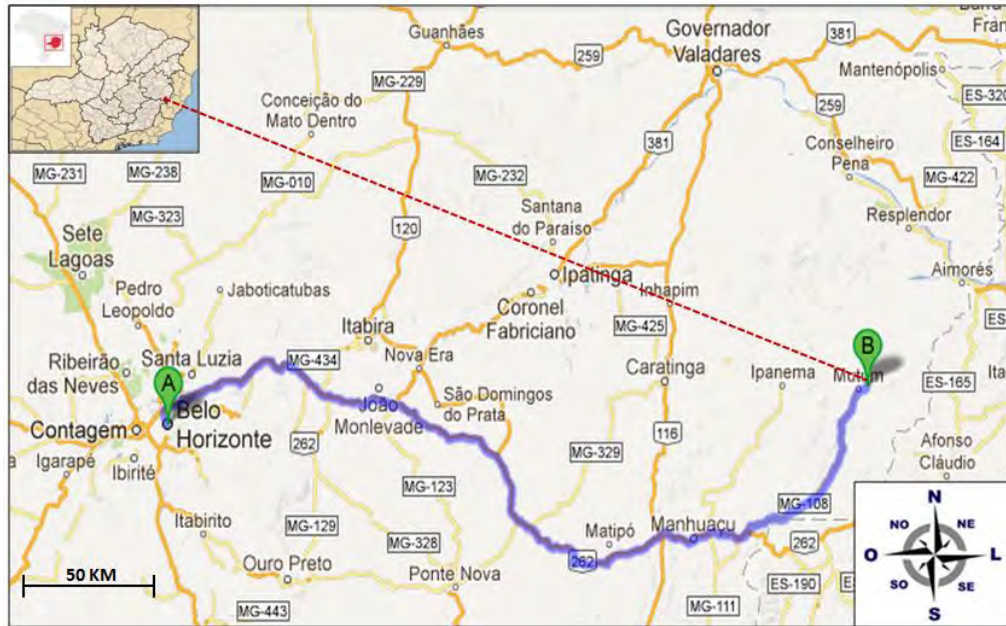
Figura 24. Mapa esquemático de acesso rodoviário à lavra do charnoquito Verde Labrador.



Legenda: — Trajeto de Vitória/ES (A) até a lavra do material Verde Labrador (B - );
 --- Referência geográfica da lavra. **Fonte:** Modificado de Google Maps (2012).

O granito Cinza Castelo é explotado no município de Mutum/MG, localizado na região do Rio Doce, Estado de Minas Gerais. O acesso a partir da capital do Estado de Minas Gerais (Belo Horizonte) é realizado pela BR 381, depois pela BR 262 e por fim pela MG-108 até a cidade Mutum, perfazendo um total de 381km. Daí por diante o percurso é de 60 km até a lavra (Figura 25). As cidades mais importantes em escala regional são: Governador Valadares ao norte, Aymorés a leste e Caratinga a oeste.

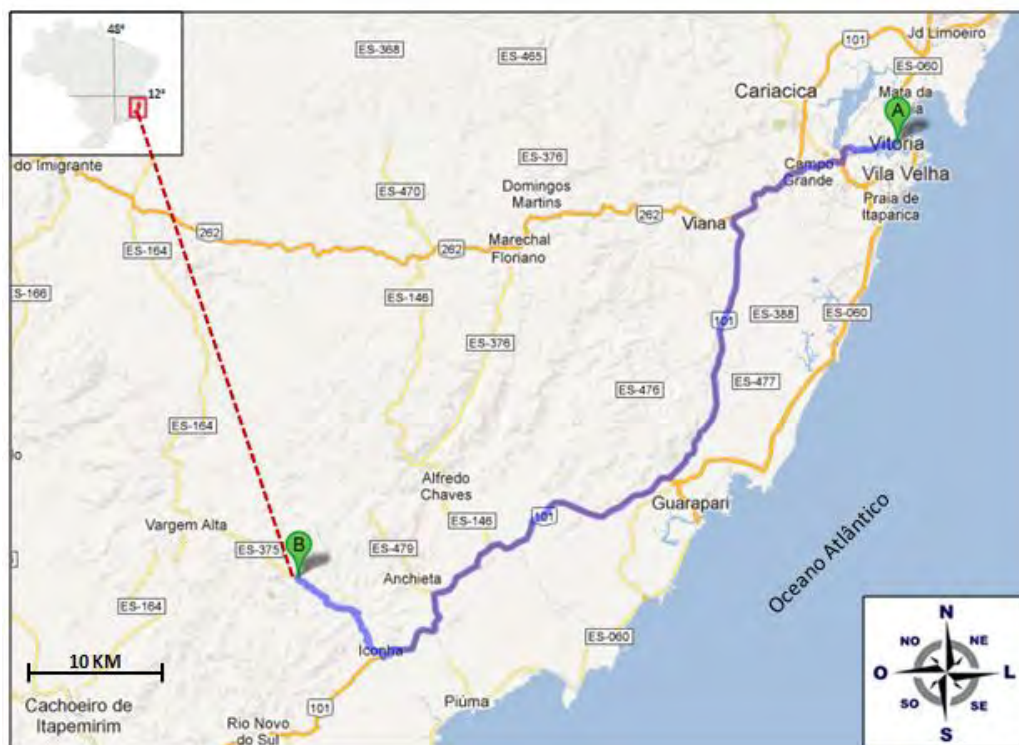
Figura 25. Mapa esquemático de acesso rodoviário à lava do granito Cinza Castelo.



Legenda: — Trajeto de Belo Horizonte/MG (A) até a lava do material Cinza Castelo (B - 🛠️);
 --- Referência geográfica da lava. **Fonte:** Modificado de Google Maps (2012).

A lava representada pelo gnaiss Preto Indiano está localizada no município de Iconha/ES, que está inserido na macrorregião sul do Estado do Espírito Santo. O acesso à lava a partir da capital Vitória pode ser feito pela BR 101 até a cidade de Iconha (percurso de 88 km) e posteriormente pela rodovia ES-375 até a lava por mais um trecho de 30 km (Figura 26). As cidades mais importantes no entorno são: Cachoeiro de Itapemirim/ES ao sul e Guarapari/ES a leste.

Figura 26. Mapa esquemático de acesso rodoviário à lavra do gnaiss Preto Indiano.



Legenda: — Trajeto de Vitória/ES (A) até a lavra do material Preto Indiano (B - ⚡);
 --- Referência geográfica da lavra. **Fonte:** Modificado de Google Maps (2012).

3.1.2. Equipamento utilizado (politriz)

Para realização dos testes de polimento das rochas citadas foi utilizado uma politriz semi-automática da marca Cimef de um cabeçote (Figura 27), de propriedade do Laboratório de Beneficiamento de Rochas Ornamentais do Instituto Federal de Educação (IFES) - Campus Cachoeiro de Itapemirim/ES.

No processamento do polimento de rochas ornamentais, os cabeçotes giram em uma velocidade constante (450 - 650rpm). Embora alguns equipamentos atualmente já dispõem de motores controlados por inversores de frequência, não se sabe de fato qual a influência na qualidade do polimento, pois a introdução desse dispositivo nesses equipamentos está relacionada a economia de energia que o mesmo pode proporcionar.

Foi instalado na politriz um inversor de frequência da marca Delta, modelo VFD007B23, 230 v Trifásico de 1 HP (0.75kw), categoria PWM, no qual possibilitou a variação de rotação do satélite de polir.

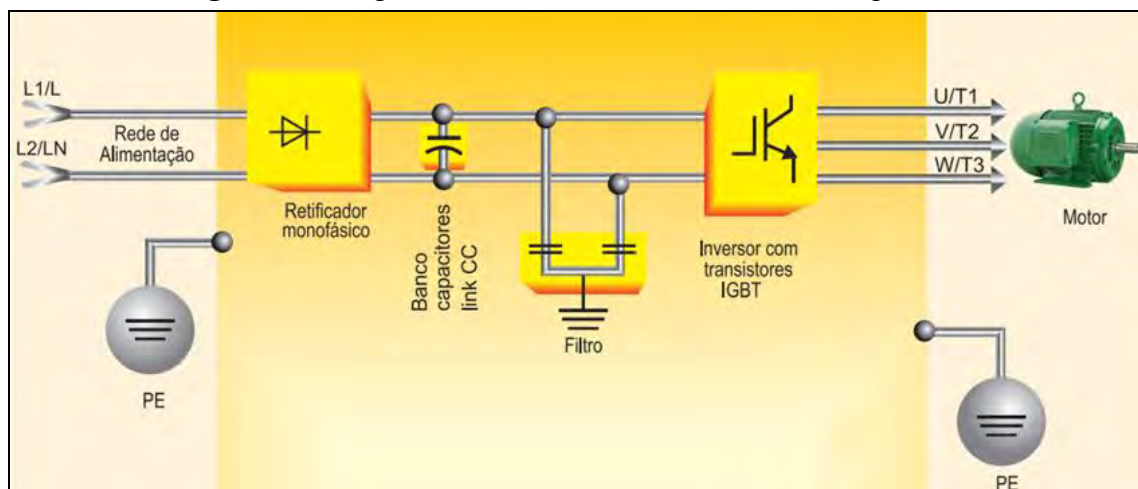
Figura 27. Politriz semi-automática utilizada para realização dos experimentos.



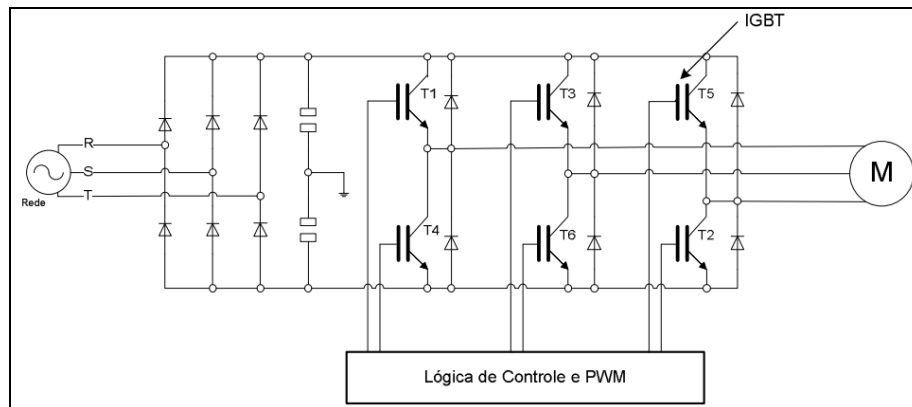
Legenda: 1 - Inversor de frequência instalado; 2 - painel elétrico original da politriz. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O inversor dispõe de um circuito retificador, responsável por transformar corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC), mas também é possível realizar o inverso, ou seja, CC para CA (conversor) com a frequência desejada. Na Figura 28 é possível observar um diagrama de bloco de um inversor de frequência. A Figura 29 apresenta um esquema do inversor tipo IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*). O transistor bipolar de porta isolada possui características que permitem sua utilização no controle de elevadas correntes em altas velocidades.

Figura 28. Diagrama de blocos de um inversor de frequência.



Fonte: Weg (2012).

Figura 29. Esquema do inversor IGBT trifásico.

Fonte: Amaral (2009).

Os inversores de frequência podem ser divididos em três categorias:

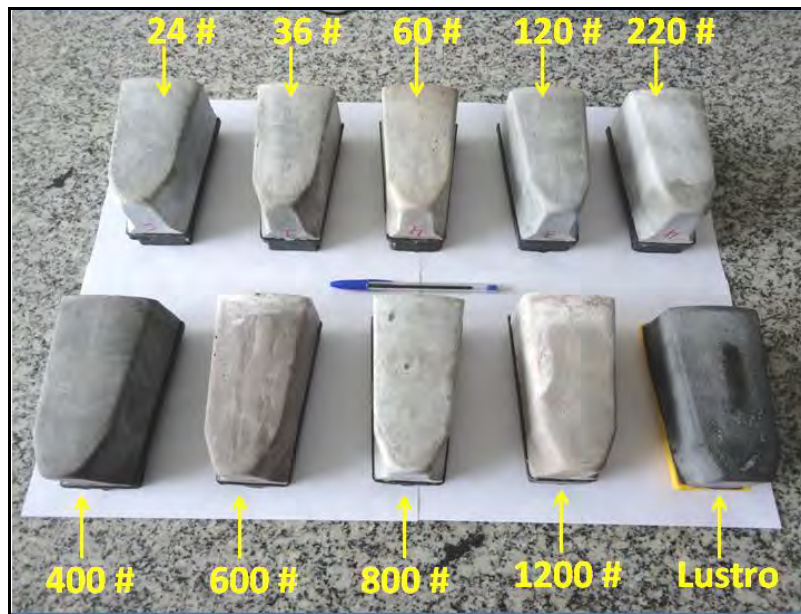
1. Inversores PWM (*Pulse-width Modulated Inverters*): nesses inversores, a tensão de entrada do conversor (CC - CA) é mantida constante por um retificador a diodo, por exemplo, e o inversor controla a magnitude e a frequência da tensão de saída através de um PWM;
2. Inversores de onda quadrada: nesses inversores a tensão CC de entrada do conversor é controlada de forma a controlar a magnitude da tensão CA de saída. Desta forma o conversor tem que controlar apenas a frequência da tensão de saída. A onda de saída tem a forma similar a uma onda quadrada, daí o seu nome;
3. Inversores monofásicos com anulação de voltagem: em sistemas monofásicos é possível controlar a intensidade e a frequência da tensão CA da saída, mesmo sem PWM. Vale notar que essa técnica de cancelamento de tensão funciona apenas para sistemas monofásicos.

3.1.3. Abrasivos Utilizados

Os abrasivos utilizados nesta pesquisa foram do tipo magnesianos. A escolha do uso se deu pela possibilidade de se conseguir mensurar o desgaste abrasivo em pouco tempo, visto que a perda de massa em abrasivos resinóides e diamantado é mais baixa. Os abrasivos utilizados nos testes foram cedidos pela empresa Cobral Abrasivos e Minérios Ltda.

A sequência abrasiva (em *mesh*) utilizada foi: 24, 36, 60, 120, 220, 400, 600, 800, 1200 e lustro (Figura 30). Tal sequência já foi utilizada em estudos anteriores sobre polimento e também é utilizada nas indústrias. Para cada tipo litológico foi utilizado um jogo de abrasivos novos.

Figura 30. Sequência dos rebolos abrasivos magnesianos utilizados.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2. Métodos

Para o desenvolvimento da presente pesquisa adotou-se as seguintes atividades: revisão bibliográfica, caracterização petrográfica e tecnológica das rochas estudadas, calibração da politriz, realização dos testes de polimento, quantificação da perda de massa abrasiva, avaliação da qualidade do polimento e determinação do Índice de Eficiência.

3.2.1. Revisão Bibliográfica

Foi levantado um referencial teórico acerca dos assuntos pertinentes a pesquisa, destacando as variáveis envolvidas na Tribologia do polimento. A revisão bibliográfica foi importante para atualização do tema escolhido, para dar subsídios para a definição da etapa experimental e para analisar os resultados frente aos obtidos com outros trabalhos já realizados com a abordagem sobre o polimento de rochas em escala de laboratório (SPR).

3.2.2. Análise Petrográfica e Caracterização Tecnológica

O conhecimento do comportamento tecnológico das rochas não é apenas importante no que se diz respeito ao uso destes materiais em obras civis, mas também como fator relevante na exploração de maciços rochosos e posteriormente no beneficiamento das rochas.

As características intrínsecas dos materiais podem ser avaliadas através da realização de ensaios de caracterização tecnológica, os quais fornecem informações importantes sobre as propriedades físico-mecânicas das rochas de interesse, oferecendo assim subsídios para auxiliar na interpretação dos resultados de diferentes solicitações estudadas no processo de polimento.

Visando obter contribuições para correlacionar as variáveis petrográficas na interação do sistema tribológico envolvido no polimento, foram realizados alguns ensaios de caracterização tecnológica.

Os ensaios foram realizados nos Laboratório de Rochas Ornamentais do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), na sede localizada no Rio de Janeiro/RJ e no Núcleo Regional do Espírito Santo (NUCI) em Cachoeiro de Itapemirim/ES, no Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais do Instituto Federal de Educação (IFES), da cidade de Cachoeiro de Itapemirim/ES, no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP) “Júlio de Mesquita Filho”, na cidade de Rio Claro/SP, no Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (IPT), na cidade de São Paulo/SP e no Laboratório de Revestimentos Cerâmicos da Escola SENAI “Mario Amato”, na cidade de São Bernardo do Campo/SP.

Os ensaios de caracterização tecnológica foram executados segundo procedimentos padronizados, os quais são determinados por entidades nacionais e internacionais como: ABNT, ASTM e EN.

Os ensaios de caracterização tecnológica realizados nesta pesquisa foram:

- Análise petrográfica com base na norma ABNT NBR 15845-2010 (Anexo A);
- Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água, com base na norma ABNT NBR 15845-2010 (Anexo B);
- Coeficiente de dilatação térmica linear, norma ABNT NBR 15845-2010 (Anexo C);
- Resistência à compressão uniaxial, norma ABNT NBR 15845-2010 (Anexo E);
- Desgaste abrasivo Amsler, norma ABNT NBR 12042-1992;
- Microdureza *Knoop*, norma EN 14205:2003;
- Abrasão Profunda, norma ABNT-NBR 13818 (1997);

- Determinação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, norma ASTM - D 2845-2008.

3.2.3. Polimento

3.2.3.1. Calibração da Politriz

Inicialmente, algumas calibrações foram necessárias para definir as variáveis a serem testadas na etapa experimental. São descritos, a seguir, tais procedimentos.

Definição da Pressão de Carregamento do Satélite (kgf/cm²)

Foi utilizada uma balança Toledo MGR (com capacidade de 3.000kg) com auxílio de uma célula de carga para estabelecer o peso (kg) do satélite exercido sobre a chapa em função da pressão aplicada (kgf/cm²) no cabeçote (Figura 31). Os resultados são apresentados na (Tabela 6). Na Figura 32 é possível observar o coeficiente de correlação entre as duas variáveis.

Figura 31. Procedimento de calibração das pressões de carregamento.



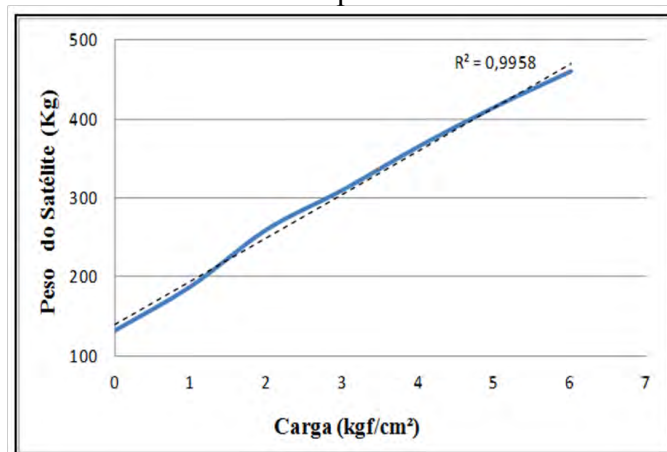
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 6. Tabela de correlação da carga aplicada pelo satélite e o peso correspondente sobre a chapa de rocha.

CARGA (kgf/cm ²)	PESO (Kg)
0	132
1	188
2	260
3	310
4	365
5	415
6	460

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 32. Coeficiente de correlação da carga aplicada pelo satélite e o peso correspondente sobre a chapa de rocha.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A fim de definir as pressões a serem estudadas foi feito um acompanhamento do processo de polimento dos materiais estudados em algumas indústrias que utilizam politriz semi-automática; posteriormente foi definido o uso das pressões (1 e 2kgf/cm²) por serem usualmente utilizadas na indústria. Cabe salientar que o aumento excessivo da pressão pode acrescer o consumo de abrasivos ou desgastar a chapa do material rochoso, de forma a despadronizar a espessura e inviabilizar o processo e a comercialização.

Definição da velocidade de rotação de satélite (rpm)

A velocidade de rotação dos satélites em politrizes semi-automáticas e automáticas é constante, sendo em média 550 rpm. Para tal constatação foi utilizado um tacômetro digital da marca *Exttech Instruments*, modelo 461830, onde foi realizada tal verificação tanto na politriz

a ser utilizada nos testes quando em equipamentos diferentes em algumas empresas (Figura 33). A partir dessas constatações foram definidas as velocidades: 300, 400, 500 e 600 (rpm) a serem avaliadas nesta pesquisa.

Figura 33. Medição da velocidade de rotação de satélite de uma politriz semi-automática.



Fonte: Elaborada pelo autor.

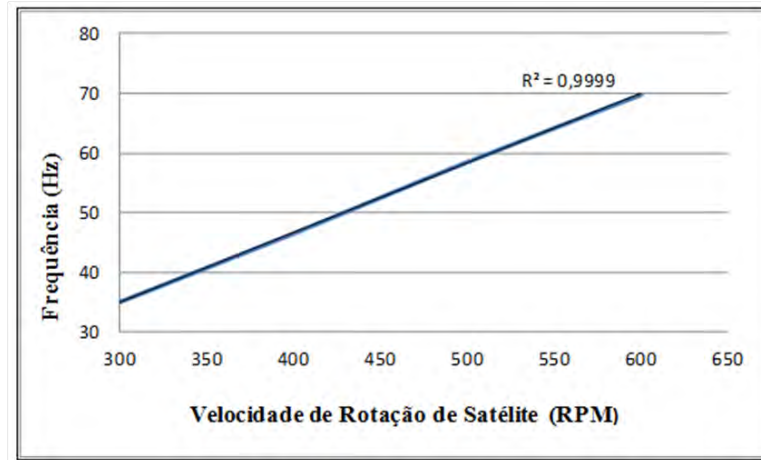
Através da variação da frequência em (Hz) foi possível identificar a velocidade de rotação de satélite correspondente (Tabela 7). Na Figura 34 é possível observar o coeficiente de correlação entre as duas variáveis.

Tabela 7. Correlação da velocidade de rotação de satélite com a frequência (Hz).

FREQUÊNCIA (Hz)	VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DE SATÉLITE (rpm)
35,0	300
46,5	400
58,5	500
69,8	600

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 34. Coeficiente de correlação da velocidade de rotação de satélite com a frequência (Hz).



Fonte: Elaborada pelo autor.

Definição da exposição do satélite sobre a rocha

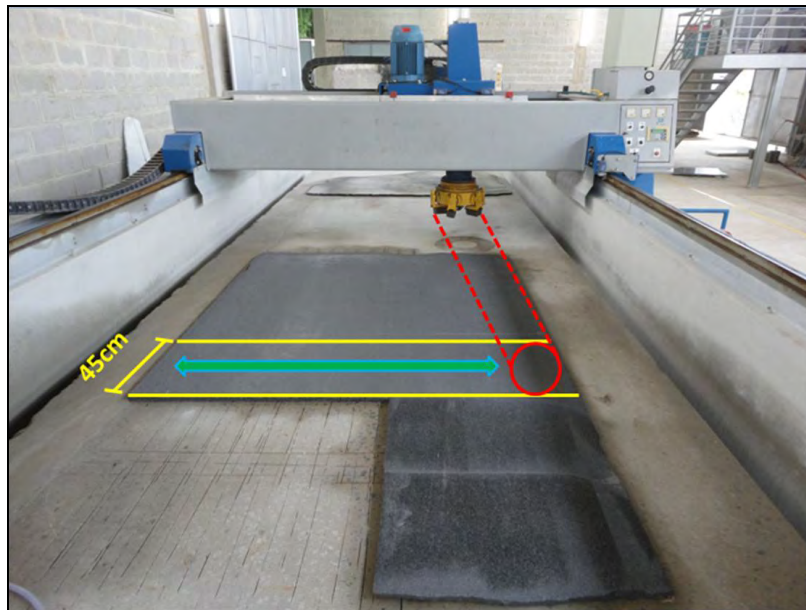
Com intuito de conhecer o processo industrial e assim definir os tempos a serem adotados na pesquisa, foi realizado um acompanhamento do polimento em três empresas utilizando politriz semi-automática por rocha estudada, onde foi estabelecido um tempo médio para cada etapa em função da área polida (Figura 35). Contudo, foi observado que o tempo a partir de números fracionados tornaria o processo impraticável, por não possibilitar o controle do número de passadas do abrasivo sobre a chapa. Sendo assim foi adotado nesta pesquisa a exposição (1, 2 e 3), sendo a 1 correspondente ao percurso completo (ida e volta) do satélite no sentido da largura da chapa, como ilustrado na Figura 36, realizando apenas uma faixa de desgaste (diâmetro do cabeçote) por ciclo de polimento (abrasivo 24 mesh ao lustro), a exposição 2 se refere a duas vezes o percurso citado e a exposição 3 a três vezes.

Figura 35. Medição da área da chapa polida em uma empresa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 36. Demarcação do sentido de movimento do satélite na chapa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Inicialmente os rebolos abrasivos a serem utilizados nas respectivas rochas foram afiados, ou seja, foram submetidos a uma etapa de polimento somente com intuito de aflorar as partículas abrasivas (SiC). A Figura 37 apresenta como exemplo um abrasivo antes e depois de ser afiado.

Figura 37. Abrasivo 60 *mesh* antes e depois de ser afiado.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após a calibração do equipamento, da definição das velocidades de rotação do satélite, das pressões e exposições a serem testadas, foi realizada a etapa de polimento. Nesta fase foi definida uma sistemática, adotando uma nomenclatura correspondente para cada etapa (Figura 38). Na Figura 39 é mostrado exemplo de uma tabela confeccionada para etapa experimental do charnoquito Verde Labrador.

Figura 38. Nomenclatura de uma etapa de teste no charnoquito Verde Labrador.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Legenda:

- Rocha: Verde Labrador/VL;
- Velocidade de Rotação do Satélite (RPM): 1=300; 2=400; 3=500; 4=600;
- Pressão de Carregamento do Satélite (Kgf/cm²): A=1; B=2;
- Exposição do satélite sobre a rocha: 1; 2; 3;
- Abrasivos (*Mesh*): 24; 36; 60; 120; 220; 400; 600; 800; 1200; Lustro.

Figura 39. Exemplo de tabela confeccionada para controle dos ciclos de polimento no charnoquito Verde Labrador.

ABRASIVOS (MESH)	#24	VL 1 A 1 24	VL 4 A 1 24	VL 3 B 1 24	VL 2 A 2 24	VL 1 A 3 24	VL 4 A 3 24	VL 3 B 2 24	VL 2 B 3 24
	#36	VL 1 A 1 36	VL 4 A 1 36	VL 3 B 1 36	VL 2 A 2 36	VL 1 A 3 36	VL 4 A 3 36	VL 3 B 2 36	VL 2 B 3 36
	#60	VL 1 A 1 60	VL 4 A 1 60	VL 3 B 1 60	VL 2 A 2 60	VL 1 A 3 60	VL 4 A 3 60	VL 3 B 2 60	VL 2 B 3 60
	#120	VL 1 A 1 120	VL 4 A 1 120	VL 3 B 1 120	VL 2 A 2 120	VL 1 A 3 120	VL 4 A 3 120	VL 3 B 2 120	VL 2 B 3 120
	#220	VL 1 A 1 220	VL 4 A 1 220	VL 3 B 1 220	VL 2 A 2 220	VL 1 A 3 220	VL 4 A 3 220	VL 3 B 2 220	VL 2 B 3 220
	#400	VL 1 A 1 400	VL 4 A 1 400	VL 3 B 1 400	VL 2 A 2 400	VL 1 A 3 400	VL 4 A 3 400	VL 3 B 2 400	VL 2 B 3 400
	#600	VL 1 A 1 600	VL 4 A 1 600	VL 3 B 1 600	VL 2 A 2 600	VL 1 A 3 600	VL 4 A 3 600	VL 3 B 2 600	VL 2 B 3 600
	#800	VL 1 A 1 800	VL 4 A 1 800	VL 3 B 1 800	VL 2 A 2 800	VL 1 A 3 800	VL 4 A 3 800	VL 3 B 2 800	VL 2 B 3 800
	#1200	VL 1 A 1 1200	VL 4 A 1 1200	VL 3 B 1 1200	VL 2 A 2 1200	VL 1 A 3 1200	VL 4 A 3 1200	VL 3 B 2 1200	VL 2 B 3 1200
	Lustro	VL 1 A 1 Lustro	VL 4 A 1 Lustro	VL 3 B 1 Lustro	VL 2 A 2 Lustro	VL 1 A 3 Lustro	VL 4 A 3 Lustro	VL 3 B 2 Lustro	VL 2 B 3 Lustro
	#24	VL 2 A 1 24	VL 1 B 1 24	VL 4 B 1 24	VL 3 A 2 24	VL 2 A 3 24	VL 1 B 2 24	VL 4 B 2 24	VL 3 B 3 24
	#36	VL 2 A 1 36	VL 1 B 1 36	VL 4 B 1 36	VL 3 A 2 36	VL 2 A 3 36	VL 1 B 2 36	VL 4 B 2 36	VL 3 B 3 36
	#60	VL 2 A 1 60	VL 1 B 1 60	VL 4 B 1 60	VL 3 A 2 60	VL 2 A 3 60	VL 1 B 2 60	VL 4 B 2 60	VL 3 B 3 60
	#120	VL 2 A 1 120	VL 1 B 1 120	VL 4 B 1 120	VL 3 A 2 120	VL 2 A 3 120	VL 1 B 2 120	VL 4 B 2 120	VL 3 B 3 120
	#220	VL 2 A 1 220	VL 1 B 1 220	VL 4 B 1 220	VL 3 A 2 220	VL 2 A 3 220	VL 1 B 2 220	VL 4 B 2 220	VL 3 B 3 220
	#400	VL 2 A 1 400	VL 1 B 1 400	VL 4 B 1 400	VL 3 A 2 400	VL 2 A 3 400	VL 1 B 2 400	VL 4 B 2 400	VL 3 B 3 400
	#600	VL 2 A 1 600	VL 1 B 1 600	VL 4 B 1 600	VL 3 A 2 600	VL 2 A 3 600	VL 1 B 2 600	VL 4 B 2 600	VL 3 B 3 600
	#800	VL 2 A 1 800	VL 1 B 1 800	VL 4 B 1 800	VL 3 A 2 800	VL 2 A 3 800	VL 1 B 2 800	VL 4 B 2 800	VL 3 B 3 800
	#1200	VL 2 A 1 1200	VL 1 B 1 1200	VL 4 B 1 1200	VL 3 A 2 1200	VL 2 A 3 1200	VL 1 B 2 1200	VL 4 B 2 1200	VL 3 B 3 1200
	Lustro	VL 2 A 1 Lustro	VL 1 B 1 Lustro	VL 4 B 1 Lustro	VL 3 A 2 Lustro	VL 2 A 3 Lustro	VL 1 B 2 Lustro	VL 4 B 2 Lustro	VL 3 B 3 Lustro
	#24	VL 3 A 1 24	VL 2 B 1 24	VL 1 A 2 24	VL 4 A 2 24	VL 3 A 3 24	VL 2 B 2 24	VL 1 B 3 24	VL 4 B 3 24
	#36	VL 3 A 1 36	VL 2 B 1 36	VL 1 A 2 36	VL 4 A 2 36	VL 3 A 3 36	VL 2 B 2 36	VL 1 B 3 36	VL 4 B 3 36
	#60	VL 3 A 1 60	VL 2 B 1 60	VL 1 A 2 60	VL 4 A 2 60	VL 3 A 3 60	VL 2 B 2 60	VL 1 B 3 60	VL 4 B 3 60
	#120	VL 3 A 1 120	VL 2 B 1 120	VL 1 A 2 120	VL 4 A 2 120	VL 3 A 3 120	VL 2 B 2 120	VL 1 B 3 120	VL 4 B 3 120
	#220	VL 3 A 1 220	VL 2 B 1 220	VL 1 A 2 220	VL 4 A 2 220	VL 3 A 3 220	VL 2 B 2 220	VL 1 B 3 220	VL 4 B 3 220
	#400	VL 3 A 1 400	VL 2 B 1 400	VL 1 A 2 400	VL 4 A 2 400	VL 3 A 3 400	VL 2 B 2 400	VL 1 B 3 400	VL 4 B 3 400
	#600	VL 3 A 1 600	VL 2 B 1 600	VL 1 A 2 600	VL 4 A 2 600	VL 3 A 3 600	VL 2 B 2 600	VL 1 B 3 600	VL 4 B 3 600
	#800	VL 3 A 1 800	VL 2 B 1 800	VL 1 A 2 800	VL 4 A 2 800	VL 3 A 3 800	VL 2 B 2 800	VL 1 B 3 800	VL 4 B 3 800
	#1200	VL 3 A 1 1200	VL 2 B 1 1200	VL 1 A 2 1200	VL 4 A 2 1200	VL 3 A 3 1200	VL 2 B 2 1200	VL 1 B 3 1200	VL 4 B 3 1200
	Lustro	VL 3 A 1 Lustro	VL 2 B 1 Lustro	VL 1 A 2 Lustro	VL 4 A 2 Lustro	VL 3 A 3 Lustro	VL 2 B 2 Lustro	VL 1 B 3 Lustro	VL 4 B 3 Lustro

Legenda: Etapa correspondente a um ciclo de polimento. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

3.3. Etapa Experimental

Nesta etapa foram realizados os testes de polimento dos materiais estudados de acordo com a sistemática explicitada acima. Inicialmente o equipamento foi calibrado de acordo com cada situação a ser testada. Na Figura 40 é possível visualizar o equipamento em operação.

Figura 40. Operação de uma etapa de polimento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após o término do polimento em cada granulometria de abrasivos por ciclo, os mesmos foram substituídos pela granulometria seguinte (Figura 41) e foi seccionada uma amostra de rocha com auxílio de uma serra de mão para posterior avaliação do brilho em cada etapa. Para melhor compreensão a Tabela 8 ilustra a amostragem de rocha após cada sequência de abrasivo e a Figura 42 aclara os pontos de amostragem em uma chapa de rocha. As dimensões primárias das amostras coletadas foram de 45cm (comprimento) x 10cm (largura), mas posteriormente as mesmas foram redimensionadas com auxílio de uma serra diamantada em medidas finais 10cm x 10cm, aproximadamente (Figura 43).

Figura 41. Substituição dos abrasivos.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 8. Referência dos pontos de coleta de amostra de rocha em cada etapa de um ciclo de polimento.

AMOSTRA DE ROCHA	SEQUÊNCIA DE ABRASIVOS									
	ABRASIVO 24 mesh	ABRASIVO 36 mesh	ABRASIVO 60 mesh	ABRASIVO 120 mesh	ABRASIVO 220 mesh	ABRASIVO 400 mesh	ABRASIVO 600 mesh	ABRASIVO 800 mesh	ABRASIVO 1200 mesh	ABRASIVO Lustro
1	x*									
2	x	x*								
3	x	x	x*							
4	x	x	x	x*						
5	x	x	x	x	x*					
6	x	x	x	x	x	x*				
7	x	x	x	x	x	x	x*			
8	x	x	x	x	x	x	x	x*		
9	x	x	x	x	x	x	x	x	x*	
10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x*

Legenda: x - abrasivos utilizados, * - coleta de amostra de rocha por exposição ao processo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 42. Demarcação dos pontos de amostragem de rocha em um ciclo de polimento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 43. Coleta e preparação das amostras.



Legenda: A) Corte da amostra após a etapa de polimento (abrasivo 24 *mesh*); B) Redimensionamento final da amostra. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

3.4. Avaliação da Perda de Massa Abrasiva

Após cada ciclo de polimento os abrasivos foram secos em uma estufa ventilada (Figura 44) por duração de uma hora, a uma temperatura de 45°C, e posteriormente pesados em uma balança de precisão para obter a perda de massa abrasiva em virtude de cada combinação de solicitações impostas (Figura 45). Na Figura 46 é mostrado modelo de tabela confeccionada para controle da perda de massa dos abrasivos em cada solicitação. Cabe salientar que a amperagem (A) da politriz também foi controlada durante todo experimento.

Figura 44. Abrasivos dispostos na estufa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 45. Pesagem dos abrasivos.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 46. Exemplo de ficha elaborada para a medição da perda de massa dos rebolos abrasivos.

CONTROLE DA PERDA DE MASSA DOS ABRASIVOS														
MATERIAL	ABRASIVOS (MESH)												POLITRIZ	
	Nomenclatura	Abr. 1		Abr. 2		Abr. 3		Abr. 4		Abr. 5		Abr. 6		Amp. (A)
		P. I. (g)	P. F. (g)	P. I. (g)	P. F. (g)	P. I. (g)	P. F. (g)	P. I. (g)	P. F. (g)	P. I. (g)	P. F. (g)	P. I. (g)	P. F. (g)	

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5. Avaliação da Qualidade do Polimento

Para aferir a qualidade do polimento nas diferentes solicitações estudadas foi utilizado um medidor de brilho (*glossmeter*) da marca *BYK Gardner*, modelo *micro-TRI-gloss*. De acordo com medições já realizadas em outros trabalhos (Silveira, 2007; Carvalho, 2010; Neves 2010) os primeiros valores de brilho são observados a partir da quarta etapa de polimento (abrasivo 120 *mesh*). Para cada uma das 720 amostras coletadas ao longo da pesquisa foram realizadas 30 medições de brilho, totalizando 21.600 medidas. A Figura 47 exemplifica uma ficha elaborada para o controle da medição do brilho. A Figura 48 ilustra como exemplo uma amostra de rocha com esquema de leituras de brilho adotado e a Figura 49 mostra a medição do brilho em uma amostra.

Figura 47. Exemplo de ficha elaborada para o controle das medições de brilho.

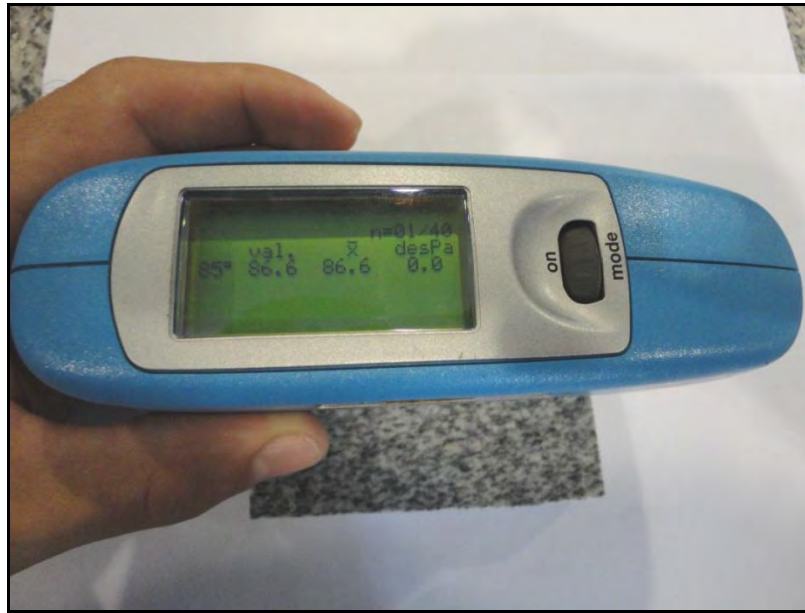
MATERIAL	NOMENCLATURA	BRILHO MÉDIO	DESV. PADRÃO

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 48. Amostra de rocha com esquema de leituras de brilho adotado.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 49. Medição do brilho em uma amostra com o *glossmeter*.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.6. Cálculos dos Mecanismos de Desgaste

Para calcular a velocidade de corte (m/s), ou seja, a velocidade tangencial momentânea resultante da extensão percorrida pelo rebolo abrasivo em função de um tempo específico foram utilizados os procedimentos descritos a seguir.

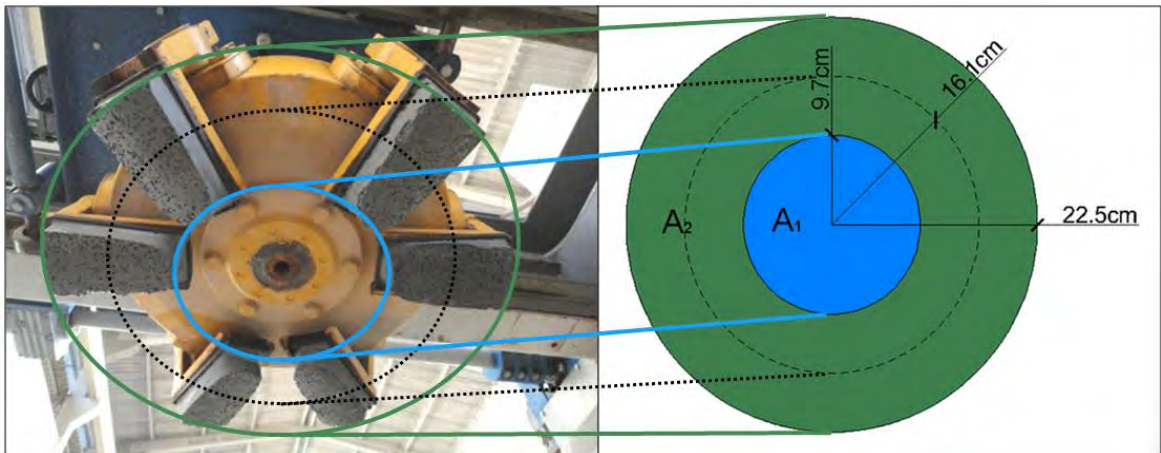
O primeiro passo foi o cálculo da área interna e externa (A_1 e A_2), ou seja, a área livre e a área de contato do abrasivo com a rocha (cm^2). A Figura 50 apresenta o tamanho de um abrasivo magnésiano e a Figura 51 ilustra o satélite de polir e um esquema com as áreas e dimensões do mesmo. Os cálculos foram realizados a partir das equações abaixo:

Figura 50. Dimensão de um abrasivo magnésiano.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 51. Satélite de polir com circunferências internas e externas do rebolo abrasivo.



Legenda: A_1 (área sem contato de abrasivos com a rocha); A_2 (área de contato dos abrasivos com a rocha); \odot perímetro médio. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

$$A = \pi r^2$$

$$A_1 = 3,14 (9,7)^2$$

$$A_1 = 295,6 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 3,14 (22,5)^2$$

$$A_2 = 1.590,4 \text{ cm}^2$$

Cálculo da área útil:

$$A_{\text{útil}} = A_2 - A_1$$

$$A_{\text{útil}} = 1590,4 - 295,6 = 1294,8 \text{ cm}^2 \text{ ou } \cong 1295 \text{ cm}^2.$$

Posteriormente foi calculado o perímetro (P) da área interna (A_1), externa (A_2) e o perímetro médio (P_m) a partir da seguinte equação:

$$P = 2\pi r$$

$$P_1 = 2 \cdot 3,1415 \cdot 9,7$$

$$P_1 = 60,9 \text{ cm}$$

$$P_2 = 2 \cdot 3,1415 \cdot 22,5$$

$$P_2 = 141,37 \text{ cm}$$

$$P_m = P_1 + P_2 / 2$$

$$P_m = 60,9 + 141,37 / 2$$

$$P_m = 101,1 \text{ cm}$$

Em seguida calculou-se a tensão de carregamento (σ) em (Kgf/cm²) do satélite de polir. Tal tensão foi determinada pela equação abaixo, onde **F** representa as diferentes pressões a serem testadas (1kgf/cm² = 188kg e 2kgf/cm² = 260kg) e A corresponde a área útil, conforme exemplo abaixo.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_1 = \frac{188}{1295} = 0,1451 \text{ kgf/cm}^2 = 14,2 \text{ KPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{260}{1295} = 0,2007 \text{ kgf/cm}^2 = 19,7 \text{ KPa}$$

Então, foi determinada a velocidade de corte (m/s) de cada rebolo abrasivo sobre a chapa nas diferentes velocidades de rotação. Para tanto, definiu-se como perímetro de trabalho a circunferência dada pelo centro do satélite até o ponto médio do rebolo abrasivo. Logo, os valores de velocidade de corte (V_s) em (m/s) foram obtidos a partir da seguinte expressão:

$$V_s = P_m \cdot V_p \cdot N_a$$

Onde,

V_s – Velocidade de corte;

P_m – Perímetro médio;

V_p – Velocidade periférica do satélite (300, 400, 500, 600 rpm);

N_a – Número de rebolos abrasivos por satélite.

➤ Velocidade de corte para V_p - 300 rpm.

$$V_s = 101,1 \cdot 300 \cdot 6$$

$$V_s = 181.980 \text{ cm/min.} = 3033 \text{ cm/s} = 30,3 \text{ m/s}$$

➤ Velocidade de corte para V_p - 400 rpm.

$$V_s = 101,1 \cdot 400 \cdot 6$$

$$V_{400} = 242.640 \text{ cm/min.} = 4044 \text{ cm/s} = 40,4 \text{ m/s}$$

➤ Velocidade de corte para V_p - 500 rpm.

$$V_s = 101,1 \cdot 500 \cdot 6$$

$$V_s = 303.300 \text{ cm/min.} = 5055 \text{ cm/s} = 50,5 \text{ m/s}$$

➤ Velocidade de corte para V_p - 600 rpm.

$$V_s = 101,1 \cdot 600 \cdot 6$$

$$V_s = 369.960 \text{ cm/min.} = 6066 \text{ cm/s} = 60,6 \text{ m/s}$$

3.7. Cálculo do Índice de Eficiência de polimento

Este trabalho apresenta a proposta de medição do aqui denominado Índice de Eficiência de Polimento (indicador de desempenho), sendo a razão entre o maior brilho obtido em cada amostra de rocha e o desgaste de abrasivo referente à etapa testada, sendo expresso pela equação abaixo. A Figura 52 apresenta uma visão geral da obtenção do índice de eficiência de polimento.

$$I_e = \frac{B}{D_a}$$

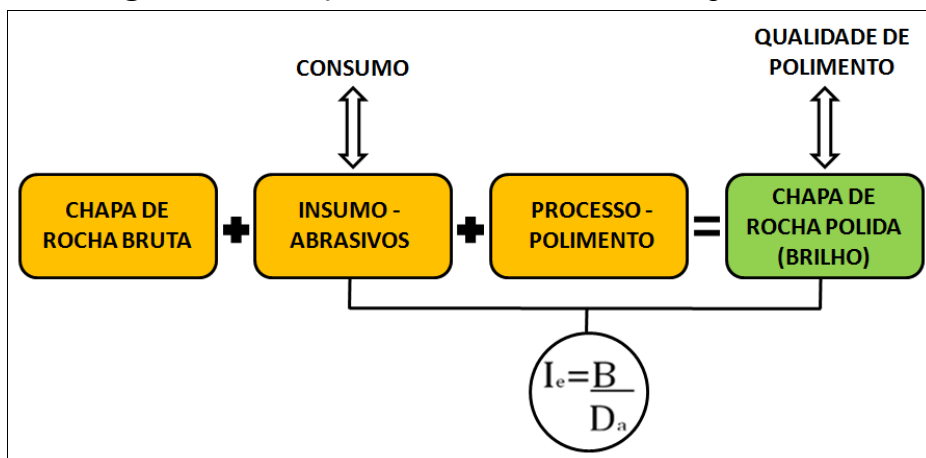
Onde:

I_e : Índice de eficiência (lux/g);

B: Brilho máximo (lux);

D_a : Desgaste de abrasivo (g).

Figura 52. Obtenção do índice de eficiência de polimento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Este índice funciona como uma referência de qualidade, de forma que podemos identificar e selecionar etapas do processo pela eficiência, tendo em vista a otimização do processo, que pode ser traduzida pela economia de abrasivos, maior brilho superficial de chapas e ou até mesmo a eliminação de etapas no polimento sem prejuízo no resultado final.

Portanto deve-se ter cautela na interpretação, pois o índice mais alto nem sempre está atrelado ao maior valor de brilho, sendo este o principal critério na qualidade final de polimento. Tendo como base a importância do brilho no polimento de rochas, cabe aqui ressaltar que o índice de eficiência a ser destacado no tratamento de dados deste trabalho está atrelado ao maior brilho alcançado em cada etapa de polimento e ao desgaste de abrasivo equivalente a esta etapa.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo são apresentados e discutidos os resultados relativos à caracterização tecnológica dos materiais estudados e os experimentos realizados na politriz semi-automática.

4.1. Análise Petrográfica

Os dados das análises petrográficas inerentes às rochas ornamentais estudadas serão comparados com os resultados tecnológicos e tribológicos relacionados a determinadas condições operacionais na obtenção do polimento visando à avaliação da influência dos aspectos petrográficos (composicionais, texturais e estruturais) no comportamento físico-mecânico e operacional dos respectivos materiais pétreos. Abaixo são apresentadas as descrições das análises petrográficas das três variedades de rochas estudadas.

4.1.1. Charnoquito (Verde Labrador)

Rocha verde escura com estrutura fracamente orientada, evidenciada por certo estiramento mineral, e textura fanerítica inequigranular de granulação média a grossa, com padrão estético homogêneo (Figura 53).

Figura 53. Ladrilho polido do charnoquito Verde Labrador.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A rocha possui granulação que varia, predominantemente, entre 0,5 e 1,5cm, com a presença de cristais de feldspato potássico aleatoriamente distribuídos que podem assumir dimensões próximas a 3,0cm. O grau de orientação mineral é um tanto variável, com faixas praticamente desprovidas de estruturação e outras com evidente estiramento mineral podendo, localmente, exibir porções com minerais laminados.

Apresenta composição mineralógica quartzo-feldspática, com predomínio de feldspato potássico sobre plagioclásio, na média composta por 28% de quartzo, 40% de feldspato potássico (ortoclásio), 20% de plagioclásio (oligoclásio/andesina), 4,5% de biotita, 1,5% de hiperstênio, 2,5% de diopsídio, 1,5% de hornblenda e ao redor de 1,5% de opacos e traços de apatita e zircão. Como minerais secundários contêm sericita (0,5%), bastita, epidoto, carbonatos óxidos e hidróxidos de ferro em quantidades bastante restritas. Os minerais exibem contatos imbricados, predominantemente dos tipos decussados a côncavo-convexos (cerca de 70% dos contatos observados), com pouco mais de 20% de contatos planos entre cristais de plagioclásio e em porções lenticulares com texturas poligonizadas constituídas por agregados de cristais de quartzo microgranulados recristalizados, refletindo, no geral, um bom entrelaçamento mineral. São comuns texturas gráficas e mimerquíticas nas bordas dos feldspatos, com típicas formas vermiculares atingindo dimensões que superam 0,5 mm.

O microfissuramento mineral é moderado a elevado, com cerca de 3,4 microfissuras/mm². Apresenta amplo predomínio de microfissuras intragrãos, perto de 90% do total das microfissuras da rocha, sendo cerca de 30% vazias, normalmente relacionadas aos

cristais de quartzo e à planos de clivagens dos cristais de piroxênios e da hornblenda, e no mais preenchidas por sericita, algum epidoto e clorita, pigmentadas por hidróxidos de ferro. As microfissuras intergrãos, raramente transgranulares, representam pouco mais de 10%, com pelo menos 2/3 delas preenchidas por sericita e fina massa composta por biotita com pleocroísmo verde, algum epidoto e óxidos/hidróxidos de ferro. Os tipos intragrãos são mais frequentes nos cristais maiores de quartzo e de feldspatos e, em menor proporção, nos clinopiroxênios.

A alteração mineral é incipiente a fraca, praticamente restrita aos cristais de ortopiroxênio que se apresentam parcialmente bastitizados e oxidados, e com discreta transformação para biotita e em menor proporção para hornblenda. Alguns cristais de plagioclásio mostram discretas pontuações de sericita, com o grau de alteração de aspecto pulverulento menor do que 10% da superfície dos cristais.

O feldspato potássico é o ortoclásio, responsável pelos cristais com as maiores dimensões da rocha. Os cristais maiores apresentam formas variadas, tabulares a estiradas, arredondadas a ovaladas e menos comumente irregulares, normalmente com bordas irregulares e interpenetradas pelos demais minerais. Os maiores cristais apresentam dimensões entre 2,5 e 3,0cm na maior extensão, são pouco pertíticos, frequentemente com geminação tipo *Carlsbad* e alteração (argilização/sericitização) incipiente. Quando maiores apresentam microfissuramento elevado, sendo que as microfissuras estão preenchidas por sericita, óxidos/hidróxidos de ferro e biotita de pleocroísmo verde. Os contatos são côncavo-convexos, exibem inclusões de microcristais de quartzo, plagioclásio, piroxênios e opacos. Os cristais menores são anédricos, exibem contatos côncavo-convexos e ausência de microfissuramentos.

O plagioclásio presente é do tipo oligoclásio a andesina, por vezes zonado, exibindo geminação polissintética e às vezes *Carlsbad*. Exibem formas tabulares e ripiformes euédricas a subédricas e leve saussuritização de aspecto pulverulento sobre as superfícies dos cristais.

Os cristais de quartzo são relativamente bem desenvolvidos, mais ou menos interligados entre si de forma a desenvolver uma malha ou rede de aspecto ligeiramente achatado a estirado que envolve os demais cristais da rocha. Os cristais maiores são preferencialmente alongados, com dimensões que podem ultrapassar a 1,5cm na maior extensão, normalmente microfraturados com fraturas abertas e preenchidas por mistura de sericita, biotita verde e epidoto. Microscopicamente observa-se que grande parte dos cristais maiores, que a olho nu aparentam serem monocristais de quartzo, correspondem a agregados monominerálicos de

cristais menores de quartzo perfeitamente ajustados entre si, ou ainda resultantes de microgranulação de cristais maiores com típicas texturas poligonizadas.

Os minerais ferromagnesianos e demais acessórios ocorrem preferencialmente associados entre si, sob forma de pequenos agregados dispersos pela rocha. A biotita é o mineral acessório mais frequente, normalmente primária, formando pequenos agregados irregulares com dimensões desde milimétricas a cerca de 2,5 mm, com pleocroísmo castanho amarelado a marrom escuro e, mais raramente, com ligeiro aspecto esverdeado devido a discreto efeito de cloritização. Seus cristais são ricos em inclusões de zircão e frequentes texturas simplectíticas.

O piroxênio está representado pelo diopsídio e pelo hiperstênio com formas alongadas/prismáticas e arredondadas e dimensões de até 1,5 mm. Apresentam baixo grau de microfissuramento, normalmente com planos preenchidos por biotita verde e óxidos e hidróxidos de ferro. O hiperstênio está mais intensamente transformado para fina massa de filossilicatos (bastita), com liberação de óxidos e hidróxidos de ferro, e o clinopiroxênio com rara transformação parcial para biotita e, menos comumente, para hornblenda verde.

4.1.2. Granito (Cinza Castelo)

A rocha ornamental Cinza Castelo corresponde a um granito de coloração cinza claro de granulação fina/média com estrutura finamente foliada, de aspecto estético geral bastante homogêneo (Figura 54). Destaca-se que a foliação da rocha, dada por certo estiramento mineral, é pouco realçada na superfície polida em virtude do ângulo de aproximadamente 30° entre o plano de corte da chapa e os planos de orientação mineral da rocha.

Figura 54. Aspecto geral do granito Cinza Castelo polido.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A foliação se reflete em evidente estiramento mineral, com cristais nitidamente iso-orientados, caracterizado por pronunciado adelgaçamento dos grãos minerais. A granulação varia de submilimétrica a no máximo 5,0mm segundo a maior dimensão de estiramento, com predominância entre 0,7 e 2,0mm. O feldspato potássico representa os cristais que atingem as maiores dimensões, caso em que exibem formas ovaladas a sigmoides marcados por microfraturas intragrãos.

Composicionalmente é constituído por cerca de 32% de quartzo, 35% de microclínio, 22% de plagioclásio (oligoclásio), 5,5% de biotita e pelos acessórios opacos (1%), titanita (0,2%), allanita (0,1%), apatita (0,2%) e traços de zircão. Como minerais secundários ocorrem sericita (2,5%), muscovita (1,0%), clorita (0,5%), além de traços de epidoto, carbonatos, argilominerais e óxidos e hidróxidos de ferro. Os contatos minerais são dos tipos côncavo/convexos (mais de 80% dos contatos observados), por vezes denteados, e localmente planos (ao redor de 15%), casos estes comuns nos poucos agregados de cristais de quartzo, com raros contatos serrilhados (~3,5%), produzindo, no geral, em excelente engrenamento mineral.

O grau de microfissuramento é baixo, ao redor de 0,74 microfissuras/mm², com predominância do tipo intragrãos (ultrapassam a 90% do total), preferencialmente nos cristais maiores de feldspatos (transversais à maior alongação mineral) e, por vezes, nos cristais de quartzo. Estes tipos de microfissuras são de pequena extensão, onde cerca de 80% delas estão basicamente preenchidas por sericita e muscovita, além de localmente conter microcristais de

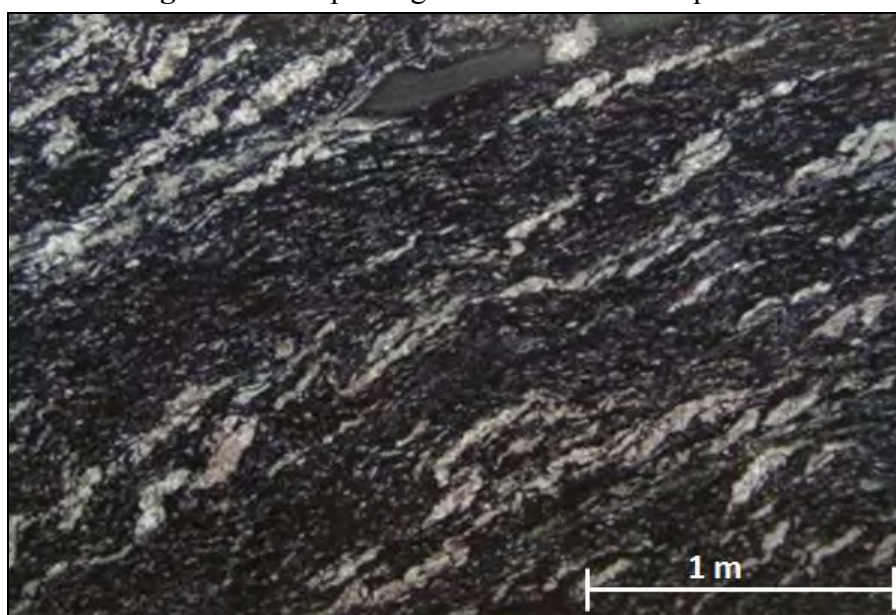
epidoto e algum hidróxido de ferro. As microfissuras intergrãos representam menos de 10%, também de pequena amplitude, e predominantemente preenchidas pelos mesmos minerais secundários.

A transformação mineral é fraca, praticamente restrita aos cristais de plagioclásio e à algumas lamelas de biotita. Parte dos cristais de plagioclásio exibem porções centrais caracterizadas por intensa saussuritização, com a produção de sericita, microcristais de epidoto, algum carbonato, e geração de cristais de muscovita com dimensões que podem superar a 1,0mm. Por vezes estes produtos de alteração se infiltram em planos de microfissuras, preenchendo-as, chegando a precipitar nas interfácies dos minerais vizinhos. Efeitos de argilização dos feldspatos são bastante raros. As biotitas apresentam, por vezes, parcial a totalmente cloritizadas.

4.1.3. Gnaisse (Preto Indiano)

Este material pétreo utilizado nos testes corresponde a um migmatito gnaissificado de coloração geral preta, contendo listras e microleitos descontínuos a lenticulares quartzofeldspáticos de coloração esbranquiçada, imprimindo aspecto movimentado à rocha (Figura 55).

Figura 55. Chapa do gnaisse Preto Indiano polido.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Apesar do aspecto geral marcadamente gnaissificado, a intensidade da gnaissificação é variável e caracteriza-se por certa alternância entre faixas fortemente foliadas e outras menos deformadas com preservação parcial das estruturas migmatíticas pretéritas.

A estrutura geral é do tipo estromática, acamada, localmente contornando porções lenticulares menos deformadas que preservam parcialmente estruturas dobradas desenhadas por frações quartzo-feldspáticas esbranquiçadas (neossomas). A fração gnáissica de coloração cinza escuro a preta, correspondente ao paleossoma mais ou menos deformado, é amplamente predominante (cerca de 80 a 85% da rocha) e suas relações com as frações quartzo-feldspáticas neossômicas (leucossomas/melanossomas) revelam a natureza metatexítica pretérita da rocha.

A estrutura bandada a acamada exhibe padrão relativamente heterogêneo, função do maior ou menor grau de paralelização entre o paleossoma gnáissico e os leitos neossômicos e pela própria variação nas dimensões, distribuição e formas (leitos, veios, filetes e bolsões) das frações quartzo-feldspáticas leucossômicas. As frações menos deformadas podem, por vezes, mostrar estruturas dobradas caracterizadas pela presença de dobras normalmente fechadas a pouco abertas, com marcante adelgaçamento dos flancos e espessamento dos ápices, regiões estas com acúmulo de material leucossômico.

A fração gnáissica paleossômica cinza escuro a preta apresenta composição tonalítica, constituída predominantemente por 27% de quartzo, 40% de plagioclásio (andesina/oligoclásio), 4% de microclínio, 20% de biotita, além de 5% de sillimanita, 2% de muscovita, 1% de granada, 1% de opacos, traços de cordierita parcial a totalmente alterada para esmictita e de zircão e apatita. Microscopicamente apresenta fina alternância entre microleitos descontínuos enriquecidos em minerais filossilicáticos com textura predominantemente lepidoblástica e enriquecidos em quartzo e feldspatos com textura granoblástica parcialmente recristalizada, de granulação média, predominantemente entre 1,5 e 4,0mm.

As porções quartzo-feldspáticas (leucossomas) apresentam coloração esbranquiçada a discretamente rosada, composição monzogranítica/granodiorítica, com estrutura orientada e textura granoblástica a fanerítica de granulação bastante variável, predominantemente média (2,0 a 4,0mm) nos veios, filetes e leitos menos espessos, e média/grossa (5,0 a 10,0mm) inequigranular nos bolsões e leitos leucossômicos mais expressivos e em porções apicais de dobras maiores. Localmente encontra-se parcialmente envolvidas por delgados leitos descontínuos de melanossoma, essencialmente biotítico, contendo sillimanita e alguma

muscovita. Composicionalmente está constituída por 32% de quartzo, 28% de microclínio, 36% de plagioclásio (oligoclásio), 3,5 de biotita e cerca de 0,5% de granada, além de traços de minerais secundários como sericita, epidoto e carbonatos.

O grau de microfissuramento é baixo a moderado, mais pronunciado nas porções leucossômicas (Quadro 3). O microfissuramento na fração paleossômica é baixo, ao redor de 0,87 microfissuras/mm², representadas por mais de 80% do tipo intragrãos, com pelo menos 2/3 delas preenchidas por sericita com alguma biotita verde, epidoto e hidróxidos de ferro. São de pequena extensão e com baixa intercomunicabilidade. Ressalta-se, que dentre os minerais componentes as acículas de sillimanita são fortemente fraturadas, mas que devido a sua ocorrência bastante restrita deve exercer baixa influência na resistência mecânica da rocha. Já as frações leucossômicas apresentam grau de microfissuramento moderado a elevado, na média cerca de 1,65 microfissuras/mm², sendo mais intensa nas porções quartzo-feldspáticas com a granulação mais desenvolvida. Da mesma forma que no caso do paleossoma predominam microfissuras intragrãos, cerca de 80% do total, com ¾ delas preenchidas por sericita. As dimensões das microfissuras são mais desenvolvidas que no caso do paleossoma, com planos mais longos e normalmente mais abertos, função das maiores dimensões dos cristais de quartzo e de feldspato potássico. As microfissuras intergrãos, mais raramente transgranulares, no conjunto representando aproximadamente 20% do total de microfissuras da fração leucossômica, são pouco expressivas e predominantemente preenchidas.

Destaca-se, que além de microfissuras intergrãos e intragrãos observadas ao nível microscópico, ocorrem, ainda, esparsas fraturas com dimensões centimétricas a decimétricas com planos pouco desenvolvidos, difusos e descontínuos, típicos de deformação da rocha em estágio dúctil-rúptil. Os planos são abertos, mal definidos, e preenchidos por epidoto, sericita, clorita e algum carbonato.

A rocha se caracteriza por bom imbricamento mineral, com pequenas variações nos tipos de contatos entre os minerais como reflexo das características genéticas de cada fração que compõe a rocha. Assim, apesar da rocha apresentar predomínio de contatos côncavo-convexos, as frações paleossômicas, amplamente predominante da rocha, exibem maior porcentagem de contatos planares em relação ao leucossomas. Já o melanossoma, pouco expressivo na rocha, compostos basicamente por minerais micáceos e acículas de sillimanita.

A transformação mineral é fraca e principalmente relacionada aos cristais de sillimanita, à alguns cristais de plagioclásio e à cordierita constituintes da fração escura, paleossômica e

melanossômica. A cordierita, volumetricamente inexpressiva, altera-se quase que totalmente para argilomineral (esmectita). A sillimanita transforma-se desde parcial a totalmente para finos agregados filossilicáticos, às vezes com intenso efeito de muscovitização. Alguns cristais de plagioclásio, tanto da fração paleossômica quanto da leucossômica, encontram-se de parcial a totalmente saussuritizados.

O Quadro 3 reúne a composição mineralógica e as principais características texturais e estruturais dos referidos materiais com objetivo de auxiliar a interpretação dos resultados de caracterização tecnológica a ser apresentado na sequência.

Quadro 3. Síntese dos dados petrográficos das rochas estudadas.

Nome Comercial	Verde Labrador	Cinza Castelo	Preto Indiano		
			Paleossoma	Leucossoma	*Média (%)
Mineralogia	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Quartzo	28,0	32,0	27,0	32,0	28,0
Microclínio	-	35,0	4,0	28,0	8,8
Ortoclásio	40,0	-	-	-	-
Oligoclásio	-	22,0	-	36,0	7,2
Oligoclásio/Andesina)	20,0	-	40,0	-	32,0
Biotita	4,5	5,5	20,0	3,5	16,7
Hornblenda	1,5	-	-	-	-
Diopsídio	2,5	-	-	-	-
Hiperstênio	1,5	-	-	-	-
Granada	-	-	1,0	0,5	0,9
Opacos	1,5	1,0	1,0	tr	0,8
Apatita	tr	0,2	tr	tr	tr
Titanita	-	0,2	-	-	-
Zircão	tr	tr	tr	tr	tr
Allanita	-	0,1	-	-	-
Sillimanita	-	-	5	-	4,0
Clorita	tr	0,5	tr	tr	tr
Muscovita	-	1	2,0	tr	1,6
Sericita	0,5	2,5	tr	tr	tr
Carbonatos	tr	tr	tr	tr	tr
Epidoto	tr	tr	tr	tr	tr
Óxidos/Hidróxidos de ferro	tr	tr	tr	tr	tr
Transformação Mineral	incipiente	incipiente	incipiente		
Classificação	charnoquito	monzogranito	migmatito gnáissificado		
Estrutura	levemente orientada	nitidamente orientada	gnáissica		
Textura	fanerítica inequigranular	fanerítica equigranular	granoblástica a granolepidoblástica		
Quartzo + Fedspatos	88,0	89,0	71,0	96,0	76,0
Minerais máficos e demais pesados	12,0	11,0	29,0	4,0	24,0
Minerais máficos	11,5	6,5			
Granulação (mm)	Variação	0,3 a 30,0	0,3 a 4,5	0,5 a 10,0	0,3 a 10,0
	Predominância	0,5 a 15,0	0,7 a 2,0	1,5 a 4,0	2,0 a 4,0
Microfissuras/mm ²	3,40	0,74	0,87	1,65	1,00
Microfissuras (%)	Intragrãos vazias	31,0	13,0	27,0	25,6
	Intragrãos preenchidas	58,0	79,0	55,0	60,0
	Intergrãos vazias	3,5	2,5	6,0	5,0
	Intergrãos preenchidas	7,5	5,5	12,0	15,0
Contato Mineral (%)	Côncavo-convexo	74,0	81,5	63,5	66,1
	Serrilhado	2,0	3,5	7,5	4,5
	Plano	24,0	15,0	29,0	19,0

Obs: tr - traço de mineral; *Média - médias da % mineralógica, microfissuras e contatos minerais verificados no Preto Indiano equivale a uma proporção de 80% para o paleossoma e 20% para o leucossoma, de acordo como verificado nas chapas utilizadas. **Fonte:** Elaborado pelo autor.

4.2. Caracterização Tecnológica

A Norma NBR 15844 (ABNT, 2010) especifica os requisitos e determina os parâmetros físicos e mecânicos requeridos para granitos destinados a revestimentos verticais e horizontais de exteriores e de interiores de construções (Tabela 9).

A referida norma considera granitos *stricto sensu*, além dos granitos propriamente ditos demais rochas silicáticas como gnaisses, sienitos, charnoquitos, dioritos, gabros, diabásios, basaltos e outras rochas assemelhadas.

Tabela 9. Requisitos para granitos.

Propriedades	Requisitos	Norma	Anexo
Densidade aparente (kg/m ³), mín.	2 550	ABNT NBR 15845	B
Porosidade aparente (%), máx.	1,0	ABNT NBR 15845	B
Absorção d'água (%), máx.	0,4	ABNT NBR 15845	B
Resistência ao desgaste (mm/1 000 m), máx.	1,0	ABNT NBR 12042	-
Coefficiente de dilatação térmica linear [10 ⁻³ mm/(m x °C)], máx.	8,0	ABNT NBR 15845	C
Resistência à compressão uniaxial (MPa), mín. ^a	100	ABNT NBR 15845	E
* O valor a ser considerado em projetos para a resistência à compressão deve ser o valor médio mínimo entre as quatro condições de ensaio: saturada em água ou seca e paralela ou perpendicular à estrutura presente (estratificação, lineação, foliação etc.)			

Fonte: Norma NBR 15844 (2010).

Os Quadros 4 e 5 reúnem os resultados (médios) dos ensaios de caracterização tecnológica, obtidos para as rochas Verde Labrador (charnoquito), Cinza Castelo (granito) e Preto Indiano (migmatito gnaissificado). As planilhas que contém os resultados dos ensaios encontram-se no Anexo A.

Quadro 4. Síntese dos resultados de caracterização tecnológica.

Ensaio		Verde Labrador	DP*	CV**	Cinza Castelo	DP*	CV**	Preto Indiano	DP*	CV**
Índices Físicos	Densidade aparente (kg/cm ³)	2694,42	7,59	0,00	2666,09	1,17	0,00	2791,14	25,06	0,01
	Porosidade aparente (%)	0,43	0,02	0,04	0,67	0,01	0,02	0,42	0,11	0,27
	Absorção d'água (%)	0,16	0,01	0,04	0,25	0,01	0,02	0,15	0,04	0,27
Desgaste Amsler (paralelo à foliação)	Após percurso de 500m (mm)	0,47	0,05	0,11	0,54	0,01	0,02	0,73	0,10	0,14
	Após percurso de 1000m (mm)	0,95	0,02	0,02	1,11	0,02	0,02	1,40	0,16	0,11
Abrasão Profunda	paralelo à foliação (mm ³)	155,33	16,17	0,10	195,33	4,73	0,02	201,67	4,73	0,02
	Paralelo à foliação (m/s)	-	-	-	4137,80	243,33	0,05	4938,20	596,88	0,12
Velocidade Ultrassônica ***	Perpendicular à foliação (m/s)	-	-	-	3792,60	153,02	0,04	4530,80	350,29	0,08
	Sem direção preferencial (m/s)	5219,20	357,41	0,07	-	-	-	-	-	-
Resistência à Compressão Uniaxial	Paralelo à foliação (MPa)	-	-	-	111,10	22,68	0,20	90,35	12,21	0,14
	Perpendicular à foliação (MPa)	-	-	-	139,83	20,19	0,14	84,11	16,46	0,20
	Sem direção preferencial (MPa)	102,98	10,83	0,11	-	-	-	-	-	-
Coeficiente de Dilatação Térmica Linear	Paralelo à foliação ($\beta 10^{-3}$ mm/m.°C)	-	-	-	5,80	-	-	9,20	-	-
	Perpendicular à foliação ($\beta 10^{-3}$ mm/m.°C)	-	-	-	6,90	-	-	9,80	-	-
	Sem direção preferencial ($\beta 10^{-3}$ mm/m.°C)	4,60	0,57	0,12	-	-	-	-	-	-

*Desvio Padrão, ** Coeficiente de variação; *** Velocidade de Propagação de Ondas Ultrassônicas (m/s) determinadas nos corpos de prova (compressão uniaxial). **Fonte:** Elaborado pelo autor.

Quadro 5. Resultados da determinação da microdureza *Knoop*.

ROCHA	HK ₂₅	HK ₅₀	HK ₇₅	HK _{média}	HK ₇₅ / HK ₂₅
	GPa				
Verde Labrador	6,39	7,18	8,06	7,38	1,26
Cinza Castelo	5,98	7,36	9,59	7,40	1,60
Preto Indiano	2,05	7,93	11,42	7,52	5,57

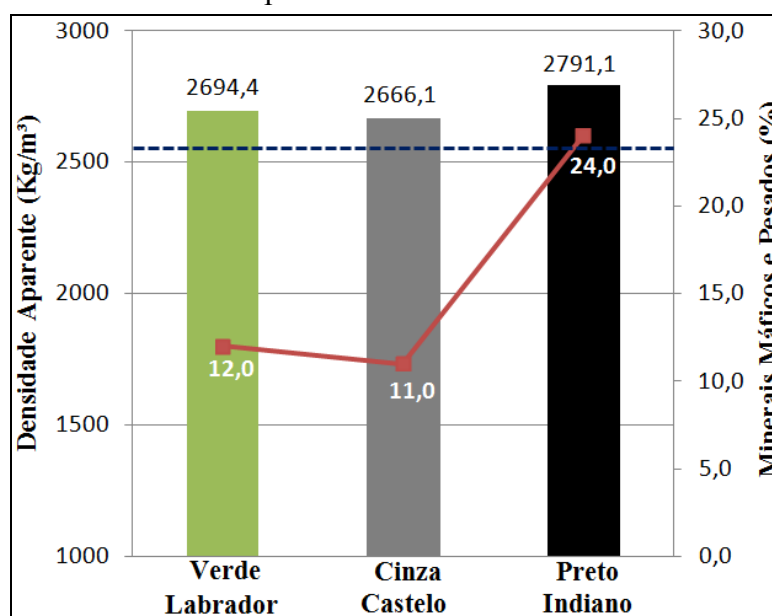
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1. Determinação da Densidade Aparente, da Porosidade Aparente e da Absorção de Água (Índices Físicos)

Os resultados dos Índices Físicos apresentam boa correspondência com as características petrográficas e atendem os requisitos especificados pela ABNT NBR 15844 (2010), ou seja, os materiais apresentam valores de densidade aparente superiores a 2.560 kg/m³, de porosidade aparente inferiores a 1% e de absorção de água abaixo de 0,4%.

A densidade aparente está intimamente relacionada com a densidade dos minerais constituintes das rochas e a porosidade aparente (proporção de sólidos e vazios). A Figura 56 mostra a relação da densidade aparente com o percentual de minerais máficos e demais pesados entre as rochas estudadas.

Figura 56. Correlação entre a densidade aparente e o percentual de minerais máficos e demais minerais pesados nas rochas estudadas.



Legenda: —■— Percentual de minerais máficos e pesados presentes nas rochas; — — — Requisito mínimo para Densidade Aparente em granitos (2550 kg/m³), conforme indicação da Norma NBR 15844/2010. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Nota: Para definição do percentual de minerais máficos no gnaiss Preto Indiano foi considerado uma proporção de 80% paleossoma e 20% leucossoma.

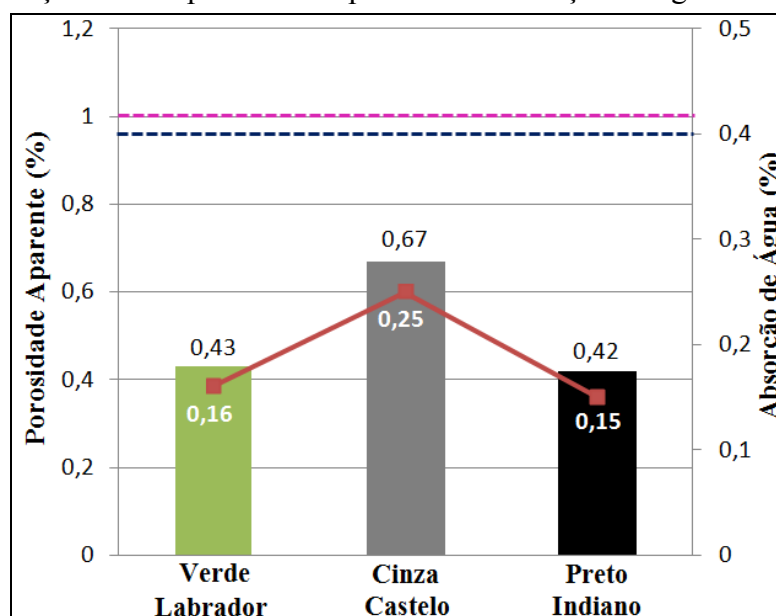
Em meio às rochas estudadas, o migmatito gnaissificado Preto Indiano apresenta a menor porosidade aparente (0,42%) e a maior porcentagem de minerais máficos e pesados (24,0%) representados pela biotita (16,7%), muscovita (1,6%), granada (0,9%), sillimanita (4%) e opacos (0,8%), além de traços de outros minerais secundários (Quadro 2), perfazendo um total de 24,0% respaldando, assim, a maior densidade aparente obtida (2.791kg/m³).

O granito Cinza Castelo exibe a maior porosidade aparente (0,67%) e o menor percentual de máficos e demais pesados (total de 11,0%) compostos pela de biotita (5,5%), muscovita (1,0%), opacos (1,0%), titanita (0,2), apatita (0,2%), allanita (0,1%), clorita (0,5%) e sericita (2,5%), além de traços de zircão, epidoto, carbonatos hidróxidos de ferro, condicionando a menor densidade aparente registrada (2.666kg/m³).

Por fim, o charnoquito Verde Labrador com porosidade (0,43%) e percentual total de minerais máficos e demais pesados de 12%, representados por 4,5% de biotita, 2,5% de diopsídio, 1,5% de hiperstênio, 1,5% de hornblenda, 1,5% de opacos e 0,5% de sericita, além de traços de epidoto, carbonatos e hidróxidos de ferro, apresentou densidade aparente intermediária de 2.694kg/m³ entre as rochas.

A absorção de água é controlada pela combinação de vários aspectos texturais e estruturais exibidos pelas rochas. A porosidade e o grau de microfissuramento são agentes facilitadores da percolação de fluídos na rocha, sendo que quanto maior a porosidade e o índice de fissuras abertas, maior será a absorção de água. A Figura 57 apresenta a relação entre a porosidade aparente e a absorção de água.

Figura 57. Correlação entre a porosidade aparente e a absorção de água das rochas estudadas.



Legenda: —■— Percentual de absorção de água apresentado pelas rochas; — — — Requisito máximo (0,4%) para Absorção de água em granitos, — — — Requisito máximo (1%) para Porosidade Aparente em granitos conforme indicação da Norma NBR 15844/2010. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Observa-se que o granito Cinza Castelo apresentou a maior porosidade aparente (0,67%) e a maior absorção d'água (0,25%). Esta rocha exibe aspecto estético homogêneo, granulação fina a média, contatos minerais dos tipos côncavos/convexos, por vezes dentados e

localmente retilíneos, baixo grau de microfissuramento e um excelente engrenamento mineral. A estrutura finamente foliada, manifestando evidente estiramento mineral é caracterizada por pronunciado adelgaçamento dos grãos minerais, que por representarem descontinuidades físicas poderiam facilitar a percolação de água, podendo assim justificar o resultado obtido. Também a presença de cristais de plagioclásio fortemente saussuritizados, bem como de interfaces minerais contendo produtos de alteração destes feldspatos, são fatores que contribuem para a absorção da água.

O gnaiss Preto Indiano, com 0,42% de porosidade e 0,15% de absorção d'água, é o tipo petrográfico que apresentou os melhores resultados médios. Entretanto, foi o tipo petrográfico que apresentou a maior variação de porosidade (de 0,31% a 0,64%) entre os diferentes corpos-de-prova, com elevado coeficiente de variação (de 0,27), tanto para os resultados da porosidade quanto para o da absorção de água aparentes (ANEXO A), o que estaria coerente com a evidente heterogeneidade composicional, textural e estrutural da rocha. Trata-se de um migmatito gnaissificado, bastante heterogêneo, contendo listras e microleitos descontínuos a lenticulares (quartzo-feldspáticos) inseridos em um material paleossômico de granulação média bem menor que as frações leucossômicas quartzo-feldspáticos que, no conjunto, produzem uma estrutura bandada a movimentada à rocha. O grau de microfissuramento é variável, reflexo da natureza metatexítica da rocha, sendo baixa na porção paleossômica (amplamente predominante na rocha) e moderado nas frações leucossômicas quartzo-feldspáticas. Em ambas as frações as microfissuras dominantes são do tipo intragrãos, preferencialmente preenchidas, e com baixa intercomunicabilidade. Os baixos percentuais de porosidade e absorção de água apresentados pela rocha podem estar relacionados às propriedades petrográficas da porção paleossômica (baixo grau de microfissuramento; granulação relativamente mais fina; textura metamórfica caracterizada por boa recristalização mineral com intenso imbricamento entre os cristais constituintes) e que por envolverem as frações quartzo-feldspáticas leucossômicas reduzem consideravelmente a comunicabilidade entre as redes porosas das duas frações da rocha (paleossômica e leucossômica).

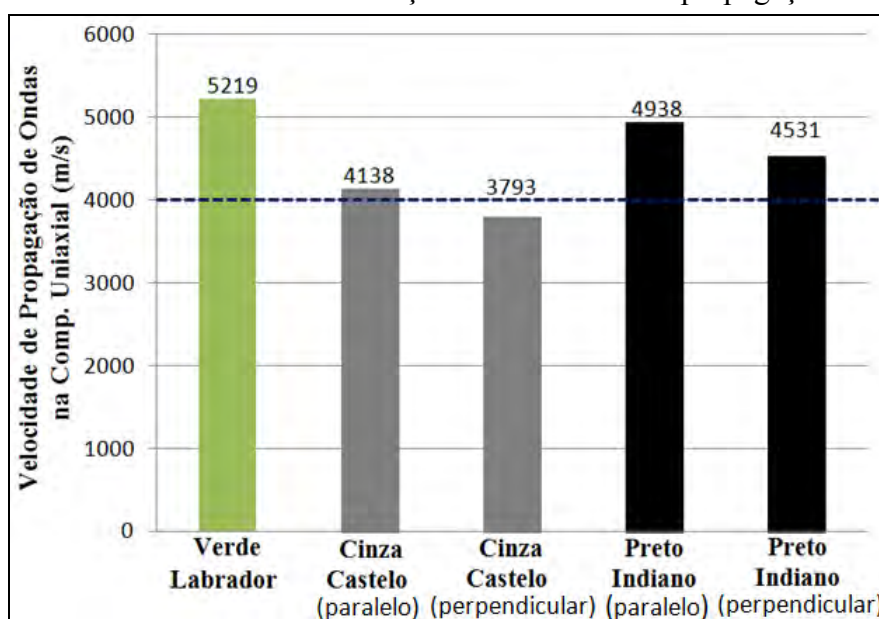
O charnoquito Verde Labrador mostrou condicionamento intermediário, com resultado similar ao Preto Indiano, exibindo taxas de 0,43% para a porosidade aparente e de 0,16% de absorção de água. Esta rocha exhibe estrutura discretamente orientada, textura fanerítica equigranular, granulação média a grossa e contatos imbricados, refletindo em um bom entrelaçamento mineral. O microfissuramento mineral é moderado a elevado, com ampla

predominância do tipo intragrãos (quase 90% do total das microfissuras), normalmente preenchidas, na grande maioria das vezes presentes no interior dos cristais maiores de quartzo e de feldspato potássico (raramente atingindo ou transpondo as bordas minerais) e aos planos de clivagens mais ou menos abertos dos cristais dos piroxênios. As microfissuras intergrãos (pouco mais de 10% das microfissuras), e raras transgranulares, são de pequenas dimensões, na maioria das vezes envolvendo dois minerais, com amplo predomínio de planos preenchidos por minerais secundários. Conclui-se, desta forma, que a rede porosa estaria, em grande parte, restrita às microfissuras intergrãos e algumas transgranulares que responderiam pela intersecção/interligação com as interfaces minerais responsáveis pela baixa circulação da água.

4.2.2. Determinação da Propagação de Ondas Ultrassônicas

A norma ABNT NBR 15844 (2010) não traz valor referencial para esta determinação, no entanto os resultados aqui apresentados serão comparados com o sugerido por Frazão e Farjallat (1995), que é igual ou superior a 4.000 m/s para rochas silicáticas.

Estudos de Frascá (2001), Navarro (2002) e Meyer (2003) evidenciaram que a V_p nas rochas é influenciada principalmente pelas seguintes propriedades: anisotropia estrutural, densidade aparente, grau de porosidade, tamanho dos grãos, relação de contatos dos minerais, porcentagem de máficos e sanidade da rocha. A Figura 58 apresenta os resultados da velocidade de propagação de ondas em corpos de prova de compressão uniaxial.

Figura 58. Resultados da determinação da velocidade de propagação de ondas.

Legenda: --- Requisito mínimo (4000 m/s) para Velocidade de Propagação de Ondas conforme sugerido por Frazão e Farjallat (1995). **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O charnoquito Verde Labrador apresentou a maior V_p (5.219 m/s) dentre as rochas estudadas. O resultado pode ser explicado por suas características petrográficas e físicas. Corresponde a uma rocha de aspecto geral homogêneo, com textura fanerítica de granulação média a média/grossa, pouco inequigranular, com estrutura discretamente orientada, além de exibir baixa porosidade e bom entrelaçamento mineral.

O resultado de VP no granito Cinza Castelo foi 4.138 m/s no sentido paralelo e 3.793 m/s perpendicular à foliação da rocha, resultando na menor média (3.965 m/s) dentre as três rochas. Também é a única rocha a apresentar valor médio de propagação abaixo do obtido por Frazão e Farjallat (1995) como média para as rochas silicáticas brasileiras. Este resultado pode ser atribuído à estrutura finamente foliada, baixo percentual de minerais máficos e ao seu maior índice de porosidade dentre as rochas estudadas, fatores estes que diminuem a velocidade de propagação das ondas, amortecida pelas discontinuidades físicas dos planos de foliação, densidade mineral e presença de rede porosa pouco mais elevada que as outras duas rochas.

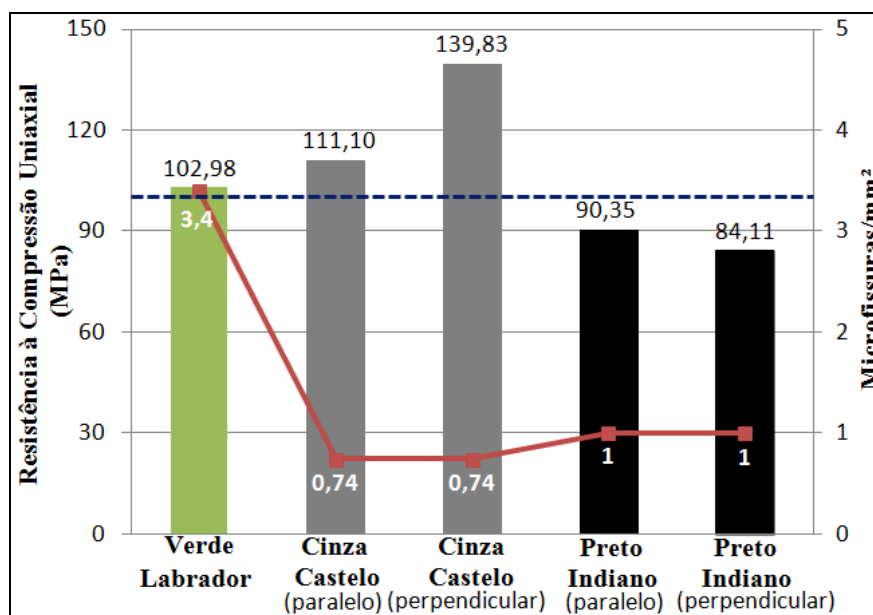
O Preto Indiano apresentou V_p intermediária de 4.938 m/s no sentido paralelo e 4.531 m/s perpendicular à foliação da rocha, com média de 4.734 m/s. Esta rocha exibe padrão heterogêneo marcante, onde a intensidade da gnaissificação é relativamente variável. Vários são os fatores que favorecem a boa propagação das ondas ultrassônicas deste material, destacando-se o respectivo percentual de minerais máficos e pesados (24%), que conduzem a

uma maior densidade para a rocha, a boa sanidade, a reduzida porosidade aparente, o baixo grau de microfissuramento e a boa recristalização metamórfica tendo como resultado um melhor imbricamento mineral.

4.2.3. Resistência à Compressão Uniaxial

Os resultados obtidos neste ensaio são concordantes ao estudo de Willard e McWilliams (1969) *apud* Pazeto (2011), segundo o qual as microfissuras, limites de grãos e clivagem mineral são microestruturas que atuam como superfícies de fraqueza podendo atenuar a resistência da rocha, até mesmo controlando a direção de seu rompimento. A Figura 59 mostra a relação entre a resistência à compressão uniaxial e o grau de microfissuramento das rochas estudadas.

Figura 59. Correlação entre resistência à compressão uniaxial e o grau de microfissuramento das rochas estudadas.



Legenda: —■— Microfissuras/mm²; - - - Requisito mínimo (100 MPa) para o ensaio de Resistência à Compressão Uniaxial em granitos, conforme indicação da norma NBR 15844/2010. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O gnaisse Preto Indiano, apresentou resistência à compressão uniaxial de 90,35 MPa no sentido paralelo e 84,11 MPa perpendicular a foliação da rocha, exibindo a menor média (87,24 MPa) entre as variedades petrográficas estudadas. Também representou o único resultado abaixo do requisito especificado pela ABNT NBR 15844 (2010) estipulado em 100 MPa. A baixa resistência mecânica fornecida está relacionada com a heterogeneidade composicional, textural e estrutural da rocha, dada pela presença de leitos/lentes, veios, filetes

e bolsões leucossômicos quartzo-feldspáticos com granulação média a grossa, inequigranular, imersos em massa paleossômica relativamente rica em biotita e sillimanita. Estruturalmente, apresenta marcante foliação gnáissica bandada de aspecto geral estromático a pouco dobrado, que, no conjunto, representam planos de descontinuidades físicas responsáveis pela redução da resistência mecânica. As tenacidades de diferentes minerais podem influenciar na maior ou menor susceptibilidade à ruptura, o que pode ser relacionado com o tipo de fratura ou clivagem apresentada.

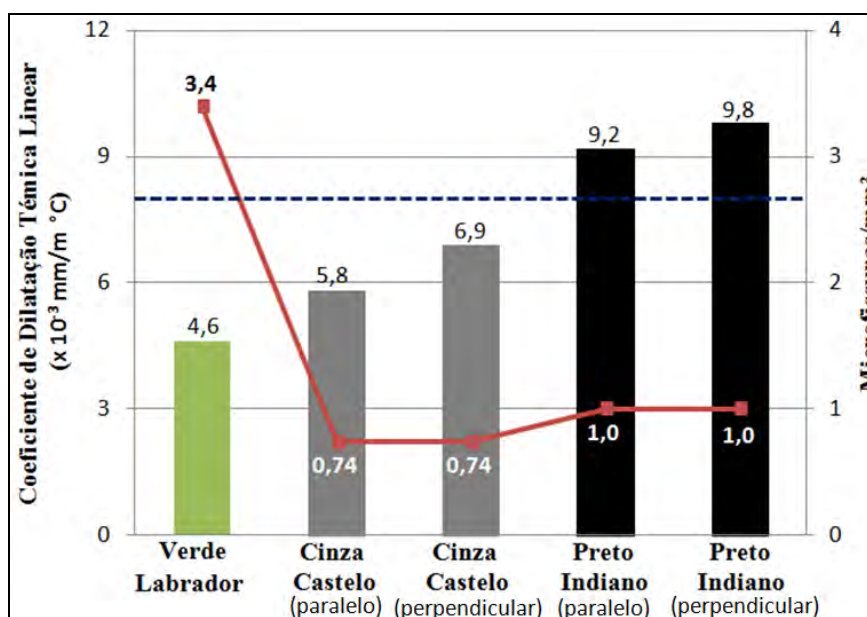
O granito Cinza Castelo se destacou das demais rochas estudadas, fornecendo a maior tensão na resistência à compressão uniaxial, com 139,8 MPa perpendicularmente à foliação e 111,1 MPa paralelamente à foliação, com média de 125 MPa. Sua elevada resistência mecânica em relação às duas outras rochas deve-se a sua homogeneidade petrográfica, granulação relativamente fina (predominantemente entre 0,7 a 2,0mm), equigranular, baixo teor de biotita, além da boa sanidade e menor grau de microfissuramento mineral (0,74 microfissuras/mm²) associada à relativamente baixa porosidade (0,67%).

Por sua vez o charnoquito Verde Labrador com textura inequigranular e granulação média a grossa apresentou uma resistência de 102,98 MPa. Apesar de seu aspecto petrográfico bastante homogêneo, sua menor resistência em relação ao granito Cinza Castelo, deve-se, entre outros fatores, a sua maior granulação e principalmente ao maior grau de microfissuramento (3,4 microfissuras/mm²), bem como ao teor pouco mais elevado de minerais máficos, normalmente com planos de clivagens abertos.

4.2.4. Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

Os resultados são alinhados a estudos já realizados por Frazão e Farjallat (1995 e 1996) e Lima (2002). Estes autores ressaltaram que a dilatação térmica depende da composição mineralógica (principalmente do conteúdo de quartzo para o caso de granitos), microfissuramento da rocha, anisotropia estrutural, fatores petrográficos tais como pela porosidade, tamanho dos cristais e a relações de contatos minerais. A Figura 60 mostra a correlação entre a dilatação térmica linear e o grau de microfissuramento das rochas.

Figura 60. Correlação entre coeficiente de dilatação térmica linear e o grau de microfissuramento das rochas estudadas.



Legenda: —■— Microfissuras/ mm^2 ; --- Requisito máximo ($8 \times 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$) para o ensaio de Determinação Coeficiente de Dilatação Térmica Linear em granitos, conforme indicação da norma NBR 15844/2010. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Dentre os materiais rochosos com coeficientes de dilatação dentro dos requisitos da norma citada estão o Cinza Castelo, com média de $6,3 \times 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$, e o Verde Labrador ($4,6 \times 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$). Este último resultado, extremamente baixo para uma rocha quartzo-feldspática, poderia resultar do seu elevado grau de microfissuras presentes na rocha ($3,4 \text{ microfissuras/mm}^2$), onde parte da dilatação é absorvida pelo fechamento do grande número de microfissuras existentes. Já o Preto Indiano apresentou dilatação média de ($9,5 \times 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$), sendo este resultado superior aos requisitos máximos da norma. Este valor pode estar relacionado ao percentual de quartzo (28%) e, principalmente com a porcentagem de biotita (20%) da fração paleossômica e lineações melanossômica das porções neossômicas.

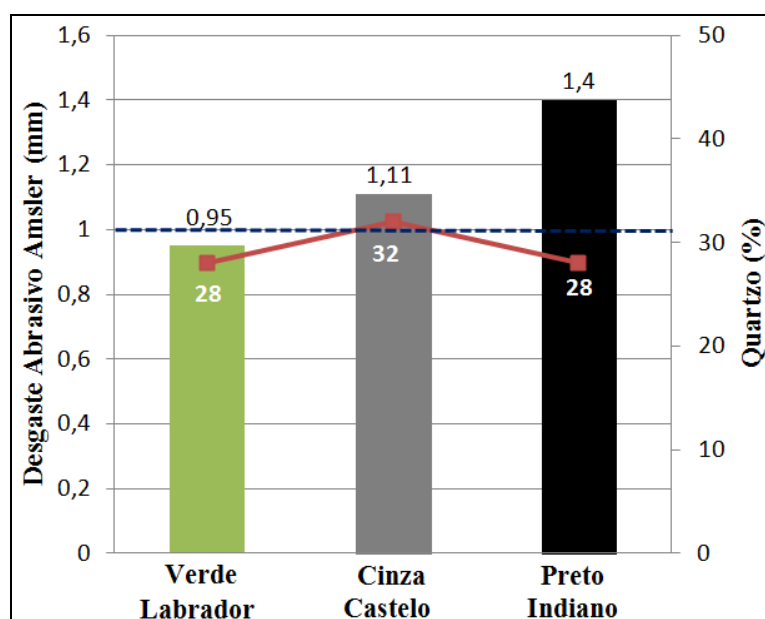
O granito Cinza Castelo representa a variedade petrográfica cujo resultado médio ($6,35 \times 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$) melhor se enquadra tanto em relação a sua natureza quartzo-feldspática quanto em relação as suas propriedades petrográficas. Assim, mostra boa coerência com o percentual de quartzo (32%), granulação fina-média equigranular, baixo grau de microfissuramento mineral ($0,74 \text{ microfissuras/mm}^2$) e estrutura anisotrópica com valores de dilatação de $5,8 \times 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$ no sentido paralelo à foliação e de $6,9 \times 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$ perpendicular à estruturação.

4.2.5. Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler)

Entre os aspectos petrográficos mais importantes que influenciam na resistência ao desgaste abrasivo das rochas estão o percentual e a dimensões de quartzo (dureza 7), compactidade, textura (arranjo mineral e granulação), grau de alteração mineral, grau de microfissuramento e a sanidade da rocha.

Nota-se que dos três tipos petrográficos estudados, somente o charnoquito Verde Labrador, com um desgaste de 0,95mm após 1000m, está dentro do valor referencial de desgaste ($\leq 1,0\text{mm}$) estabelecido pela norma ABNT NBR 15844 (2010), seguidos respectivamente pelo Cinza Castelo e o Preto Indiano, com desgaste de 1,11mm e 1,40mm. A Figura 61 conjuga os resultados obtidos com os percentuais de quartzo referentes às rochas estudadas.

Figura 61. Correlação entre desgaste abrasivo Amsler e o percentual de quartzo presente nas rochas estudadas.



Legenda: —■— Percentual de quartzo presente nas rochas; - - - Requisito máximo (1,0mm/1000m) para o ensaio de Resistência ao Desgaste por Abrasão Amsler para granitos, conforme indicação da Norma NBR 15844/2010. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Nota: Para definição do teor de quartzo-feldspato no gnaiss Preto Indiano foi considerado uma proporção de 80% paleossoma e 20% leucossoma.

Nota-se pelo diagrama acima, que o percentual de quartzo não representa o fator diferenciador na resistência ao desgaste abrasivo entre as rochas estudadas; já que todas elas apresentam teores de quartzo muito similares. Assim, os fatores diferenciadores na resistência à abrasão destas rochas estariam relacionados às respectivas variações composicionais, texturais e estruturais inerentes a cada variedade petrográfica considerada.

O litotipo Verde Labrador, com o menor desgaste abrasivo (0,95 mm), apresenta discreta estruturação foliada com cristais de quartzo melhores desenvolvidos que, por exemplo, os presentes no granito Cinza Castelo. Os cristais maiores de quartzo são preferencialmente alongados, com dimensões que podem ultrapassar 1,5cm na maior extensão ou constituindo agregados monominerálicos de cristais menores ajustados entre si ou resultante de microgranulação de cristais maiores com típicas texturas poligonizadas que, no conjunto, desenvolvem uma rede mais ou menos contínua que envolvem parte dos demais minerais, melhorando a resistência abrasiva da rocha. Por outro lado, um desgaste de 0,95 mm pode ser considerado como elevado para uma rocha quartzo-feldspática com aspecto petrográfico homogêneo, como para o caso do charnoquito estudado. Esta redução da resistência abrasiva estaria relacionada, em parte, a saussuritização mais ou menos intensa em determinados cristais de plagioclásio, ao grau de microfissuramento relativamente elevado (3,4 microfissuras/mm²) e a frequência de minerais secundários infiltrados nas interfaces minerais, fatores que facilitam a desagregação de partículas dos minerais durante a fricção abrasiva.

O granito Cinza Castelo, embora com o maior percentual de quartzo entre as rochas (32%), granulação fina a média, baixo grau de microfissuramento, apresentou desgaste abrasivo elevado (1,11 mm), fato este possivelmente relacionado à estruturação finamente foliada da rocha que quando submetido a atrito abrasivo liberam maior quantidade de partículas minerais, principalmente de cristais de quartzo microfissurados. Outro fator importante a ser destacado é que no geral o tamanho do quartzo observado no Cinza Castelo é inferior ao notado no charnoquito.

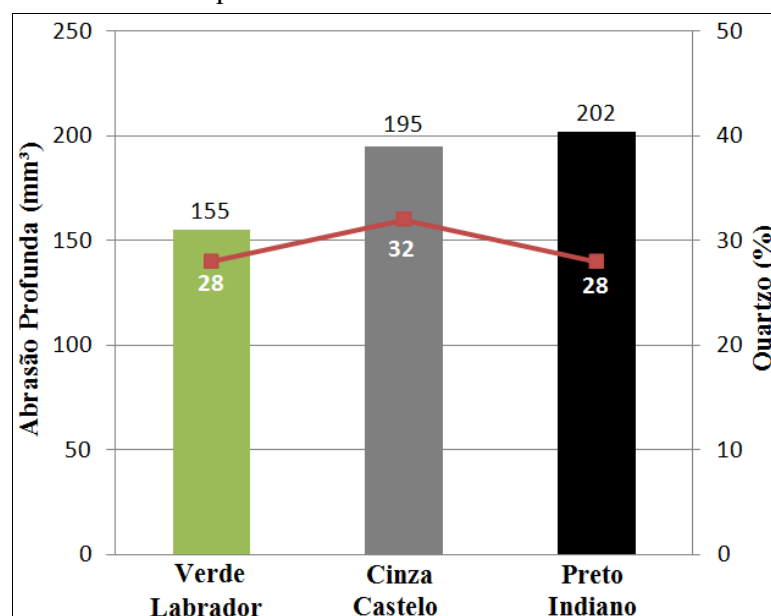
O gnaiss Preto Indiano apresentou o pior desempenho, fato este respaldado principalmente pelas características petrográficas como composição mineralógica, dada pelo elevado percentual de biotita (16,7%) e de sillimanita (4%), que além de intensamente microfissurada está fortemente alterada para agregados filossilicáticos, bem como pela heterogeneidade textural e estrutural. Neste sentido, a rocha apresenta aspecto bandado, caracterizado por alternâncias de microleitos biotíticos com estruturas lepidoblásticas, quartzo-feldspáticos enriquecidos em biotita com estruturas granolepidoblásticas e, por vezes, em sillimanita com estruturas nematoblásticas, além dos leitos leucossômicos faneríticos de granulação média a grossa com grau de microfissuramento relativamente elevado (1,65 microfissuras/mm²). A somatória destes fatores leva a uma redução da resistência a abrasão,

seja pelas menores durezas dos minerais micáceos seja pela maior desagregação da rocha devido ao grau de microfissuramento e relações entre minerais com diferentes tenacidades.

4.2.6. Resistência a Abrasão Profunda

Os resultados da resistência a abrasão profunda (Quadro 4) são correlacionados com o percentual de quartzo conforme representado na Figura 62. Destaca-se que por se tratar de um teste que avalia a resistência ao desgaste da rocha, os fatores petrográficos interferentes no comportamento das rochas são similares aos considerados para a interpretação do desgaste abrasivo Amsler.

Figura 62. Correlação entre os resultados de desgaste (abrasão profunda) e o percentual de quartzo nas rochas estudadas.



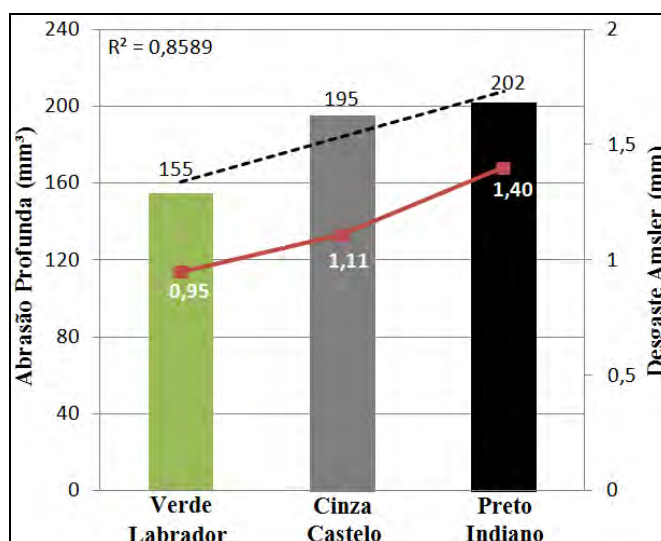
Legenda: —■— Percentual de quartzo presente nas rochas; **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Nota: Para definição do percentual de quartzo-feldspato no gnaisse Preto Indiano foi considerado uma proporção de 80% paleossoma e 20% leucossoma.

O charnoquito Verde Labrador apresentou o menor volume médio de material desgastado (155mm³), ficando acima do referido valor o granito Cinza Castelo (195mm³) e o gnaisse Preto Indiano (202mm³).

A Figura 63 mostra a correspondência direta entre os resultados de ensaios de desgaste realizados (Abrasão Profunda e Amsler) apresentando um coeficiente de correlação alto ($R^2=0,8589$), refletindo em maior confiabilidade no que se refere ao desgaste.

Figura 63. Correlação entre os resultados de desgaste Abrasão Profunda e o desgaste Amsler nas rochas estudadas.



Legenda: —■— Desgaste Amsler apresentado pelas rochas; Coeficiente de Correlação.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como no caso do desgaste abrasivo Amsler, acima comentado, o percentual de quartzo das rochas não representam o fator diferenciador primordial na resistência ao desgaste da abrasão profunda, e sim outros aspectos composicionais, texturais e estruturais exibidos pelos materiais rochosos estudados.

Assim, a resistência pouco superior apresentada pelo charnockito Verde Labrador (Figura 65) deve-se, provavelmente, às homogeneidades composicional, textural e estrutural exibidas, além da fraca orientação mineral e a presença de cristais de quartzo relativamente bem desenvolvidos (os cristais maiores atingem até 1,5cm) mais ou menos interligados entre si de forma a desenvolver uma malha ou rede de aspecto ligeiramente achatada a estirada que, no conjunto, envolve parcialmente os demais cristais da rocha. Tais propriedades petrográficas compensam, em parte, a fragilidade da rocha devida ao grau de microfissuramento elevado (3,4 microfissuras/mm²) responsável por facilitar a desagregação superficial da rocha, com conseqüente liberação de micropartículas minerais.

O desgaste de 195mm³ apresentado pelo granito Cinza Castelo, valor de desgaste intermediário entre as rochas estudadas, corresponde, da mesma forma que o verificado no caso do desgaste abrasivo Amsler (1,11mm) (Figuras 64 e 66), a um valor consideravelmente alto para um granito detentor de textura homogênea, com granulação fina a fina-média e com 32% de quartzo. Estes elevados valores podem ser interpretados como conseqüências de sua estrutura finamente foliada, caracterizada por intenso estiramento mineral, e pela marcante saussuritização de boa parte dos cristais de plagioclásio, cujos produtos de alteração

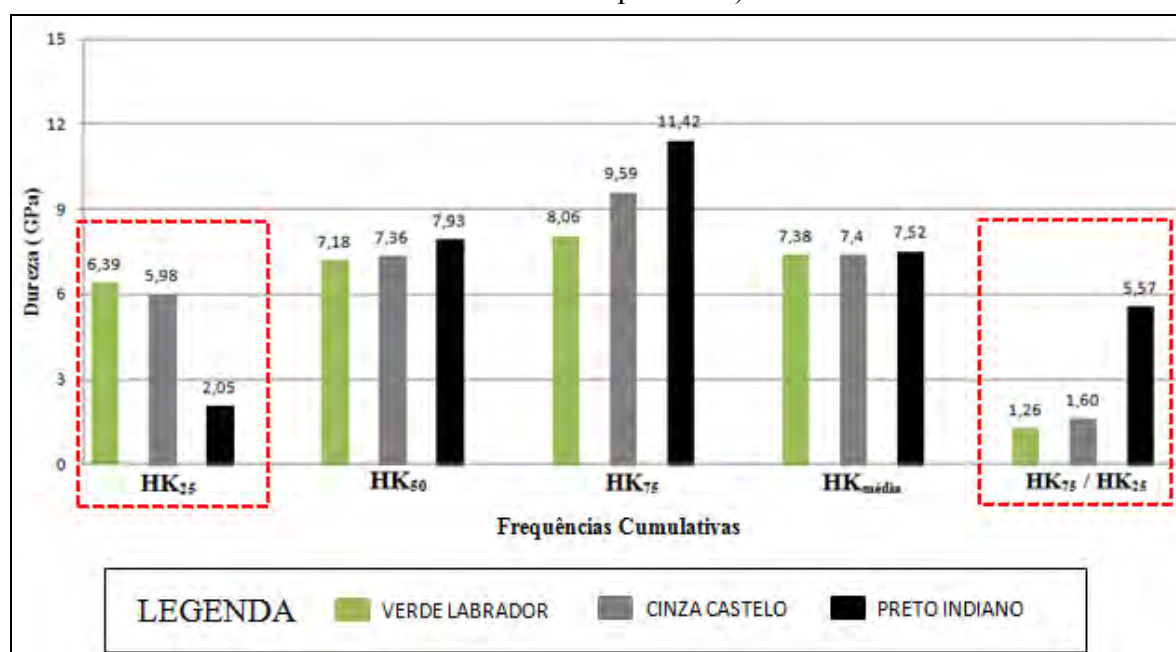
comumente se infiltram em planos de microfissuras e nas interfaces dos minerais vizinhos; fatores estes que facilitam a desagregação superficial da rocha.

Assim como no ensaio de desgaste Amsler (Figuras 64 e 66), o gnaisse Preto Indiano apresentou o pior desempenho, proporcionado principalmente pela heterogeneidade de suas características petrográficas e estruturais. A estrutura bandada, definida pela alternância entre níveis (paleossomas e leucossomas) com diferentes composições mineralógicas somados ao alto percentual de biotita (16,7%), contribuiu para o resultado apresentado.

4.2.7. Microdureza *Knoop*

Os resultados dos ensaios de microdureza *Knoop* são apresentados graficamente na Figura 64, onde são evidenciados os resultados a serem discutidos.

Figura 64. Resultado do ensaio de microdureza *knoop* (relação da frequência cumulativa e a dureza correspondente).



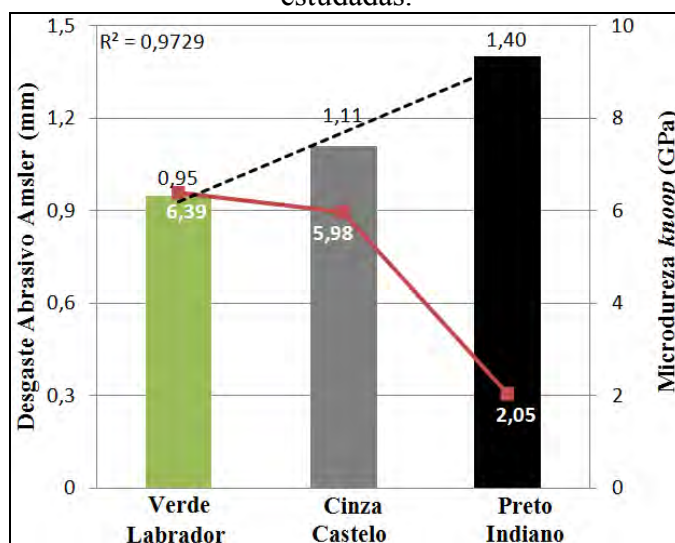
Legenda: O polígono tracejado em vermelho destaca os principais resultados a serem abordados.

Fonte: Elaborada pelo autor.

É possível observar que o gnaisse Preto Indiano apresenta elevado coeficiente de heterogeneidade (HK_{75}/HK_{25}) comparado com as outras duas rochas, em conformidade com resultado apresentado por Ribeiro (2005), fato este resultante de variações significativas nas impressões executadas, neste caso pelas diferenças de dureza dos minerais constituintes das diferentes frações da rocha. Os materiais Verde Labrador e Cinza Castelo apresentaram semelhança no coeficiente de heterogeneidade.

A melhor correlação linear entre dureza *Knoop* e o desgaste abrasivo Amsler foi obtida como parâmetro HK25, confirmando a tendência observada por Frisa Morandini e Mancini (1982) e Quitete e Kahn (2003) com a hipótese de que os minerais essenciais de dureza mais baixa são os principais condicionantes da resistência ao desgaste abrasivo. A Figura 65 mostra a correlação entre microdureza *knoop* e desgaste abrasivo Amsler.

Figura 65. Correlação entre o desgaste abrasivo Amsler e a microdureza *knoop* nas rochas estudadas.



Legenda: — Valor de microdureza *Knoop* apresentado pelas rochas; Coeficiente de Correlação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Nota: A frequência cumulativa considerada foi HK₂₅.

Os resultados expressam uma boa correlação entre as rochas estudadas, havendo uma tendência à proporcionalidade direta, ou seja, quanto maior a dureza menor o desgaste ($R^2 = -0,96$ para HK25). Assim como os ensaios de resistência ao desgaste Amsler e abrasão profunda, este resultado pode ser utilizado como subsídio na interpretação do desgaste abrasivo, podendo contribuir na interpretação do grau de interação entre o abrasivo e a rocha.

Um estudo sugerido que pode expressar a taxa de desgaste no polimento de rochas é a razão entre a dureza da rocha (H) e a dureza do abrasivo (H_a).

4.3. Análise Tribológica dos Resultados de Ensaio Realizados na Politriz Semi-Automática.

A seguir serão apresentados os resultados de brilho superficial obtidos nas amostras das três rochas estudadas e as respectivas perdas de massa dos abrasivos utilizados nas situações testadas.

Para melhor interpretação dos resultados, tendo em vista a identificação da influência da velocidade de rotação do satélite no polimento das rochas estudadas, foram confeccionados gráficos conjugando brilho e perda de massa dos abrasivos. Estes gráficos foram divididos na parte central (linha azul) destacando onde foi aplicada a pressão de carregamento A (1kgf/cm²) e B (2kgf/cm²). Ainda foram traçadas linhas tracejadas (cor preto), separando por quadrantes, onde em cada um, as variáveis pressão (1kgf/cm² e 2kgf/cm²) e exposição do satélite sobre a chapa (1, 2 e 3) são fixas e a velocidade de rotação de satélite (300, 400, 500 e 600rpm) variável, justamente para avaliar o desempenho desta variável, destacando o índice de eficiência de polimento correspondente ao melhor brilho obtido em cada granulometria de abrasivo.

A seguir são listados os itens conjugados ao longo da etapa experimental de polimento:

- Rochas: Verde Labrador/VL; Cinza Castelo/CC; Preto Indiano PI;
- Velocidade de Rotação do Satélite (rpm): 1=300; 2=400; 3=500; 4=600;
- Pressão de Carregamento do Satélite (kgf/cm²): A=1; B=2;
- Exposição do satélite sobre a chapa de rocha: 1; 2; 3;
- Abrasivos (*mesh*): 120; 220; 400; 600; 800; 1200; Lustro.

No processo de polimento, o desgaste abrasivo nas primeiras granulometrias é muito influenciado pela qualidade da serrada, portanto os resultados a serem expostos são referentes às etapas de polimento a partir do abrasivo 120 *mesh* (levigamento) até o lustro. Os resultados referentes às primeiras etapas podem ser consultados no Anexo B.

4.3.1. Verde Labrador (Abrasivo 120 *mesh*)

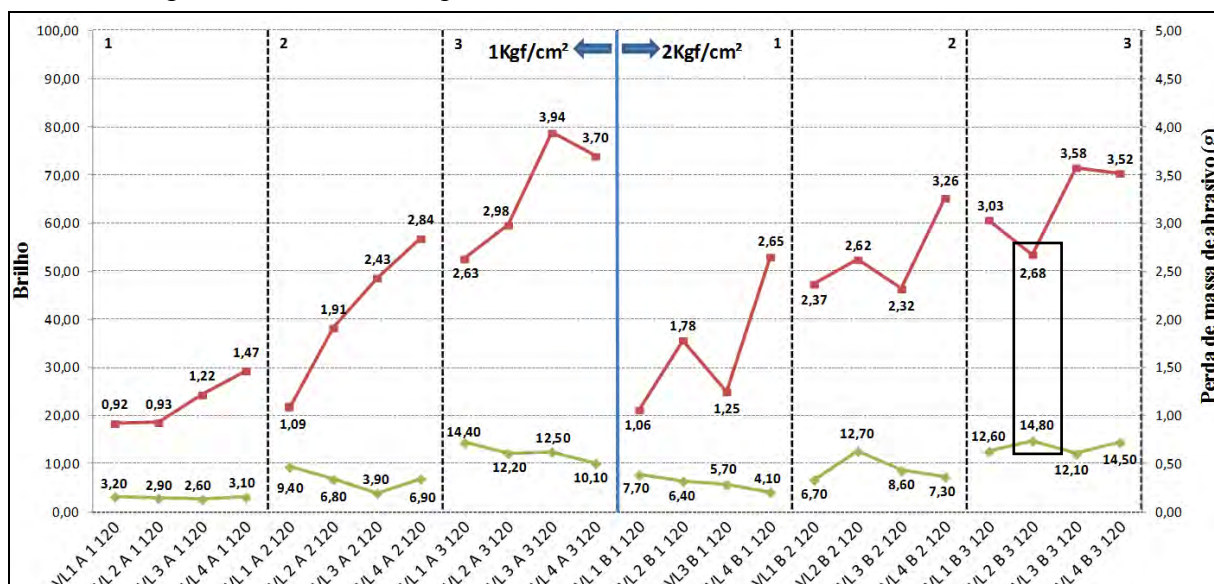
Serão mostrados os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 120 *mesh* no polimento do charnoquito Verde Labrador. Os resultados encontram-se listados no Quadro 6 e graficamente representados na Figura 66.

Quadro 6: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 120 *mesh* no polimento do Verde Labrador.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
VL 1 A 1 120	3,20	1,00	0,92	1,15	3,48
VL 2 A 1 120	2,90	0,50	0,93	0,30	3,12
VL 3 A 1 120	2,60	0,40	1,22	0,41	2,13
VL 4 A 1 120	3,10	1,30	1,47	0,56	2,11
VL 1 A 2 120	9,40	2,50	1,09	0,33	8,62
VL 2 A 2 120	6,80	2,10	1,91	0,39	3,56
VL 3 A 2 120	3,90	1,90	2,43	0,48	1,60
VL 4 A 2 120	6,90	2,50	2,84	0,70	2,43
VL 1 A 3 120	14,40	2,70	2,63	0,73	5,48
VL 2 A 3 120	12,20	2,40	2,98	0,27	4,09
VL 3 A 3 120	12,50	4,10	3,94	0,83	3,17
VL 4 A 3 120	10,10	4,80	3,70	0,42	2,73
VL 1 B 1 120	7,70	1,90	1,06	0,31	7,26
VL 2 B 1 120	6,40	2,50	1,78	0,23	3,60
VL 3 B 1 120	5,70	2,00	1,25	0,53	4,56
VL 4 B 1 120	4,10	2,00	2,65	0,29	1,55
VL 1 B 2 120	6,70	3,50	2,37	0,64	2,83
VL 2 B 2 120	12,70	4,10	2,62	0,63	4,85
VL 3 B 2 120	8,60	2,40	2,32	0,22	3,71
VL 4 B 2 120	7,30	2,90	3,26	0,66	2,24
VL 1 B 3 120	12,60	2,30	3,03	0,60	4,16
VL 2 B 3 120	14,80	3,70	2,68	0,19	5,52
VL 3 B 3 120	12,10	3,70	3,58	0,33	3,38
VL 4 B 3 120	14,50	4,70	3,52	0,34	4,12

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 66. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 120 *mesh*.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g); — Brilho;

☐ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. Fonte: Elaborada pelo autor.

Observa-se que dentre as situações testadas utilizando abrasivo 120 *mesh* no polimento do Verde Labrador, os maiores brilhos obtidos foram com a pressão do satélite 2kgf/cm² e a

maior exposição ao processo (3). A situação testada que expressou o maior brilho foi a 2B3, representada pela velocidade de 400rpm, pressão de 2kgf/cm² e exposição 3, apresentando brilho (14,80) e consumo de abrasivo (2,68 g), correspondendo ao índice de eficiência de polimento 5,52lux/g. A projeção do índice é acrescer à medida que muda a granulometria de abrasivo (24 mesh ao lustro), onde a tendência do brilho é aumentar e o desgaste abrasivo diminuir a cada etapa.

No tocante a perda de massa de abrasivo, nota-se no geral que o consumo de abrasivo se elevou à medida que aumentou a exposição do abrasivo a rocha.

4.3.2. Cinza Castelo (Abrasivo 120 *mesh*)

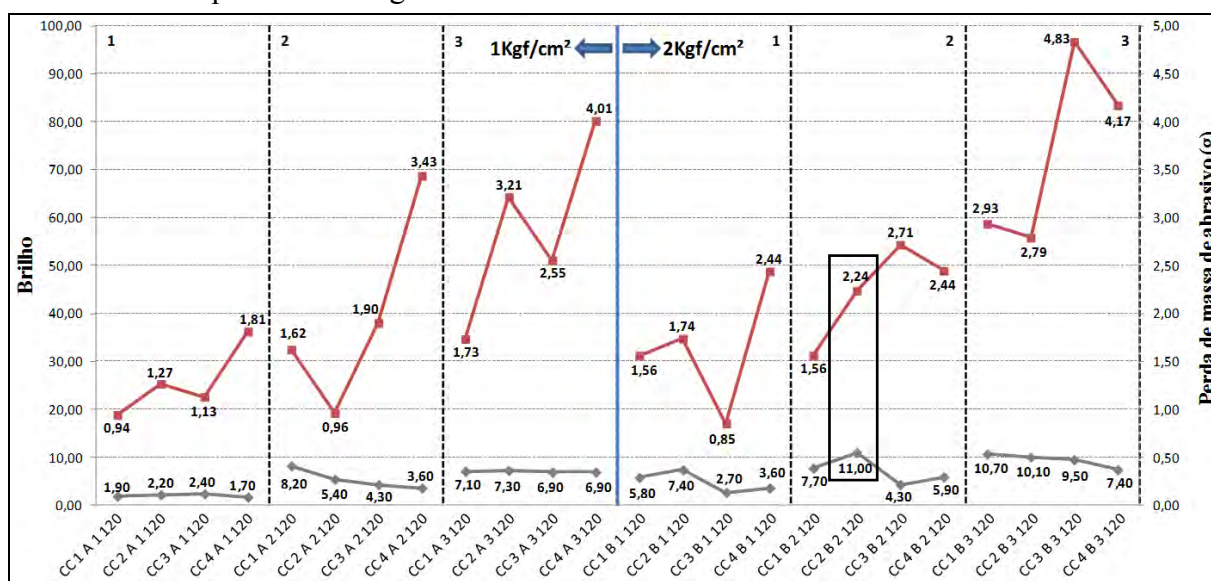
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 120 *mesh* no polimento do granito Cinza Castelo encontram-se listados no Quadro 7 e graficamente representados na Figura 67.

Quadro 7: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 120 *mesh* no polimento do Cinza Castelo.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
CC 1 A 1 120	1,90	1,00	0,94	0,13	2,02
CC 2 A 1 120	2,20	0,70	1,27	0,09	1,73
CC 3 A 1 120	2,40	0,80	1,13	0,23	2,12
CC 4 A 1 120	1,70	1,50	1,81	0,43	0,94
CC 1 A 2 120	8,20	1,90	1,62	0,37	5,06
CC 2 A 2 120	5,40	1,00	0,96	0,35	5,63
CC 3 A 2 120	4,30	0,90	1,90	0,28	2,26
CC 4 A 2 120	3,60	1,10	3,43	0,41	1,05
CC 1 A 3 120	7,10	2,50	1,73	0,44	4,10
CC 2 A 3 120	7,30	2,80	3,21	0,23	2,27
CC 3 A 3 120	6,90	3,60	2,55	0,24	2,71
CC 4 A 3 120	6,90	2,80	4,01	0,54	1,72
CC 1 B 1 120	5,80	1,00	1,56	0,44	3,72
CC 2 B 1 120	7,40	1,70	1,74	0,07	4,25
CC 3 B 1 120	2,70	0,70	0,85	0,14	3,18
CC 4 B 1 120	3,60	1,60	2,44	0,44	1,48
CC 1 B 2 120	7,70	2,60	1,56	0,55	4,94
CC 2 B 2 120	11,00	2,90	2,24	0,18	4,91
CC 3 B 2 120	4,30	1,60	2,71	0,28	1,59
CC 4 B 2 120	5,90	2,20	2,44	0,49	2,42
CC 1 B 3 120	10,70	3,40	2,93	0,50	3,65
CC 2 B 3 120	10,10	3,30	2,79	0,17	3,62
CC 3 B 3 120	9,50	5,70	4,83	0,38	1,97
CC 4 B 3 120	7,40	3,50	4,17	0,43	1,77

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 67. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 120 mesh.



Legenda: —■— Perda de massa de abrasivo (g); —▲— Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

No geral, o gráfico mostra que as velocidades 300 e 400rpm apresentaram os melhores resultados de brilho, cabendo destaque ao desempenho obtido na situação 2B2 (velocidade de 200rpm, pressão de 2kgf/cm² e exposição 2) onde o brilho obtido foi 11 e consumo de abrasivo de 2,24g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 4,91lux/g.

4.3.3. Preto Indiano (Abrasivo 120 mesh)

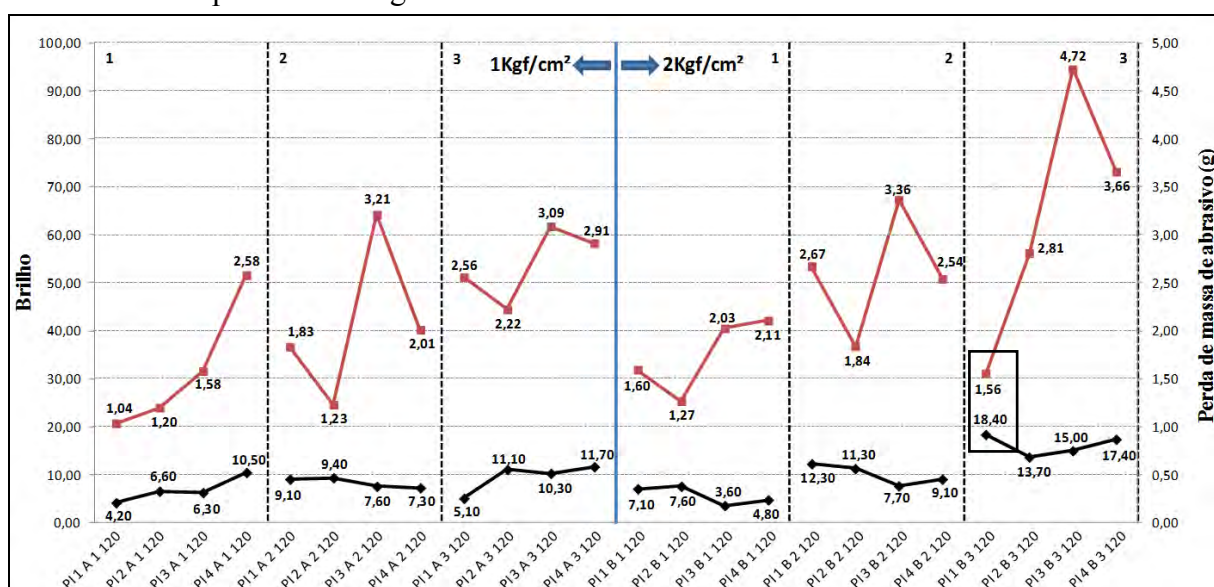
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 120 mesh no polimento do gnaisse Preto Indiano encontram-se listados no Quadro 8 e graficamente representados na Figura 68.

Quadro 8: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 120 mesh no polimento do Preto Indiano.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
PI 1 A 1 120	4,20	1,50	1,04	0,44	4,04
PI 2 A 1 120	6,60	2,50	1,20	0,18	5,50
PI 3 A 1 120	6,30	1,90	1,58	0,06	3,99
PI 4 A 1 120	10,50	4,20	2,58	0,40	4,07
PI 1 A 2 120	9,10	2,30	1,83	0,39	4,97
PI 2 A 2 120	9,40	2,20	1,23	0,28	7,64
PI 3 A 2 120	7,60	3,10	3,21	0,28	2,37
PI 4 A 2 120	7,30	33,00	2,01	0,45	3,63
PI 1 A 3 120	5,10	2,10	2,56	0,25	1,99
PI 2 A 3 120	11,10	3,70	2,22	0,26	5,00
PI 3 A 3 120	10,30	3,00	3,09	0,28	3,33
PI 4 A 3 120	11,70	4,00	2,91	0,88	4,02
PI 1 B 1 120	7,10	2,20	1,60	0,75	4,44
PI 2 B 1 120	7,60	1,20	1,27	0,34	5,98
PI 3 B 1 120	3,60	1,30	2,03	0,23	1,77
PI 4 B 1 120	4,80	1,80	2,11	0,57	2,27
PI 1 B 2 120	12,30	2,60	2,67	0,55	4,61
PI 2 B 2 120	11,30	1,90	1,84	0,28	6,14
PI 3 B 2 120	7,70	2,90	3,36	0,49	2,29
PI 4 B 2 120	9,10	3,80	2,54	0,60	3,58
PI 1 B 3 120	18,40	2,30	1,56	0,56	11,79
PI 2 B 3 120	13,70	3,30	2,81	0,21	4,88
PI 3 B 3 120	15,00	3,00	4,72	0,32	3,18
PI 4 B 3 120	17,40	3,30	3,66	0,73	4,75

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 68. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaise Preto Indiano utilizando abrasivo 120 mesh.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g); — Brilho;
 □ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Nos testes de polimento do gnaisse Preto Indiano utilizando abrasivos 120 *mesh*, os maiores brilhos foram obtidos com pressão de 2kgf/cm² e exposição 3, onde a situação 1B3 apresentou o melhor brilho (18,40) e desgaste abrasivo de 1,56g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 11,79lux/g. Neste caso, trata-se de uma rocha anisotrópica, onde a interação do abrasivo com a rocha foi mais intensa, favorecida pela dureza geral baixa da rocha, onde a diminuição da rugosidade superficial da chapa e o baixo consumo de abrasivo contribuíram para este resultado.

4.3.4. Verde Labrador (Abrasivo 220 *mesh*)

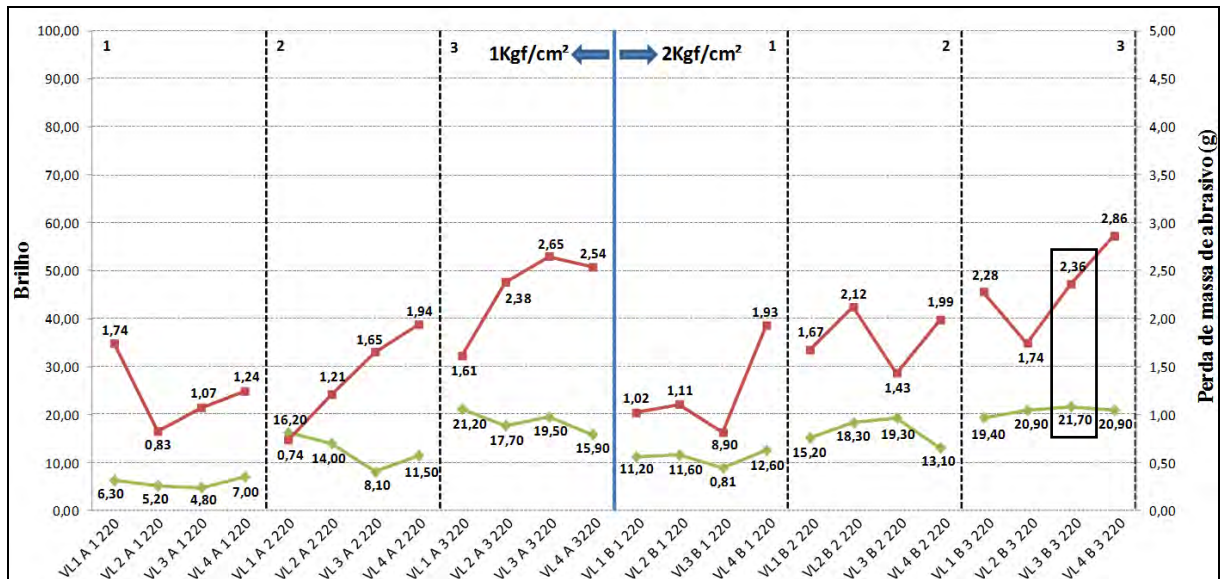
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 220 *mesh* no polimento do charnoquito Verde Labrador encontram-se listados no Quadro 9 e graficamente representados na Figura 69.

Quadro 9: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 220 *mesh* no polimento do Verde Labrador.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
VL 1 A 1 220	6,30	0,80	1,74	-	3,62
VL 2 A 1 220	5,20	1,70	0,83	0,67	6,27
VL 3 A 1 220	4,80	1,60	1,07	0,63	4,49
VL 4 A 1 220	7,00	2,10	1,24	0,58	5,65
VL 1 A 2 220	16,20	2,40	0,74	0,41	21,89
VL 2 A 2 220	14,00	2,50	1,21	0,39	11,57
VL 3 A 2 220	8,10	4,10	1,65	0,50	4,91
VL 4 A 2 220	11,50	1,90	1,94	0,71	5,93
VL 1 A 3 220	21,20	3,2	1,61	0,56	13,17
VL 2 A 3 220	17,70	2,90	2,38	0,36	7,44
VL 3 A 3 220	19,50	3,60	2,65	0,65	7,36
VL 4 A 3 220	15,90	4,00	2,54	0,25	6,26
VL 1 B 1 220	11,20	2,10	1,02	0,20	10,98
VL 2 B 1 220	11,60	2,80	1,11	0,46	10,45
VL 3 B 1 220	8,90	3,60	0,81	0,55	10,99
VL 4 B 1 220	12,60	3,60	1,93	0,64	6,53
VL 1 B 2 220	15,20	3,60	1,67	0,42	9,10
VL 2 B 2 220	18,30	3,80	2,12	0,45	8,63
VL 3 B 2 220	19,30	2,30	1,43	0,26	13,50
VL 4 B 2 220	13,10	3,80	1,99	0,49	6,58
VL 1 B 3 220	19,40	2,80	2,28	0,55	8,51
VL 2 B 3 220	20,90	3,00	1,74	0,17	12,01
VL 3 B 3 220	21,70	4,20	2,36	0,33	9,19
VL 4 B 3 220	20,90	3,90	2,86	0,29	7,31

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 69. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 220 mesh.



Legenda: —■— Perda de massa de abrasivo (g); —▲— Brilho;
 □ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O gráfico mostra que o brilho máximo obtido (21,70) foi na condição 3B3, com perda de massa média de 2,36g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 9,19lux/g.

4.3.5. Cinza Castelo (Abrasivo 220 mesh)

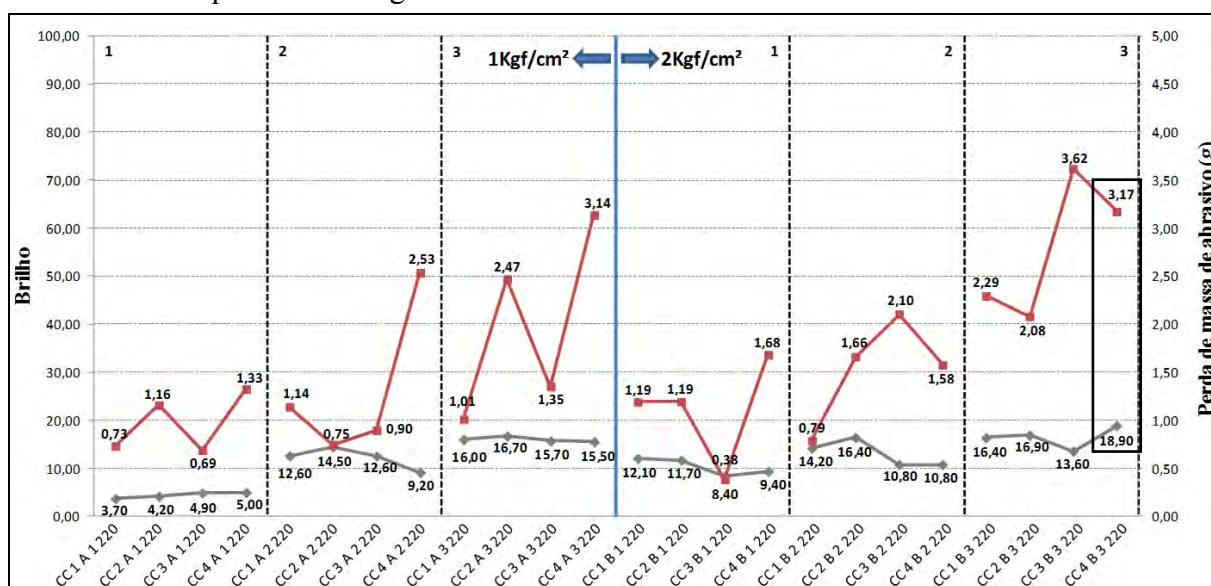
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 220 mesh no polimento do granito Cinza Castelo encontram-se listados no Quadro 10 e graficamente representados na Figura 70.

Quadro 10: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 220 mesh no polimento do Cinza Castelo.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
CC 1 A 1 220	3,70	1,00	0,73	0,32	5,07
CC 2 A 1 220	4,20	1,00	1,16	0,31	3,62
CC 3 A 1 220	4,90	1,00	0,69	0,28	7,10
CC 4 A 1 220	5,00	0,60	1,33	0,39	3,76
CC 1 A 2 220	12,60	2,40	1,14	0,46	11,05
CC 2 A 2 220	14,50	2,90	0,75	0,41	19,33
CC 3 A 2 220	12,60	2,10	0,90	0,32	14,00
CC 4 A 2 220	9,20	2,60	2,53	0,45	3,64
CC 1 A 3 220	16,00	2,40	1,01	0,48	15,84
CC 2 A 3 220	16,70	3,50	2,47	0,43	6,76
CC 3 A 3 220	15,70	3,50	1,35	0,38	11,63
CC 4 A 3 220	15,50	2,50	3,14	0,47	4,94
CC 1 B 1 220	12,10	1,30	1,19	0,40	10,17
CC 2 B 1 220	11,70	0,70	1,19	0,25	9,83
CC 3 B 1 220	8,40	1,30	0,38	0,18	22,11
CC 4 B 1 220	9,40	1,30	1,68	0,33	5,60
CC 1 B 2 220	14,20	2,70	0,79	0,44	17,97
CC 2 B 2 220	16,40	3,20	1,66	0,08	9,88
CC 3 B 2 220	10,80	1,70	2,10	0,22	5,14
CC 4 B 2 220	10,80	2,30	1,58	0,25	6,84
CC 1 B 3 220	16,40	2,70	2,29	0,58	7,16
CC 2 B 3 220	16,90	3,40	2,08	0,25	8,13
CC 3 B 3 220	13,60	2,90	3,62	0,30	3,76
CC 4 B 3 220	18,90	5,20	3,17	0,35	5,96

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 70. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 220 mesh.



□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota-se que o melhor resultado de brilho (18,90) foi obtido quando conjugado à pressão de 2kgf/cm², exposição 3 e velocidade de 600rpm, correspondente a condição mais severa (4B3). O desgaste abrasivo médio equivalente foi 3,17g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 5,96lux/g. Observa-se que no geral o padrão de desgaste foi muito irregular.

4.3.6. Preto Indiano (Abrasivo 220 *mesh*)

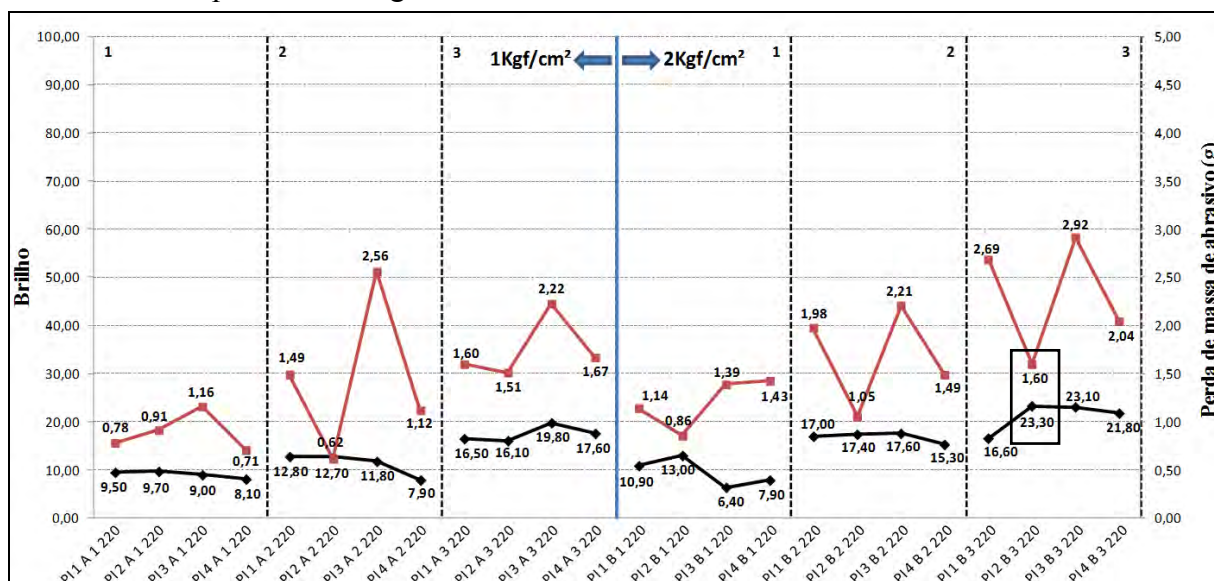
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 220 *mesh* no polimento do gnaiss Preto Indiano encontram-se listados no Quadro 11 e graficamente representados na Figura 71.

Quadro 11: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 220 *mesh* no polimento do Preto Indiano.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
PI 1 A 1 220	9,50	3,20	0,78	0,40	12,18
PI 2 A 1 220	9,70	2,40	0,91	0,18	10,66
PI 3 A 1 220	9,00	2,50	1,16	0,09	7,76
PI 4 A 1 220	8,10	4,30	0,71	0,37	11,41
PI 1 A 2 220	12,80	1,60	1,49	0,39	8,59
PI 2 A 2 220	12,70	3,20	0,62	0,26	20,48
PI 3 A 2 220	11,80	1,60	2,56	0,35	4,61
PI 4 A 2 220	7,90	2,50	1,12	0,54	7,05
PI 1 A 3 220	16,50	2,40	1,60	0,49	10,31
PI 2 A 3 220	16,10	2,90	1,51	0,16	10,66
PI 3 A 3 220	19,80	3,00	2,22	0,15	8,92
PI 4 A 3 220	17,60	3,60	1,67	0,97	10,54
PI 1 B 1 220	10,90	3,20	1,14	0,44	9,56
PI 2 B 1 220	13,00	2,20	0,86	0,14	15,12
PI 3 B 1 220	6,40	2,30	1,39	0,12	4,60
PI 4 B 1 220	7,90	1,70	1,43	0,57	5,52
PI 1 B 2 220	17,00	1,80	1,98	0,51	8,59
PI 2 B 2 220	17,40	1,90	1,05	0,28	16,57
PI 3 B 2 220	17,60	3,80	2,21	0,22	7,96
PI 4 B 2 220	15,30	2,60	1,49	0,52	10,27
PI 1 B 3 220	16,60	2,20	2,69	0,87	6,17
PI 2 B 3 220	23,30	3,50	1,60	0,19	14,56
PI 3 B 3 220	23,10	2,60	2,92	0,14	7,91
PI 4 B 3 220	21,80	4,30	2,04	0,56	10,69

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 71. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaiss Preto Indiano utilizando abrasivo 220 mesh.



Legenda: —■— Perda de massa de abrasivo (g); —●— Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O gráfico mostra que os maiores brilhos foram obtidos utilizando pressão de 2kgf/cm² e exposição 3, cabendo destaque a situação 2B3, onde alcançou brilho 23,30 e apresentou desgaste abrasivo 1,60g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 14,56lux/g.

4.3.7. Verde Labrador (Abrasivo 400 mesh)

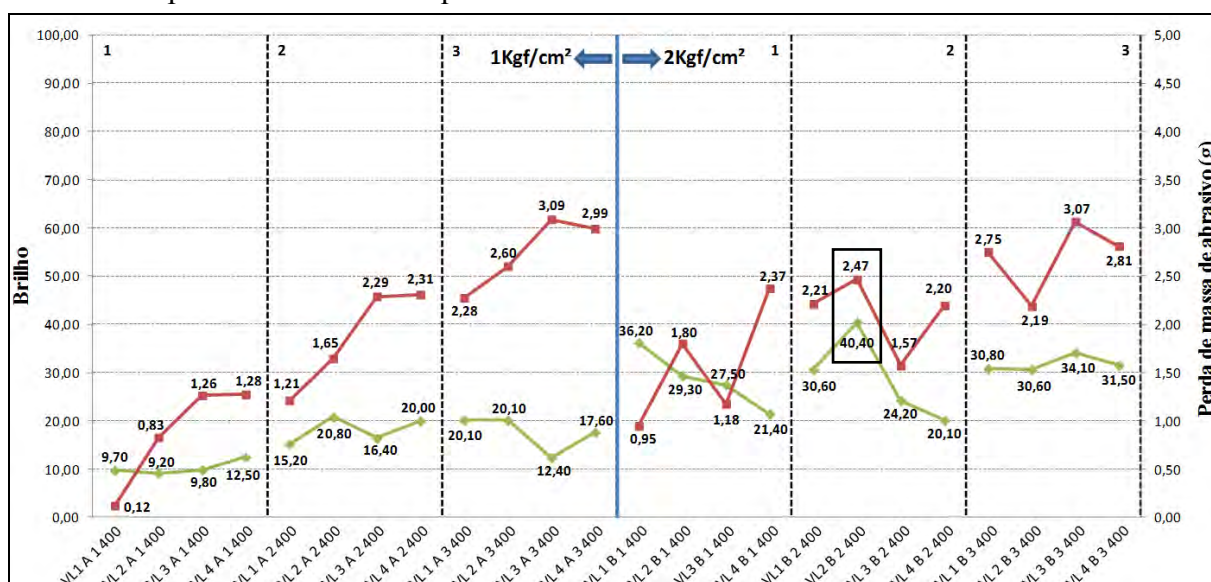
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 400 mesh no polimento do charnoquito Verde Labrador encontram-se listados no Quadro 12 e graficamente representados na Figura 72.

Quadro 12: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 400 *mesh* no polimento do Verde Labrador.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
VL 1 A 1 400	9,70	3,00	0,12	-	80,83
VL 2 A 1 400	9,20	2,90	0,83	0,20	11,08
VL 3 A 1 400	9,80	2,80	1,26	0,59	7,78
VL 4 A 1 400	12,50	4,00	1,28	0,55	9,77
VL 1 A 2 400	15,20	3,30	1,21	0,50	12,56
VL 2 A 2 400	20,80	5,80	1,65	0,48	12,61
VL 3 A 2 400	16,40	3,80	2,29	0,69	7,16
VL 4 A 2 400	20,00	3,40	2,31	0,83	8,66
VL 1 A 3 400	20,10	6,70	2,28	0,73	8,82
VL 2 A 3 400	20,10	4,30	2,60	0,20	7,73
VL 3 A 3 400	12,40	6,10	3,09	0,70	4,01
VL 4 A 3 400	17,60	5,80	2,99	0,69	5,89
VL 1 B 1 400	36,20	4,40	0,95	0,45	38,11
VL 2 B 1 400	29,30	0,80	1,80	0,86	16,28
VL 3 B 1 400	27,50	4,40	1,18	0,55	23,31
VL 4 B 1 400	21,40	6,00	2,37	0,35	9,03
VL 1 B 2 400	30,60	5,40	2,21	0,67	13,85
VL 2 B 2 400	40,40	8,70	2,47	0,60	16,36
VL 3 B 2 400	24,20	3,70	1,57	0,36	15,41
VL 4 B 2 400	20,10	3,90	2,20	0,53	9,14
VL 1 B 3 400	30,80	6,10	2,75	0,63	11,20
VL 2 B 3 400	30,60	5,50	2,19	0,22	13,97
VL 3 B 3 400	34,10	7,90	3,07	0,27	11,11
VL 4 B 3 400	31,50	7,60	2,81	0,32	11,21

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 72. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 400 *mesh*.



Legenda: —■— Perda de massa de abrasivo (g); —▲— Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. Fonte: Elaborada pelo autor.

Dentre as situações testadas, a 2B2 apresentou o maior brilho (40,40) e desgaste abrasivo de 2,47g equivalente a esta condição, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 16,36lux/g.

4.3.8. Cinza Castelo (Abrasivo 400 *mesh*)

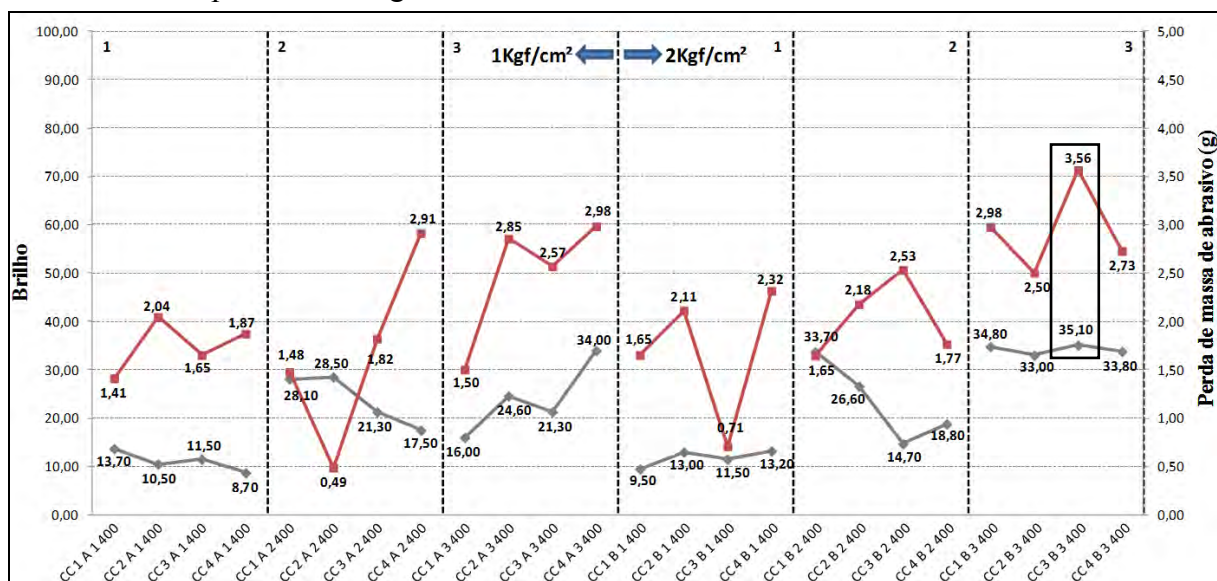
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 400 *mesh* no polimento do granito Cinza Castelo encontram-se listados na no Quadro 13 e graficamente representados na Figura 73.

Quadro 13: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 400 *mesh* no polimento do Cinza Castelo.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
CC 1 A 1 400	13,70	3,40	1,41	0,47	9,72
CC 2 A 1 400	10,50	2,50	2,04	0,35	5,15
CC 3 A 1 400	11,50	2,30	1,65	0,31	6,97
CC 4 A 1 400	8,70	2,10	1,87	0,36	4,65
CC 1 A 2 400	28,10	3,30	1,48	0,46	18,99
CC 2 A 2 400	28,50	4,40	0,49	0,53	58,16
CC 3 A 2 400	21,30	4,40	1,82	0,30	11,70
CC 4 A 2 400	17,50	3,20	2,91	0,54	6,01
CC 1 A 3 400	16,00	6,20	1,50	0,49	10,67
CC 2 A 3 400	24,60	3,60	2,85	0,22	8,63
CC 3 A 3 400	21,30	3,00	2,57	0,31	8,29
CC 4 A 3 400	34,00	8,00	2,98	0,56	11,41
CC 1 B 1 400	9,50	3,20	1,65	0,50	5,76
CC 2 B 1 400	13,00	2,90	2,11	0,22	6,16
CC 3 B 1 400	11,50	1,70	0,71	0,24	16,20
CC 4 B 1 400	13,20	2,50	2,32	0,41	5,69
CC 1 B 2 400	33,70	3,50	1,65	0,55	20,42
CC 2 B 2 400	26,60	3,60	2,18	0,24	12,20
CC 3 B 2 400	14,70	3,30	2,53	0,27	5,81
CC 4 B 2 400	18,80	4,30	1,77	0,41	10,62
CC 1 B 3 400	34,80	6,00	2,98	0,50	11,68
CC 2 B 3 400	33,00	5,30	2,50	0,32	13,20
CC 3 B 3 400	35,10	5,40	3,56	0,21	9,86
CC 4 B 3 400	33,80	8,30	2,73	0,62	12,38

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 73. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 400 *mesh*.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g); — Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A situação 3B3 combinou o maior brilho (35,10) com o maior consumo de abrasivo (3,56g), correspondendo ao índice de eficiência de polimento 9,86lux/g. Neste caso o alto consumo de abrasivo condicionou a este resultado.

4.3.9. Preto Indiano (Abrasivo 400 *mesh*)

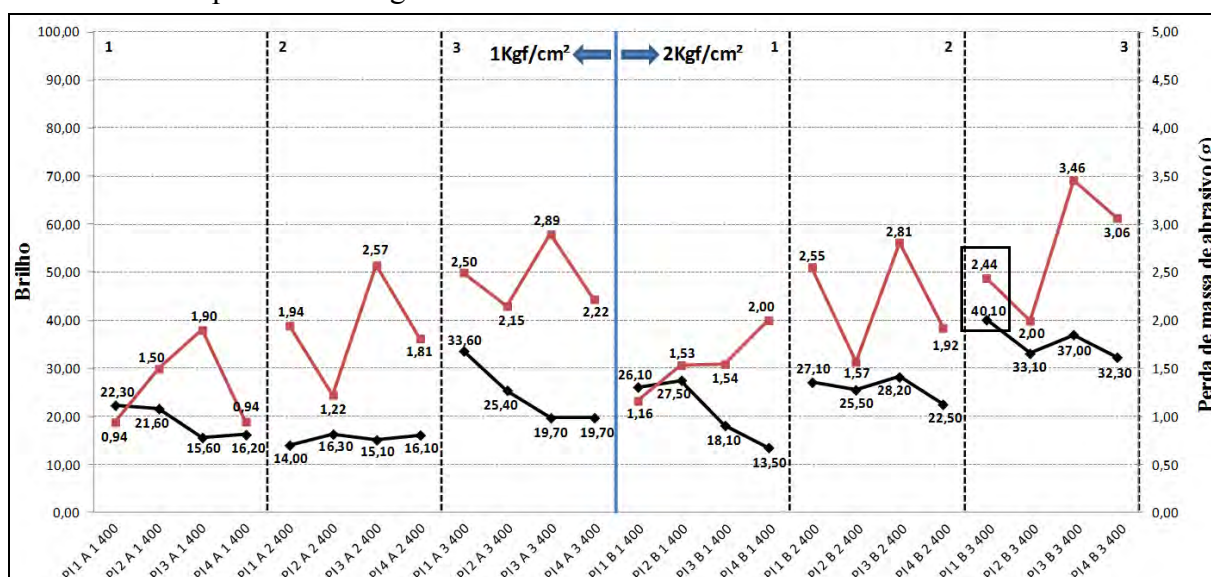
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 400 *mesh* no polimento do gnaiss Preto Indiano encontram-se listados no Quadro 14 e graficamente representados na Figura 74.

Quadro 14: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 400 *mesh* no polimento do Preto Indiano.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
PI 1 A 1 400	22,30	5,50	0,94	0,55	23,72
PI 2 A 1 400	21,60	7,40	1,50	0,20	14,40
PI 3 A 1 400	15,60	4,50	1,90	0,17	8,21
PI 4 A 1 400	16,20	3,60	0,94	0,36	17,23
PI 1 A 2 400	14,00	4,00	1,94	0,39	7,22
PI 2 A 2 400	16,30	4,50	1,22	0,33	13,36
PI 3 A 2 400	15,10	2,60	2,57	0,93	5,88
PI 4 A 2 400	16,10	4,20	1,81	0,85	8,90
PI 1 A 3 400	33,60	6,50	2,50	0,62	13,44
PI 2 A 3 400	25,40	6,60	2,15	0,16	11,81
PI 3 A 3 400	19,70	4,60	2,89	0,29	6,82
PI 4 A 3 400	19,70	2,50	2,22	0,49	8,87
PI 1 B 1 400	26,10	5,10	1,16	0,34	22,50
PI 2 B 1 400	27,50	4,90	1,53	0,32	17,97
PI 3 B 1 400	18,10	4,10	1,54	0,44	11,75
PI 4 B 1 400	13,50	2,40	2,00	0,63	6,75
PI 1 B 2 400	27,10	1,70	2,55	0,71	10,63
PI 2 B 2 400	25,50	4,40	1,57	0,45	16,24
PI 3 B 2 400	28,20	5,80	2,81	0,31	10,04
PI 4 B 2 400	22,50	2,50	1,92	0,67	11,72
PI 1 B 3 400	40,10	4,00	2,44	0,78	16,43
PI 2 B 3 400	33,10	4,90	2,00	0,32	16,55
PI 3 B 3 400	37,00	9,80	3,46	0,44	10,69
PI 4 B 3 400	32,30	9,00	3,06	0,68	10,56

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 74. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaise Preto Indiano utilizando abrasivo 400 *mesh*.



Legenda: —■— Perda de massa de abrasivo (g); —▲— Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota-se que tanto nas pressões de 1kgf/cm² quanto de 2kgf/cm² o maior brilho e a maior perda de massa foram notados na maior exposição testada (3), sendo que o maior brilho (40,10) foi obtido pela situação 1B3, com desgaste de abrasivo 2,44g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 16,43lux/g. No geral observa-se que as situações testadas com velocidade de 400rpm apresentam baixo consumo de abrasivo e a 500rpm os maiores consumo.

4.3.10. Verde Labrador (Abrasivo 600 mesh)

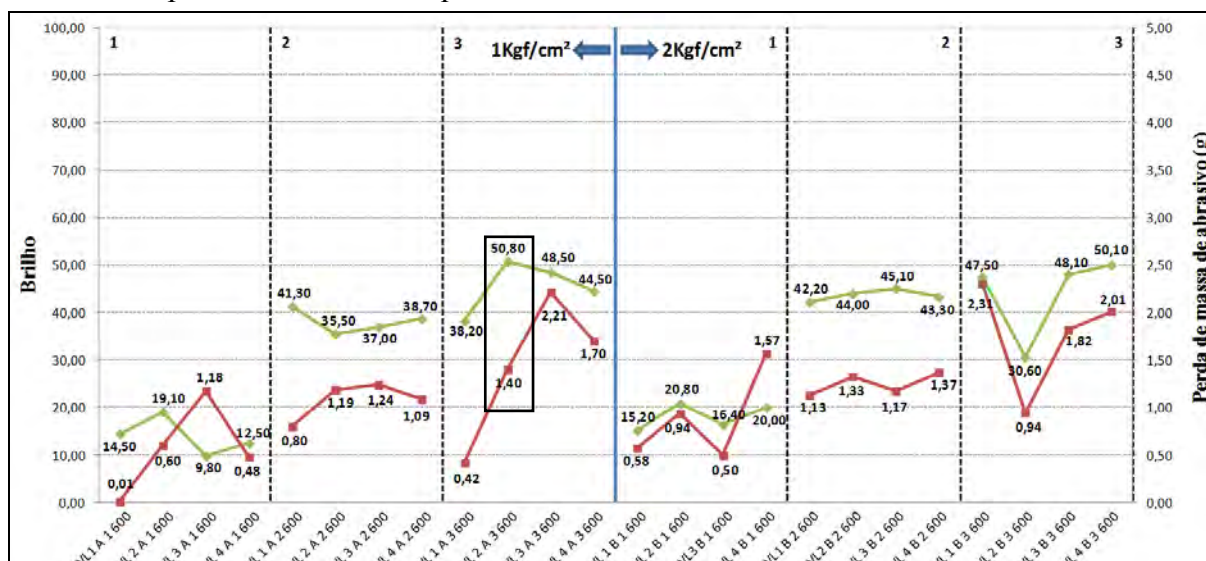
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 600 mesh no polimento do charnoquito Verde Labrador encontram-se listados no Quadro 15 e graficamente representados na Figura 75.

Quadro 15: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 600 mesh no polimento do Verde Labrador.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
VL 1 A 1 600	14,50	3,80	0,01	-	1450,00
VL 2 A 1 600	19,10	3,30	0,60	0,43	31,83
VL 3 A 1 600	9,80	4,90	1,18	0,79	8,31
VL 4 A 1 600	12,50	6,30	0,48	0,49	26,04
VL 1 A 2 600	41,30	8,20	0,80	0,36	51,63
VL 2 A 2 600	35,50	6,10	1,19	0,86	29,83
VL 3 A 2 600	37,00	8,10	1,24	0,67	29,84
VL 4 A 2 600	38,70	6,50	1,09	0,54	35,50
VL 1 A 3 600	38,20	6,00	0,42	0,16	90,95
VL 2 A 3 600	50,80	5,90	1,40	0,54	36,29
VL 3 A 3 600	48,50	4,50	2,21	0,58	21,95
VL 4 A 3 600	44,50	10,90	1,70	0,42	26,18
VL 1 B 1 600	15,20	3,80	0,58	0,46	26,21
VL 2 B 1 600	20,80	5,10	0,94	0,42	22,13
VL 3 B 1 600	16,40	5,50	0,50	0,33	32,80
VL 4 B 1 600	20,00	7,00	1,57	0,61	12,74
VL 1 B 2 600	42,20	10,20	1,13	0,36	37,35
VL 2 B 2 600	44,00	9,80	1,33	0,46	33,08
VL 3 B 2 600	45,10	7,70	1,17	0,62	38,55
VL 4 B 2 600	43,30	11,90	1,37	0,53	31,61
VL 1 B 3 600	47,50	10,10	2,31	0,68	20,56
VL 2 B 3 600	30,60	64,00	0,94	0,31	32,55
VL 3 B 3 600	48,10	5,60	1,82	0,38	26,43
VL 4 B 3 600	50,10	6,00	2,01	0,20	24,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 75. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 600 mesh.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g); — Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O gráfico mostra que a situação que apresentou o maior brilho (50,80) utilizando abrasivo 600 mesh no polimento do Verde Labrador foi a 2A3, com consumo abrasivo de 1,40g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 36,29lux/g.

É possível notar também que tanto os maiores brilhos quanto os consumos máximos de abrasivos foram quando submetidos à exposição máxima testada (3).

4.3.11. Cinza Castelo (Abrasivo 600 mesh)

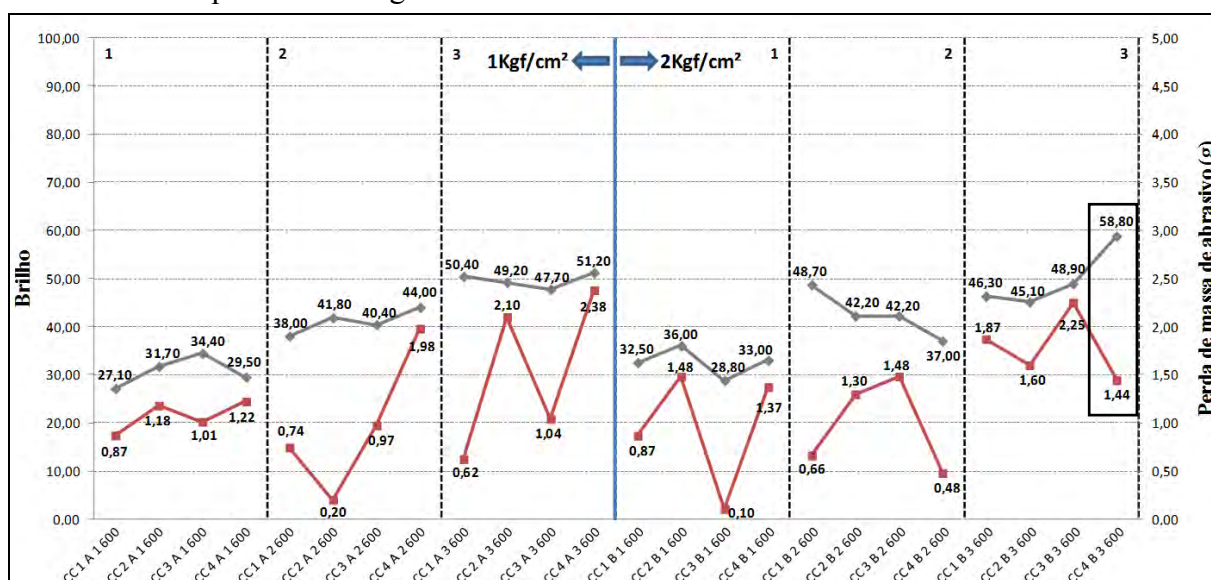
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 600 mesh no polimento do granito Cinza Castelo encontram-se listados no Quadro 16 e graficamente representados na Figura 76.

Quadro 16: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 600 *mesh* no polimento do Cinza Castelo.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
CC 1 A 1 600	27,10	4,20	0,87	0,11	31,15
CC 2 A 1 600	31,70	4,00	1,18	0,15	26,86
CC 3 A 1 600	34,40	4,20	1,01	0,26	34,06
CC 4 A 1 600	29,50	6,00	1,22	0,31	24,18
CC 1 A 2 600	38,00	3,90	0,74	0,26	51,35
CC 2 A 2 600	41,80	4,00	0,20	0,12	209,00
CC 3 A 2 600	40,40	3,30	0,97	0,17	41,65
CC 4 A 2 600	44,00	5,40	1,98	0,42	22,22
CC 1 A 3 600	50,40	5,60	0,62	0,32	81,29
CC 2 A 3 600	49,20	2,40	2,10	0,05	23,43
CC 3 A 3 600	47,70	2,80	1,04	0,20	45,87
CC 4 A 3 600	51,20	5,20	2,38	0,41	21,51
CC 1 B 1 600	32,50	5,40	0,87	0,18	37,36
CC 2 B 1 600	36,00	5,00	1,48	0,10	24,32
CC 3 B 1 600	28,80	3,30	0,10	0,09	288,00
CC 4 B 1 600	33,00	7,50	1,37	0,18	24,09
CC 1 B 2 600	48,70	2,70	0,66	0,31	73,79
CC 2 B 2 600	42,20	8,10	1,30	0,22	32,46
CC 3 B 2 600	42,20	4,90	1,48	0,26	28,51
CC 4 B 2 600	37,00	8,00	0,48	0,35	77,08
CC 1 B 3 600	46,30	7,00	1,87	0,38	24,76
CC 2 B 3 600	45,10	10,20	1,60	0,15	28,19
CC 3 B 3 600	48,90	8,80	2,25	0,32	21,73
CC 4 B 3 600	58,80	4,10	1,44	0,47	40,83

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 76. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 600 *mesh*.



Legenda: ■ Perda de massa de abrasivo (g); ▲ Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. Fonte: Elaborada pelo autor.

O gráfico mostra que tanto os maiores brilhos quanto os consumos extremos de abrasivos estão na exposição 3. A situação 4B3 apresentou o melhor brilho (58,80) e perda de massa de abrasivo correspondente de 1,44g, perfazendo um índice de eficiência de polimento de 40,83lux/g.

4.3.12. Preto Indiano (Abrasivo 600 *mesh*)

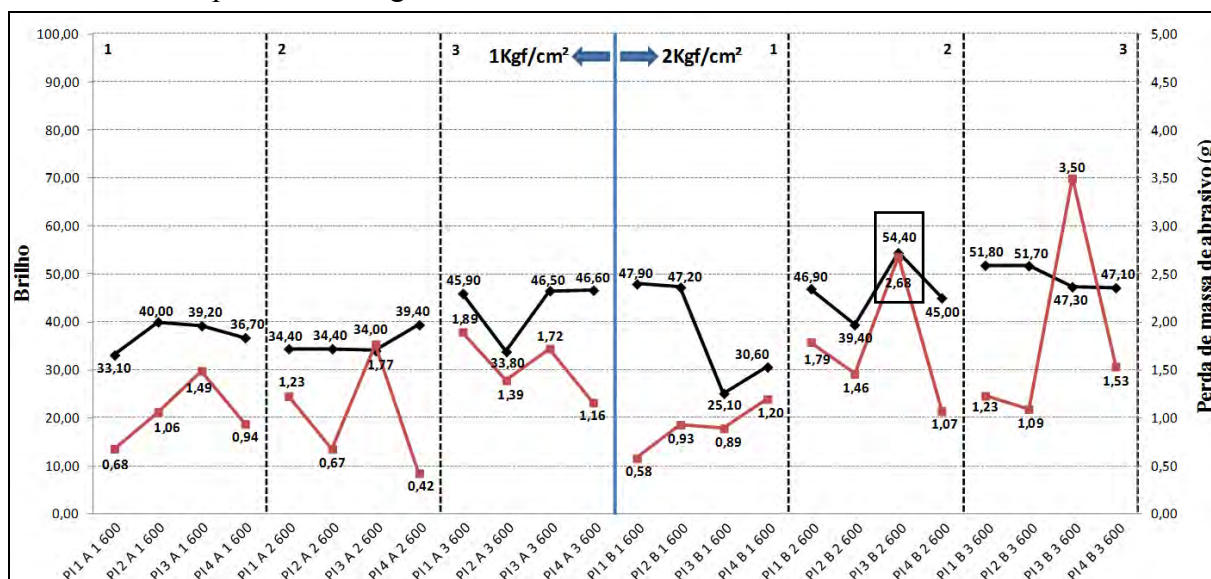
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 600 *mesh* no polimento do gnaiss Preto Indiano encontram-se listados no Quadro 17 e graficamente representados na Figura 77.

Quadro 17: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 600 *mesh* no polimento do Preto Indiano.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
PI 1 A 1 600	33,10	7,10	0,68	0,22	48,68
PI 2 A 1 600	40,00	5,10	1,06	0,21	37,74
PI 3 A 1 600	39,20	6,40	1,49	0,24	26,31
PI 4 A 1 600	36,70	5,40	0,94	0,43	39,04
PI 1 A 2 600	34,40	8,00	1,23	0,44	27,97
PI 2 A 2 600	34,40	6,70	0,67	0,37	51,34
PI 3 A 2 600	34,00	6,60	1,77	0,45	19,21
PI 4 A 2 600	39,40	7,30	0,42	0,27	93,81
PI 1 A 3 600	45,90	5,10	1,89	0,22	24,29
PI 2 A 3 600	33,80	6,50	1,39	0,28	24,32
PI 3 A 3 600	46,50	4,50	1,72	0,27	27,03
PI 4 A 3 600	46,60	6,50	1,16	0,41	40,17
PI 1 B 1 600	47,90	5,90	0,58	0,29	82,59
PI 2 B 1 600	47,20	5,70	0,93	0,15	50,75
PI 3 B 1 600	25,10	6,90	0,89	0,22	28,20
PI 4 B 1 600	30,60	3,70	1,20	0,23	25,50
PI 1 B 2 600	46,90	6,00	1,79	0,45	26,20
PI 2 B 2 600	39,40	5,90	1,46	0,32	26,99
PI 3 B 2 600	54,40	2,00	2,68	1,03	20,30
PI 4 B 2 600	45,00	4,80	1,07	0,43	42,06
PI 1 B 3 600	51,80	3,40	1,23	0,43	42,11
PI 2 B 3 600	51,70	3,90	1,09	0,26	47,43
PI 3 B 3 600	47,30	7,20	3,50	0,70	13,51
PI 4 B 3 600	47,10	3,30	1,53	0,65	30,78

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 77. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaise Preto Indiano utilizando abrasivo 600 mesh.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g); — Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Neste caso a situação 3B2 apresentou o maior brilho (54,40), com perda de massa de abrasivo equivalente a 2,68g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 20,30lux/g.

4.3.13. Verde Labrador (Abrasivo 800 mesh)

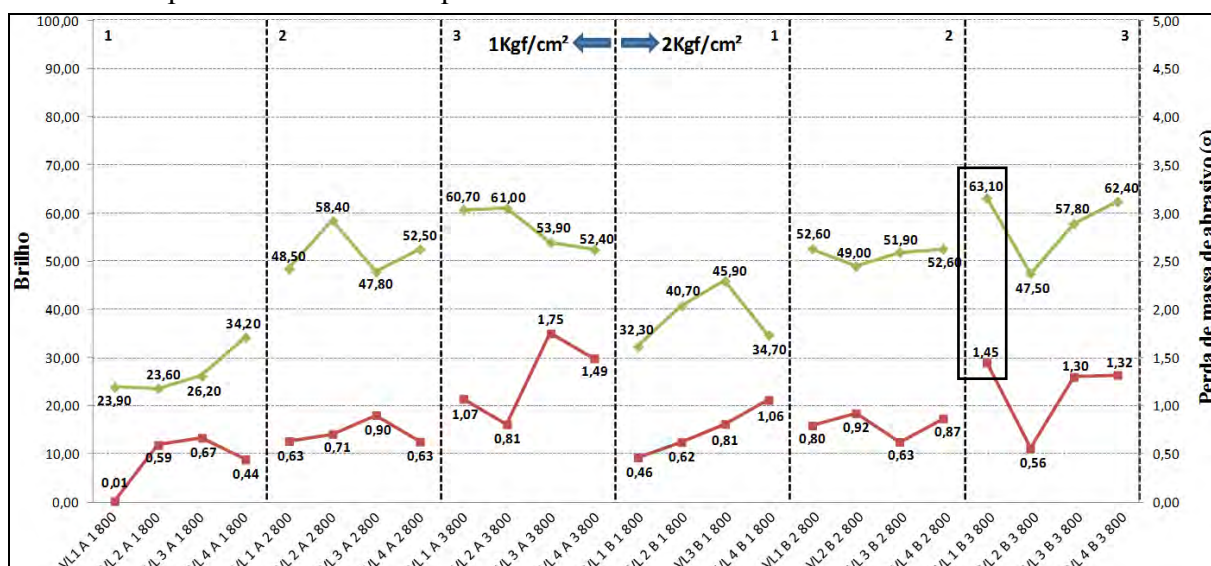
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 800 mesh no polimento do charnoquito Verde Labrador encontram-se listados no Quadro 18 e graficamente representados na Figura 78.

Quadro 18: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 800 *mesh* no polimento do Verde Labrador.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
VL 1 A 1800	23,90	5,10	0,01	-	2390,00
VL 2 A 1800	23,60	4,40	0,59	0,53	40,00
VL 3 A 1800	26,20	3,60	0,67	0,46	39,10
VL 4 A 1800	34,20	6,70	0,44	0,43	77,73
VL 1 A 2800	48,50	7,30	0,63	0,18	76,98
VL 2 A 2800	58,40	11,10	0,71	0,22	82,25
VL 3 A 2800	47,80	12,10	0,90	0,40	53,11
VL 4 A 2800	52,50	11,30	0,63	0,49	83,33
VL 1 A 3800	60,70	5,70	1,07	0,34	56,73
VL 2 A 3800	61,00	6,50	0,81	0,44	75,31
VL 3 A 3800	53,90	3,90	1,75	0,22	30,80
VL 4 A 3800	52,40	10,10	1,49	0,28	35,17
VL 1 B 1800	32,30	5,60	0,46	0,37	70,22
VL 2 B 1800	40,70	5,50	0,62	0,56	65,65
VL 3 B 1800	45,90	7,90	0,81	0,35	56,67
VL 4 B 1800	34,70	4,10	1,06	0,46	32,74
VL 1 B 2800	52,60	14,10	0,80	0,25	65,75
VL 2 B 2800	49,00	9,90	0,92	0,48	53,26
VL 3 B 2800	51,90	8,40	0,63	0,21	82,38
VL 4 B 2800	52,60	6,00	0,87	0,34	60,46
VL 1 B 3800	63,10	4,10	1,45	0,23	43,52
VL 2 B 3800	47,50	11,80	0,56	0,21	84,82
VL 3 B 3800	57,80	6,10	1,30	0,22	44,46
VL 4 B 3800	62,40	4,30	1,32	0,16	47,27

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 78. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 800 *mesh*.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g); — Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. Fonte: Elaborada pelo autor.

É possível notar que tanto os maiores brilhos quanto os máximos consumos de abrasivos estão na exposição 3. A situação 1B3 apresentou o maior brilho (63,10), com perda de massa de abrasivo de 1,45g, perfazendo o índice de eficiência de polimento 43,52lux/g.

4.3.14. Cinza Castelo (Abrasivo 800 *mesh*)

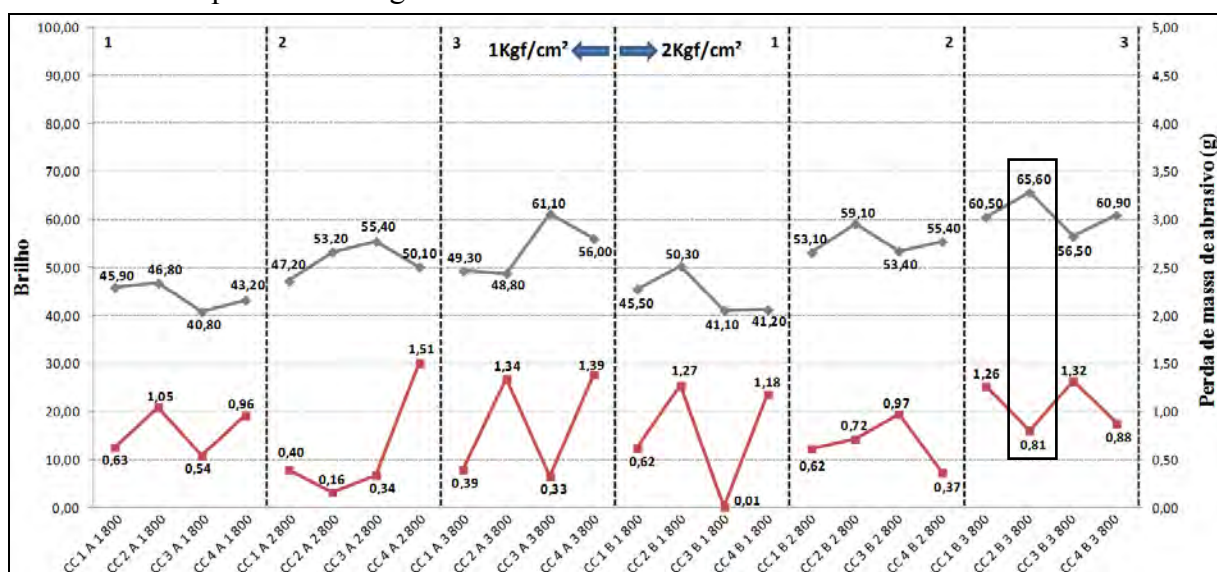
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 800 *mesh* no polimento do granito Cinza Castelo encontram-se listados no Quadro 19 e graficamente representados na Figura 79.

Quadro 19: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 800 *mesh* no polimento do Cinza Castelo.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
CC 1 A 1 800	45,90	4,00	0,63	0,33	72,86
CC 2 A 1 800	46,80	4,90	1,05	0,23	44,57
CC 3 A 1 800	40,80	9,60	0,54	0,25	75,56
CC 4 A 1 800	43,20	6,00	0,96	0,37	45,00
CC 1 A 2 800	47,20	6,60	0,40	0,20	118,00
CC 2 A 2 800	53,20	4,30	0,16	0,18	332,50
CC 3 A 2 800	55,40	6,30	0,34	0,25	162,94
CC 4 A 2 800	50,10	6,90	1,51	0,24	33,18
CC 1 A 3 800	49,30	6,60	0,39	0,02	126,41
CC 2 A 3 800	48,80	9,80	1,34	0,38	36,42
CC 3 A 3 800	61,10	3,30	0,33	0,16	185,15
CC 4 A 3 800	56,00	3,40	1,39	0,20	40,29
CC 1 B 1 800	45,50	4,80	0,62	0,17	73,39
CC 2 B 1 800	50,30	5,00	1,27	0,35	39,61
CC 3 B 1 800	41,10	11,60	0,01	-	4110,00
CC 4 B 1 800	41,20	6,50	1,18	0,40	34,92
CC 1 B 2 800	53,10	8,80	0,62	0,18	85,65
CC 2 B 2 800	59,10	6,70	0,72	0,20	82,08
CC 3 B 2 800	53,40	5,50	0,97	0,32	55,05
CC 4 B 2 800	55,40	8,90	0,37	0,22	149,73
CC 1 B 3 800	60,50	3,30	1,26	0,36	48,02
CC 2 B 3 800	65,60	9,60	0,81	0,20	80,99
CC 3 B 3 800	56,50	6,00	1,32	0,46	42,80
CC 4 B 3 800	60,90	5,90	0,88	0,34	69,20

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 79. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 800 mesh.



Legenda: —■— Perda de massa de abrasivo (g); —▲— Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A situação que apresentou o maior brilho (65,60) utilizando o abrasivo 800 mesh foi a 2B3, onde o consumo de abrasivo 0,81g correspondeu ao índice de eficiência de polimento 80,99lux/g. Neste caso o baixo consumo de abrasivo foi determinante para obtenção deste índice.

4.3.15. Preto Indiano (Abrasivo 800 mesh)

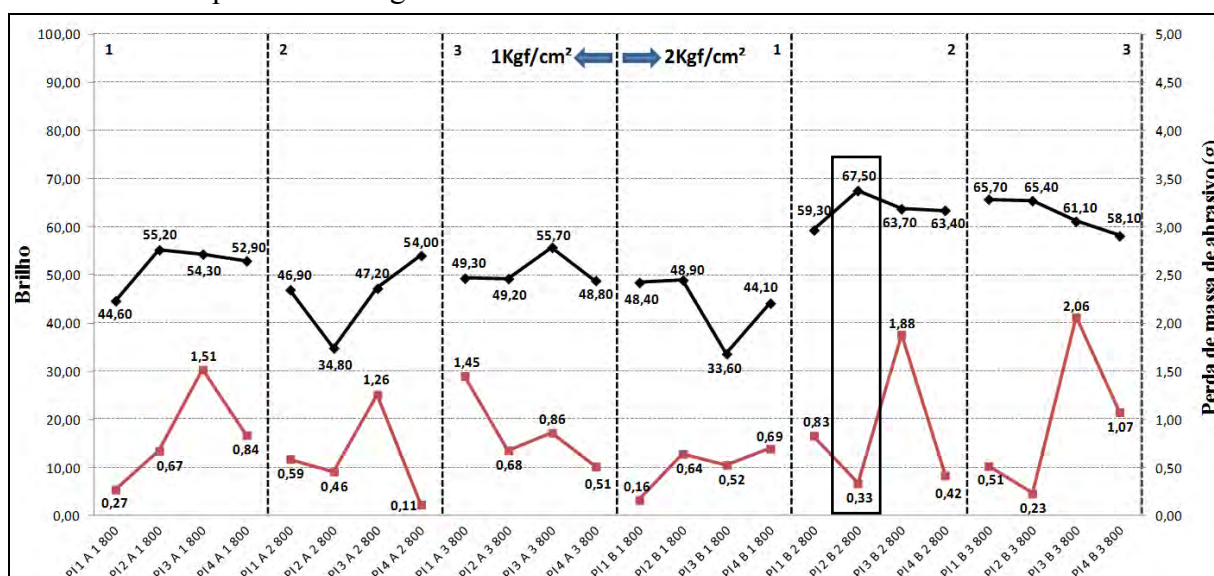
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 800 mesh no polimento do gnaisse Preto Indiano encontram-se listados no Quadro 20 e graficamente representados na Figura 80.

Quadro 20: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 800 *mesh* no polimento do Preto Indiano.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
PI 1 A 1800	44,60	10,40	0,27	0,21	165,19
PI 2 A 1800	55,20	4,10	0,67	0,36	82,39
PI 3 A 1800	54,30	5,10	1,51	1,02	35,96
PI 4 A 1800	52,90	4,70	0,84	0,84	62,98
PI 1 A 2800	46,90	4,70	0,59	0,21	79,49
PI 2 A 2800	34,80	7,60	0,46	0,73	75,65
PI 3 A 2800	47,20	8,80	1,26	0,22	37,46
PI 4 A 2800	54,00	6,90	0,11	0,12	490,91
PI 1 A 3800	49,30	3,60	1,45	0,93	34,00
PI 2 A 3800	49,20	8,50	0,68	0,13	72,35
PI 3 A 3800	55,70	7,70	0,86	0,42	64,77
PI 4 A 3800	48,80	12,70	0,51	0,26	95,69
PI 1 B 1800	48,40	7,60	0,16	0,10	302,50
PI 2 B 1800	48,90	12,00	0,64	0,26	76,41
PI 3 B 1800	33,60	6,10	0,52	0,16	64,62
PI 4 B 1800	44,10	4,20	0,69	0,29	63,91
PI 1 B 2800	59,30	5,70	0,83	0,24	71,45
PI 2 B 2800	67,50	3,30	0,33	0,28	204,55
PI 3 B 2800	63,70	2,30	1,88	0,49	33,88
PI 4 B 2800	63,40	3,10	0,42	0,24	150,95
PI 1 B 3800	65,70	2,30	0,51	0,36	128,82
PI 2 B 3800	65,40	3,90	0,23	0,19	284,35
PI 3 B 3800	61,10	7,50	2,06	0,44	29,66
PI 4 B 3800	58,10	6,40	1,07	0,36	54,30

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 80. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaise Preto Indiano utilizando abrasivo 800 *mesh*.



Legenda: —■— Perda de massa de abrasivo (g); —▲— Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. Fonte: Elaborada pelo autor.

O gráfico mostra que o brilho máximo (67,50) foi obtido na situação 2B2, onde o baixo consumo de abrasivo (0,33g) também contribuiu para o índice de eficiência de polimento 204,55lux/g.

Utilizando pressão de 2kgf/cm² e a exposição ao processo mais severa (3) foi possível observar que houve diminuição do brilho na medida que aumentou a velocidade de rotação de satélite, no entanto o consumo de abrasivo não mostrou relação direta com a obtenção do brilho.

4.3.16. Verde Labrador (Abrasivo 1200 *mesh*)

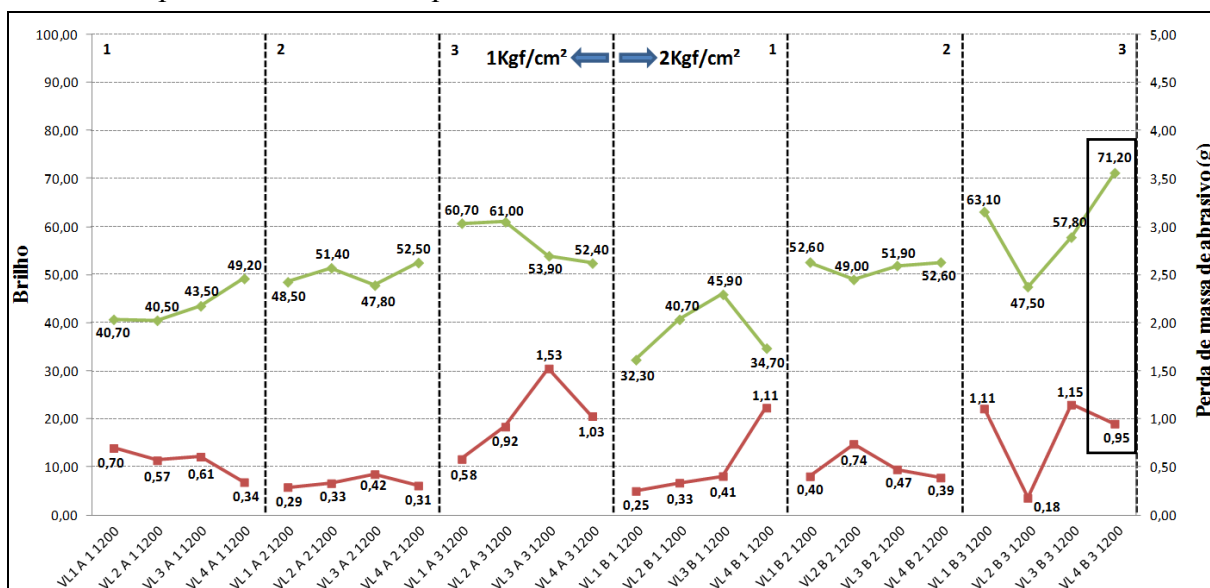
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 1200 *mesh* no polimento do charnoquito Verde Labrador encontram-se listados no Quadro 21 e graficamente representados na Figura 81.

Quadro 21: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 1200 *mesh* no polimento do Verde Labrador.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
VL 1 A 1 1200	40,70	7,00	0,70	0,40	58,14
VL 2 A 1 1200	40,50	7,70	0,57	0,37	71,05
VL 3 A 1 1200	43,50	10,10	0,61	0,31	71,31
VL 4 A 1 1200	49,20	7,10	0,34	0,21	144,71
VL 1 A 2 1200	48,50	6,30	0,29	0,20	167,24
VL 2 A 2 1200	51,40	17,30	0,33	0,24	155,76
VL 3 A 2 1200	47,80	4,50	0,42	0,39	113,81
VL 4 A 2 1200	52,50	6,70	0,31	0,24	169,35
VL 1 A 3 1200	60,70	8,40	0,58	0,35	104,66
VL 2 A 3 1200	61,00	9,30	0,92	0,38	66,30
VL 3 A 3 1200	53,90	11,60	1,53	0,37	35,23
VL 4 A 3 1200	52,40	10,80	1,03	0,32	50,87
VL 1 B 1 1200	32,30	6,30	0,25	0,30	129,20
VL 2 B 1 1200	40,70	7,80	0,33	0,29	123,33
VL 3 B 1 1200	45,90	5,40	0,41	0,36	111,95
VL 4 B 1 1200	34,70	5,60	1,11	0,30	31,26
VL 1 B 2 1200	52,60	8,20	0,40	0,22	131,50
VL 2 B 2 1200	49,00	7,40	0,74	0,30	66,22
VL 3 B 2 1200	51,90	9,10	0,47	0,45	110,43
VL 4 B 2 1200	52,60	5,30	0,39	0,27	134,87
VL 1 B 3 1200	63,10	11,10	1,11	0,32	56,85
VL 2 B 3 1200	47,50	8,60	0,18	0,15	263,89
VL 3 B 3 1200	57,80	7,90	1,15	0,96	50,26
VL 4 B 3 1200	71,20	7,40	0,95	0,20	74,95

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 81. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo 1200 mesh.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g); — Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A situação que exibiu o maior brilho utilizando abrasivo 1200 mesh no polimento do Verde Labrador foi à condição mais severa de desgaste (4B3), no qual apresentou brilho equivalente a 71,20 com desgaste abrasivo de 0,95g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 74,95lux/g.

4.3.17. Cinza Castelo (Abrasivo 1200 mesh)

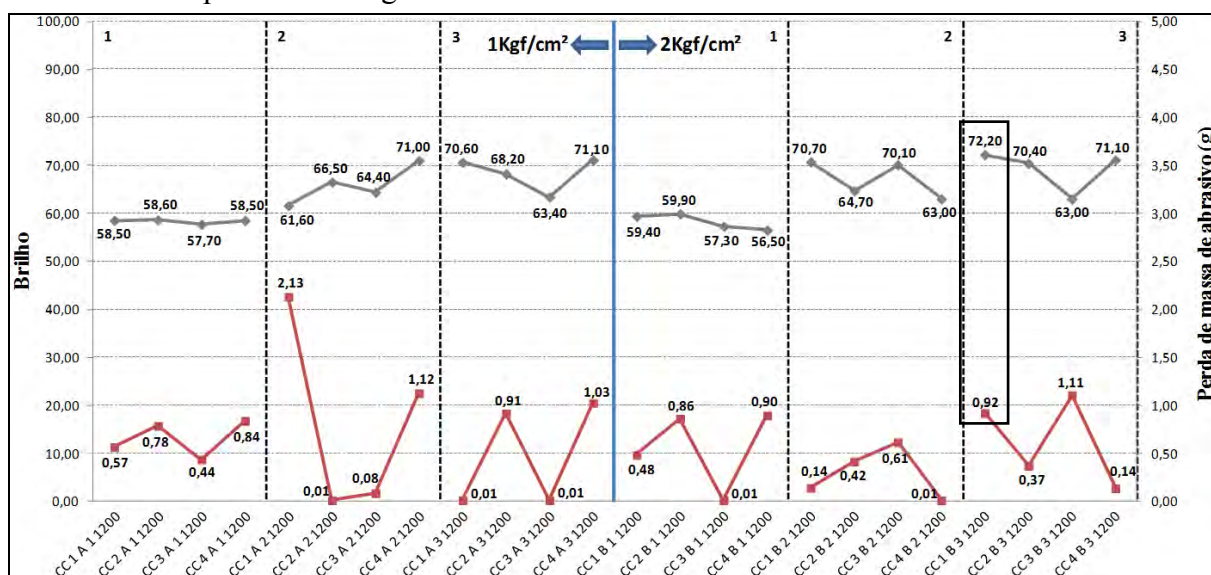
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 1200 mesh no polimento do granito Cinza Castelo encontram-se listados no Quadro 22 e graficamente representados na Figura 82.

Quadro 22: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 1200 *mesh* no polimento do Cinza Castelo.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
CC 1 A 1 1200	58,50	4,20	0,57	0,15	102,63
CC 2 A 1 1200	58,60	11,70	0,78	0,10	75,13
CC 3 A 1 1200	57,70	4,60	0,44	0,10	131,14
CC 4 A 1 1200	58,50	13,40	0,84	0,16	69,64
CC 1 A 2 1200	61,60	7,50	2,13	2,84	28,92
CC 2 A 2 1200	66,50	4,80	0,01	-	6650,00
CC 3 A 2 1200	64,40	9,30	0,08	0,05	805,00
CC 4 A 2 1200	71,00	5,70	1,12	0,24	63,39
CC 1 A 3 1200	70,60	2,20	0,01	-	7060,00
CC 2 A 3 1200	68,20	3,00	0,91	0,20	74,95
CC 3 A 3 1200	63,40	14,90	0,01	-	6340,00
CC 4 A 3 1200	71,10	6,40	1,03	0,22	69,03
CC 1 B 1 1200	59,40	3,40	0,48	0,14	123,75
CC 2 B 1 1200	59,90	5,90	0,86	0,09	69,65
CC 3 B 1 1200	57,30	9,10	0,01	-	5730,00
CC 4 B 1 1200	56,50	7,00	0,90	0,06	62,78
CC 1 B 2 1200	70,70	4,30	0,14	0,14	505,00
CC 2 B 2 1200	64,70	12,90	0,42	0,17	154,05
CC 3 B 2 1200	70,10	3,30	0,61	0,10	114,92
CC 4 B 2 1200	63,00	7,10	0,01	-	6300,00
CC 1 B 3 1200	72,20	4,40	0,92	0,21	78,48
CC 2 B 3 1200	70,40	7,30	0,37	0,13	190,27
CC 3 B 3 1200	63,00	10,00	1,11	0,13	56,76
CC 4 B 3 1200	71,10	11,90	0,14	0,04	507,86

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 82. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo 1200 *mesh*.



Legenda: ■ Perda de massa de abrasivo (g); ▲ Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. Fonte: Elaborada pelo autor.

Utilizando a granulometria de abrasivo 1200 *mesh*, a situação 1B3 apresentou o maior brilho (72,20) com desgaste abrasivo de 0,92g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 78,48lux/g.

4.3.18. Preto Indiano (Abrasivo 1200 *mesh*)

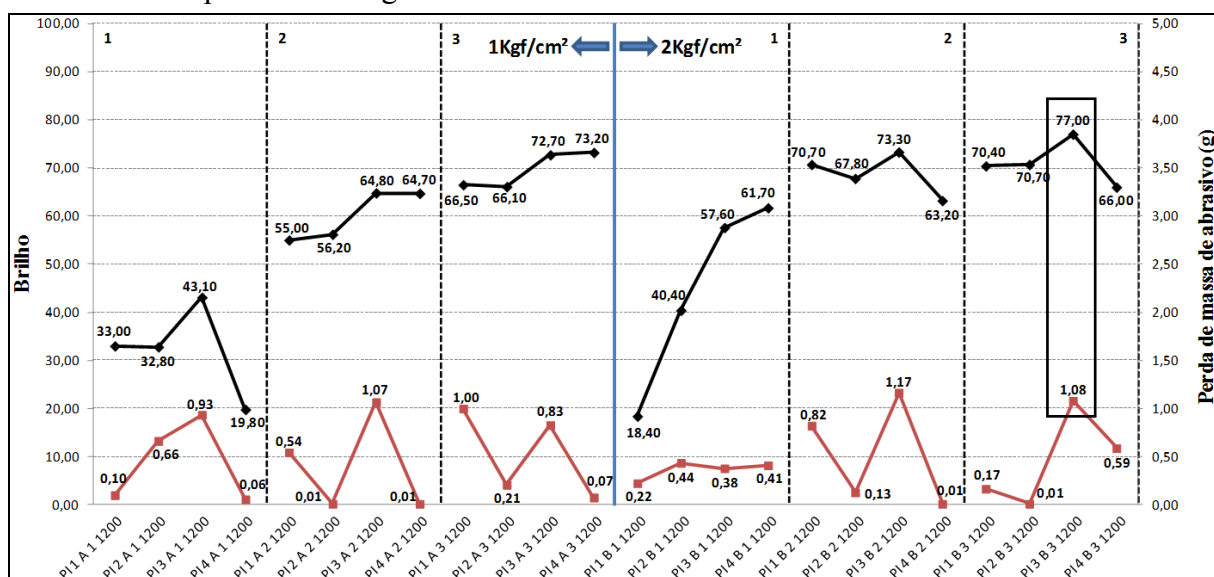
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo 1200 *mesh* no polimento do gnaiss Preto Indiano encontram-se listados no Quadro 23 e graficamente representados na Figura 83.

Quadro 23: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 1200 *mesh* no polimento do Preto Indiano.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
PI 1 A 1 1200	33,00	5,30	0,10	0,10	330,00
PI 2 A 1 1200	32,80	3,80	0,66	0,15	49,70
PI 3 A 1 1200	43,10	6,30	0,93	0,20	46,34
PI 4 A 1 1200	19,80	6,30	0,06	0,05	330,00
PI 1 A 2 1200	55,00	6,40	0,54	0,16	101,85
PI 2 A 2 1200	56,20	8,20	0,01	-	5620,00
PI 3 A 2 1200	64,80	4,70	1,07	0,16	60,56
PI 4 A 2 1200	64,70	7,90	0,01	-	6470,00
PI 1 A 3 1200	66,50	8,80	1,00	0,21	66,50
PI 2 A 3 1200	66,10	3,00	0,21	0,08	314,76
PI 3 A 3 1200	72,70	12,60	0,83	0,05	87,59
PI 4 A 3 1200	73,20	7,40	0,07	0,02	1045,71
PI 1 B 1 1200	18,40	3,30	0,22	0,11	83,64
PI 2 B 1 1200	40,40	12,00	0,44	0,17	91,82
PI 3 B 1 1200	57,60	6,70	0,38	0,04	151,58
PI 4 B 1 1200	61,70	2,80	0,41	0,15	150,49
PI 1 B 2 1200	70,70	4,00	0,82	0,23	86,22
PI 2 B 2 1200	67,80	3,90	0,13	0,15	521,54
PI 3 B 2 1200	73,30	3,70	1,17	0,11	62,65
PI 4 B 2 1200	63,20	6,10	0,01	-	6320,00
PI 1 B 3 1200	70,40	7,80	0,17	0,02	414,12
PI 2 B 3 1200	70,70	3,10	0,01	-	7070,00
PI 3 B 3 1200	77,00	2,20	1,08	0,34	71,30
PI 4 B 3 1200	66,00	9,10	0,59	0,09	111,86

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 83. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaisse Preto Indiano utilizando abrasivo 1200 *mesh*.



Legenda: —■— Perda de massa de abrasivo (g); —▲— Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Utilizando abrasivos 1200 *mesh* para o gnaisse Preto Indiano a situação 3B3 apresentou o maior brilho (77,00) com desgaste abrasivo de 1,08g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 71,30lux/g.

4.3.19. Verde Labrador (Abrasivo lustro)

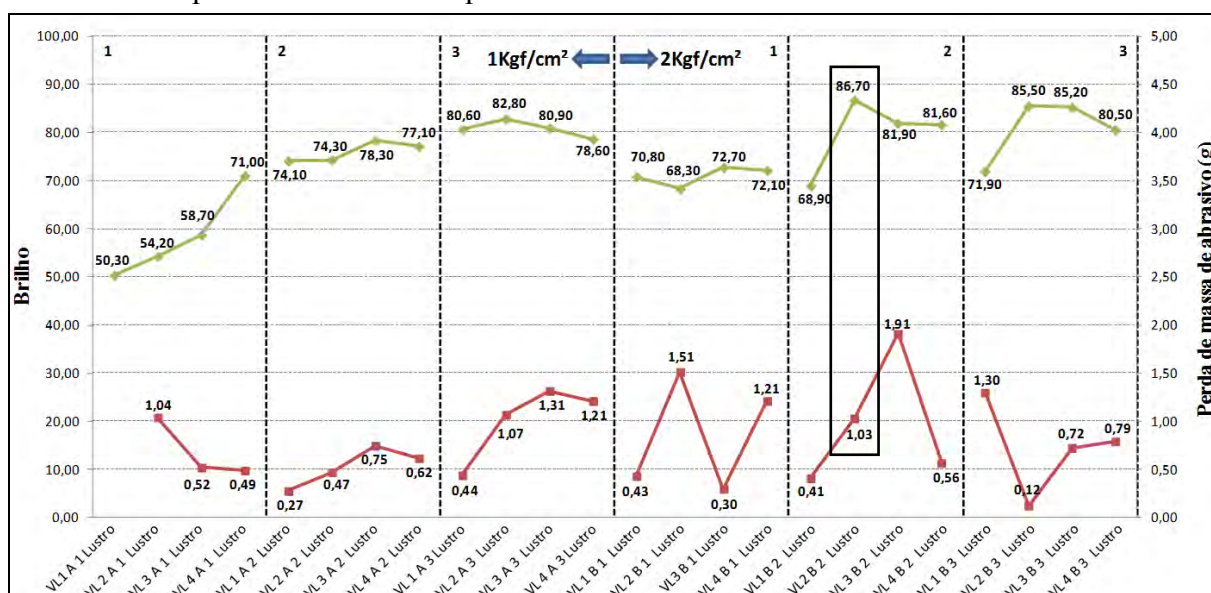
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo lustro no polimento do charnoquito Verde Labrador encontram-se listados no Quadro 24 e graficamente representados na Figura 84.

Quadro 24: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo lustro no polimento do Verde Labrador.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
VL 1 A 1 Lustro	50,30	8,10	3,57	0,56	14,09
VL 2 A 1 Lustro	54,20	6,10	1,04	0,52	52,12
VL 3 A 1 Lustro	58,70	6,30	0,52	0,55	112,88
VL 4 A 1 Lustro	71,00	4,30	0,49	0,45	144,90
VL 1 A 2 Lustro	74,10	4,30	0,27	0,16	274,44
VL 2 A 2 Lustro	74,30	12,70	0,47	0,37	158,09
VL 3 A 2 Lustro	78,30	16,60	0,75	0,32	104,40
VL 4 A 2 Lustro	77,10	8,40	0,62	0,35	124,35
VL 1 A 3 Lustro	80,60	3,10	0,44	0,39	183,18
VL 2 A 3 Lustro	82,80	3,20	1,07	0,21	77,38
VL 3 A 3 Lustro	80,90	9,90	1,31	0,38	61,76
VL 4 A 3 Lustro	78,60	10,20	1,21	0,32	64,96
VL 1 B 1 Lustro	70,80	3,70	0,43	0,45	164,65
VL 2 B 1 Lustro	68,30	4,30	1,51	0,33	45,23
VL 3 B 1 Lustro	72,70	7,10	0,30	0,43	242,33
VL 4 B 1 Lustro	72,10	5,30	1,21	0,37	59,59
VL 1 B 2 Lustro	68,90	17,70	0,41	0,17	168,05
VL 2 B 2 Lustro	86,70	2,50	1,03	0,19	84,17
VL 3 B 2 Lustro	81,90	9,90	1,91	0,58	42,88
VL 4 B 2 Lustro	81,60	6,90	0,56	0,24	145,71
VL 1 B 3 Lustro	71,90	23,50	1,30	0,14	55,31
VL 2 B 3 Lustro	85,50	6,90	0,12	0,04	712,50
VL 3 B 3 Lustro	85,20	6,50	0,72	0,17	118,33
VL 4 B 3 Lustro	80,50	13,20	0,79	0,17	101,90

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 84. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do charnoquito Verde Labrador utilizando abrasivo lustro.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g); — Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. Fonte: Elaborada pelo autor.

O abrasivo lustro mostrou o melhor resultado de brilho (86,70) na situação 2B2, com desgaste de abrasivo equivalente a 1,03g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 84,17lux/g.

4.3.20. Cinza Castelo (Abrasivo lustro)

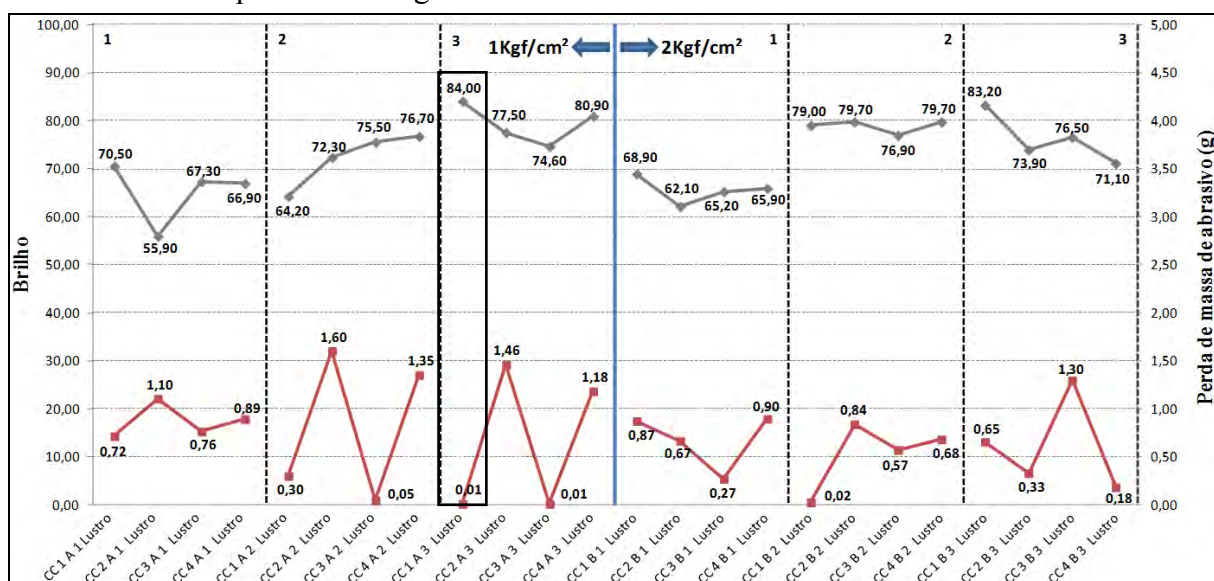
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo lustro no polimento do granito Cinza Castelo encontram-se listados no Quadro 25 e graficamente representados na Figura 85.

Quadro 25: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo lustro no polimento do Cinza Castelo.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
CC 1 A 1 Lustro	70,50	3,90	0,72	0,49	97,92
CC 2 A 1 Lustro	55,90	13,70	1,10	0,10	50,82
CC 3 A 1 Lustro	67,30	6,80	0,76	0,08	88,55
CC 4 A 1 Lustro	66,90	9,90	0,89	0,22	75,17
CC 1 A 2 Lustro	64,20	15,40	0,30	0,14	214,00
CC 2 A 2 Lustro	72,30	7,30	1,60	0,25	45,19
CC 3 A 2 Lustro	75,50	7,50	0,05	0,04	1510,00
CC 4 A 2 Lustro	76,70	6,00	1,35	0,12	56,81
CC 1 A 3 Lustro	84,00	2,80	0,01	-	8400,00
CC 2 A 3 Lustro	77,50	2,90	1,46	0,32	53,08
CC 3 A 3 Lustro	74,60	7,80	0,01	-	7460,00
CC 4 A 3 Lustro	80,90	2,40	1,18	0,19	68,56
CC 1 B 1 Lustro	68,90	6,40	0,87	0,19	79,20
CC 2 B 1 Lustro	62,10	18,00	0,67	0,12	92,69
CC 3 B 1 Lustro	65,20	11,90	0,27	0,16	241,48
CC 4 B 1 Lustro	65,90	11,50	0,90	0,11	73,22
CC 1 B 2 Lustro	79,00	8,80	0,02	0,01	3950,00
CC 2 B 2 Lustro	79,70	9,40	0,84	0,21	94,88
CC 3 B 2 Lustro	76,90	6,50	0,57	0,09	134,91
CC 4 B 2 Lustro	79,70	6,50	0,68	0,12	117,21
CC 1 B 3 Lustro	83,20	10,60	0,65	0,15	128,00
CC 2 B 3 Lustro	73,90	7,40	0,33	0,07	223,94
CC 3 B 3 Lustro	76,50	15,50	1,30	0,17	58,85
CC 4 B 3 Lustro	71,10	3,30	0,18	0,09	395,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 85. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do granito Cinza Castelo utilizando abrasivo lustro.



Legenda: —■— Perda de massa de abrasivo (g); —◆— Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Nos testes de polimento do granito Cinza Castelo o abrasivo lustro proporcionou o maior brilho (84), com desgaste de abrasivo de 0,01g de quando exposto a situação 1A3. Nesta combinação obteve um alto índice de eficiência de polimento (8400g/lux).

4.3.21. Preto Indiano (Abrasivo lustro)

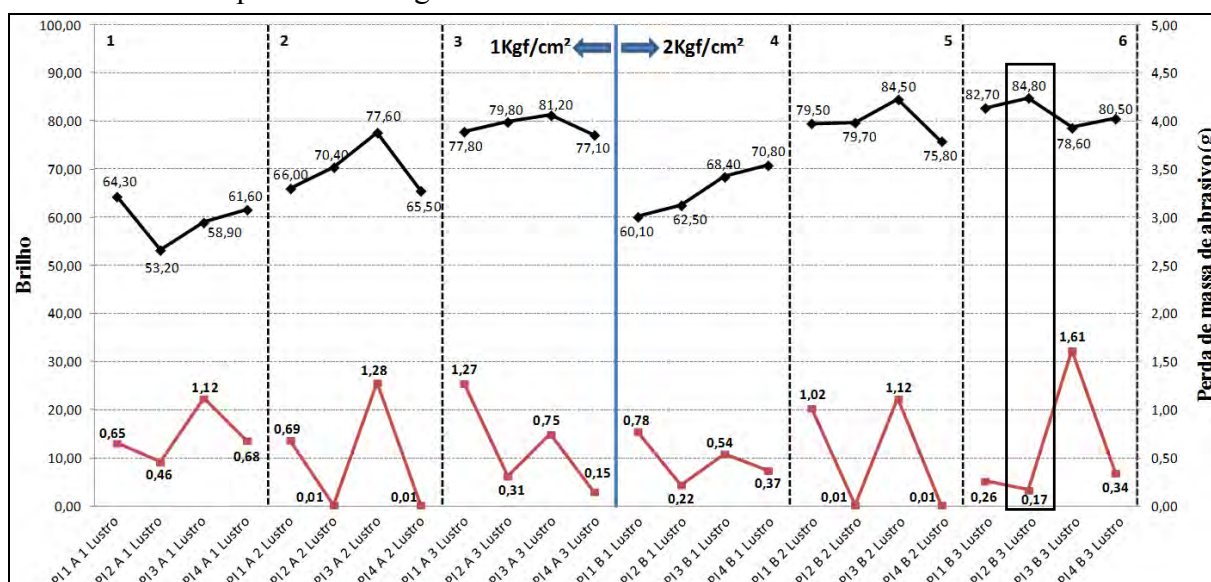
Os resultados de brilho, perda de massa de abrasivos e o índice de eficiência de polimento correspondente às solicitações testadas utilizando abrasivo lustro no polimento do gnaisse Preto Indiano encontram-se listados no Quadro 26 e graficamente representados na Figura 86.

Quadro 26: Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo lustro no polimento do Preto Indiano.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
PI 1 A 1 Lustro	64,30	4,60	0,65	0,18	98,92
PI 2 A 1 Lustro	53,20	6,90	0,46	0,19	115,65
PI 3 A 1 Lustro	58,90	6,30	1,12	0,14	52,59
PI 4 A 1 Lustro	61,60	4,20	0,68	0,11	90,59
PI 1 A 2 Lustro	66,00	10,10	0,69	0,21	95,65
PI 2 A 2 Lustro	70,40	9,40	0,01	-	7040,00
PI 3 A 2 Lustro	77,60	3,30	1,28	0,07	60,63
PI 4 A 2 Lustro	65,50	9,20	0,01	-	6550,00
PI 1 A 3 Lustro	77,80	8,60	1,27	0,27	61,26
PI 2 A 3 Lustro	79,80	5,20	0,31	0,13	257,42
PI 3 A 3 Lustro	81,20	3,20	0,75	0,14	108,27
PI 4 A 3 Lustro	77,10	4,90	0,15	0,06	514,00
PI 1 B 1 Lustro	60,10	6,40	0,78	0,10	77,05
PI 2 B 1 Lustro	62,50	12,10	0,22	0,12	284,09
PI 3 B 1 Lustro	68,40	5,50	0,54	0,20	126,67
PI 4 B 1 Lustro	70,80	2,90	0,37	0,21	191,35
PI 1 B 2 Lustro	79,50	3,00	1,02	0,19	77,94
PI 2 B 2 Lustro	79,70	3,50	0,01	-	7970,00
PI 3 B 2 Lustro	84,50	3,40	1,12	0,17	75,45
PI 4 B 2 Lustro	75,80	2,40	0,01	-	7580,00
PI 1 B 3 Lustro	82,70	5,70	0,26	0,10	318,08
PI 2 B 3 Lustro	84,80	2,40	0,17	0,05	498,82
PI 3 B 3 Lustro	78,60	9,70	1,61	0,15	48,82
PI 4 B 3 Lustro	80,50	4,00	0,34	0,07	235,61

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 86. Correlação entre o brilho e o desgaste abrasivo equivalente às situações testadas no polimento do gnaíse Preto Indiano utilizando abrasivo lustro.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g); — Brilho;

□ Melhor brilho e a perda de massa de abrasivo referente a esta solicitação. Fonte: Elaborada pelo autor.

A situação correspondente ao maior brilho (84,80) utilizando abrasivo lustro no polimento do gnaisse Preto Indiano foi a 2B3, apresentando desgaste abrasivo de 0,17g, correspondendo ao índice de eficiência de polimento 498,82lux/g.

4.4. Síntese dos Resultados Tribológicos de Polimento

O Quadro 27 apresenta uma síntese dos resultados tribológicos de polimento expostos acima. A finalidade é permitir uma análise macro e sistêmica dos dados.

Quadro 27. Síntese dos resultados tribológicos de polimento.

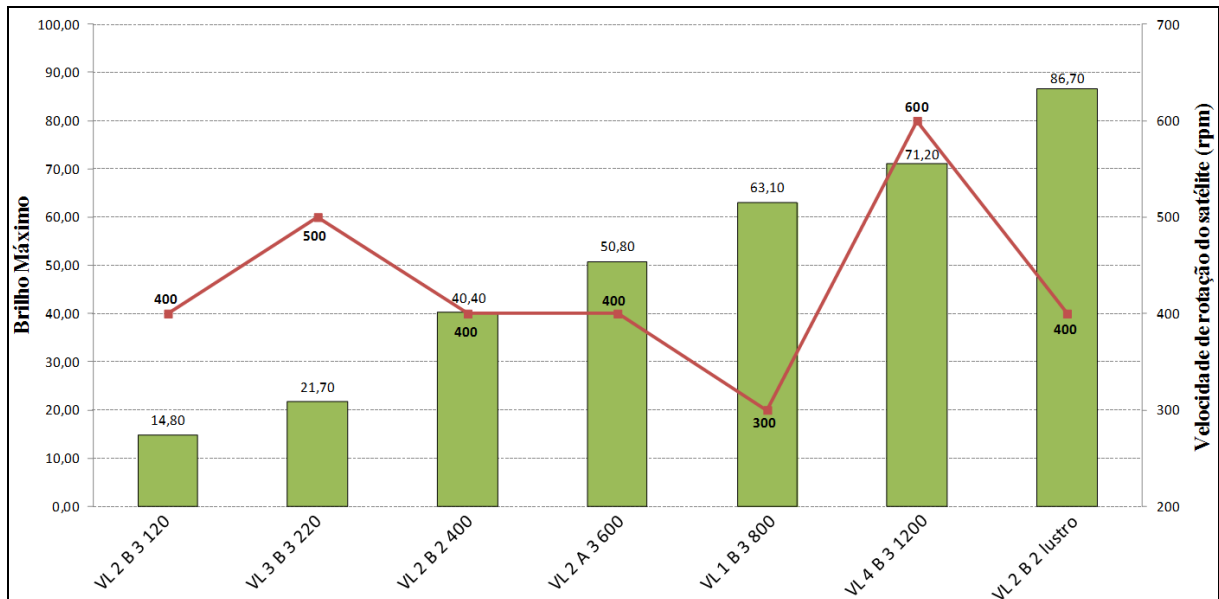
ABRASIVO (mesh)	ROCHA	VELOC. DE ROTAÇÃO DO SATÉLITE (rpm)	PRESSÃO DE CARREG. DO SATÉLITE (kgf/cm ²)	EXPOSIÇÃO DO SATÉLITE SOBRE A CHAPA	MAIOR BRILHO (lux)	PERDA DE MASSA DE ABRASIVOS (g)	ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
120	VL	400	2	3	14,80	2,68	5,52
	CC	400	2	2	11,00	2,24	4,91
220	PI	300	2	3	18,40	1,56	11,79
	VL	500	2	3	21,70	2,36	9,19
	CC	600	2	3	18,90	3,17	5,96
	PI	400	2	3	23,30	1,60	14,56
400	VL	400	2	2	40,40	2,47	16,36
	CC	500	2	3	35,10	3,56	9,86
	PI	300	2	3	40,10	2,44	16,43
	VL	400	1	3	50,80	1,40	36,29
600	CC	600	2	3	58,80	1,44	40,83
	PI	500	2	2	54,40	2,68	20,30
	VL	300	2	3	63,10	1,45	43,52
	CC	400	2	3	65,60	0,81	80,99
800	PI	400	2	2	67,50	0,33	204,55
	VL	600	2	3	71,20	0,95	74,95
	CC	300	2	3	72,20	0,92	78,48
	PI	500	2	3	77,00	1,08	71,30
LUSTRO	VL	400	2	2	86,70	1,03	84,17
	CC	300	1	3	84,00	0,01	8400,00
	PI	400	2	3	84,80	0,17	498,82

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com intuito de facilitar a interpretação dos resultados apresentados no Quadro 27, serão apresentados gráficos conjugando os melhores brilhos com as variáveis estudadas.

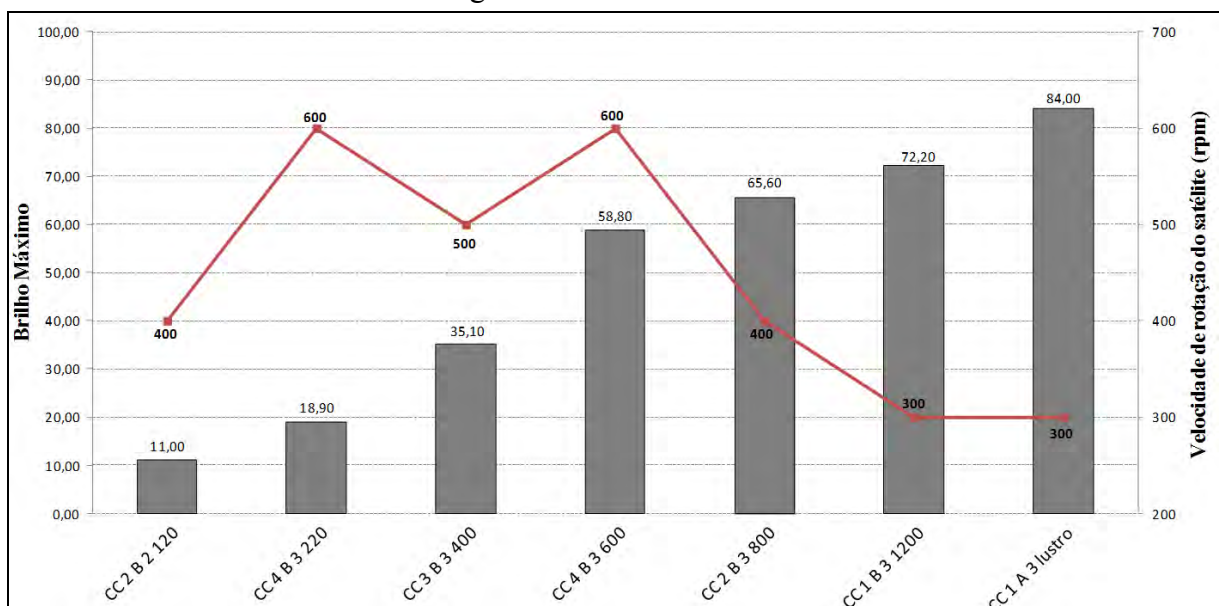
As Figuras 87, 88 e 89 mostram a correlação dos melhores brilhos obtidos com a velocidade de rotação de satélite (rpm).

Figura 87. Correlação dos melhores brilhos com a velocidade de rotação de satélite no charnoquito Verde Labrador.



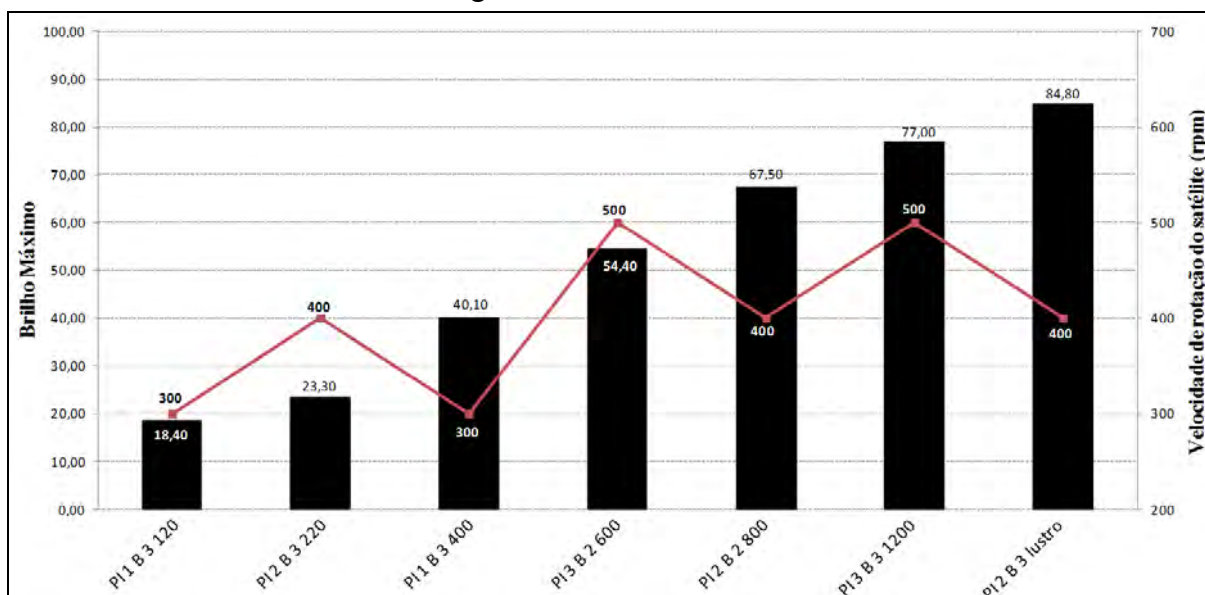
Legenda: — Velocidade de rotação do satélite (rpm). **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 88. Correlação dos melhores brilhos com a velocidade de rotação de satélite no granito Cinza Castelo.



Legenda: — Velocidade de rotação do satélite (rpm). **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 89. Correlação dos melhores brilhos com a velocidade de rotação de satélite no gnaisse Preto Indiano.

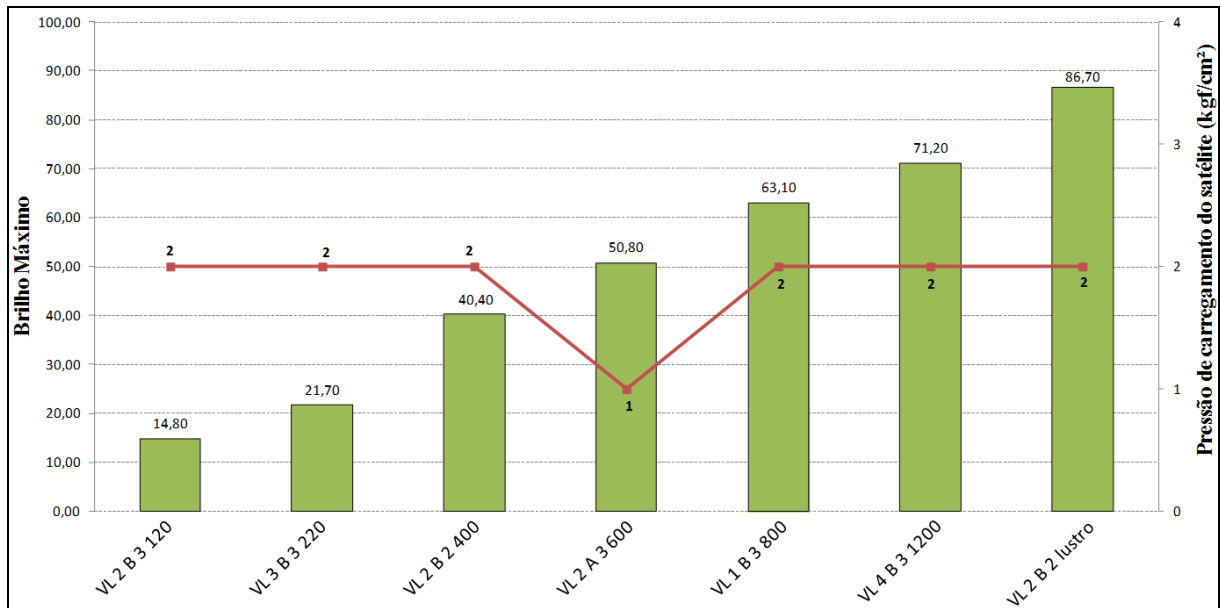


Legenda: — Velocidade de rotação do satélite (rpm). **Fonte:** Elaborada pelo autor.

É possível notar que o aumento da velocidade com que os abrasivos passam pela superfície da chapa não implica no acréscimo de brilho, no geral a velocidade de rotação de satélite média/baixa (400/300rpm) na maior parte dos casos se mostrou mais eficiente na obtenção dos melhores resultados de brilho para as três rochas estudadas.

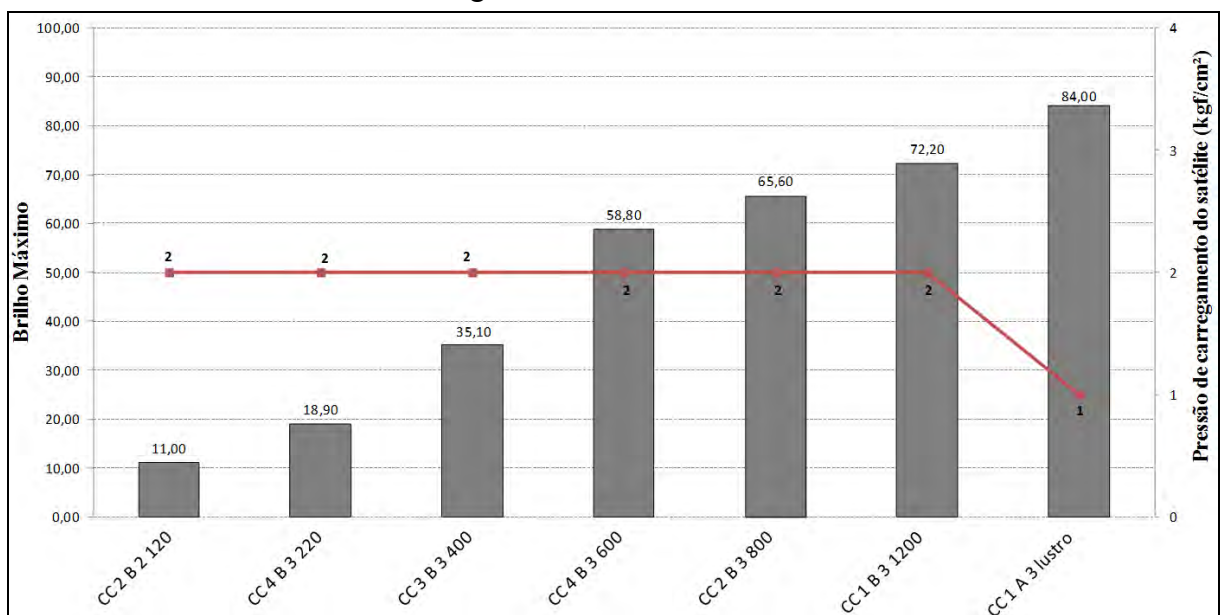
As Figuras 90, 91 e 92 exibem a correlação dos melhores brilhos obtidos com a pressão de carregamento do satélite (kgf/cm).

Figura 90. Correlação dos melhores brilhos com a pressão de carregamento do satélite no charnoquito Verde Labrador.



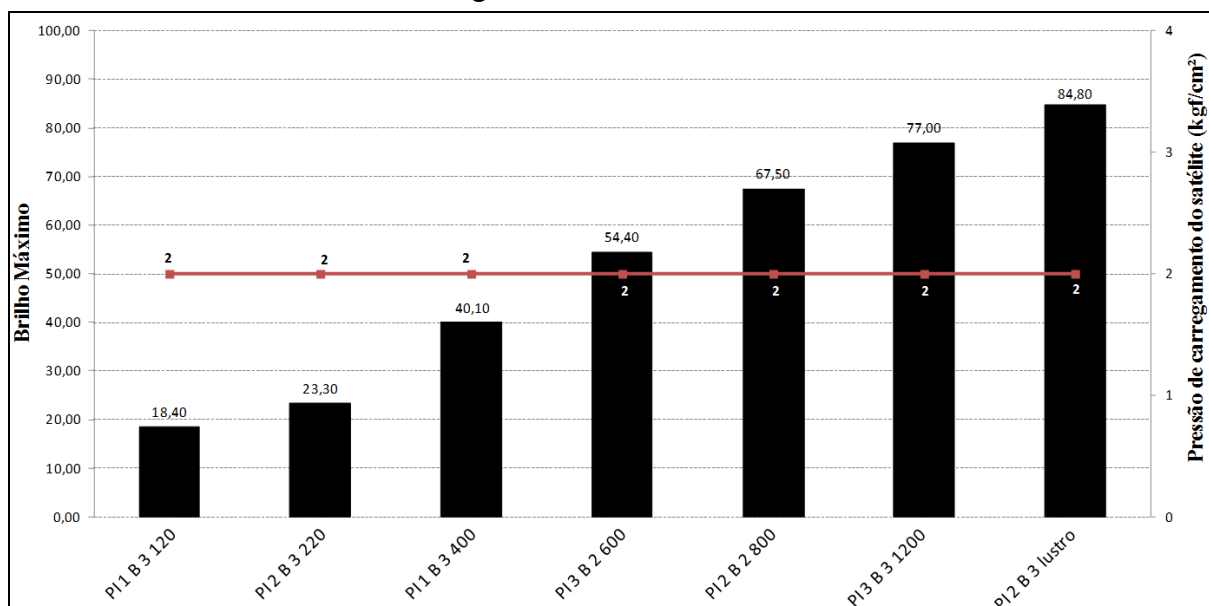
Legenda: —■— Pressão de carregamento do satélite (kgf/cm²). **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 91. Correlação dos melhores brilhos com a pressão de carregamento do satélite no granito Cinza Castelo.



Legenda: —■— Pressão de carregamento do satélite (kgf/cm²). **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 92. Correlação dos melhores brilhos com a pressão de carregamento do satélite no gnaisse Preto Indiano.

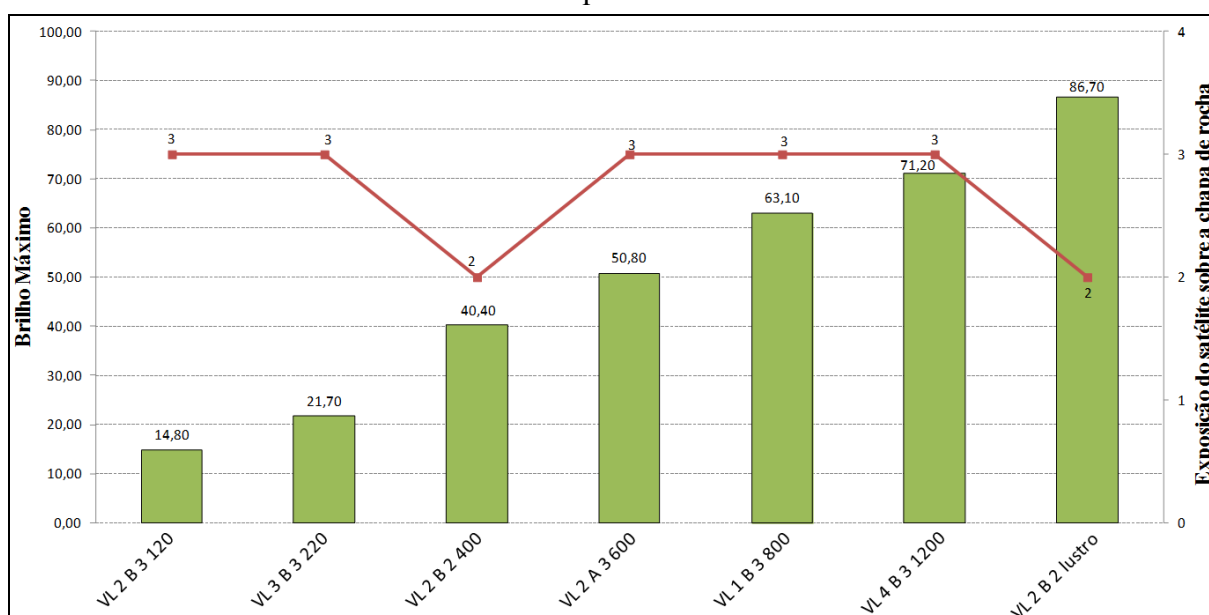


Legenda: —■— Pressão de carregamento do satélite (kgf/cm²). **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Foi possível observar que os maiores valores de brilho foram alcançados quando foi utilizada a maior pressão de carregamento do satélite (2kgf/cm²), com exceção a situação usando abrasivo 600 *mesh* no material Verde Labrador e o lustro no Cinza Castelo.

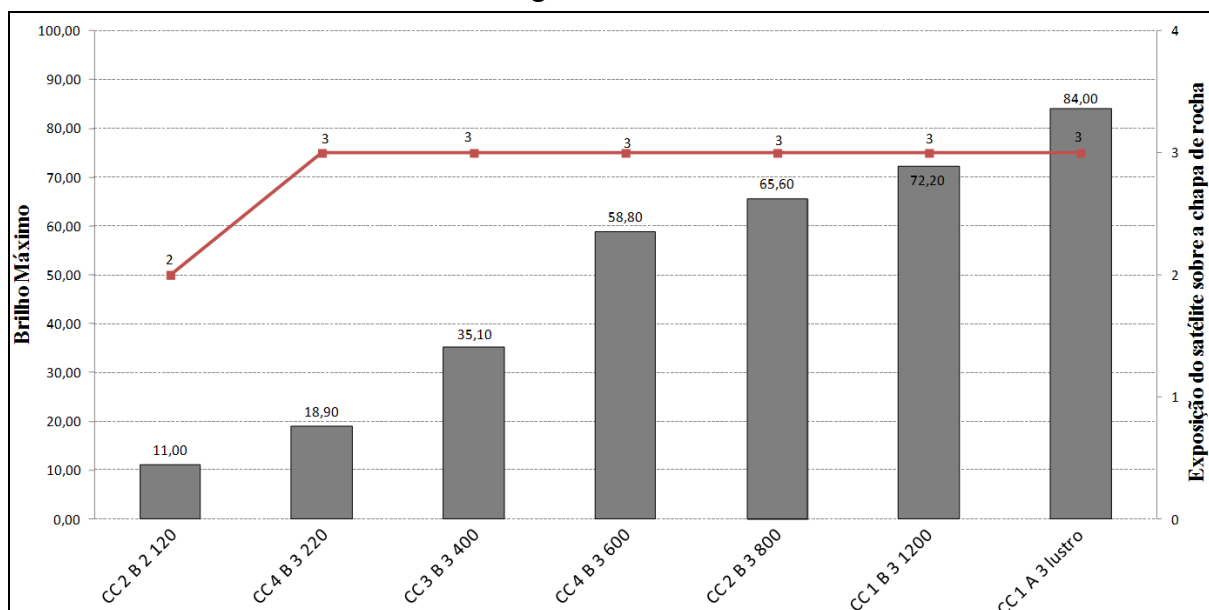
As Figuras 93, 94 e 95 exibem a correlação dos melhores brilhos obtidos com a exposição do satélite sobre a chapa de rocha.

Figura 93. Correlação dos melhores brilhos com a exposição do satélite sobre a chapa de rocha do charnoquito Verde Labrador.



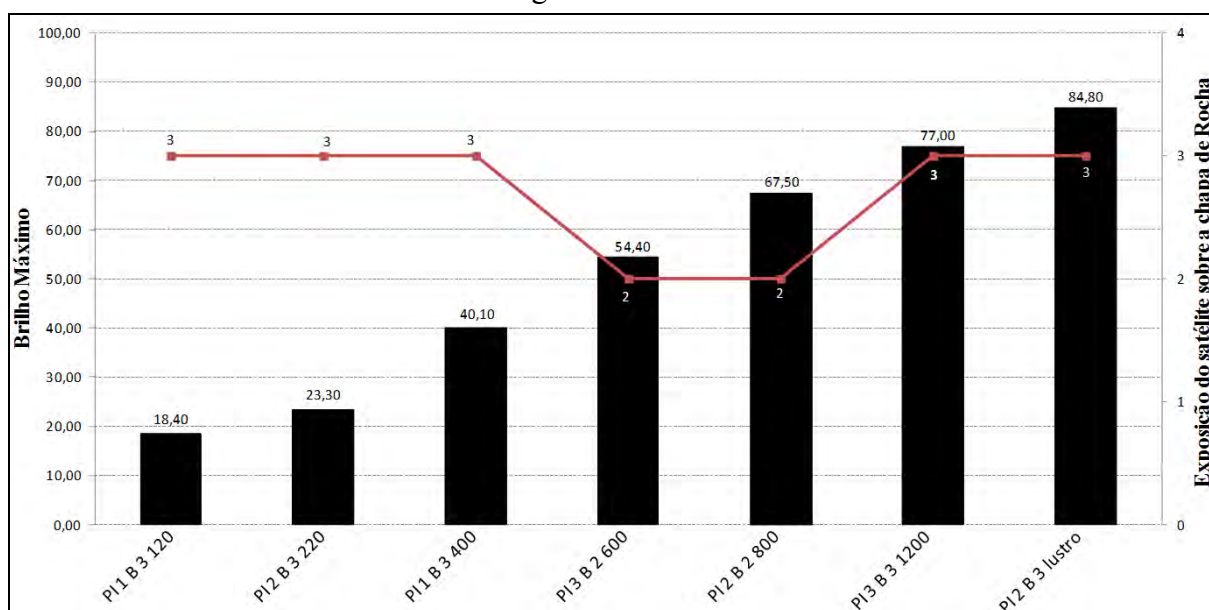
Legenda: —■— Exposição do satélite sobre a chapa de rocha. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 94. Correlação dos melhores brilhos com a exposição do satélite sobre a chapa de rocha do granito Cinza Castelo.



Legenda: —■ Exposição do satélite sobre a chapa de rocha. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 95. Correlação dos melhores brilhos com a exposição do satélite sobre a chapa de rocha do gnaiss Preto Indiano.

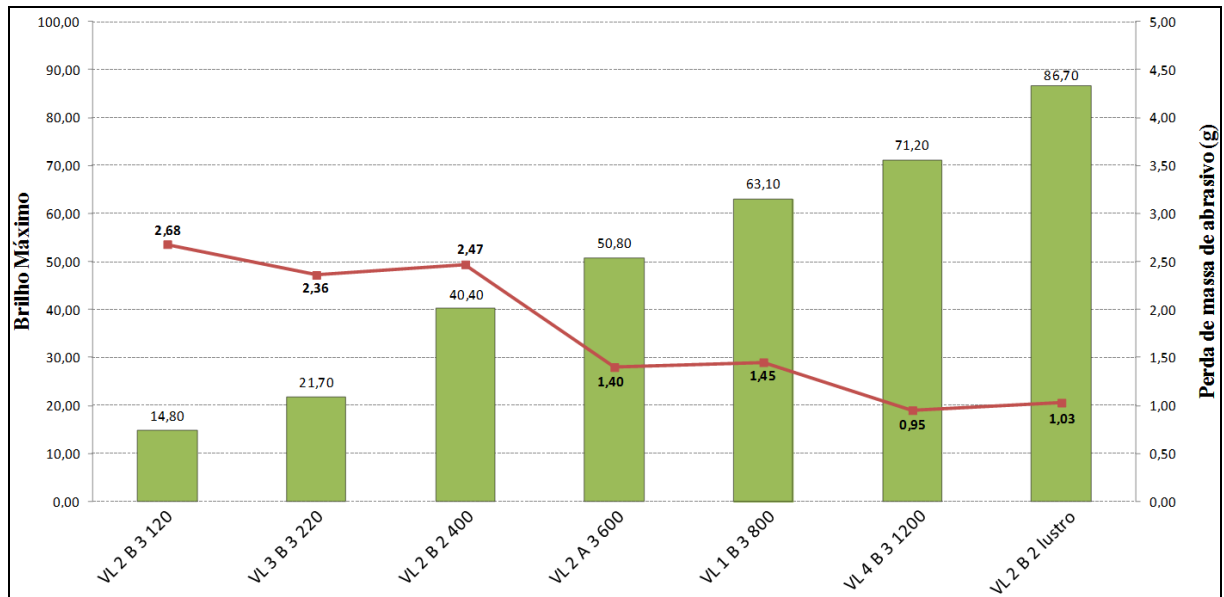


Legenda: —■ Exposição do satélite sobre a chapa de rocha. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Notou-se também que em geral os maiores valores de brilho foram alcançados quando submetido à exposição máxima ao processo testada (3), garantindo assim maior capacidade de desbaste, planificação e fechamento dos poros na da superfície das rochas estudadas.

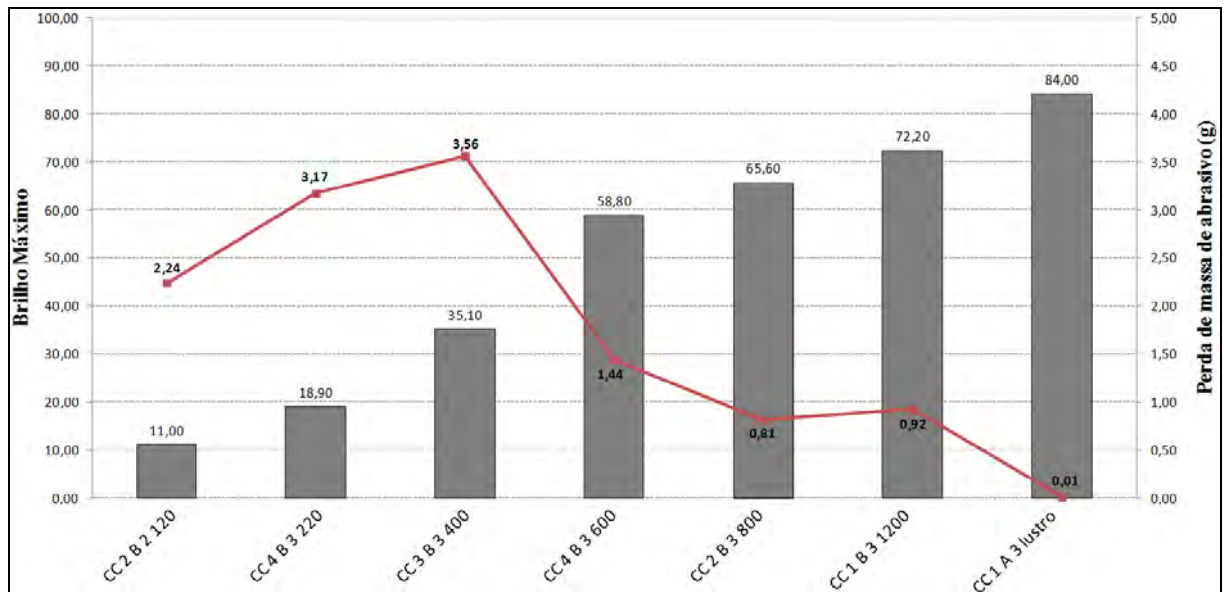
As Figuras 96, 97 e 98 mostram a correlação dos melhores brilhos com a perda de massa de abrasivos(g).

Figura 96. Correlação dos melhores brilhos com a perda de massa de abrasivo no charnoquito Verde Labrador.



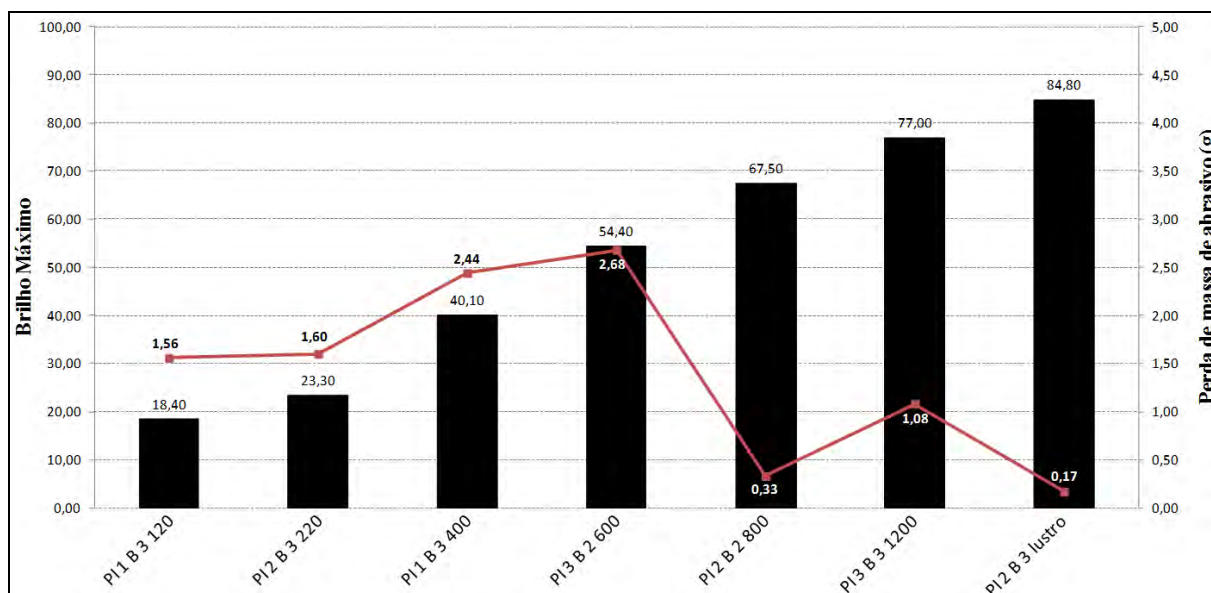
Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g). **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 97. Correlação dos melhores brilhos com a perda de massa de abrasivo no granito Cinza Castelo.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g). **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 98. Correlação dos melhores brilhos com a perda de massa de abrasivo no gnaiss Preto Indiano.



Legenda: — Perda de massa de abrasivo (g). **Fonte:** Elaborada pelo autor.

A perda de massa de abrasivos é tendenciosamente decrescente (24 *mesh* ao lustro), pois à medida que reduz a rugosidade superficial da chapa e a granulometria do elemento abrasivo, diminui o desgaste do rebolo abrasivo. É possível notar o maior desgaste de abrasivo nos abrasivos 120, 220 e 400 *mesh* nas rochas Verde Labrador e Cinza Castelo.

O Preto Indiano é uma rocha muito heterogênea e a dureza relativamente baixa em comparação com as demais, contribuiu para um desgaste menor de abrasivo, pela facilidade de desbaste da rugosidade superficial.

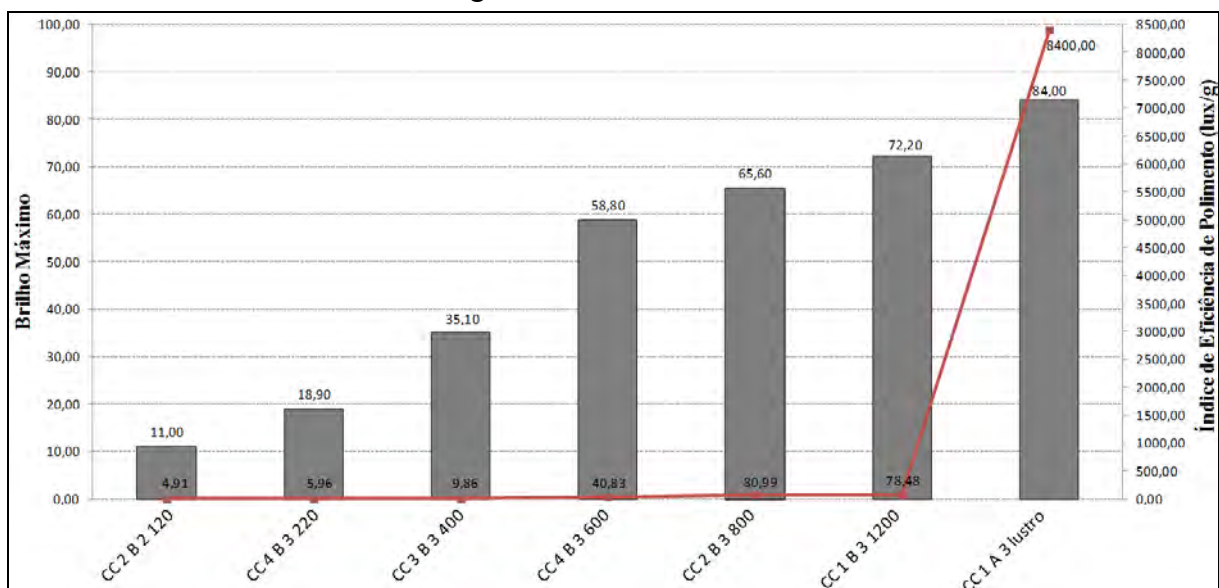
As Figuras 99, 100 e 101 mostram a correlação dos melhores brilhos obtidos com o Índice de Eficiência de polimento (lux/g).

Figura 99. Correlação dos melhores brilhos com o Índice de Eficiência de polimento no charnoquito Verde Labrador.



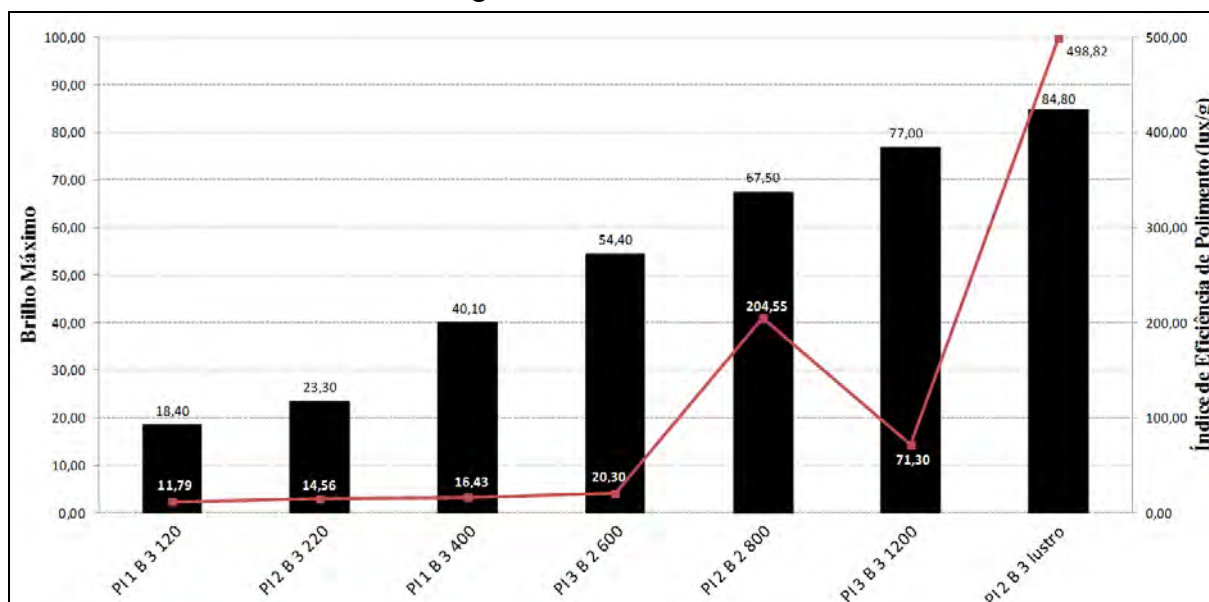
Legenda: — Índice de Eficiência de Polimento. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 100. Correlação dos melhores brilhos com o Índice de Eficiência de polimento no granito Cinza Castelo.



Legenda: — Índice de Eficiência de Polimento. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Figura 101. Correlação dos melhores brilhos com o Índice de Eficiência de polimento no gnaisse Preto Indiano.



Legenda: —■ Índice de Eficiência de Polimento. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

É possível notar que o índice de eficiência de polimento no material Verde Labrador foi crescente em cada etapa de polimento, onde a redução da perda de massa de abrasivo e o aumento brilho contribuíram para o aumento progressivo do índice.

No polimento do Cinza Castelo, o índice também foi crescente, com ressalva a etapa utilizando o abrasivo 1200 *mesh*, onde o índice obtido (78,48) não foi superior ao apresentado usando abrasivo 800 *mesh* (80,99).

Igualmente ao Cinza Castelo, o índice no material Preto Indiano também foi crescente, com exceção na situação utilizando abrasivo 800 *mesh*, onde o indicador de desempenho 204,55 foi superior ao apresentado utilizando abrasivo 1200 *mesh* (71,30).

No geral, o baixo índice observado nas etapas utilizando abrasivos 120, 220 e 400 *mesh* está relacionado ao maior consumo de abrasivo (maior rugosidade superficial da chapa e maior granulometria do abrasivo) e ao brilho ainda pouco expressivo nestas etapas, no entanto a partir do abrasivo 600 *mesh*, o ganho de brilho foi mais regular e o desgaste abrasivo menor em relação às primeiras etapas, condicionando ao aumento gradual do índice de eficiência.

É importante lembrar que os melhores resultados de polimento foram alcançados na maior parte dos casos em situações distintas, onde o Verde Labrador apresentou o maior brilho final (86,70), seguido do Preto Indiano (84,80) e do Cinza Castelo (84,00).

4.5. Fatores Petrográficos que Influenciam na Tribologia do Polimento

A rocha é um componente do tribossistema e o conjunto de suas características petrográficas condiciona a resistência da mesma frente a uma determinada solicitação de desgaste (ensaio ou polimento).

Observa-se pelos resultados acima discutidos que a perda de massa dos rebolos abrasivos está diretamente relacionada à resistência ao desgaste abrasivo da rocha (desgaste Amsler; abrasão profunda) e microdureza *knoop*; Quadros (4 e 5), a qual, por sua vez, está na dependência da composição mineralógica e demais aspectos texturais e estruturais exibidos pelas rochas (Quadro 3).

Dentre as propriedades petrográficas, a resistência à abrasão é diretamente influenciada pelo grau de sanidade da rocha e pela dureza de seus minerais constituintes. Assim rochas ricas em cristais de quartzo, com dureza 7, são mais resistentes a abrasão que rochas ricas em minerais micáceos com durezas entre 2 e 3. A granulação da rocha também exerce grande influência na resistência abrasiva, sendo que rochas de granulação grossa tendem a apresentar contatos interminerais mais frouxos e, comumente, maior grau de microfissuramento intragrãos, bem como planos de clivagens mais desenvolvidos, bastante evidentes no caso do feldspato potássico detentor de baixa energia de cristalização; que no conjunto, além de aumentar a porosidade da rocha, facilitam a liberação de micropartículas durante solicitações abrasivas. Por outro lado, a experiência tem demonstrado que dentre rochas com teores similares de quartzo aquelas com cristais de quartzo mais desenvolvidos se mostram mais resistentes aos esforços abrasivos (o que poderia ser comparado à resistência de uma broca de vídia com incrustação de grandes grãos de diamante) que aquelas com cristais de quartzo de menores dimensões e predominantemente do tipo intersticial (à semelhança de uma broca sinterizada de vídia com diamantes de menor granulometria).

Há também de se considerar a anisotropia estrutural da rocha, onde rochas com estruturas foliadas são detentoras de planos mais ou menos contínuos, normalmente caracterizados por contatos minerais justapostos, que conduzem a repetidas discontinuidades físicas e que, além de reduzirem a resistência mecânica da rocha, facilitam o desgaste abrasivo pela maior liberação de micropartículas minerais nas interfaces interplanares.

No caso do presente estudo os resultados mostram que apesar das três rochas serem quartzo-feldspáticas e com teores similares de quartzo, as respostas frente aos testes de polimento são bastante distintas para cada tipo petrográfico.

Assim, o Preto Indiano, uma rocha migmatítica com estrutura gnáissica (bandada a acamada) definida pela alternância entre níveis enriquecidos em micas (paleossoma) e níveis quartzo-feldspáticos subordinados (leucossomas) foi a rocha que apresentou os maiores índices de eficiência de polimento utilizando os abrasivos 120, 220, 400, 800 *mesh* e o lustro, com o menor consumo de abrasivos. Embora apresente o mesmo percentual de quartzo (28%) que o Verde Labrador, a rocha exibe o maior percentual de minerais micáceos (paleossoma com 22% de micas), além de 5% de sillimanita, conduzindo a porções granolepidoblásticas e mesmo nematoblásticas, fato que contribuiu para o rebaixamento da dureza da rocha. As dimensões do quartzo predominante na fração gnáissica escura (paleossoma) é de 1,5 a 4mm enquanto na porção quartzo feldspática (leucossômica) é de 2 a 10mm. Estas considerações estão de acordo com o menor valor de microdureza *knoop* HK₂₅ (2,05) entre as demais rochas testadas, sendo este um indicador de desgaste por abrasão, conforme a teoria de Frisa Morandini e Mancini (1982) e estudos posteriores de Quitete e Kahn (2003) onde os minerais essenciais de dureza mais baixa (biotita e muscovita) são os principais condicionantes da resistência ao desgaste abrasivo. O resultado também apresentou correspondência com o Desgaste Amsler (1,40mm) e Abrasão Profunda (201,67mm³) onde apresentaram os resultados mais baixos. No geral, os resultados de polimento, mostraram que esta rocha (macia em relação às demais) além de consumir menos abrasivo apresentou melhores resultados de brilho na maior parte das etapas, seguidos pelos materiais Verde Labrador e Cinza Castelo, perfazendo assim nos melhores índices de eficiência de polimento.

O charnoquito Verde Labrador é uma rocha levemente orientada com textura fanerítica inequigranular, de granulação média a média-grossa, onde os cristais de quartzo representam 28% dos minerais constituintes. Como já discutido no item de desgaste abrasivo, os cristais de quartzo deste charnockito são preferencialmente alongados e bem desenvolvidos, com dimensões médias que variam de 0,5 a 15 mm ou constituindo agregados de cristais menores ajustados entre si ou, ainda, resultante de microgranulação de cristais maiores com típicas texturas poligonizadas que, no conjunto, desenvolvem uma rede mais ou menos contínua que envolve parte dos demais minerais, melhorando a resistência abrasiva da rocha. Esta rocha apresenta ainda percentual de máficos intermediário (11,5%) em relação às demais, além da menor porosidade aparente (0,42%). Os resultados de ensaio de microdureza *knoop* HK₂₅ sugerindo a maior resistência ao desgaste (6,36), foi confirmado tanto no desgaste Amsler (0,95mm) quanto na abrasão profunda (155,57mm³). Conseqüentemente esta rocha (mais dura em relação às demais) tem uma tendência de consumir mais abrasivo.

O granito Cinza Castelo com estrutura nitidamente orientada e textura fanerítica equigranular de granulação fina a média, exibe o maior percentual de quartzo (32%) entre as rochas (quartzo com dimensões que variam de 0,7 a 2mm), o menor grau de microfissuramento, a maior porosidade aparente (0,67%) e o menor percentual de minerais máficos (6,5%) entre as rochas. O resultado de microdureza *knoop* HK₂₅ (5,98) é intermediário, assim como os resultados do desgaste Amsler (1,11mm) e abrasão profunda (195,33mm³) em comparação com as demais rochas investigadas. Apesar do seu maior teor de quartzo em relação charnockito Verde Labrador, os resultados de resistência abrasivas pouco inferiores aos do charnockito devem-se, provavelmente, as dimensões bastante inferiores dos grãos de quartzo e a sua distribuição predominantemente intersticial. No geral esta rocha apresentou os menores brilhos na maior parte das etapas em comparação com as demais, o que também pode ser reflexo da dificuldade do “fechamento” do lustro em virtude da maior liberação de micropartículas minerais provocadas pelas descontinuidades físicas dos planos de foliação da rocha.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Os conhecimentos da Tribologia aplicados neste trabalho possibilitaram uma visão mais holística dos mecanismos de interação entre os três principais grupos de variáveis envolvidas no processo (rocha, abrasivo e máquina) em que existe uma íntima relação entre as mesmas. Logo, a análise destas variáveis fora da visão global do sistema de desgaste ao qual está inserida é uma tarefa que além de difícil, pode propiciar conclusões precipitadas.

A metodologia adotada na pesquisa mostrou-se eficiente à medida que permitiu adaptar procedimentos estudados por Silveira (2007) em laboratório para uma politriz de escala industrial, considerando também a inserção de uma nova variável, a “velocidade de rotação de satélite”. Já na presente pesquisa, onde os testes foram realizados em escala real, foi utilizado uma politriz semi-automática para realização dos experimentos, onde a variável “tempo” foi substituída pela exposição ao processo (número de vezes em que o satélite percorreu uma determinada superfície da chapa) por possibilitar um controle operacional sistematizado. Porém, com os dados obtidos ao longo das diferentes situações de polimento realizadas neste estudo, algumas deduções podem ser levantadas com boa confiabilidade, conforme abaixo pormenorizadas.

Os resultados obtidos mostraram que os maiores valores de brilho foram obtidos em situações operacionais distintas para cada um dos três tipos petrográficos testados. Este fato demonstra claramente que as propriedades petrográficas das rochas constituem os fatores determinantes no controle das demais variáveis operacionais, influenciando, inclusive, no consumo de abrasivos e na obtenção do brilho final.

Dentre os ensaios físicos-mecânicos realizados (Quadros 4 e 5) os resultados de resistência mecânica (compressão uniaxial), densidade aparente, coeficiente de dilatação térmica linear e a propagação de ondas longitudinais não mostram correlações positivas com os índices de eficiência de polimento exibidos pelas rochas. Por outro lado, os resultados de resistência ao desgaste abrasivo, o qual reflete a dureza da rocha, e a porosidade aparente mostram correlações diretas e evidentes com relação aos índices de eficiência de polimento.

Destaca-se que apesar da natureza quartzo-feldspática das três rochas detentoras de teores de quartzo similares, as condições operacionais na obtenção do brilho e consumo de abrasivo foram distintas, ou seja, variaram em função da combinação dos demais aspectos petrográficos inerentes a cada rocha. Neste sentido, pode-se dizer que a eficiência de polimento foi diretamente influenciada pelas proporções entre minerais de elevada resistência à abrasão, como quartzo e feldspatos (durezas 7 e 6, respectivamente), e de baixa resistência, como micas (dureza entre 2 e 3), bem como pelo grau de anisotropia (foliação; gnaissificação), granulação, intensidade de microfissuramento mineral e relações de contatos interminerais das rochas.

De acordo com as informações adquiridas nesta pesquisa constatou-se que o aumento da velocidade com que os abrasivos passam pela superfície da chapa não implica no acréscimo de brilho, como pode ser observado no Quadro 27, onde a velocidade de rotação de satélite média/baixa (400/300rpm) na maior parte dos casos se mostrou mais eficiente na obtenção dos melhores resultados de brilho. Notou-se também que em geral os maiores valores de brilho foram alcançados quando foi conjugada a maior pressão do satélite (2kgf/cm²) com a exposição máxima ao processo testada (3), onde esta combinação garantiu maior capacidade de desbaste, planificação e fechamento dos poros na da superfície da chapa.

5.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se propor a realização de uma análise estatística multivariada dos dados já obtidos para assim aprofundar nos estudos sobre o índice de eficiência de polimento proposto, de forma a tentar identificar como cada etapa pode influenciar na seguinte, identificando os pontos ideais de cada fase de polimento (sem levar em consideração o maior brilho obtido), podendo até mesmo sugerir a eliminação de alguma das etapas, visando à otimização do processo. Outro aspecto que pode contribuir para a quantificação das variáveis envolvidas no tribossistema de polimento de rochas ornamentais é a medição da rugosidade superficial das superfícies de rocha desgastadas, cujas relações devem trazer novas informações para uma análise mais detalhada do índice da eficiência de polimento.

Pesquisas voltadas para estabelecer peso a cada situação testada, com intuito de aprimorar o modelo analítico sugerido por Silveira (2007) é mais uma opção de trabalho.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIGUEIRA, R. B.; FILGUEIRA, M. Mecanismo e resistência à abrasão de compósitos à base de poliéster-SiC para uso em coroas de polimento de rochas ornamentais. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. Campos dos Goytacazes, vol. 16, n. 3, p. 187-192, 2006.
- ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. Tecnologias de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. In: Federação das Indústrias do Estado do Ceará e Instituto Euvaldo Lodi. 225p., 1996.
- ALTERA, F. A. **Desgaste abrasivo de níquel e de liga binária níquel-cobalto eletrodepositados em substrato de cobre**. Dissertação de Mestrado. Rede Temática em Engenharia de Materiais (UFOP – CETEC – UEMG). Ouro Preto, 85p., 2009.
- AMARAL, R. P. Controle de um motor de indução trifásico através de um inversor estático de frequência. Projeto de graduação. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Do Espírito Santo. 110p., 2009.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. D 2845: Standard method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rocks. West Conshohocken. EUA, 2008.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D 523-94. Standard test method for specular gloss. EUA, 5p., 1994.
- ARISTÓTELES. Frases de Pensadores. Disp.: <http://frases.globo.com/aristoteles/1597>. Acessado em 03/03/2013.
- ARTUR, A. C.; WERNICK, E.; RODRIGUES, E. P.; ANDRIGHETTI, R. M.; SOUZA, P. H. G. Perda de lustro em rochas ornamentais durante a abrasão progressiva: principais fatores condicionantes. In: III Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Cetem. Rio de Janeiro, v. 1. p. 24-37, 2002.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS (ABIROCHAS). Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais no período de janeiro a setembro de 2012. São Paulo. Disp.: http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/11360/Informe_13_2012.pdf. Acessado em: 10 de novembro de 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12042. Materiais inorgânicos. Determinação do desgaste por abrasão amsler. Rio de Janeiro, p. 3, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13818 (Anexo E). Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. Determinação da resistência à abrasão profunda. Rio de Janeiro, p. 3, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15845 (Anexo A). Análise petrográfica. Rio de Janeiro, p. 3-5, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15845 (Anexo B). Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, p. 6-8, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15845 (Anexo E). Resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro, p. 16-18, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15845 (Anexo C). Coeficiente de dilatação térmica linear. Rio de Janeiro, p. 9-12, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15844. Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. Rio de Janeiro, p. 1-3, 2010.
- BATISTA, W. V. B. **Avaliação da eficiência do polimento efetuado em superfícies de vidro e de amálgama, por ponta de borracha abrasiva ou pastas para polimento, em relação a perda de massa e a rugosidade.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo - Faculdade de Odontologia de Bauru. Bauru. 148p., 2004.
- BLAU, P. J. The significance and use of friction coefficient. *Tribology International*, v. 34, p. 585-591, 2001.
- BOLONINI, T. M. **Geologia e potencialidade do granito “Vermelho Capão Bonito” (sudoeste do Estado de São Paulo) como rocha ornamental.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 170p., 2011.

- BRANDÃO, W.; SARDDOU FILHO.; QUEIROZ, E. T.; COELHO, C. E. S. Principais Depósitos Minerais do Brasil (DNPM). Brasília, v. 4, parte A, p.371-372, 1991.
- BRETON. High production polishing lines for granite slabs. Catálogo de equipamentos, 2011.
- BRETON. Prato de uma politriz Levibreton KFG 3600. Disp.:http://www.breton.it/marble/pt/product/Slab_strip_polishing~22/Levibreton_KFG_3600~106. Acessado em 18 de março de 2012.
- CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. Ed. John Wiley e Sons. 589p., 2000.
- CARVALHO, D. L. S. **Determinação de parâmetros do polimento em três tipos de rochas graníticas**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 128p., 2010.
- COBRAL. Abrasivos utilizados no polimento de granitos e mármore. Disp.: <http://www.cobral.com.br/produtos/7/marmoreeardosia/>. Acessado em: 18 de março de 2012.
- COSEGLIO, M. S. D. R. Caracterização de partículas abrasivas segundo diferentes modelos de medição de fator de forma. Monografia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Engenharia Industrial Mecânica. Curitiba. p. 12-16, 2009.
- DANA, J. D. Manual de mineralogia. LTC – Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A. Rio de Janeiro. 642p., 1956.
- DIN 50320: Análise sistemática dos processos de desgaste. Classificação dos fenômenos de desgaste. Metalurgia e Materiais. ABM. São Paulo, p. 619-622, 1997.
- DOMPIERI, M.; SZNELWAR, J. J.; SCALABRIN, R. Perfil de Abrasivos. Desenvolvimento de estudos para elaboração de plano duodecenal (2010-2030) de geologia, mineração e transformação mineral. J. Mendo Consultoria. Encomendado pelo Ministério de Minas e Energia, Mineração e Transformação Mineral-SGM. 64p., 2009.
- EN EUROPEAN STANDARD NORME 14205:2003. Natural stone test methods - Determination of knoop hardness. 9p., 2003.
- FIGUEIREDO, P. M. S. L. R. **Estudo tecnológico das rochas calcárias de Lisboa (Jurássico e Cretácico)**. Tese de Doutorado. Lisboa. 179p., 1997.

- FRASCÁ, M. H. Qualificação de rochas ornamentais para revestimentos de edificações: Caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. In: I Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, p. 128-135, 2001.
- FRASCÁ, M. H. **Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências. São Paulo, 264p., 2003.
- FRAZÃO, E. B.; FARJALLAT, J. E. S. Seleção de pedras para revestimento e propriedades requeridas. Revista Rochas de Qualidade. São Paulo, n. 124, p. 80-94, 1995.
- FRAZÃO, E. B.; FARJALLAT, J. E. S. Características tecnológicas de rochas silicáticas brasileiras de revestimentos. Rochas de Qualidade, n.128, p. 56-60, 1996.
- FRAZÃO, E. B.; PARAGUASSU, A. B. Materiais rochosos para construção. In: Antônio Manoel dos Santos Oliveira; Sérgio Nertan Alves de Brito. (Org.). In Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, CNPq/FAPESP. São Paulo, p. 331-342, 1998.
- FRAZÃO, E. B. Tecnologia de rochas na construção civil. Ed. ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. 132p., 2002.
- FRISA MORANDINI, A.; MANCINI, R. Applications of microhardness tests to the technical evaluation of dimension stones. 4th Congress International Association of Engineering Geology. New Delhi. p. 321-331, 1982.
- GATES, J. D. Two-body and three-body abrasion. A critical discussion. Wear, v. 215, p. 139-146, 1998.
- GOOGLE MAPS 2012. Programa de localização. Disp: <https://maps.google.com/maps>. Acessado em: 8 de novembro de 2012.
- HUTCHINGS, I. M. Tribology: Friction and wear of engineering materials, Ed. Edward Arnold, London, 273p., 1992.
- KASCHNER, D. Tecnologias para beneficiamento. In: ARAÚJO, E.S.; LACERDA FILHO, J.V., FERREIRA, M.C.B.; ARAÚJO, V.A. (orgs.). Anais do II Encontro do Centro-Oeste sobre Granitos, Mármore e Pedras Ornamentais. p. 1-11, 1996.
- KONIG, W. "Advanced ceramics: sparks machine ceramics". PMI, Vol. 23, n. 2, p. 96-100, 1991.

- LARSEN-BASSE, J.; PREMARATNE, B. Effect of relative hardness on transitions in abrasive wear mechanisms. In: Wear of Materials Conference, Proceedings, Ludema, K. C. Ed. ASME, p.161-166, 1983.
- LIMA, J. J. C. **Estudo da dilatação térmica de rochas usadas em revestimento de edificações.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, p. 51-57, 2002.
- LIMA, M.A.B.; ARTUR, A.C.; NOGUEIRA NETO, J. de A.; FIGUEIREDO, E.R.H.; GALINDO, A.C. Relação entre a condutividade térmica e parâmetros físicos dos Gnaisses Casablanca, Juparaná Delicato e Giallo Falésia (Ceará-Brasil). Revista Brasileira de Geociências, p.111-124, 2010.
- MESQUITA, M. P. S. **Composição, estrutura, propriedades tecnológicas e alterabilidade dos granitos ornamentais do stock Morrinho, Santa Quitéria (CE).** Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 171p., 2002.
- METAFILL. Catálogo de equipamentos industriais. Cachoeiro de Itapemirim/ES. p.17, 2012.
- MEYER, A. P. **Influência da petrografia no comportamento tecnológico de rochas ornamentais do complexo socorro (SP) e maciço pedra branca (MG).** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 117p., 2003.
- MOORE, M. A.; KING, F. S. Desgaste abrasivo de sólidos frágeis. National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, Bedford. Inglaterra, 18p., 1980.
- NAVARRO, F. C. Granitos ornamentais: Análise petrográfica na previsão do comportamento físico-mecânico. In: Actas II Congresso. Uruguaio de Geologia, Uruguai. p. 103-107, 1998.
- NAVARRO, F. C.; ARTUR, A. C. Correlação entre características petrográficas e propriedades tecnológicas de granitos ornamentais: proposição de equações matemáticas. Anais I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador, Bahia. p. 45-52, 2001.
- NAVARRO, F. C. **Caracterização petrográfica como técnica para a previsão do comportamento físico e mecânico de “granitos” ornamentais.** Dissertação de Mestrado.


- Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 88p., 2002 (a).
- NAVARRO, F. C. Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas como ferramenta para a previsão de parâmetros mecânicos em granitos ornamentais. In: III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste – (CETEM/UFPE). Cetem, Rio de Janeiro, p. 154-159, 2002(b).
- NAVARRO, F. C.; ARTUR, A. C. Caracterização petrográfica como ferramenta para a previsão do comportamento físico e mecânico de granitos ornamentais: Uma Discussão. In: III Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste – (CETEM/UFPE). Cetem, Rio de Janeiro, 8p., 2002.
- NAVARRO, F. C. **Influência da petrografia sobre a anisotropia à tensão de compressão e dilatação térmica de rochas ornamentais.** Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 221p., 2006.
- NEVES, M. C. **Estudo experimental do polimento de diferentes “granitos” e as relações com a mineralogia.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. 115p., 2010.
- NORDEMÁRMORES - Mármore e Granitos para a Construção Civil. Máquina de polimento manual. Portugal, 2012. Disp.: <http://www.nordemarmores.pt/?pID=5>. Acessado em: 18 de março de 2012.
- NUSSBAUM, G. C. Rebolos e abrasivos. Tecnologia básica. Ed. Ícone Ltda. São Paulo. p. 26-35, 1988.
- OLIVEIRA, O. C.; MATOS, M. R.; DE OLIVEIRA, L. J.; BOBROVNITCHII, G. S.; AIGUEIRA, R. B.; FILGUEIRA, M. Processamento e desgaste abrasivo de compósitos à base de epóxi-sílica para uso em coroas de polimento de rochas ornamentais. Universidade Estadual Norte Fluminense - Laboratório de Materiais Avançados. Revista Matéria. Rio de Janeiro, v.13. n.1, p. 88-95, 2008.
- PAÇO, J. L. G. **Desenvolvimento de um sistema automático de estagiamento de moldes vazados com material abrasivo.** Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 150p., 2008.
- PAZETO, A. A. **Correlação entre propriedades petrográficas e comportamento tecnológico e de alterabilidade das rochas ornamentais silicáticas Diamante Negro**


- (BA), Ocre Itabira e Branco Galaxy (ES).** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 188p., 2011.
- PINTAÚDE, G. **Análise dos regimes moderado e severo de desgaste abrasivo utilizando ensaios instrumentados de dureza.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 230p., 2002.
- QUITETE, E. B. **Dureza Knoop em rochas para revestimento: Metodologia e correlação com desgaste abrasivo.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica - Universidade de São Paulo. São Paulo, 70p., 2002.
- QUITETE, E. B.; KAHN, H. Dureza knoop em rochas para revestimento: correlação com desgaste abrasivo. IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Fortaleza, 6p., 2003.
- RIBEIRO, R. **Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados do tipo Fe-C-Cr utilizados na indústria sucroalcooleira.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira. 104p., 2004.
- RIBEIRO, R. P. **Influências das características petrográficas de granito no processo industrial de desdobramento de blocos.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 205p., 2005.
- RODRIGUES, E. P.; COUTINHO, J. M. V.; CHIODI FILHO, C. Petrográfica microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental. Rochas de Qualidade, São Paulo, ano 25, n. 127, p. 80-84, 1996.
- RODRIGUES, E. P.; CHIODI FILHO, C.; COUTINHO, J. J. M. Implantação petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. Rochas e Equipamentos, Lisboa, n. 47, p. 50, 1997.
- SILVEIRA, L. L. L. **Estudo comparativo de granitos ornamentais brasileiros no processo de polimento industrial.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. 205p., 2007.
- SILVEIRA, L. L. L.; RODRIGUES, J. E.; PARAGUASSÚ, A. B. A Influência das características petrográficas no polimento de granitos ornamentais. In: 12º Congresso de Geologia de Engenharia e Ambiental, Anais do 12º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Porto de Galinhas p. 1-11, 2008.


- SINATORA, A. Tribologia: um resgate histórico e o estudo da arte. São Paulo, p. 33, 2005. Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/19271149/ResgateHistoricoEstadoArte>. Acessado em: 10 de novembro de 2012.
- SOUZA, L.; GONÇALVES, B. Avaliação da cor, brilho e rugosidade em granitos polidos. Sociedade Geológica de Portugal – GEOTIC. Revista Eletrônica de Ciências da Terra - Geociências On-line Jornal. VIII Congresso Nacional de Geologia, v. 20, n.16, p. 1-4, 2010.
- SPÍNOLA, S. V. P. A. C. **Influência da qualidade da serragem de granitos no consumo energético do desbaste**. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 138p., 1998.
- SPÍNOLA, S. V. P. A. C.; MURALHA, J.; GOMES, A. L. Caracterização da rugosidade de superfícies de rocha serrada. VII Congresso Nacional de Geotecnia. Porto, p. 367-378, 2000.
- STRECKEISEN, A. L. Plutonic rocks: classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the systematics of igneous rocks. Geotimes, n. 18, p. 26-30, 1976.
- TUĞRUL, A.; ZARIF, I. H. Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected Granitic rocks from Turkey. Eng. Geol., v. 51: p.303-317, 1999.
- TURCHETTA, S. **Tecnologie di Lavorazione Delle Pietre Naturali**. Tese de Doutorado-Engenharia Industrial. Università Degli Studi di Cassino, Italy. 261p, 2003.
- VIDAL, F.W.H.; BESSA, M.F.; LIMA, M. A. B. Avaliação de rochas ornamentais do Ceará através de suas características tecnológicas. CETEM/MCT, Série Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, v. 76, 30p., 1999.
- WEG - Unidade Automação. Inversor de Frequência. Jaraguá do Sul/SC. 8p., 2012. Disp.;<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-inversor-de-frequencia-cfw100-0036459-catalogo-portugues-br.pdf>. Acessado em 01/11/2012.
- ZUM-GAHR, K. H. Microstructure and wear of materials. Institute of Materials Technology. University of Siegen, Siegen, Federal Republic of Germany, v.10, 358p., 1987.

ANEXO A

**TABELAS CONTENDO OS RESULTADOS DOS
ENSAIOS FÍSICOS-MECÂNICOS**

Núcleo Regional do Espírito Santo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI				 <small>CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL</small>		
ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE, DA POROSIDADE APARENTE E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA - ABNT NBR 15.845/2010 Anexo B						
Nome da Empresa: Jefferson Camargo				Número Protocolo: 2012/0105		
Nome Comercial: Verde Labrador				Equipamento Utilizado:		
Tipo petrográfico: Charnouquito				Marca/Modelo:		
Procedência: Baixo Guandu/ES				Data de início do ensaio: 06/02/2012		
Data recebimento da amostra: 12/01/2012				Data de término do ensaio: 10/02/2012		
Corpo de Prova	Massa (g)			Densidade Aparente (kg/m ³)	Porosidade (%)	Abs. d'água (%)
	Seca	Submersa	Saturada			
1	345,95	217,59	346,49	2683,86	0,42	0,16
2	353,74	223,35	354,33	2700,72	0,45	0,17
3	341,88	216,11	342,47	2705,60	0,47	0,17
4	365,77	230,93	366,34	2701,20	0,42	0,16
5	344,35	216,56	344,87	2683,73	0,41	0,15
6	359,34	226,86	359,90	2700,99	0,42	0,16
7	350,21	220,62	350,77	2690,82	0,43	0,16
8	358,63	226,16	359,21	2695,45	0,44	0,16
9	347,85	219,11	348,40	2690,46	0,43	0,16
10	343,68	216,53	344,23	2691,31	0,43	0,16
Valores Médios:				2694,42	0,43	0,16
Desvio Padrão:				7,59	0,02	0,01
Coeficiente de Variação:				0,00	0,04	0,04
_____ Assinatura do Técnico Responsável				Jefferson Camargo Assinatura do Executor do Ensaio		

Núcleo Regional do Espírito Santo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI				 <small>CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL</small>		
ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE, DA POROSIDADE APARENTE E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA - ABNT NBR 15.845/2010 Anexo B						
Nome da Empresa: Jefferson Camargo				Número Protocolo: 2012/0105		
Nome Comercial: Cinza Castelo				Equipamento Utilizado:		
Tipo petrográfico: Granito				Marca/Modelo:		
Procedência: Mutum/MG				Data de início do ensaio: 06/02/2012		
Data recebimento da amostra: 12/01/2012				Data de término do ensaio: 10/02/2012		
Corpo de Prova	Massa (g)			Densidade Aparente (kg/m ³)	Porosidade (%)	Abs. d'água (%)
	Seca	Submersa	Saturada			
1	310,10	194,51	310,85	2665,46	0,64	0,24
2	325,58	204,33	326,42	2666,72	0,69	0,26
3	317,64	199,35	318,43	2667,45	0,66	0,25
4	314,35	197,21	315,15	2665,34	0,68	0,25
5	319,74	200,57	320,54	2665,17	0,67	0,25
6	322,12	202,21	322,92	2668,54	0,66	0,25
7	331,69	208,10	332,52	2665,89	0,67	0,25
8	335,61	210,50	336,44	2664,84	0,66	0,25
9	318,82	200,02	319,64	2665,27	0,69	0,26
10	328,48	206,12	329,32	2666,23	0,68	0,26
Valores Médios:				2666,09	0,67	0,25
Desvio Padrão:				1,17	0,01	0,01
Coeficiente de Variação:				0,00	0,02	0,02
_____ Assinatura do Técnico Responsável				Jefferson Camargo Assinatura do Executor do Ensaio		

Núcleo Regional do Espírito Santo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI				 <small>CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL</small>		
ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE, DA POROSIDADE APARENTE E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA - ABNT NBR 15.845/2010 Anexo B						
Nome da Empresa: Jefferson Camargo				Número Protocolo: 2012/0105		
Nome Comercial: Preto Indiano				Equipamento Utilizado:		
Tipo petrográfico: Gnaisse				Marca/Modelo:		
Procedência: Iconha/ES				Data de início do ensaio: 06/02/2012		
Data recebimento da amostra: 12/01/2012				Data de término do ensaio: 10/02/2012		
Corpo de Prova	Massa (g)			Densidade Aparente (kg/m ³)	Porosidade (%)	Abs. d'água (%)
	Seca	Submersa	Saturada			
1	361,26	233,65	361,88	2817,28	0,48	0,17
2	348,46	222,07	349,28	2739,25	0,64	0,24
3	360,85	232,43	361,38	2798,37	0,41	0,15
4	352,29	226,69	352,72	2795,29	0,34	0,12
5	355,89	228,59	356,29	2786,92	0,31	0,11
6	353,60	228,05	354,33	2800,13	0,58	0,21
7	358,99	232,53	359,49	2827,58	0,39	0,14
8	349,62	223,68	350,14	2764,67	0,41	0,15
9	359,41	231,32	359,81	2797,18	0,31	0,11
10	352,19	226,15	352,62	2784,77	0,34	0,12
Valores Médios:				2791,14	0,42	0,15
Desvio Padrão:				25,06	0,11	0,04
Coeficiente de Variação:				0,01	0,27	0,27
_____ Assinatura do Técnico Responsável				Jefferson Camargo Assinatura do Executor do Ensaio		

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042-1992										
Amostra: Verde Labrador					Data: 19/03/2012					
Procedência: Baixo Guandu/ES					Interessado: Jefferson					
Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)		
1	1	9,64	1	9,26	1	8,78	0,38	0,86	0,43	0,94
	2	9,48	2	9,11	2	8,79	0,37	0,69		
	3	9,67	3	9,22	3	8,65	0,45	1,02		
	4	9,85	4	9,32	4	8,68	0,53	1,17		
2	1	9,76	1	9,38	1	8,91	0,38	0,85	0,50	0,97
	2	9,88	2	9,36	2	8,76	0,52	1,12		
	3	9,83	3	9,18	3	8,72	0,65	1,11		
	4	9,71	4	9,25	4	8,91	0,46	0,80		
								média entre os corpos de prova	0,47	0,95
								desvio padrão	0,05	0,02
Obs: Corpos-de-prova (dimensões bases) Corpo-de-prova 1 : 69,91 x 69,79 cm Corpo-de-prova 2 : 69,49 x 69,55 cm										

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042-1992										
Amostra: Cinza Castelo					Data: 19/03/2012					
Procedência: Mutum/MG					Interessado: Jefferson					
Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m	Desgaste 1000m	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)		
1	1	9,31	1	8,90	1	8,40	0,41	0,91	0,54	1,10
	2	9,22	2	8,75	2	8,36	0,47	0,86		
	3	9,52	3	8,81	3	8,19	0,71	1,33		
	4	9,51	4	8,96	4	8,23	0,55	1,28		
2	1	9,55	1	9,04	1	8,48	0,51	1,07	0,55	1,12
	2	9,52	2	8,86	2	8,29	0,66	1,23		
	3	9,50	3	8,91	3	8,32	0,59	1,18		
	4	9,52	4	9,09	4	8,52	0,43	1,00		
								média entre os corpos de prova	0,54	1,11
								desvio padrão	0,01	0,02
Obs: Corpos-de-prova (dimensões bases) Corpo-de-prova 1 : 69,87 x 69,60 cm Corpo-de-prova 2 : 69,72 x 69,87 cm										

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042-1992										
Amostra: Preto Indiano					Data: 19/03/2012					
Procedência: Iconha/ES					Interessado: Jefferson					
Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)	Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)	Média (500m)	Média (1000m)
1	1	9,34	1	8,76	1	7,85	0,58	1,49	0,66	1,29
	2	9,22	2	8,36	2	7,99	0,86	1,23		
	3	9,15	3	8,51	3	8,00	0,64	1,15		
	4	9,14	4	8,59	4	7,85	0,55	1,29		
2	1	9,30	1	8,46	1	7,75	0,84	1,55	0,80	1,51
	2	9,12	2	8,52	2	7,55	0,60	1,57		
	3	9,07	3	8,25	3	7,60	0,82	1,47		
	4	9,30	4	8,38	4	7,84	0,92	1,46		
								média entre os corpos de prova	0,73	1,40
								desvio padrão	0,10	0,16
Obs: Corpos-de-prova (dimensões bases) Corpo-de-prova 1: 69,76 x 69,64 cm Corpo-de-prova 2: 69,71 x 69,90 cm										



LABORATÓRIO DE ENSAIOS EM ROCHAS ORNAMENTAIS

RELATÓRIO Nº: 1174/12-02 DATA: 16/05/12

Cliente: ANTONIO CARLOS ARTUR

Fabricante: Não declarado

Produto: VERDE LABRADOR

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À ABRASÃO PROFUNDA

ENSAIO REALIZADO BASEADO NA NORMA NBR 13818/97 ANEXO E DATA DE REALIZAÇÃO: 08/05/12

RESULTADOS:

CORPO DE PROVA	POSIÇÃO A		POSIÇÃO B		MÉDIA	
	Comprimento da cavidade = Coav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm ³)	Comprimento da cavidade = Coav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm ³)	Comprimento da cavidade = Coav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm ³)
1	25,46	138	25,70	142	25,6	140
2	27,76	179	26,98	164	27,4	172
3	26,20	151	26,41	154	26,3	152

VALOR MÉDIO	26,4	155
VALOR MÁXIMO	27,4	172

Observação: Ensaio realizado conforme solicitação do cliente.
Especificação conforme Norma ABNT NBR 15463/07

Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)	≤ 140mm ³
-------------------------------------------------	----------------------

Pág. 02/03

Laboratório de Ensaios em Revestimentos Cerâmicos (LERC)
Escola SENAI Mario Amato - Núcleo de Tecnologia Cerâmica
Av. José Orlino, 1.555 - São Bernardo do Campo - SP - CEP 09861-000
Fone: (011) 4109-9499 e-170 Fax: (011) 4351-6985 e-mail: revest@sp.senai.br



LABORATÓRIO DE ENSAIOS EM ROCHAS ORNAMENTAIS

RELATÓRIO Nº: 1174/12-01 DATA: 16/05/12

Cliente: ANTONIO CARLOS ARTUR

Fabricante: Não declarado

Produto: CINZA CASTELO

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À ABRASÃO PROFUNDA

ENSAIO REALIZADO BASEADO NA NORMA NBR 13818/97 ANEXO E DATA DE REALIZAÇÃO: 08/05/12

RESULTADOS:

CORPO DE PROVA	POSIÇÃO A		POSIÇÃO B		MÉDIA	
	Comprimento da cavidade = Coav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm ³)	Comprimento da cavidade = Coav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm ³)	Comprimento da cavidade = Coav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm ³)
1	28,53	195	28,71	198	28,6	197
2	28,26	189	28,29	190	28,3	190
3	28,56	195	28,93	203	28,8	199

VALOR MÉDIO	28,6	195
VALOR MÁXIMO	28,8	199

Observação: Ensaio realizado conforme solicitação do cliente.
Especificação conforme Norma ABNT NBR 15463/07

Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)	$\leq 140\text{mm}^3$
-------------------------------------------------	-----------------------

Pág. 02/03



LABORATÓRIO DE ENSAIOS EM ROCHAS ORNAMENTAIS

RELATÓRIO Nº: 1174/12-03 DATA: 16/05/12

Cliente: ANTONIO CARLOS ARTUR

Fabricante: Não declarado

Produto: PRETO INDIANO

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À ABRASÃO PROFUNDA

ENSAIO REALIZADO BASEADO NA NORMA NBR 13818/97 ANEXO E DATA DE REALIZAÇÃO: 08/05/12

RESULTADOS:

CORPO DE PROVA	POSIÇÃO A		POSIÇÃO B		MÉDIA	
	Comprimento da cavidade = Coav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm ³)	Comprimento da cavidade = Coav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm ³)	Comprimento da cavidade = Coav = (mm)	Volume de material removido = V = (mm ³)
1	29,09	206	29,12	207	29,1	207
2	29,16	208	28,16	187	28,7	198
3	28,00	184	29,51	216	28,8	200

VALOR MÉDIO	28,9	202
VALOR MÁXIMO	29,1	207

Observação: Ensaio realizado conforme solicitação do cliente.
Especificação conforme Norma ABNT NBR 15463/07


Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)	≤ 140mm ³
-------------------------------------------------	----------------------

Pág. 02/03

Laboratório de Ensaios em Revestimentos Cerâmicos (LERC)
Escola SENAI Mario Amato - Núcleo de Tecnologia Cerâmica
Av. José Odorico, 1.555 - São Bernardo do Campo - SP - CEP 09861-000
Fone: (011) 4109-9499 r-170 Fax: (011) 4351-6985 e-mail: revest@sp.senai.br


Núcleo Regional do Espírito Santo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI		 <small>CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL</small>																																																											
DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASÔNICAS LOGITUDINAIS - ASTM D 2845 - 05																																																													
Nome da Empresa: Jefferson Camargo																																																													
Nome Comercial: Verde Labrador																																																													
Nº Protocolo: 2012/0105																																																													
Procedência: Baixo Guandu/ES																																																													
Data: 13/01/2012																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Corpo de Prova</th> <th>Altura (mm)</th> <th>Tempo (μs)</th> <th>Velocidade (m/s)</th> <th>Anisotropia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>69,83</td><td></td><td>5737</td><td rowspan="10" style="text-align: center; vertical-align: middle;">19,73</td></tr> <tr><td>2</td><td>69,85</td><td></td><td>5147</td></tr> <tr><td>3</td><td>70,08</td><td></td><td>5185</td></tr> <tr><td>4</td><td>69,66</td><td></td><td>5555</td></tr> <tr><td>5</td><td>69,13</td><td></td><td>4666</td></tr> <tr><td>6</td><td>69,93</td><td></td><td>5468</td></tr> <tr><td>7</td><td>70,01</td><td></td><td>5263</td></tr> <tr><td>8</td><td>69,61</td><td></td><td>4605</td></tr> <tr><td>9</td><td>69,64</td><td></td><td>5343</td></tr> <tr><td>10</td><td>69,76</td><td></td><td>5223</td></tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Média</td> <td>5219,20</td> <td rowspan="3" style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Desvio Padrão</td> <td>357,41</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Coefficiente de variação</td> <td>0,07</td> </tr> </tbody> </table>			Corpo de Prova	Altura (mm)	Tempo (μ s)	Velocidade (m/s)	Anisotropia	1	69,83		5737	19,73	2	69,85		5147	3	70,08		5185	4	69,66		5555	5	69,13		4666	6	69,93		5468	7	70,01		5263	8	69,61		4605	9	69,64		5343	10	69,76		5223	Média			5219,20		Desvio Padrão			357,41	Coefficiente de variação			0,07
Corpo de Prova	Altura (mm)	Tempo (μ s)	Velocidade (m/s)	Anisotropia																																																									
1	69,83		5737	19,73																																																									
2	69,85		5147																																																										
3	70,08		5185																																																										
4	69,66		5555																																																										
5	69,13		4666																																																										
6	69,93		5468																																																										
7	70,01		5263																																																										
8	69,61		4605																																																										
9	69,64		5343																																																										
10	69,76		5223																																																										
Média			5219,20																																																										
Desvio Padrão			357,41																																																										
Coefficiente de variação			0,07																																																										
Observação: Determinação da Vp sem direção preferencial dos copos de prova.																																																													
Assinatura do Técnico Responsável																																																													

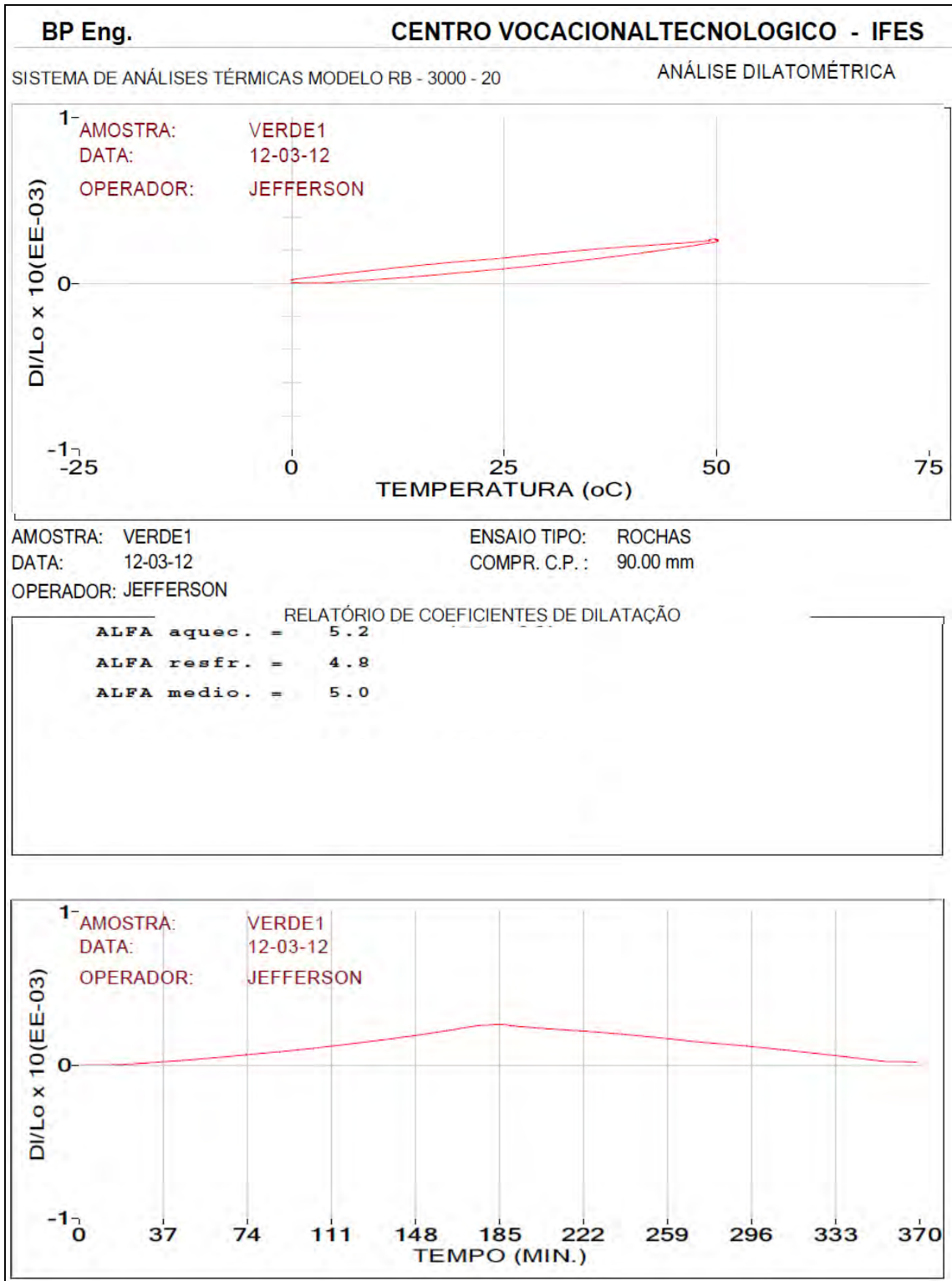
<p>Núcleo Regional do Espírito Santo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI</p> 																																																															
DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASÔNICAS LOGITUDINAIS - ASTM D 2845 - 05																																																															
Nome da Empresa: Jefferson Camargo																																																															
Nome Comercial: Cinza Castelo																																																															
Nº Protocolo: 2012/0105																																																															
Procedência: Mutum/MG																																																															
Data: 13/01/2012																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Corpo de Prova</th> <th>Altura (mm)</th> <th>Tempo (μs)</th> <th>Velocidade (m/s)</th> <th>Anisotropia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>69,31</td><td></td><td>3977</td><td rowspan="10" style="text-align: center; vertical-align: middle;">20,93</td></tr> <tr><td>2</td><td>69,85</td><td></td><td>3846</td></tr> <tr><td>3</td><td>69,98</td><td></td><td>3846</td></tr> <tr><td>4</td><td>69,96</td><td></td><td>3723</td></tr> <tr><td>5</td><td>69,81</td><td></td><td>3571</td></tr> <tr><td>6</td><td>69,95</td><td></td><td>4516</td></tr> <tr><td>7</td><td>69,85</td><td></td><td>3954</td></tr> <tr><td>8</td><td>69,43</td><td></td><td>3910</td></tr> <tr><td>9</td><td>69,94</td><td></td><td>4216</td></tr> <tr><td>10</td><td>69,59</td><td></td><td>4093</td></tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Média</td> <td>3965,20</td> <td rowspan="3" style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Desvio Padrão</td> <td>264,24</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Coefficiente de variação</td> <td>0,07</td> </tr> </tbody> </table>					Corpo de Prova	Altura (mm)	Tempo (μ s)	Velocidade (m/s)	Anisotropia	1	69,31		3977	20,93	2	69,85		3846	3	69,98		3846	4	69,96		3723	5	69,81		3571	6	69,95		4516	7	69,85		3954	8	69,43		3910	9	69,94		4216	10	69,59		4093	Média			3965,20		Desvio Padrão			264,24	Coefficiente de variação			0,07
Corpo de Prova	Altura (mm)	Tempo (μ s)	Velocidade (m/s)	Anisotropia																																																											
1	69,31		3977	20,93																																																											
2	69,85		3846																																																												
3	69,98		3846																																																												
4	69,96		3723																																																												
5	69,81		3571																																																												
6	69,95		4516																																																												
7	69,85		3954																																																												
8	69,43		3910																																																												
9	69,94		4216																																																												
10	69,59		4093																																																												
Média			3965,20																																																												
Desvio Padrão			264,24																																																												
Coefficiente de variação			0,07																																																												
Observação: A determinação da Vp nos corpos de prova de 1 a 5 foi no sentido perpendicular, enquanto de 6 a 10 foi paralelo a foliação da rocha.																																																															
Assinatura do Técnico Responsável																																																															

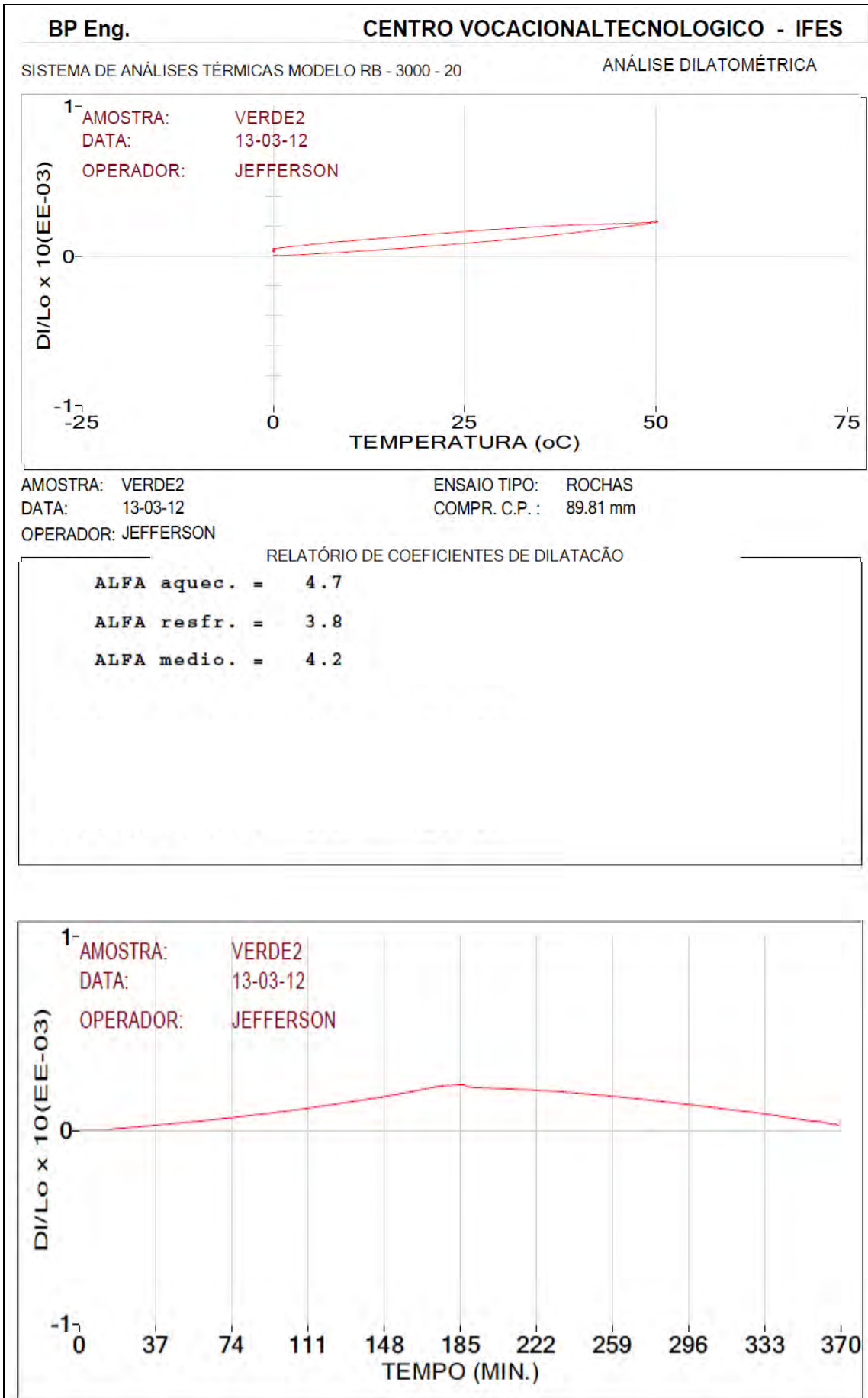
<p>Núcleo Regional do Espírito Santo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI</p>																																																													
<p>DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASÔNICAS LOGITUDINAIS - ASTM D 2845 - 05</p>																																																													
Nome da Empresa: Jefferson Camargo																																																													
Nome Comercial: Preto Indiano																																																													
Nº Protocolo: 2012/0105																																																													
Procedência: Iconha/ES																																																													
Data: 13/01/2012																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Corpo de Prova</th> <th>Altura (mm)</th> <th>Tempo (μs)</th> <th>Velocidade (m/s)</th> <th>Anisotropia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>70,01</td><td></td><td>4320</td><td rowspan="10" style="text-align: center; vertical-align: middle;">27,27</td></tr> <tr><td>2</td><td>70,05</td><td></td><td>4895</td></tr> <tr><td>3</td><td>70,61</td><td></td><td>4929</td></tr> <tr><td>4</td><td>69,93</td><td></td><td>4216</td></tr> <tr><td>5</td><td>69,93</td><td></td><td>4294</td></tr> <tr><td>6</td><td>70,14</td><td></td><td>5468</td></tr> <tr><td>7</td><td>70,28</td><td></td><td>3977</td></tr> <tr><td>8</td><td>69,70</td><td></td><td>5384</td></tr> <tr><td>9</td><td>70,05</td><td></td><td>4827</td></tr> <tr><td>10</td><td>70,06</td><td></td><td>5035</td></tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Média</td> <td>4734,50</td> <td rowspan="3" style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Desvio Padrão</td> <td>508,90</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">Coefficiente de variação</td> <td>0,11</td> </tr> </tbody> </table>			Corpo de Prova	Altura (mm)	Tempo (μ s)	Velocidade (m/s)	Anisotropia	1	70,01		4320	27,27	2	70,05		4895	3	70,61		4929	4	69,93		4216	5	69,93		4294	6	70,14		5468	7	70,28		3977	8	69,70		5384	9	70,05		4827	10	70,06		5035	Média			4734,50		Desvio Padrão			508,90	Coefficiente de variação			0,11
Corpo de Prova	Altura (mm)	Tempo (μ s)	Velocidade (m/s)	Anisotropia																																																									
1	70,01		4320	27,27																																																									
2	70,05		4895																																																										
3	70,61		4929																																																										
4	69,93		4216																																																										
5	69,93		4294																																																										
6	70,14		5468																																																										
7	70,28		3977																																																										
8	69,70		5384																																																										
9	70,05		4827																																																										
10	70,06		5035																																																										
Média			4734,50																																																										
Desvio Padrão			508,90																																																										
Coefficiente de variação			0,11																																																										
<p>Observação: A determinação da Vp nos corpos de prova de 1 a 5 foi no sentido perpendicular, enquanto de 6 a 10 foi paralelo a foliação da rocha.</p>																																																													
<p>Assinatura do Técnico Responsável</p>																																																													

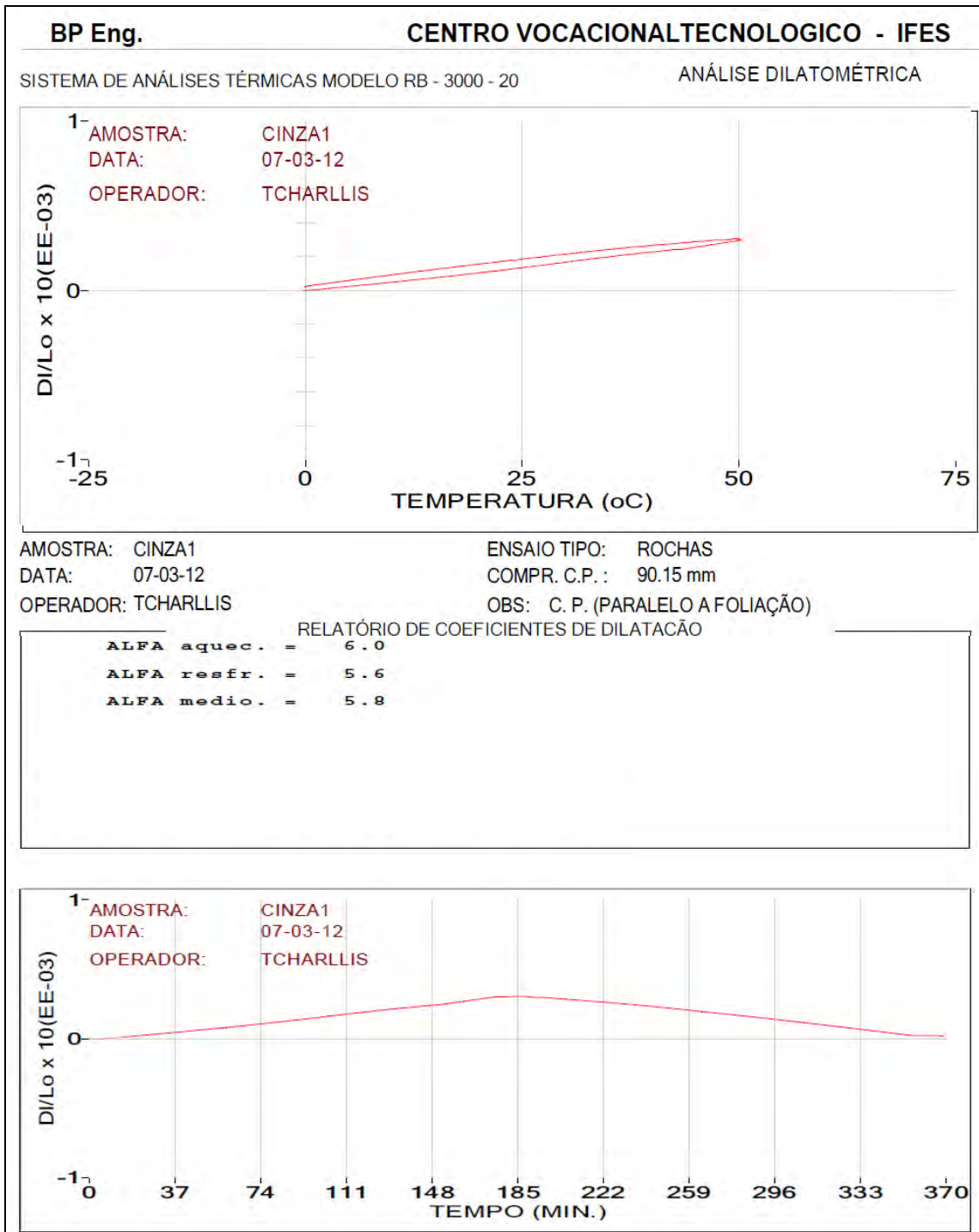
Núcleo Regional do Espírito Santo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI															
DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL - ABNT/NBR 15.845/2010 Anexo E															
Nome da Empresa: Jefferson Camargo															
Nome Comercial: Verde Labrador															
Equipamento utilizado: Máquina à compressão servocontrolada / cap. 200.000 kgf															
Nº Protocolo: 2012/0105															
Marca/Modelo: Contenco / HD 200 T / CPA Carregamento progressivo automático															
Procedência: Baixo Guandu/ES															
Data início do ensaio: 18/01/2012															
Data: 12/01/2012															
Data término do ensaio: 18/01/2012															
Condição do ensaio (x) seca () saturada				Direção do carregamento () perpendicular () paralela (x) outros				Forma do corpo-de-prova (x) cubo () cilindro							
Corpo de Prova	Área (cm²)	Altura (mm)	Aresta (A) (mm)				Média	Aresta (B) (mm)				Média	Média Geral	Força (kN)	Tensão (Mpa)
			Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4		Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4				
1	48,44	69,83	69,66	69,68	69,68	69,83	69,71	69,83	69,37	69,39	69,68	69,57	69,64	528,58	109,12
2	48,58	69,85	69,92	69,90	69,98	70,17	69,99	69,46	69,51	69,36	69,43	69,44	69,72	592,81	122,03
3	49,00	70,08	69,98	70,00	69,96	70,00	69,99	70,09	70,10	69,91	69,90	70,00	69,99	487,29	99,45
4	49,00	69,66	69,94	69,99	70,08	70,14	70,04	69,90	69,95	70,01	70,02	69,97	70,00	552,11	112,68
5	47,89	69,13	69,36	69,28	69,02	69,09	69,19	69,06	69,08	69,41	69,31	69,22	69,20	504,26	105,30
6	49,14	69,93	70,15	70,35	70,09	70,18	70,19	70,00	70,02	69,98	69,98	70,00	70,09	488,18	99,34
7	49,00	70,01	69,87	70,18	69,95	70,10	70,03	69,99	69,98	69,90	69,90	69,94	69,98	522,89	106,71
8	48,72	69,61	69,84	69,87	70,04	69,69	69,86	69,76	69,60	69,84	69,83	69,76	69,81	434,43	89,17
9	48,72	69,64	69,89	70,11	69,82	70,03	69,96	69,53	69,64	69,48	69,67	69,58	69,77	414,43	85,06
10	48,72	69,76	69,90	69,77	69,80	69,80	69,82	69,71	69,83	69,70	69,91	69,79	69,80	491,90	100,96
												Média:	501,69	102,98	
												Desvio Padrão	52,33	10,83	
												Coeficiente de variação		0,10	0,11
Assinatura do Técnico Responsável															

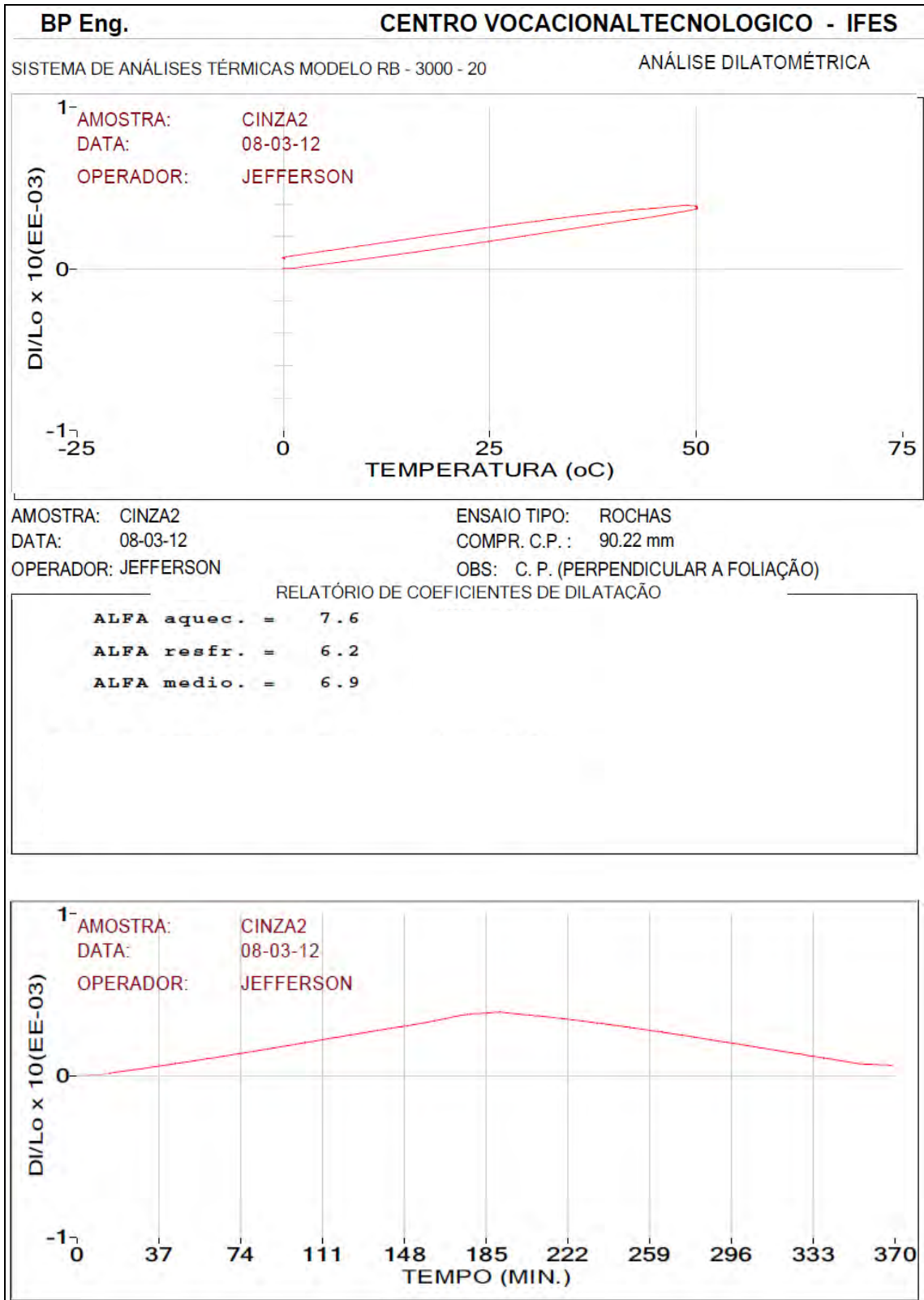
Núcleo Regional do Espírito Santo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI															
DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL - ABNT/NBR 15.845/2010 Anexo E															
Nome da Empresa: Jefferson Camargo/Cetem															
Nome Comercial: Cinza Castelo															
Equipamento utilizado: Máquina à compressão servocontrolada / cap. 200.000 kgf															
Nº Protocolo: 2012/0105															
Marca/Modelo: Contenco / HD 200 T / CPA Carregamento progressivo automático															
Procedência: Mutum/MG															
Data início do ensaio: 18/01/2012															
Data: 12/01/12															
Data término do ensaio: 18/01/2012															
Condição do ensaio (x) seca () saturada				Direção do carregamento (x) perpendicular (1 à 5) (x) paralela (6 à 10) () outros				Forma do corpo-de-prova (x) cubo () cilindro							
Corpo de Prova	Área (cm²)	Altura (mm)	Aresta (A) (mm)				Média	Aresta (B) (mm)				Média	Média Geral	Força (kN)	Tensão (Mpa)
			Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4		Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4				
1	48,30	69,31	69,48	69,57	69,46	69,44	69,49	69,30	69,47	69,50	69,43	69,43	69,46	754,43	156,20
2	48,58	69,85	70,02	70,05	70,03	70,19	70,07	69,33	69,36	69,35	69,37	69,35	69,71	646,65	133,11
3	48,86	69,98	69,76	69,63	69,80	69,83	69,76	70,06	70,08	70,07	70,05	70,07	69,91	808,75	165,52
4	49,00	69,96	70,09	70,08	70,37	70,10	70,16	69,83	69,83	69,71	69,71	69,77	69,97	579,77	118,32
5	48,72	69,81	69,52	69,60	69,77	69,50	69,60	70,03	70,11	70,03	70,15	70,08	69,84	613,21	125,86
6	48,58	69,95	69,33	69,67	69,32	69,45	69,44	69,77	69,83	69,89	69,98	69,87	69,66	434,73	89,49
7	48,30	69,85	69,39	69,17	69,30	69,82	69,42	69,64	69,65	69,67	69,71	69,67	69,54	662,83	137,23
8	48,30	69,43	69,07	69,15	69,06	69,94	69,31	69,68	69,66	69,77	69,55	69,67	69,49	586,63	121,46
9	48,58	69,94	69,96	70,01	70,06	70,03	70,02	69,97	69,27	69,30	69,14	69,42	69,72	413,45	85,11
10	48,72	69,58	69,99	70,10	70,31	70,00	70,10	69,46	69,43	69,64	69,51	69,51	69,81	595,56	122,24
												Média:	609,60	125,45	
												Desvio Padrão	122,71	25,27	
												Coeficiente de variação		0,20	0,20
Assinatura do Técnico Responsável															

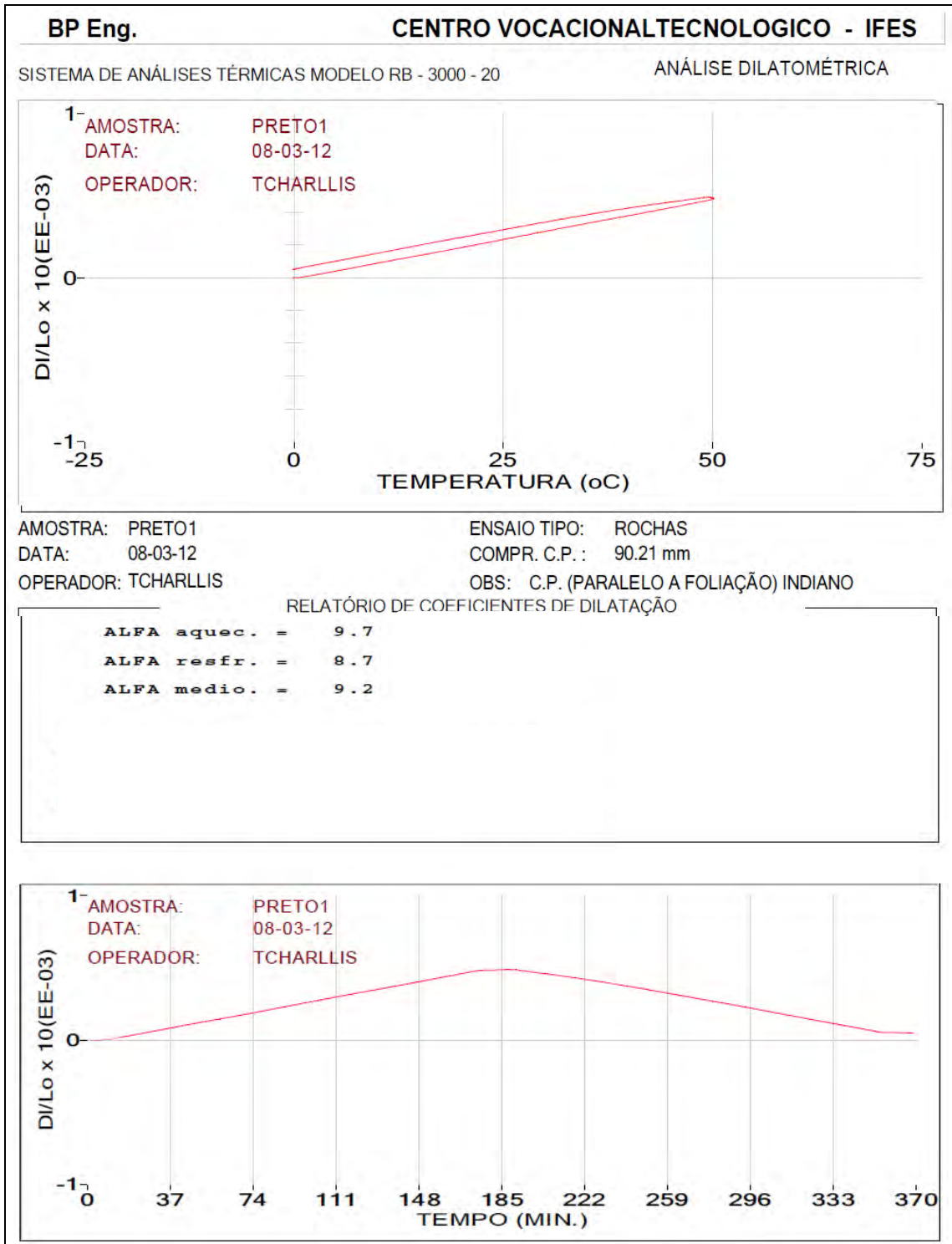
<p style="text-align: center;">Núcleo Regional do Espírito Santo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI</p>															
DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL - ABNT/NBR 15.845/2010 Anexo E															
Nome da Empresa: Jefferson Camargo				Equipamento utilizado: Máquina à compressão servocontrolada / cap. 200.000 kgf											
Nome Comercial: Preto Indiano				Marca/Modelo: Contenco / HD 200 T / CPA Carregamento progressivo automático											
Nº Protocolo: 2012/0105				Data início do ensaio: 17/01/2012											
Procedência: Isonha/ES				Data término do ensaio: 17/01/2012											
Data: 12/01/2002															
Condição do ensaio (x) seca () saturada				Direção do carregamento (x) perpendicular (1 à 5) (x) paralelo (6 à 10) () outros								Forma do corpo-de-prova (x) cubo () cilindro			
Corpo de Prova	Área (cm²)	Altura (mm)	Aresta (A) (mm)				Média	Aresta (B) (mm)				Média	Média Geral	Força (kN)	Tensão (Mpa)
			Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4		Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4				
1	49	70,01	70,39	70,17	70,30	70,02	70,22	68,79	69,66	69,44	69,40	69,32	69,77	432,96	88,36
2	49	70,05	69,99	69,96	69,97	70,00	69,98	69,90	70,07	69,87	69,95	69,95	69,96	490,36	100,07
3	49	70,61	69,73	69,68	69,74	69,82	69,74	70,05	70,29	70,06	70,46	70,22	69,98	455,22	92,90
4	48,44	69,93	69,67	69,45	69,66	69,68	69,62	69,70	69,58	69,60	69,72	69,65	69,63	397,95	82,15
5	49,25	69,93	70,06	70,12	70,13	70,04	70,09	70,34	70,18	70,15	70,30	70,24	70,17	281,25	57,11
6	48,86	70,14	70,10	70,30	70,13	70,21	70,19	69,59	69,64	69,62	69,72	69,64	69,91	488,37	99,95
7	49	70,28	69,93	69,70	69,64	69,58	69,71	70,32	70,32	70,34	70,35	70,33	70,02	452,58	92,36
8	48,72	69,70	69,87	69,69	69,73	69,64	69,73	69,83	69,85	69,83	69,68	69,80	69,77	408,74	83,90
9	48,44	70,05	69,20	69,38	69,60	69,40	69,40	69,62	69,70	70,01	69,68	69,75	69,57	497,49	102,70
10	49,14	70,06	70,06	70,16	70,09	70,13	70,11	70,07	70,26	70,10	70,22	70,16	70,14	358,04	72,86
												Média:	426,30	87,24	
												Desvio Padrão	67,83	14,05	
												Coefficiente de variação	0,16	0,16	
Assinatura do Técnico Responsável															

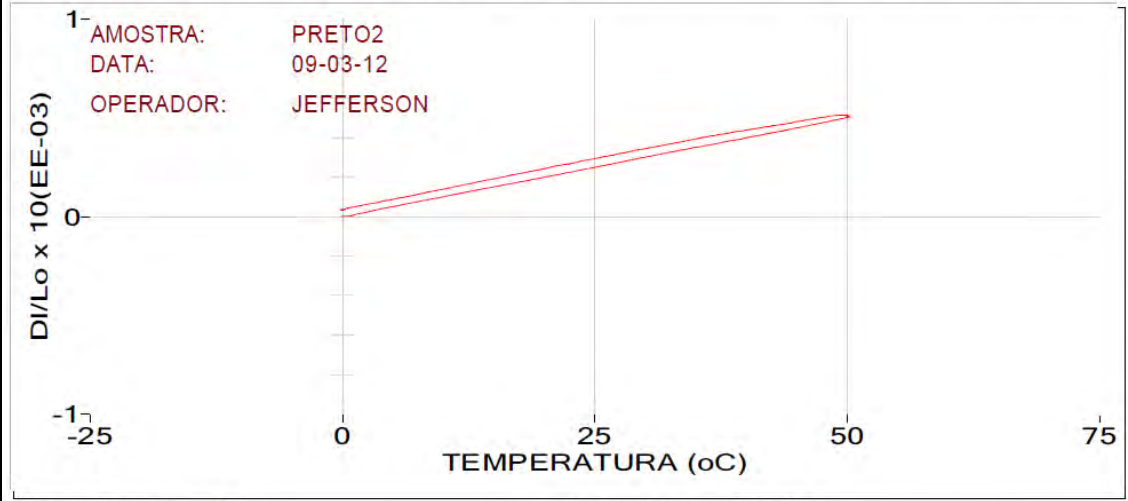










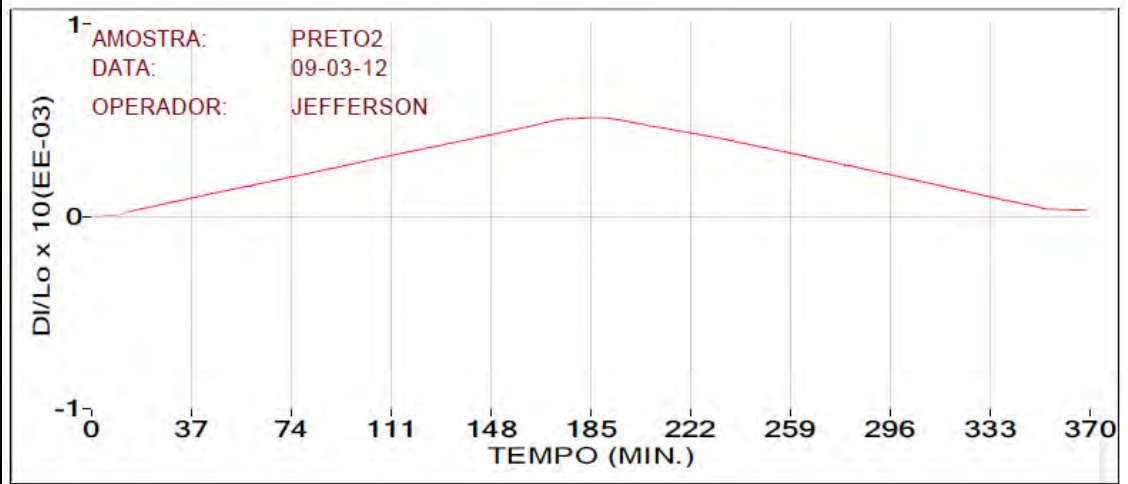


AMOSTRA: PRETO2
 DATA: 09-03-12
 OPERADOR: JEFFERSON

ENSAIO TIPO: ROCHAS
 COMPR. C.P.: 90.19 mm
 OBS: C. P. (PERPENDICULAR A FOLIAÇÃO)

RELATÓRIO DE COEFICIENTES DE DILATAÇÃO

ALFA aquec. =	10.2
ALFA resfr. =	9.5
ALFA medio. =	9.8

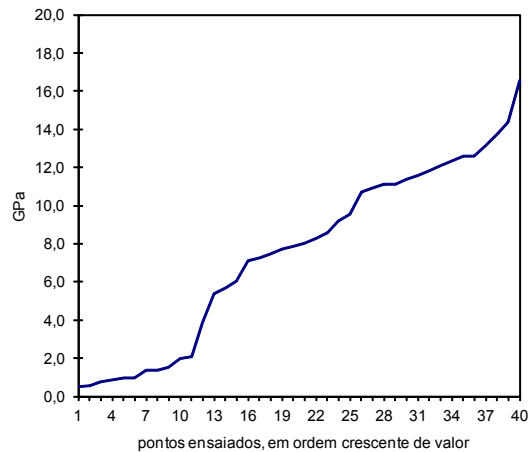


DUREZA KNOOP

AMOSTRA "gnaisse" Preto Indiano LMCC 657/1 DATA: 04/05/2012

MEDIDA	DIAGONAL N ^o (10 ⁻³ mm)	DUREZA (kg/mm ²) GPa	DUREZA EM ORDEM CRES. (GPa)
1	181	87	0,85
2	62	738	7,24
3	44	1466	14,38
4	41	1688	16,56
5	59	815	8,00
6	50	1135	11,13
7	136	153	1,50
8	47	1285	12,60
9	61	763	7,48
10	172	96	0,94
11	60	788	7,73
12	51	1091	10,70
13	58	844	8,27
14	143	139	1,36
15	63	727	7,13
16	142	141	1,38
17	223	57	0,56
18	193	76	0,75
19	49	1182	11,59
20	47	1285	12,60
21	118	204	2,00
22	49	1207	11,83
23	45	1401	13,74
24	116	211	2,07
25	60	802	7,86
26	72	547	5,37
27	172	96	0,94
28	54	973	9,54
29	51	1113	10,91
30	55	938	9,20
31	85	393	3,85
32	70	579	5,68
33	50	1158	11,36
34	46	1341	13,15
35	68	614	6,02
36	233	52	0,51
37	50	1135	11,13
38	57	873	8,57
39	48	1258	12,34
40	48	1232	12,08

Curva de distribuição da dureza Knoop para a amostra "Gnaisse Preto Indiano"



cobre eletrolítico		
DIAGONAL (10 ⁻³ mm)	DUREZA (kg/mm ²) GPa	
177	91	0,89
180	88	0,86
178	90	0,88
178	90	0,88
173	95	0,93
		0,89
		0,03

carga:	200 g	1,961 N	kg/mm ²	GPa
tempo de carga :	aprox. 35 s.		HK25=	209 2,05
Constante Knoop (C):	0,07048		HK50 =	808 7,93
(especifico da ponta usada)			HK 75 =	1.164 11,42
			HKmédio=	767 7,52
			HK75/HK25=	5,57

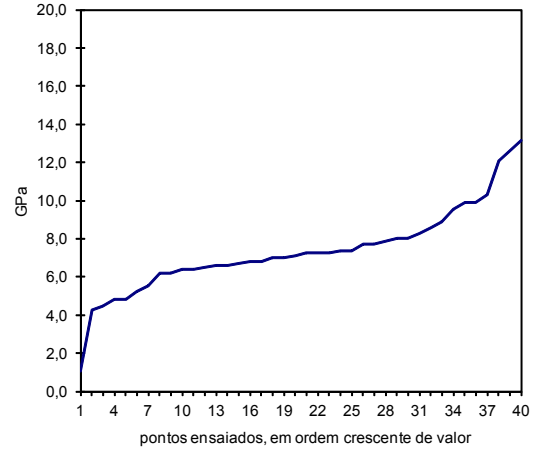
LEITZ MINILOAD 2

DUREZA KNOOP

AMOSTRA "charnoquito" Verde Labrador LMCC 658/1: DATA: 06/07/2012

MEDIDA	DIAGONAL (10 ⁻³ mm)	DUREZA (kg/mm ²)	GPa	DUREZA EM ORDEM CRES. (GPa)
1	79	455	4,46	1,05
2	63	715	7,01	4,24
3	66	652	6,39	4,46
4	52	1050	10,29	4,82
5	64	693	6,79	4,82
6	56	905	8,88	5,22
7	163	107	1,05	5,52
8	62	738	7,24	6,20
9	65	672	6,59	6,20
10	76	491	4,82	6,39
11	48	1232	12,08	6,39
12	62	750	7,36	6,49
13	47	1285	12,60	6,59
14	59	815	8,00	6,59
15	67	632	6,20	6,69
16	63	727	7,13	6,79
17	54	973	9,54	6,79
18	63	715	7,01	7,01
19	53	1010	9,91	7,01
20	81	433	4,24	7,13
21	71	563	5,52	7,24
22	64	693	6,79	7,24
23	59	815	8,00	7,24
24	60	788	7,73	7,36
25	60	802	7,86	7,36
26	62	738	7,24	7,73
27	66	661	6,49	7,73
28	57	873	8,57	7,86
29	76	491	4,82	8,00
30	73	533	5,22	8,00
31	58	844	8,27	8,27
32	65	682	6,69	8,57
33	53	1010	9,91	8,88
34	62	738	7,24	9,54
35	46	1341	13,15	9,91
36	65	672	6,59	9,91
37	60	788	7,73	10,29
38	62	750	7,36	12,08
39	67	632	6,20	12,60
40	66	652	6,39	13,15

Curva de distribuição da dureza Knoop para a amostra "Charnoquito Verde Labrador"



cobre eletrolítico

DIAGONAL (10 ⁻³ mm)	DUREZA (kg/mm ²)	GPa
178	90	0,88
184	84	0,82
179	89	0,87
171	97	0,95
180	88	0,86
		0,88
		0,05

carga:	200 g	1,961 N	kg/mm ²	GPa
tempo de carga :	aprox. 35 s.		HK25=	652 6,39
Constante Knoop (C):	0,07048		HK50 =	732 7,18
(especifico da ponta usada)			HK 75 =	822 8,06
			HKmédio=	753 7,38
			HK75/HK25=	1,26

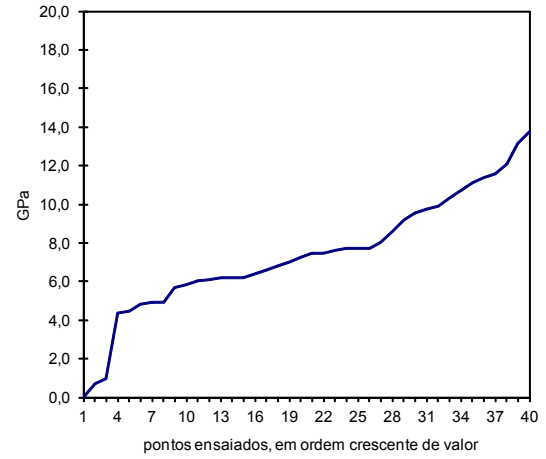
LEITZ MINILOAD 2

DUREZA KNOOP

AMOSTRA "granito" Cinza Castelo LMCC 657/1 DATA: 15/06/2012

MEDIDA	DIAGONAL N ^o (10 ⁻³ mm)	DUREZA		DUREZA EM ORDEM CRES. (GPa)	
		(kg/mm ²)	GPa		
1	53	1010	9,91	0,00	
2	75	505	4,95	0,70	
3	200	71	0,70	0,94	
4	59	815	8,00	4,35	
5	52	1050	10,29	4,46	
6	69	596	5,85	4,82	
7	45	1401	13,74	4,95	
8	70	579	5,68	4,95	
9	54	973	9,54	5,68	
10	55	938	9,20	5,85	
11	66	652	6,39	6,02	
12	62	738	7,24	6,11	
13	49	1182	11,59	6,20	
14	46	1341	13,15	6,20	
15	61	763	7,48	6,20	
16	68	614	6,02	6,39	
17	48	1232	12,08	6,59	
18	57	873	8,57	6,79	
19	60	788	7,73	7,01	
20	67	632	6,20	7,24	
21	65	672	6,59	7,48	
22	51	1091	10,70	7,48	
23	61	763	7,48	7,60	
24	54	992	9,72	7,73	
25	80	443	4,35	7,73	
26	172	96	0,94	7,73	
27	67	632	6,20	8,00	
28	61	775	7,60	8,57	
29	50	1135	11,13	9,20	
30	50	1158	11,36	9,54	
31	60	788	7,73	9,72	
32	79	455	4,46	9,91	
33	63	715	7,01	10,29	
34	64	693	6,79	10,70	
35	76	491	4,82	11,13	
36	5105	0	0,00	11,36	
37	60	788	7,73	11,59	
38	67	632	6,20	12,08	
39	75	505	4,95	13,15	
40	68	623	6,11	13,74	

Curva de distribuição da dureza Knoop para a amostra "Granito Cinza Castelo"



carga:	200 g	1,961 N	kg/mm ²	GPa
tempo de carga :	aprox. 35 s.		HK25=	609 5,98
Constante Knoop (C):	0,07048		HK50 =	750 7,36
(especifico da ponta usada)			HK 75 =	978 9,59
			HKmédio=	755 7,40
			HK75/HK25=	1,60

LEITZ MINILOAD 2

ANEXO B

TABELAS CONTENDO OS RESULTADOS DE BRILHO,
PERDAS DE MASSA DE ABRASIVO E O ÍNDICE DE
EFICIÊNCIA DE POLIMENTO UTILIZANDO
GRANULOMETRIA DE ABRASIVO 24 A 60 *mesh*.

Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 24 *mesh* no polimento do Verde Labrador.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
VL 1 A 1 24	1,30	0,40	2,26	2,57	0,58
VL 2 A 1 24	0,20	0,10	2,10	2,39	0,10
VL 3 A 1 24	1,20	0,40	3,42	2,84	0,35
VL 4 A 1 24	0,90	0,30	3,12	2,18	0,29
VL 1 A 2 24	1,90	0,60	2,71	0,71	0,70
VL 2 A 2 24	1,70	0,50	2,66	0,39	0,64
VL 3 A 2 24	2,50	0,50	3,71	0,59	0,67
VL 4 A 2 24	2,70	1,10	3,95	1,17	0,68
VL 1 A 3 24	2,30	0,40	4,83	0,62	0,48
VL 2 A 3 24	2,80	0,60	4,11	0,45	0,68
VL 3 A 3 24	3,30	1,00	5,50	1,19	0,60
VL 4 A 3 24	2,20	1,20	5,08	0,56	0,43
VL 1 B 1 24	1,20	0,30	2,47	0,75	0,49
VL 2 B 1 24	1,70	0,50	2,64	0,58	0,64
VL 3 B 1 24	1,20	0,40	2,75	1,09	0,44
VL 4 B 1 24	1,20	0,30	4,09	1,09	0,29
VL 1 B 2 24	1,90	0,70	4,06	0,81	0,47
VL 2 B 2 24	2,40	0,70	4,25	0,80	0,56
VL 3 B 2 24	3,10	0,80	3,67	0,33	0,84
VL 4 B 2 24	2,90	0,80	3,61	0,59	0,80
VL 1 B 3 24	3,10	0,60	4,85	0,94	0,64
VL 2 B 3 24	3,20	0,80	4,60	0,53	0,70
VL 3 B 3 24	2,00	0,70	5,15	0,58	0,39
VL 4 B 3 24	2,40	1,20	5,78	0,41	0,42

Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 24 *mesh* no polimento do Cinza Castelo.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
CC 1 A 1 24	0,80	0,60	2,25	0,43	0,36
CC 2 A 1 24	0,70	0,40	3,54	0,41	0,20
CC 3 A 1 24	0,60	0,40	0,01	-	60,00
CC 4 A 1 24	1,10	0,60	3,45	0,84	0,32
CC 1 A 2 24	1,80	0,70	3,05	0,58	0,59
CC 2 A 2 24	2,50	1,10	2,70	0,50	0,93
CC 3 A 2 24	2,00	0,90	3,17	0,61	0,63
CC 4 A 2 24	3,30	1,00	4,50	0,84	0,73
CC 1 A 3 24	1,70	1,00	3,29	0,64	0,52
CC 2 A 3 24	2,40	0,50	4,66	0,15	0,52
CC 3 A 3 24	2,40	1,00	3,88	0,46	0,62
CC 4 A 3 24	3,00	0,90	5,10	0,77	0,59
CC 1 B 1 24	0,80	0,40	2,61	0,70	0,31
CC 2 B 1 24	1,00	0,80	3,15	0,43	0,32
CC 3 B 1 24	1,60	0,50	2,00	0,51	0,80
CC 4 B 1 24	1,60	0,50	3,76	0,62	0,43
CC 1 B 2 24	2,30	0,50	2,82	0,71	0,82
CC 2 B 2 24	2,70	0,70	3,91	0,31	0,69
CC 3 B 2 24	2,20	0,50	4,35	0,65	0,51
CC 4 B 2 24	1,90	0,70	3,26	0,74	0,58
CC 1 B 3 24	2,30	0,60	5,31	0,80	0,43
CC 2 B 3 24	2,80	0,90	4,50	0,39	0,62
CC 3 B 3 24	3,00	0,60	6,91	0,37	0,43
CC 4 B 3 24	2,80	1,10	6,98	0,44	0,40

Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 24 *mesh* no polimento do Preto Indiano.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
PI 1 A 1 24	1,10	0,30	2,40	0,46	0,46
PI 2 A 1 24	1,00	0,80	2,38	0,29	0,42
PI 3 A 1 24	1,30	0,80	2,47	0,06	0,53
PI 4 A 1 24	1,30	1,10	2,12	0,52	0,61
PI 1 A 2 24	1,80	0,80	3,13	0,53	0,58
PI 2 A 2 24	1,90	1,30	2,27	0,34	0,84
PI 3 A 2 24	2,30	1,50	3,96	0,28	0,58
PI 4 A 2 24	2,50	1,40	3,21	0,54	0,78
PI 1 A 3 24	3,80	1,20	4,00	0,58	0,95
PI 2 A 3 24	3,00	1,50	3,33	0,29	0,90
PI 3 A 3 24	4,80	1,40	4,63	0,57	1,04
PI 4 A 3 24	4,30	1,20	4,09	0,87	1,05
PI 1 B 1 24	2,20	1,00	2,43	0,53	0,91
PI 2 B 1 24	2,20	0,80	2,35	0,19	0,94
PI 3 B 1 24	0,90	1,10	2,81	0,30	0,32
PI 4 B 1 24	1,70	0,30	2,86	0,83	0,59
PI 1 B 2 24	2,70	1,00	3,94	0,71	0,69
PI 2 B 2 24	3,60	1,20	3,38	0,38	1,07
PI 3 B 2 24	3,00	0,90	5,04	0,21	0,60
PI 4 B 2 24	2,80	0,50	4,19	0,84	0,67
PI 1 B 3 24	3,00	0,40	4,08	0,99	0,74
PI 2 B 3 24	2,40	0,50	3,79	0,21	0,63
PI 3 B 3 24	3,60	1,10	5,11	0,51	0,70
PI 4 B 3 24	4,10	1,10	4,63	0,34	0,89

Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 36 *mesh* no polimento do Verde Labrador.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
VL 1 A 1 36	1,30	0,40	1,03	0,97	1,26
VL 2 A 1 36	0,20	0,30	0,99	0,32	0,20
VL 3 A 1 36	0,90	0,40	1,09	0,34	0,83
VL 4 A 1 36	1,20	0,50	1,53	0,86	0,78
VL 1 A 2 36	2,80	0,60	1,03	0,53	2,72
VL 2 A 2 36	3,30	0,70	1,71	0,52	1,93
VL 3 A 2 36	2,20	0,50	2,58	0,41	0,85
VL 4 A 2 36	1,90	0,70	2,75	0,68	0,69
VL 1 A 3 36	2,80	1,20	3,12	0,66	0,90
VL 2 A 3 36	2,50	0,70	2,57	0,33	0,97
VL 3 A 3 36	3,00	1,00	3,82	0,85	0,79
VL 4 A 3 36	3,40	0,80	3,51	0,33	0,97
VL 1 B 1 36	1,70	0,50	0,93	0,40	1,83
VL 2 B 1 36	2,50	0,40	1,23	0,16	2,03
VL 3 B 1 36	2,70	1,10	0,95	0,61	2,84
VL 4 B 1 36	2,30	0,70	2,36	0,82	0,97
VL 1 B 2 36	2,20	0,80	2,06	0,66	1,07
VL 2 B 2 36	2,30	0,80	3,22	0,66	0,71
VL 3 B 2 36	3,00	0,90	2,70	0,30	1,11
VL 4 B 2 36	3,00	0,90	3,27	0,79	0,92
VL 1 B 3 36	3,40	1,10	3,74	0,85	0,91
VL 2 B 3 36	3,60	1,50	3,06	0,50	1,18
VL 3 B 3 36	4,70	1,30	3,71	0,42	1,27
VL 4 B 3 36	2,60	1,40	5,27	0,45	0,49

Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 36 *mesh* no polimento do Cinza Castelo.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
CC 1 A 1 36	1,10	0,50	1,07	0,26	1,03
CC 2 A 1 36	1,20	0,70	1,90	0,42	0,63
CC 3 A 1 36	1,60	0,50	1,33	0,41	1,20
CC 4 A 1 36	1,70	0,60	2,14	0,40	0,79
CC 1 A 2 36	1,90	0,90	1,97	0,28	0,96
CC 2 A 2 36	2,80	1,20	1,77	0,38	1,58
CC 3 A 2 36	2,20	0,70	1,98	0,45	1,11
CC 4 A 2 36	2,30	0,70	3,65	0,52	0,63
CC 1 A 3 36	1,10	0,70	2,22	0,49	0,50
CC 2 A 3 36	2,60	0,80	3,70	0,28	0,70
CC 3 A 3 36	2,10	0,80	2,61	0,29	0,80
CC 4 A 3 36	2,30	0,80	4,54	0,74	0,51
CC 1 B 1 36	2,10	0,70	1,70	0,36	1,24
CC 2 B 1 36	2,40	0,80	1,97	0,41	1,22
CC 3 B 1 36	1,30	0,50	1,37	0,44	0,95
CC 4 B 1 36	1,70	0,70	2,80	0,50	0,61
CC 1 B 2 36	2,60	0,90	1,89	0,62	1,38
CC 2 B 2 36	2,30	0,80	2,74	0,48	0,84
CC 3 B 2 36	2,20	0,40	3,27	0,44	0,67
CC 4 B 2 36	1,30	0,90	3,09	0,60	0,42
CC 1 B 3 36	3,60	0,90	3,41	0,74	1,06
CC 2 B 3 36	3,00	0,90	3,30	1,52	0,91
CC 3 B 3 36	3,10	1,10	4,20	0,33	0,74
CC 4 B 3 36	2,60	0,80	6,37	0,74	0,41

Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 36 *mesh* no polimento do Preto Indiano.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
PI 1 A 1 36	1,20	18,70	1,38	0,22	0,87
PI 2 A 1 36	1,50	0,90	1,47	0,43	1,02
PI 3 A 1 36	2,20	1,00	1,65	0,12	1,33
PI 4 A 1 36	1,70	1,20	1,59	0,41	1,07
PI 1 A 2 36	2,80	0,90	2,34	0,42	1,20
PI 2 A 2 36	3,30	1,60	1,62	0,32	2,04
PI 3 A 2 36	2,30	1,60	3,70	0,68	0,62
PI 4 A 2 36	2,80	1,90	2,47	0,59	1,13
PI 1 A 3 36	2,90	1,30	2,90	0,52	1,00
PI 2 A 3 36	4,40	1,60	2,72	0,30	1,62
PI 3 A 3 36	4,40	1,60	3,70	0,41	1,19
PI 4 A 3 36	4,10	1,10	4,09	0,90	1,00
PI 1 B 1 36	1,70	0,90	2,19	0,45	0,78
PI 2 B 1 36	2,70	1,10	1,36	0,37	1,99
PI 3 B 1 36	2,10	1,30	2,22	0,35	0,95
PI 4 B 1 36	2,00	0,60	2,32	0,76	0,86
PI 1 B 2 36	3,10	0,90	3,09	0,45	1,00
PI 2 B 2 36	3,00	0,80	2,79	0,54	1,08
PI 3 B 2 36	3,10	1,00	4,44	0,24	0,70
PI 4 B 2 36	2,70	0,50	3,60	0,75	0,75
PI 1 B 3 36	3,40	0,80	3,23	0,89	1,05
PI 2 B 3 36	3,40	0,80	3,51	0,40	0,97
PI 3 B 3 36	3,50	0,80	4,85	0,29	0,72
PI 4 B 3 36	3,70	0,80	5,16	0,62	0,72

Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 60 *mesh* no polimento do Verde Labrador.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
VL 1 A 1 60	1,40	0,40	3,26	-	0,43
VL 2 A 1 60	1,40	0,90	1,00	0,23	1,40
VL 3 A 1 60	2,30	0,30	1,19	0,35	1,93
VL 4 A 1 60	2,50	0,80	1,28	0,64	1,95
VL 1 A 2 60	5,30	1,40	1,05	0,36	5,05
VL 2 A 2 60	3,50	1,30	1,55	0,39	2,26
VL 3 A 2 60	3,90	0,90	2,35	0,44	1,66
VL 4 A 2 60	4,50	1,60	2,54	0,85	1,77
VL 1 A 3 60	5,50	2,80	2,71	0,74	2,03
VL 2 A 3 60	5,40	1,30	2,72	0,29	1,99
VL 3 A 3 60	5,10	0,70	2,96	1,55	1,72
VL 4 A 3 60	5,30	1,10	3,50	0,44	1,51
VL 1 B 1 60	2,70	0,60	0,99	0,22	2,73
VL 2 B 1 60	2,70	1,30	1,22	0,09	2,21
VL 3 B 1 60	3,70	0,90	0,90	0,45	4,11
VL 4 B 1 60	2,10	0,50	2,55	0,90	0,82
VL 1 B 2 60	4,10	0,60	2,11	0,50	1,94
VL 2 B 2 60	4,40	1,60	2,58	0,47	1,71
VL 3 B 2 60	5,00	0,60	2,13	0,08	2,35
VL 4 B 2 60	4,20	1,40	3,07	0,72	1,37
VL 1 B 3 60	5,10	1,10	3,10	0,60	1,65
VL 2 B 3 60	5,90	1,40	2,26	0,38	2,61
VL 3 B 3 60	7,00	1,60	2,98	0,29	2,35
VL 4 B 3 60	5,30	1,40	4,93	0,54	1,08

Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 60 *mesh* no polimento do Cinza Castelo.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
CC 1 A 1 60	2,60	0,60	0,94	0,17	2,77
CC 2 A 1 60	2,20	0,60	1,57	0,10	1,40
CC 3 A 1 60	2,40	4,00	1,39	0,42	1,73
CC 4 A 1 60	1,70	0,50	2,07	0,56	0,82
CC 1 A 2 60	3,40	-	1,50	0,31	2,27
CC 2 A 2 60	4,00	1,20	1,07	0,13	3,74
CC 3 A 2 60	3,70	0,80	1,62	0,15	2,28
CC 4 A 2 60	2,90	0,50	3,56	0,65	0,81
CC 1 A 3 60	3,50	1,10	1,80	0,61	1,94
CC 2 A 3 60	4,70	0,80	3,22	0,35	1,46
CC 3 A 3 60	3,70	0,80	2,34	0,40	1,58
CC 4 A 3 60	3,50	1,00	4,89	0,64	0,72
CC 1 B 1 60	1,90	0,90	1,57	0,38	1,21
CC 2 B 1 60	2,20	0,50	1,88	0,23	1,17
CC 3 B 1 60	2,40	0,60	0,94	0,20	2,55
CC 4 B 1 60	2,30	1,00	2,71	0,41	0,85
CC 1 B 2 60	3,20	0,70	1,82	0,44	1,76
CC 2 B 2 60	3,70	1,30	2,37	0,21	1,56
CC 3 B 2 60	3,00	0,70	2,91	0,33	1,03
CC 4 B 2 60	3,90	1,00	2,85	0,60	1,37
CC 1 B 3 60	3,80	1,80	3,43	0,71	1,11
CC 2 B 3 60	5,00	1,30	3,07	0,38	1,63
CC 3 B 3 60	4,00	2,10	4,96	0,33	0,81
CC 4 B 3 60	5,10	1,40	5,33	0,48	0,96

Resultados da etapa experimental utilizando abrasivo 60 *mesh* no polimento do Preto Indiano.

NOMENCLATURA	BRILHO		PERDA DE MASSA DE ABRASIVO		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (lux/g)
	BRILHO MÁXIMO (lux)	DESV. PADRÃO	DESGASTE (g)	DESV. PADRÃO	
PI 1 A 1 60	1,70	0,80	1,38	0,44	1,23
PI 2 A 1 60	2,20	1,50	1,39	0,26	1,58
PI 3 A 1 60	2,60	1,10	1,80	0,06	1,44
PI 4 A 1 60	2,60	3,40	1,37	0,42	1,90
PI 1 A 2 60	3,70	2,90	2,16	0,34	1,71
PI 2 A 2 60	3,10	2,10	1,51	0,77	2,05
PI 3 A 2 60	4,70	2,00	3,40	0,53	1,38
PI 4 A 2 60	3,60	2,40	2,78	0,89	1,29
PI 1 A 3 60	3,50	2,00	2,95	0,66	1,19
PI 2 A 3 60	5,90	2,10	2,46	0,29	2,40
PI 3 A 3 60	6,30	2,00	3,36	0,32	1,88
PI 4 A 3 60	6,70	2,10	2,72	0,41	2,46
PI 1 B 1 60	2,70	1,10	1,88	0,28	1,44
PI 2 B 1 60	2,30	1,30	1,38	0,32	1,67
PI 3 B 1 60	2,40	0,80	1,79	0,25	1,34
PI 4 B 1 60	3,50	0,80	2,21	0,50	1,58
PI 1 B 2 60	5,70	1,40	2,86	0,45	1,99
PI 2 B 2 60	4,70	1,30	2,21	0,60	2,13
PI 3 B 2 60	4,20	0,80	3,88	0,21	1,08
PI 4 B 2 60	4,70	1,40	3,24	0,76	1,45
PI 1 B 3 60	6,50	1,70	3,35	0,81	1,94
PI 2 B 3 60	6,40	1,50	2,94	0,35	2,18
PI 3 B 3 60	7,40	1,60	5,29	0,33	1,40
PI 4 B 3 60	5,50	1,60	4,99	0,76	1,10