Clébio Goulart Coimbra Filho

**Relação entre processo de corte e qualidade de superfícies
serradas de granitos ornamentais.**

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

Orientador: Prof. Dr. Nilson Gandolfi

**São Carlos
2006**

**Dedico este trabalho à minha mulher Eloiza
Dias Albergaria e aos meus filhos Henrique e
Ricardo.**

AGRADECIMENTOS

À minha mulher Eloiza Dias Albergaria e aos meus filhos Henrique e Ricardo pela paciência.

Aos meus colegas de curso, em especial, Leonardo Silveira, Eder Guedes, Isaura Regadas e Ana Paula Lopes.

Aos meus orientadores professores Nilson Gandolfi e José Eduardo Rodrigues.

A todos os demais professores e funcionários que contribuíram de alguma forma para este trabalho.

As empresas Granitos Medeiros Ltda. e Nazareth Mármore e Granitos Ltda. pela grande cooperação.

E tantas outras pessoas que direta ou indiretamente ajudaram na finalização deste trabalho.

SUMARIO

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	21
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 Considerações Gerais.....	27
2.2 Beneficiamento de granitos ornamentais	31
2.2.1 Beneficiamento Primário	35
2.2.1.1 O corte com tear de lâminas.....	35
2.2.1.2 O corte com talha-blocos de discos diamantados	47
2.2.1.3 O corte com fio diamantado.....	52
2.2.2 Beneficiamento Secundário ou final	56
2.2.2.1 Polimento	57
2.2.2.2 Apicoamento e Flamagem	64
2.2.3 Principais problemas operacionais.....	65
2.3 Análise petrográfica	74
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	81
3.1 MATERIAIS.....	81
3.2 MÉTODOS	84

3.2.1 Acompanhamento dos cortes e coletas dos materiais	84
3.2.2 Análise petrográfica	86
3.2.3 Análise estatística.....	87
3.2.4 Análise da rugosidade	88
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES.	91
4.1 Caracterização Tecnológica	91
4.1.1 Análise petrográfica	91
4.1.2 Índices físicos e mecânicos	94
4.2 Análise estatística dos materiais	95
4.2.1 Granito Verde <i>Peacock</i>	96
4.2.2 Granito Amarelo Ornamental.....	98
4.2.3 Granito Branco Siena.....	100
4.3 - Análise da rugosidade no avaliador de rugosidade de chapas – ARC.....	101
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXOS	119
ANEXO 1 DADOS DAS FICHAS DE CONTROLE DAS MISTURAS.....	121
ANEXO 2 ANÁLISE ESTATÍSTICA	142
ANEXO 3 ANÁLISE DA RUGOSIDADE NO ARC.....	152

RESUMO

COIMBRA FILHO, C. G. (2006). Relação entre processo de corte e qualidade de superfícies serradas de granitos ornamentais. *São Carlos*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 168 p.

A etapa de serragem de blocos (desdobramento) de granitos ornamentais considerando uma visão integrada entre as propriedades das rochas e o desempenho de máquinas, equipamentos e insumos, pode contribuir de forma fundamental para o aprimoramento do setor de rochas ornamentais. Mesmo com crescimentos marcantes na produção e exportação e grande avanço tecnológico, o empirismo predomina no processo produtivo aumentando a possibilidade de desperdícios, quebra de equipamentos, defeitos nas chapas, etc. Para minimizar a utilização da prática e otimizar o processo produtivo, este trabalho objetiva a correlação entre parâmetros operacionais e características tecnológicas das rochas para melhorar a qualidade das chapas produzidas. Foram acompanhadas as serragens e coletadas amostras de três materiais de grande demanda e efetuadas análises petrográficas, determinações da rugosidade e tratamentos estatísticos que, conjuntamente, com dados operacionais provenientes das serragens, avaliou-se a qualidade das superfícies serradas. Este estudo comprova a lacuna existente entre os estudos relacionados às variáveis envolvidas no processo de corte e as características petrográficas e da necessidade de uma pesquisa aplicada que permita a definição de procedimentos adequados na etapa de beneficiamento primário de granitos ornamentais, com a participação intensa das empresas que atuam nesse ramo da economia.

Palavras-chave: rochas ornamentais, granitos, serragem.

ABSTRACT

COIMBRA FILHO, C. G. (2006). Relation between sawing process and quality of sawed surfaces of ornamental granites. *São Carlos*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 168 p.

The industry of ornamental and dimension stone can be improved by the global and integrated overview of stone properties and performance machines, equipment and insums. Although with excellent growth in production and exportation and great technological advance, the empirism predominates in the productive process, a practice that might leads to loses, failures of equipment, defects in final product and other problems. Pointing this question are presented and correlated operational parameters of the sawing processes and technological properties of rocks, intending to contribute with the optimization of the productive processes and improve quality of slabs. Three varieties of granites were selected, sampled and subjected to petrographical analysis and rugosity evaluation. For each rock the block cut processes using gang saws was accompanied. The set of laboratorial and processes data was treated statistically and analyzed expecting to evaluate the quality of sawed surface slabs. The results obtained are not conclusive and pointing the necessity of future studies to understanding the effective relations between the petrographical features and processes procedures during block cut step in the dimension stone industry. Is expected this approach resulting in better guides to improve the quality of slabs and minimize loses during the processes.

Key-words: dimension stones, granites, sawing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Tear multi-lâminas utilizado no corte de rochas ornamentais.....	36
Figura 2. Lâminas utilizadas no processo de serragem de granitos ornamentais.	37
Figura 3. Granalhas esféricas e angulosas utilizadas no processo de corte de granitos.....	41
Figura 4 . Régua utilizada na averiguação da “viscosidade”. [1 cm]	42
Figura 5. Verificação da “viscosidade” através de régua utilizada pelo setor.	43
Figura 6. Granalha ativa retida após a passagem da lama sobre uma peneira de malha 40.	44
Figura 7. Talha-bloco monodisco com disco diamantado de grande dimensão. Foto CETEMAG (2000a).....	48
Figura 8. Talha-bloco multidiscos. Foto CETEMAG (2000a).	50
Figura 9. O corte com fio diamantado. Foto CETEMAG (2000a).	53
Figura 10. Tear a fio diamantado (Foto: ROCHAS DE QUALIDADE, 2004).....	54
Figura 11. Politriz Manual de bancada fixa. Foto CETEMAG (2000b).....	59
Figura 12. Politriz de ponte móvel com bancada fixa. Foto CETEMAG (2000b).	61
Figura 13. Politriz multicabeça com esteira transportadora. Foto CETEMAG (2000b).	63
Figura 14. Deformação da lâmina devido ao seu consumo excessivo.....	70
Figura 15. Presença de trinca atravessando a chapa.	72
Figura 16. Indicação do desgaste causado no processo de polimento juntamente com o acúmulo de detritos nos interstícios (RABINOWICZ, 1966).....	72
Figura 17. Polimento de chapa em superfície apresentando baixa vazão de água.	73

Figura 18. Esquema ilustrando o comportamento físico e mecânico de uma rocha, como resultado da interação entre os aspectos petrográficos definidos pela mineralogia, textura e estrutura (NAVARRO, 2002).	76
Figura 19. (A) Componentes do ARC e (B) detalhe do corpo de medição. Fotos: RIBEIRO, <i>et al</i> (2005).	84
Figura 20. Casqueiro do granito Verde <i>Peacock</i> . Os números 1, 2 e 3 indicam, respectivamente, o topo, meio e a base das chapas de onde foram retiradas as amostras.	85
Figura 21. Perfil esquemático medido (A) e horizontalizado (B) (Mummery, 1992).	88
Figura 22. Perfil esquemático apresentando a definição de rugosidade total (R_t) que é a diferença entre o pico mais alto e a depressão mais baixa num certo comprimento (L).	89
Figura 23. Granito Verde <i>Peacock</i> - Gráficos mostrando a relação entre densidade da lama abrasiva x teor de granalha. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 57.	97
Figura 24 - Granito Amarelo Ornamental - Gráficos mostrando a relação entre densidade x teor de granalha. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 66	99
Figura 25. Granito Branco Siena - Gráficos mostrando a relação entre densidade x teor de granalha. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 76.	101
Figura 26. Perfil horizontalizado da rugosidade do granito Amarelo Ornamental serrado na Granitos Medeiros Ltda. Perfil da amostra AO_M1. As áreas circuladas mostram os valores máximos e mínimos de rugosidade.	102

Figura 27. Perfil horizontalizado da rugosidade do granito Amarelo Ornamental serrado na Granitos Medeiros Ltda. Perfil da amostra AO_M2. As áreas circuladas mostram os valores máximos e mínimos de rugosidade.....	102
Figura 28. Perfil horizontalizado da rugosidade do granito Amarelo Ornamental serrado na Granitos Medeiros Ltda. Perfil da amostra AO_M3. As áreas circuladas mostram os valores máximos e mínimos de rugosidade.....	103
Figura 29. Comparação entre os gráficos de densidade da lama abrasiva e teor de granalha contra o tempo no corte do granito Amarelo Ornamental. As áreas circuladas (1, 2 e 3) correspondem as regiões de onde foram retiradas as amostras representativas. As setas apontadas para o eixo x (abscissas) indicam os intervalos, em horas, de onde foram retiradas as amostras. Número de medidas: 66. R_t = rugosidade total.....	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese dos dados sobre as exportações brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2005. Fonte: ABIROCHAS (2006).....	23
Quadro 2. Etapas, produtos principais e áreas de aplicação na indústria de rochas ornamentais. (ALENCAR, <i>et al.</i> , 1996, modificado).....	34
Quadro 3 – Vantagens e desvantagens dos talha-blocos monodisco de grande dimensão (ALENCAR, <i>et al.</i> , 1996).....	49
Quadro 4 – Vantagens e desvantagens dos talha-blocos multidiscos (ALENCAR, <i>et al.</i> , 1996).	51
Quadro 5 – Resumo dos resultados dos índices físicos e mecânicos dos materiais estudados e valores especificados pela norma ASTM (1992) e sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) para comparação.	95
Quadro 6 – Características dos cortes dos três granitos selecionados.	96

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Desde tempos primordiais as rochas são utilizadas pelo Homem para os mais diversos fins. Com o passar do tempo e com a evolução tecnológica, o uso das rochas foi cada vez mais direcionado para determinadas atividades e, assim, as características dos materiais pétreos foram estudadas com maior atenção.

Entretanto, apesar do grande avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos, a matéria prima rocha, ainda necessita de análises mais acuradas para atender aos diferentes fins a que são submetidas.

No setor de rochas ornamentais, esta constatação também é observada, pois o padrão cromático é o principal atributo considerado para a qualificação das rochas, sendo que outros parâmetros não menos importantes como à mineralogia, por exemplo, são examinados apenas em situações específicas.

As rochas ornamentais servem principalmente como revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas e soleiras. São também utilizadas em peças isoladas como estruturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, além de edificações.

Segundo MONTANI (2005), o mercado mundial de rochas ornamentais e de revestimento tem alcançado, nos últimos nove anos, taxas médias de 7% de aumento anual de produção. A indústria extrativa global de pedras naturais evoluiu do patamar de produção de 1,8 milhões de toneladas, nos anos 20 do século passado, para 81,25 milhões de toneladas em 2004, quando mármore (rochas carbonáticas), granitos (rochas silicáticas) e outros tipos de rochas (ardósias, arenitos, etc) constituíram, respectivamente, 53,9%, 40,6% e 5,5% da produção mineral mundial.

MELLO (2004) salienta que, em 2002, a Ásia, especialmente pelo desempenho da China, da Índia e do Irã, ultrapassou pela primeira vez o continente europeu na moderna produção extrativa global, ao responder por 43% do total produzido no mundo. A Europa, que reúne boa parte dos mais tradicionais e importantes produtores mundiais, entre eles Itália, Espanha, Portugal, Turquia e Grécia, posicionou-se logo atrás, com 42% dessa produção.

Os preços médios praticados pelos principais países produtores, nas vendas internacionais de blocos, variam entre US\$ 300,00/m³ e US\$ 700,00/m³, tratando-se de granitos, e US\$ 500,00/m³ e US\$ 1.300,00/m³, no caso de mármore. Produtos semi-acabados, como chapas polidas, têm preço entre três e cinco vezes maiores em relação aos materiais em estado bruto. Tratando-se de produtos finais (peças padronizadas, peças sob medida ou personalizadas), o valor agregado é ainda maior, com preços atingindo de seis a dez vezes mais que os dos materiais *in natura* (MELLO, *op. cit.*).

Em relação ao setor brasileiro de rochas ornamentais, o ano de 2005 apresentou exportações de setecentos e noventa milhões de dólares, com a comercialização de 2.157.455,36 toneladas de rochas brutas e processadas, que representa um crescimento no faturamento de 31,45% em relação a 2004 (Quadro 1, em ABIROCHAS, 2006). O País produziu, em 2005, 6,4 milhões de toneladas de rochas ornamentais (PEDRAS DO BRASIL, 2006).

O Estado do Espírito Santo é o principal produtor e exportador brasileiro, com produção de 2,8 milhões de toneladas/ano, correspondendo a 44 % do total do País e exportando quatrocentos e noventa milhões de dólares (1,1 milhão de toneladas) o que corresponde a 62% do total das exportações brasileiras de rochas ornamentais. Em segundo lugar, em exportações, vêm o Estado de Minas Gerais com 18%, seguido pelo Estado do Rio de Janeiro (5%) (PEDRAS DO BRASIL, 2006).

Para se ter uma idéia da importância do Estado do Espírito Santo no setor de rochas ornamentais, dos 1500 teares existentes no Brasil, 1137 encontra-se neste Estado, dos quais 900 foram nele projetados, desenvolvidos e fabricados (KASCHNER, 2004). Ainda segundo este autor, o Estado do Espírito Santo possuía menos de 10 empresas exportadoras em 1996 e hoje são mais de 250.

Quadro 1 – Síntese dos dados sobre as exportações brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2005. Fonte: ABIROCHAS (2006).

SÍNTESE DE DADOS SOBRE AS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO EM 2005		
Faturamento	US\$ 789,97milhões	
Volume físico	2.157.455,36 toneladas	
Exportação de rochas processadas	US\$ 618,82 milhões / 1.099.479,59 t	
Exportação de rochas silicáticas brutas	US\$ 167,56 milhões / 1.044.252,25 t	
Exportação de rochas carbonáticas brutas	US\$ 3,59 milhões/ 13.723,52 t	
Participação de rochas processadas	78,33% em valor e 50,96% em peso	
Participação de rochas brutas	21,67% em valor e 49,04% em peso	
Valor exportado em dezembro/2005	US\$ 76,32 milhões (-14,38% frente a novembro/05)	
Volume físico exportado em dezembro/2005	193.535,74 t (-22,91% frente a novembro/2005)	
Crescimento frente a 2004:		
▫ <i>Faturamento</i>	+31,45%	
▫ <i>Volume físico</i>	+17,23%	
▫ <i>Rochas processadas</i>	+32,94% em valor	+13,31% em peso
▫ <i>Rochas silicáticas brutas</i>	+24,93% em valor	+21,31% em peso
▫ <i>Rochas carbonáticas brutas</i>	+162,65% em valor	+47,16% em peso
▫ <i>Chapas beneficiadas de granito e produtos acabados (6802.23.00 e 6802.93.90)</i>	+44,92% em valor	+16,94% em peso
▫ <i>Produtos de ardósia (6803.00.00 e 2514.00.00)</i>	+13,54% em valor	+7,06% em peso
▫ <i>Pedras de calçetar, sobretudo quartzitos foliados (6801.00.00)</i>	+17,36% em valor	+6,91% em peso

Segundo CHIODI FILHO (2003 *apud* MELLO, 2004), o segmento de rochas ornamentais movimentava cerca de US\$ 2,1 bilhões/ano, incluindo a comercialização nos mercados interno e externo, as transações com máquinas, com equipamentos, com insumos, com materiais de

consumo e com serviços. Em relação ao mercado nacional, existem no Brasil cerca de 1200 variedades comerciais de rochas ornamentais provenientes de, aproximadamente, 1.500 frentes de lavra ativas. O País apresenta um parque de beneficiamento com capacidade de serragem de 40 milhões de m²/ano. A produção e comercialização estão a cargo de cerca de 11.000 empresas, 1.000 delas operando na lavra, 2.000 no beneficiamento primário (serragem), 7.000 no beneficiamento final (marmorarias) e 650 na exportação. Outras 500 empresas estão envolvidas com as demais atividades industriais e serviços. O setor de rochas ornamentais brasileiro é responsável pela geração de 114.000 empregos diretos. Tais números demonstram a força que esta atividade mineral tem na economia nacional.

No Brasil, a despeito de enfrentar desafios consideráveis e muito ter a evoluir, já que se trata de segmento da indústria mineral nacional com apenas 30 a 40 anos de atividade mais intensa e disseminada, a atuação do setor produtivo de rochas ornamentais tem possibilitado ao País participar de forma significativa no mercado mundial, prática favorecida pela singular diversidade e ótima aceitação das matérias-primas brasileiras, especialmente os granitos.

De fato, o País alinha-se entre os grandes produtores mundiais de granitos e ardósias. Outro aspecto muito importante é o fato de que o Brasil vem conseguindo progressivamente alterar seu perfil de exportação, ao comercializar cada vez mais produtos beneficiados, com maior valor agregado, especialmente produtos semi-acabados ou acabados padronizados de granitos, ardósias e quartzitos.

Em 2005, o País foi o 4º no Mundo em produção, o que correspondeu a 8,2% da produção global. Foi também o 6º exportador, responsável por 6,3% do volume das exportações mundiais (MONTANI, 2005).

Os mais diretos concorrentes do Brasil, no mercado internacional, a despeito da importante participação da África do Sul como exportador de granitos brutos, são a China e a Índia, países

que também integram o bloco das nações emergentes e possuem grande dimensão territorial, e igualmente tem, nos granitos, o carro-chefe de suas exportações de rochas ornamentais.

Apesar do dinamismo do mercado de rochas ornamentais ao longo da década de 1990, a defasagem tecnológica do Brasil é evidente nas diferentes etapas da cadeia produtiva. Faltam estudos mais aprofundados que correlacionem os reais problemas técnicos enfrentados pelas empresas, principalmente nas etapas de serragem e polimento, com as características da rocha. Nestas etapas, são gerados diversos problemas, principalmente microfissuras, devido às diferenças relativas de dureza dos minerais e à morfologia dos cristais, sendo estes problemas entendidos como de natureza secundária (FRASCÁ, 2004).

Na fase de desdobramento de granitos, a influência da serrabilidade varia diretamente no consumo dos principais insumos (granalha, lâmina) no processo de serragem, ou seja, quanto mais duro o granito maior o consumo de insumos (SOUSA & RODRIGUES, 2002).

Na fase de polimento, fatores como a composição mineral, 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), além, é claro, de um excelente corte ser primordial para minimizar os custos desta etapa.

Portanto, como a competitividade está diretamente ligada à tecnologia, o investimento em pesquisa no setor de rochas ornamentais e de revestimento, principalmente no que se refere à matéria prima, é de suma importância para o Brasil galgar melhores posições no mercado internacional, pois países como a China e a Índia estão investindo alto em tecnologia nesta importante área do comércio internacional.

O objetivo do presente trabalho é analisar os parâmetros envolvidos na etapa de beneficiamento primário de granitos ornamentais, correlacionando-os com a qualidade das chapas e características petrográficas.

Para isso, o estudo seguiu a seguinte organização:

Capítulo 2 - revisão bibliográfica enfocando as etapas de beneficiamentos primário e secundário (ou final).

Capítulo 3 – materiais e métodos utilizados.

Capítulo 4 – resultados, análises e discussões.

Capítulo 5 – considerações finais.

Capítulo 6 – conclusão.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações Gerais

As rochas ornamentais são materiais naturais que agregam valor, principalmente através de suas características estéticas, destacando-se o padrão cromático, o desenho, a textura e a granulação.

O mais importante atributo estético da rocha é o padrão cromático. Em função das características cromáticas, os materiais são classificados como clássicos comuns ou excepcionais. Os clássicos não estão sujeitos a modismos e incluem mármore vermelhos, brancos, amarelos e negros, assim como granitos negros e vermelhos. Os comuns têm largo emprego em obras de revestimento, compreendem os mármore beges e acinzentados, os granitos acinzentados, rosados e amarronzados. Os excepcionais geralmente são utilizados em peças isoladas e pequenas, a exemplo dos mármore azuis, violeta e verdes, além de granitos azuis, amarelos, multicores e brancos (SPÍNOLA, 2003).

De acordo com CHIODI FILHO (1995), a notável geodiversidade apresentada pelo Brasil é uma grande vantagem competitiva, mas a modernização do parque industrial brasileiro e uma melhor articulação entre governo e empresários se fazem necessárias para o País se sobressair no mercado internacional.

Apesar de o Brasil apresentar vários tipos de materiais, os exóticos e raros são os que alcançam os valores mais elevados no mercado internacional. Entretanto, estes materiais têm como agravante o fato de apresentar problemas de garantia de fornecimento e de manutenção tanto dos níveis de produção condizentes com a demanda como dos padrões de qualidade, visto que, a grande maioria destas rochas é extraída de jazidas de matacões. Este fato se

remete ao início do século passado, onde a extração baseava-se na utilização da perfuração e do explosivo, técnica sem nenhum tipo de planejamento (ALENCAR, *et al.* 1996).

A partir dos anos 50, a extração dos mármore começou a despontar na região de Cachoeiro de Itapemirim, no sul do Estado do Espírito Santo, de forma semelhante aos modelos extrativos da região de Carrara, na Itália, com o uso da técnica do fio helicoidal e/ou desabamento. Por outro lado, a extração e exploração de granitos ocorriam sob a forma de blocos, se destacando a região norte do Estado do Espírito Santo (A FORÇA, 2001 *apud* SPÍNDOLA, 2003).

A consolidação do Brasil como importante fornecedor de granitos só aconteceu a partir da segunda metade da década de 80, quando se deu o início do processo de conversão da lavra de matacão em lavra pela de maciço rochoso, uma exigência do mercado, principalmente, pela manutenção de abastecimento e padrão de qualidade do material (ALENCAR, *et al.*, 1996).

Em relação aos equipamentos utilizados no beneficiamento de rochas ornamentais, STELLIN (1990), cita que o primeiro tear foi importado durante a primeira guerra mundial (1914-1918) e, posteriormente, os teares foram construídos baseados neste modelo, sempre utilizando o poder de abrasão da areia, o que dificultava o corte de materiais mais duros ou com maior presença de cristais de quartzo. E, assim, até os anos 60, praticamente todos os teares instalados no Brasil eram importados ou construídos quase artesanalmente com base em modelos italianos.

É na década de 60 que a adoção de uma nova técnica de serragem do bloco surgiu baseada no uso de abrasivo metálico e com aplicação de granalha de ferro fundido. O aço substituiu a areia como abrasivo, e ocorre uma rápida evolução tecnológica das ferramentas especiais para o corte de rochas, como a lâmina com segmentos diamantados (CETEMAG, 2000a).

Somente a partir dos anos 60 é que surgiram fábricas brasileiras de teares. Após esta industrialização, já na década de 70, ocorre a intensificação da política industrial brasileira de substituição das importações. Desta forma, a discrepância tecnológica aumentava e o País ficava desfavorecido frente à tecnologia externa (STELLIN, 1990). De acordo com este autor, apenas na década de 90, com a flexibilização da política industrial, abertura do comércio exterior para importações e o amadurecimento da indústria brasileira de rochas ornamentais, foi possível à importação de máquinas, equipamentos e insumos diversos.

Dentre estes novos equipamentos, os talha-blocos a discos diamantados e as máquinas de corte a fio diamantado permitiram maior produtividade operacional no corte de tiras e chapas de maior dimensão, incorporando mecanismos e acessórios de automação e controle (ALENCAR, *et al.*, 1996).

Na etapa de polimento, a evolução apresentada entre a década de 30 e o final dos anos 60 do século passado, foi pequena. Basicamente, no início, utilizava-se a areia no polimento e lustro de rochas ornamentais e posteriormente passou-se a usar o carborundo. A forma de acionamento e o funcionamento das politrizes manuais apresentavam um resultado satisfatório, mas com baixa produtividade ($2\text{m}^2/\text{h}$) e ainda não garantiam a uniformidade na qualidade do polimento nas diversas peças de um mesmo material (CETEMAG, 2000b).

No início da década de 70 surgiram as politrizes de esteira para mármore, com uma produtividade média entre 15 e $20\text{ m}^2/\text{h}$ e uso de abrasivos de granulometrias diferentes, em seqüência, desde os mais grossos para o levigamento, até os mais finos para o lustre final (CETEMAG, *op cit*).

Segundo KASCHNER (1996), a tecnologia aplicada para polir granitos era a mesma aplicada no polimento de mármore, com baixa produtividade, talvez em função da pouca

pressão que se podia empregar apenas com o peso do equipamento e com a força do operador, por serem politrizes manuais.

Durante os anos 70, surgiram as politrizes de ponte, que embora tenha sido um inegável avanço no processo de polimento do granito, apresentava algumas restrições em relação à produtividade, à qualidade e à uniformidade no acabamento superficial das peças. Além disso, havia necessidade de troca constante dos abrasivos do cabeçote, o grande tempo morto para carga e descarga das chapas da bancada, a grande dependência da sensibilidade do operador para saber o momento ideal de trocar um abrasivo mais grosso por um mais fino e a maior possibilidade de um polimento não uniforme entre chapas de um mesmo material (CETEMAG, 2000b).

Após a adoção de vários equipamentos, a mudança de uma única politriz para uma série de 5 a 6 delas, de máquinas com grandes pratos de polimento e até politrizes que se deslocavam sobre trilhos de trinta metros de extensão, a inovação aparece no final da década de 70, com o modelo de politriz multicabeça de esteira para granito, baseada no modelo usado para mármore. Hoje, estes equipamentos chegam a atingir produtividade de mais de 40 m²/h de chapas polidas, dependendo das características do material e da qualidade superficial deixada na chapa no processo de corte (KASCHNER, 1996).

Juntamente com as inovações dos equipamentos e máquinas utilizados no processo de polimento, ocorreu um enorme avanço dos elementos abrasivos utilizados no beneficiamento de rochas ornamentais, com o desenvolvimento de abrasivos sintéticos, de maior poder de abrasão e, mais recentemente, aqueles à base de diamante industrial.

Apesar da importância das etapas de extração no processo de beneficiamento, o que determinou a evolução tecnológica deste setor foi o desenvolvimento das técnicas para o corte dos blocos e para o polimento das superfícies.

ALENCAR, *et al.*, (1996), propunham que os objetivos básicos de pesquisa deviam ser traçados para o desenvolvimento tecnológico dos processos, das máquinas, dos insumos e das ferramentas para a extração e para o beneficiamento industrial das rochas ornamentais, tais como:

- aumento da velocidade de corte e conseqüente redução dos ciclos de produção;
- melhoria da qualidade das superfícies cortadas nas etapas de beneficiamento;
- diminuição do desperdício de material;
- aumento da segurança geral de operação;
- melhoria das condições ambientais e funcionais de trabalho;
- aumento do nível de automação das operações.

2.2 Beneficiamento de granitos ornamentais

As rochas, inicialmente, foram utilizadas apenas como elemento estrutural, atingindo posteriormente uma maior divulgação de seu uso como elemento de revestimento em pisos, paredes e fachadas, portanto com finalidade também ornamental.

Com o desenvolvimento de técnicas de beneficiamento para o acabamento superficial das peças de mármore e de granito, estes materiais foram amplamente utilizados nos revestimentos de construções, pois apresentavam características de beleza, de funcionalidade, de facilidade de aplicação e de durabilidade, além da originalidade que estes materiais conferem às construções.

De acordo com ALENCAR *et al.*, (1996), as rochas ornamentais podem ser aproveitadas nos mais diversos ambientes, em virtude de sua infinita utilização, explorando a combinação de suas qualidades estruturais e estéticas, sendo o seu campo de aplicação dividido em quatro grupos principais:

Arquitetura e Construção – é o grupo mais representativo, pois mobilizam os maiores volumes de produtos e de dinheiro no mercado mundial, abrangendo as edificações, sejam elas públicas ou privadas.

Construção e Revestimento de Elementos Urbanos - pavimentação de vias para veículos e pedestres, de praças e parques, construção de jardins, fontes, bancos ou assentos, calçadas, meios-fios, etc.

Arte Funerária – construção e ornamentação de túmulos e mausoléus.

Arte e Decoração – esculturas, estátuas, objetos e acessórios arquitetônicos e de decoração como balcões, bancadas de pia, móveis e outros pequenos objetos decorativos.

Apesar da diversidade de produtos e aplicações, os processos produtivos pelos quais as rochas ornamentais são submetidas apresentam semelhanças em relação aos recursos tecnológicos que utilizam e o ciclo completo de produção.

Este ciclo produtivo pode ser dividido em três etapas bem definidas, desde a atividade mineral até a conformação dos produtos finais. São elas: extração, beneficiamento primário e beneficiamento final (KASCHNER, 1996), a seguir definido:

Extração: é a remoção de material útil ou economicamente aproveitável dos maciços rochosos ou dos matacões. O produto é o bloco de dimensões variadas, mas que segue as especificações para o melhor aproveitamento do material e a capacidade produtiva dos equipamentos nas etapas de beneficiamento. A extração de rochas ornamentais apresenta quatro fases principais: a prospecção – que consiste na localização ou identificação da ocorrência mineral; a pesquisa mineral – que avalia o potencial de aproveitamento da jazida; a lavra - que é a atividade produtiva da extração e, a última fase que é a recuperação da área degradada.

Beneficiamento Primário: é a etapa de serragem ou desdobramento do bloco. Nesta etapa, os blocos obtidos na etapa de extração são cortados em chapas ou tiras, com espessuras bastante próximas daquelas que terão os produtos finais. As principais máquinas e equipamentos projetados e produzidos para este fim são os teares, os talha-blocos de disco diamantado e máquinas de corte a fio diamantado (monofio).

Beneficiamento final: é nesta etapa que as peças adquirem forma, dimensões e aparência final. É subdividida em três fases: o polimento, o corte e o acabamento final. É no beneficiamento final que se obtém a maior diversidade de produtos. Os principais produtos gerados são: ladrilhos e painéis para revestimento de pisos e paredes internos e externos, soleiras, rodapés, degraus, marcos de portas, bancos de parques e praças, jardineiras, pavimentos, bancadas de pias, móveis, objetos de adorno e decoração e peças para a construção e ornamentação de túmulos e mausoléus, dentre inúmeras outras.

As etapas, produtos principais e áreas de aplicação da indústria de rochas ornamentais são apresentados no Quadro 2, segundo ALENCAR *et al.*, (1996).

Quadro 2. Etapas, produtos principais e áreas de aplicação na indústria de rochas ornamentais. (ALENCAR, *et al.*, 1996, modificado).

ETAPAS	EXTRAÇÃO	BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO	BENEFICIAMENTO FINAL	
		TIRAS	-Revestimentos Padronizados	Arquitetura Construção
PRODUTOS E ÁREAS DE APLICAÇÃO	BLOCOS	CHAPAS	-Revestimentos sob medida -Soleiras, rodapés, escadarias. -Móveis, objetos de adorno, bancadas -Espessores acabados, placas. -Peças e Ornamentação	Arquitetura Construção Arte Decoração Arte Funerária
		ESPESSORES (Semi-acabados)	- Bancos / Assentos - Meios-fios - Fontes - Pavimentos	Urbanismo Arte Funerária

Neste estudo, serão abordados aspectos referentes às etapas de beneficiamento primário e final de granitos ornamentais e os problemas operacionais que lhe são pertinentes.

Os trabalhos consultados em publicações nacionais e internacionais sobre rochas ornamentais e de revestimento se limitam, de um lado, a relacionar aspectos geológicos e de outro a caracterizar as variáveis operacionais envolvidas no processo de corte.

Como o intuito deste estudo é correlacionar às características dos granitos ornamentais com as variáveis operacionais e o tema ser de enfoque muito recente, procurou-se agregar as poucas informações que mostram a interação entre as características petrográficas e os parâmetros operacionais da serragem.

Mesmo com a crescente demanda por rochas silicáticas no comércio de rochas ornamentais, nos últimos dez anos, as publicações sobre o assunto ainda encontram-se muito escassas, ficando restritas a dissertações, teses, trabalhos em congressos e simpósios e pesquisas de órgãos governamentais.

2.2.1 Beneficiamento Primário

Basicamente, três métodos ou tecnologias de corte são utilizados para o beneficiamento primário: o tear de lâminas, o talha-bloco de discos diamantados e o fio diamantado.

2.2.1.1 O corte com tear de lâminas

O tear utilizado no processo de corte das rochas ornamentais é um equipamento constituído de uma estrutura de sustentação formada por quatro colunas que suportam o quadro porta-lâminas (Figura 1). As lâminas encontram-se dispostas no sentido longitudinal do maior comprimento do bloco do material a ser beneficiado e tensionadas para manter perfeito nivelamento, alinhamento e paralelismo entre si, durante todo o processo de corte. Este processo se dá pela ação de um elemento abrasivo conduzido pelo conjunto de lâminas movimentadas pelo tear. O quadro porta-lâminas é acionado por motor elétrico, com auxílio de um volante, através de um mecanismo biela-manivela, imprimindo-lhe um movimento alternado, responsável pelo atrito entre as lâminas, o elemento abrasivo e o bloco a ser cortado. Simultaneamente, o conjunto quadro-lâminas é pressionado contra o bloco em um movimento de descida, provocando o avanço do corte do material (ALENCAR, *et al.*, 1996).

A velocidade de descida (avanço do corte) depende da dureza do material que está sendo cortado, do tipo e número de lâminas utilizadas, da tensão das mesmas e da polpa abrasiva (lama) empregada. Em mármore, de dureza média, o avanço é de 360 a 720 cm/dia, com jornadas de 24 horas diárias. Como estas máquinas trabalham continuamente, isso representa um avanço de corte de 15 a 30 cm/h e uma produção mensal de 7000 a 9000 m² de chapas. Nos granitos a velocidade de serragem está em torno de 4 cm/h, tem-se, assim, uma produção mensal de cerca de 1900 m² de chapas (STELLIN JUNIOR, 1998).

O corte dos blocos realizado com teares é o mais difundido, independentemente do tipo de material a ser processado, principalmente porque conjuga alguns fatores como maior agilidade na produção, elevada produtividade, custo relativamente reduzido, além de uma boa relação custo-benefício do investimento inicial (ALENCAR, *et al.*, 1996).

Figura 1 Tear multi-lâminas utilizado no corte de rochas ornamentais.

Entretanto, apesar de apresentar fatores positivos, o corte em teares mecânicos é um dos pontos críticos no beneficiamento de rochas ornamentais. O processo consome grande quantidade de insumos, a monitoração é manual e muitas vezes efetuada por mão-de-obra não qualificada, ocorrem paradas imprevistas ou não programadas que ocasionam perdas e elevam o custo, e, com isso, o produto semi-acabado é de baixa qualidade contendo muitas imperfeições (KASCHNER, 1996).

Na etapa de beneficiamento primário são geradas chapas brutas de grandes dimensões, normalmente entre 1,0 e 2,0 m de largura por 2,0 a 3,5 m de comprimento, dependendo

sempre das dimensões do bloco; as espessuras variam de 1,5 a 5,0 cm; sendo usuais espessuras entre 2,0 e 3,0 cm (STELLIN JUNIOR, 1998).

Segundo STELLIN JUNIOR (*op. cit.*), mármore e granitos, para serem processados nas usinas de beneficiamento, são extraídos na forma de blocos (paralelepípedos), com comprimentos de 2,2 a 3,5 metros, largura de 1,2 a 1,7 metros e altura de 0,9 a 1,5 metros e massa em torno de 6 a 25 toneladas.

As lâminas (Figura 2) são um dos principais insumos utilizados no processo de serragem e apresentam uma composição especial em aço carbono, para suportar os esforços a que são submetidas e normalmente encontradas no mercado nas seguintes dimensões: espessura entre 3,8 e 6 mm; largura ou altura entre 90 e 150 mm e comprimento de acordo com as dimensões do tear em que serão utilizadas (ALENCAR, *et al.*, 1996).

Figura 2. Lâminas utilizadas no processo de serragem de granitos ornamentais.

A resistência média à tração que as lâminas apresentam é de 5000 a 6000 MPa, para serragem de mármore e rochas de baixa dureza, e de 7000 a 9000 MPa para granitos. A

espessura tem pouca influência sobre sua resistência à flexão, mas influi muito na espessura do corte, na quantidade de material inutilizado, e consumido na serragem, tanto para mármorees como para granitos. Como a espessura do corte é cerca de 2 a 5 mm maior que a espessura da lâmina, o aumento de apenas 1 mm na espessura da lâmina, num bloco de 1,5 m de largura, significará uma perda de 3 a 4 chapas. À medida que a lâmina se desgasta, diminuem as suas resistências à tração e à flexão, fazendo com que o corte termine antes nas extremidades. Durante a serragem, são colocadas pequenas cunhas de madeira entre as chapas, para impedir que se fechem, evitando tensões e desvios do corte. (STELLIN JUNIOR, 1998).

Em relação à largura das lâminas, a variação é devida ao tipo de tear e do material a ser serrado. Quanto maior for a largura, maior será a sua duração, maior sua capacidade de movimentar a polpa abrasiva e de manter a pressão adequada sobre a polpa, porém a montagem das lâminas é mais difícil, sendo às vezes necessário reduzir a viscosidade da polpa quando o corte se torna mais profundo, pois, com a utilização de lâminas mais desgastadas, a polpa abrasiva será menos movimentada (STELLIN JUNIOR, *op cit*).

A experiência mostra que as lâminas, no caso dos granitos, devem ter maior dureza, tenacidade e resistência à tração e à fadiga de tal modo que nunca seja superado o seu limite elástico, pois, a perda de rigidez, provoca um desvio do corte ocasionando chapas defeituosas.

De acordo com CETEMAG (2000a), para se preparar o processo de laminação corretamente é necessário observar vários itens importantes como:

- alinhamento: durante a colocação das lâminas no quadro é imprescindível que elas estejam perfeitamente alinhadas com o movimento alternativo do quadro, pois caso isto não ocorra haverá um sério comprometimento do desempenho do equipamento;
- distância entre as lâminas: é determinada conforme demanda de espessura de chapa;

- paralelismo: com a primeira lâmina do quadro alinhada e a colocação de tacos em bom estado entre as lâminas, consegue-se um paralelismo perfeito entre elas;

- estado da lâmina: após um período de uso, é o estado (desgaste) da lâmina que define se ela pode ou não ser usada na próxima serragem; para lâminas usadas, deve-se observar o seu desgaste a fim de evitar o seu rompimento durante o corte, fato que levaria à perda de duas chapas e ainda, a sua retirada demandaria muito tempo de máquina parada; um problema comum, na utilização de lâmina usada, é o desvio do corte provocado pela deformação que ela sofre quando tensionada;

- tensionamento: é a operação que proporciona rigidez na fixação da lâmina impedindo que ela se desloque ou saia do prumo.

Outro fator de muita importância, no beneficiamento primário, é a polpa abrasiva (lama).

Segundo CETEMAG (2000a), a eficiência de uma serragem está diretamente ligada à composição e à concentração da mistura abrasiva. Sabe-se que, embora seja possível manter os mesmos componentes, suas concentrações variam com o decorrer do corte.

Normalmente a polpa abrasiva é composta por água, gralha abrasiva, cal e fragmentos da rocha que se esteja serrando. Esta composição varia dentro de amplos limites em função da experiência dos operadores. A massa específica varia entre 1450 a 1700 g/l. O volume total da polpa, por tear, é de 0,5 a 2 m³ e a vazão em circulação é de 30 m³/h para os teares pequenos e até 120 m³/h para teares maiores, o que representa cerca de 60 ciclos/h de circulação de lama abrasiva (STELLIN JUNIOR, 1998).

A finalidade da cal é evitar a oxidação da gralha, a formação de superfícies de ferrugem nas chapas e regular a viscosidade da polpa abrasiva (CETEMAG, *op. cit.*).

De acordo com STELLIN JUNIOR (1998), o tipo de material e sua serrabilidade são uns dos parâmetros mais importantes da serragem e por isso é mais correto referenciar a serrabilidade e não a dureza dos diversos materiais a serrar.

A serrabilidade dos granitos não depende da sua composição química, mas da compacidade, sendo mais fácil serrar os mais porosos, os alterados física ou quimicamente, e os que apresentam microfissuras no interior dos cristais (que debilitam a estrutura da rocha). Assim, são mais difíceis de serrar os materiais compactos, ou aqueles em que os poros estejam preenchidos por outros minerais, tornando a rocha mais homogênea com a união dos cristais (STELLIN JUNIOR, *op cit*).

STELLIN JUNIOR (*op cit*) salienta que, para materiais porosos, a destruição da estrutura se dá por desagregação devida a pressões e depressões hidrodinâmicas da polpa abrasiva nos espaços intercristalinos. Com a ajuda da dissolução dos silicatos pela água, esses esforços levam à destruição da estrutura cristalina. Por isso, recomenda-se a serragem de materiais com as mesmas características de composição, pois, em muitas situações, ocorre à serragem de blocos despadronizados de diferentes materiais num mesmo tear.

STELLIN JUNIOR (*op. cit*) relata que a avaliação da quantidade de partículas do bloco cortado presente na polpa é um índice de bom corte. Se os valores apresentados são inferiores aos usuais 33% a 45%, as serragens são consideradas defeituosas, enquanto que valores superiores revelam que os materiais apresentam pouca tendência a dar polpas viscosas. Outro índice que indica um bom corte é o tamanho dessas partículas, não somente porque elas têm poder de abrasão como as granalhas, mas porque a falta de partículas grossas indica excesso de granalha na polpa.

Cabe ressaltar que a granalha abrasiva constitui o verdadeiro elemento de corte, enquanto as lâminas têm a função de conduzi-la durante o processo e é um dos principais itens que

entram na composição do preço dos granitos; quando usada de forma eficiente, reduz custos e tempo do processo de serragem. É encontrada comercialmente nos formatos esférico e angular (Figura 3), composta de ferro fundido ou de aço. As esféricas abrem espaço na rocha e têm o papel de rolamento para a lâmina, enquanto as angulares rompem os cristais da rocha (DE CAMILLES, 2004).

Figura 3. Granalhas esféricas e angulosas utilizadas no processo de corte de granitos.

1cm

Foto CETEMAG (2000a).

Este autor observa que as granalhas de aço têm como vantagem uma velocidade de corte superior às de ferro, são mais tenazes, têm uma maior durabilidade e, por isso, permanecem mais tempo no processo, reduzindo custos. Logicamente, o tipo de rocha e seu grau de dureza (serrabilidade) são fatores preponderantes para a melhor escolha da granalha, com menor ou maior granulometria. Atualmente, as mais utilizadas para corte de granito são as granalhas de aço, numa mistura de angulares com esféricas.

Os parâmetros controlados durante o processo de corte são os seguintes:

- **Altura (cm)**: durante o processo de corte, é necessário controlar quanto de rocha já foi cortada, por hora, por meio de leitura numa régua de 200 cm, fixada ao lado do pilar de sustentação do tear.

- **“Viscosidade”**: a viscosidade, *sensu strictu*, é uma medida da resistência de movimento do fluido, embora seja empregado rotineiramente na indústria de rochas ornamentais para avaliar a lama abrasiva.

A “viscosidade”, avaliada através da coleta da lama abrasiva utilizada em teares, é mensurada apenas com a utilização de uma régua desenhada para este fim (Figura 4).

Figura 4 . Régua utilizada na averiguação da “viscosidade”. [1 cm]

Nesta medição, não são considerados vários fatores inerentes à definição clássica de viscosidade, pois não são avaliadas a área, a temperatura, e a velocidade de fluxo em determinado ponto, sendo adotada a terminologia “viscosidade” como parâmetro para análise da lama abrasiva.

O processo se inicia com a coleta de amostra da lama abrasiva em um recipiente. Esta coleta ocorre sempre no mesmo cano do chuveiro que a distribui sobre o bloco, num procedimento padronizado, utilizando um recipiente com capacidade de 1 litro. Como se observa na Figura 4, a régua é composta por duas hastes paralelas; uma contém um sulco e a outra uma escala graduada de 0 a 12, que cresce da parte inferior para a superior e é adimensional. Para medir a “viscosidade (Figura 5), a haste com sulco é introduzida no recipiente de amostragem contendo lama até tocar em seu fundo e, em seguida, retirada. A altura em que a lama permanece no sulco é medida na haste graduada e corresponde à “viscosidade” da lama abrasiva.

Figura 5. Verificação da “viscosidade” através de régua utilizada pelo setor.

- **Densidade (g/l):** corresponde à quantidade de massa existente num determinado volume, expressa de forma imprópria como *densidade*. O mesmo recipiente de coleta de amostra,

preenchido por lama abrasiva, é pesado em uma balança eletrônica para a obtenção da *densidade* e expressa em gramas por litro.

- **Granalha ativa (g/l):** passa-se à lama contida no recipiente de amostragem em uma peneira de malha 40 e a granalha que ficou retida é separada e pesada. Esta granalha é chamada de granalha ativa que é a contida na lama abrasiva que efetivamente executa a serragem, embora com granulometria inferior a granalha nova devido sofrer desgaste por abrasão. O valor obtido em gramas por litro indica quanto de granalha ativa há na mistura (Figura 6).

Figura 6. Granalha ativa retida após a passagem da lama sobre uma peneira de malha 40.

- **Cala (mm/h):** é a velocidade do corte da rocha, expressa em mm ou cm por hora. Depende muito do material que está sendo serrado, do perfeito funcionamento do tear e dos insumos utilizados. Normalmente, no início do corte, a velocidade é baixa (120 a 130 mm/h) para que ocorra o ajuste do sistema (encaixe das lâminas no bloco); posteriormente, esta velocidade vai crescendo em função da estabilização do processo de corte, chegando até cerca de 400 a 450 mm/h no final da serragem.

- **Amperagem do motor (A):** a potência do motor que aciona as lâminas de corte é controlada pela corrente elétrica aplicada, expressa em amperes; normalmente, tal corrente oscila entre 30 e 40 A; acima de 40 A pode provocar danos ao equipamento e parada na serragem, independentemente da natureza da rocha.

- **Granalha (kg/h):** este parâmetro indica a quantidade de granalha, em quilos, que abastece o sistema por hora. Normalmente, inicia-se o corte com a granalha que já se encontra no poço do tear, proveniente da serragem anterior. Posteriormente, com a evolução do corte, há necessidade de injetar granalha, pois durante o processo elas se desgastam, transformam-se em pó, e a lama perde sua capacidade abrasiva.

- **Expurgo (min):** é o controle da descarga da lama para evitar que fique demasiadamente viscosa devido aos finos gerados na serragem do granito.

Outros parâmetros também são verificados durante o processo de corte, como a serrada (desgaste das lâminas), a marca de granalha utilizada, o tempo total de corte, as medidas do bloco, a espessura das chapas que serão cortadas (1,5; 2,0 ou 3,0 cm) e a quantidade de lâminas utilizadas.

Desde a entrada do bloco no tear até a sua saída, todos estes parâmetros devem ser acompanhados minuciosamente para um bom andamento do processo de corte.

Como estes parâmetros interagem e em determinados momentos alguns se sobressaem mais que os outros, uma perfeita sintonia entre eles é primordial para que estrias, rugosidades e calombos não apareçam nas chapas, imperfeições essas que podem dificultar a etapa de polimento.

ALENCAR *et al.*, (1996) salienta que a pesquisa e a investigação destinadas ao maior conhecimento sobre o processo de corte possibilitaram algumas conclusões:

- o corte se dá pela ação abrasiva da granalha;
- a composição e a viscosidade da polpa abrasiva (lama) são variáveis de grande importância no processo, em geral, uma boa mistura abrasiva deve apresentar a seguinte composição: água 66,3 %, granalha ativa 3,1%, cal 1,2% e minerais 29,4%;
- a função das lâminas é conduzir o movimento de arraste e pressionar a polpa sobre o bloco; por isso, devem ser mantidas perfeitamente alinhadas e niveladas ao longo de todo o processo;
- a regularidade da polpa abrasiva durante o corte permite apresentar superfícies de chapas cortadas com melhor uniformidade de acabamento e com baixa rugosidade. Como os diferentes materiais processados possuem diferentes composições e características de resistência ao corte ou à abrasão, a definição do nível adequado deve ser fruto de pesquisas e registro de desempenho e qualidade das serragens por parte de cada empresa, para cada material.

Resumidamente, os autores destacam que só o melhor conhecimento e aceitação destas conclusões permitirão à indústria buscar, de forma mais objetiva e com maior direcionamento, o melhor desempenho geral do processo de corte, propiciando, assim, o desenvolvimento de mecanismos e equipamentos.

2.2.1.2 O corte com talha-blocos de discos diamantados

Segundo ALENCAR, *et al.*, (1996) os talha-blocos são equipamentos que apresentam uma estrutura de sustentação por colunas metálicas ou base de concreto que suportam uma trave ou ponte, onde estão dispostos o mandril e o conjunto de acionamento dos discos e fundamentalmente, os talha-blocos são de dois tipos:

- talha-blocos monodisco com disco diamantado de grandes dimensões e talha-blocos multidiscos.

A utilização destas máquinas é mais recente e menos difundida do que os teares. São apropriados para determinados fins (ladrilhos e lajotas padronizados) e a sua aplicação só foi possível pelo desenvolvimento tecnológico de diamantes em ferramentas de corte e com a diminuição dos custos dos equipamentos diamantados (CETEMAG, 2000a).

Segundo CHIODI FILHO (1995), os talha-blocos mais modernos apresentam produtividade média 10% superior à dos teares, tanto em m^2 como em m^3 . Também salienta que, devido à movimentação destes equipamentos nos mais variados ângulos, os blocos podem ser desdobrados em diferentes formas, portanto são mais versáteis. Mas, observa que o custo médio de produção é um pouco superior ao dos teares, face aos preços dos equipamentos e principalmente dos discos diamantados.

Talha-blocos monodisco com disco diamantado de grande dimensão

É máquina que utiliza um único disco diamantado de grande dimensão, acima de 350 cm, mas que podem chegar até a 500 cm, com um único disco, construída para o esquadrejamento de blocos de granito. Também é utilizada como opção ao uso do tear, para a produção de chapas de espessuras maiores do que as de 2,0 cm e 3,0 cm, produzidas a partir de teares. (ALENCAR, *et al.*, 1996). Figura 7.

O disco permanece fixo e sob ele se movimenta um carro porta-blocos numa ponte sobre uma base de concreto. Esse movimento é lento e permite ao disco cortar o bloco a cada passagem do carro. Equipamentos montados em estruturas totalmente metálicas são preferidos pela precisão e por oferecerem absoluta regularidade na espessura das chapas cortadas, segundo CETEMAG, (2000a).

Segundo ALENCAR *et al.*, (1996), o movimento de avanço e recuo do mandril, ao longo da ponte, e sua descida progressiva em cada passagem, durante o processo de corte, são completamente automáticos. Entretanto, a largura do canal de corte, na produção de cada chapa, é maior do que aquela produzida pelas lâminas dos teares que usam abrasivos.

Figura 7. Talha-bloco monodisco com disco diamantado de grande dimensão. Foto CETEMAG (2000a).

Como resultado, qualquer comparação da rentabilidade entre estes diferentes processos requer estudo caso a caso, levando em conta os seguintes aspectos: velocidade média de corte; precisão na espessura e na uniformidade superficial da chapa cortada, permitindo, assim, uma variação substantiva no custo do polimento; custo total de serragem com equipamento diamantado, que dependerá também das características dos materiais habitualmente serrados;

maiores dificuldades envolvidas na operação de uma serragem em teares em comparação à operação com talha-blocos de discos gigantes.

O Quadro 3 apresenta as vantagens e desvantagens dos talha-blocos monodisco de grande dimensão, de acordo com ALENCAR, *et al.*, (1996).

Quadro 3 – Vantagens e desvantagens dos talha-blocos monodisco de grande dimensão (ALENCAR, *et al.*, 1996).

VANTAGENS	DESVANTAGENS
-ciclo produtivo mais rápido	-exige maior investimento inicial
-melhor acabamento superficial das chapas ou espessores	-custo operacional alto
-melhor aproveitamento de blocos de dimensões variadas	-apresenta problema de vibração do disco
-pouco tempo de paradas	-ferramenta (disco) de alto custo
-necessita de pouca mão-de-obra	-exige mão-de-obra e equipamento especializado para o repastilhamento e desempenho do disco.

Talha-bloco multidiscos

É equipamento utilizado para o corte de mármore e de granitos, especificamente para produção de tiras com determinadas larguras, definidas pelas dimensões finais que deve ter o produto e pelo diâmetro do disco de corte (CETEMAG, 2000a).

ALENCAR, *et al.*, (1996) descrevem dois tipos de talha-bloco multidiscos mais difundidos: o talha-bloco de duas e de quatro colunas. Ambos apresentam, praticamente, o mesmo processo de corte de bloco, que se baseia na ação de um conjunto mandril com vários discos diamantados sobre o bloco, através dos movimentos de rotação dos discos e de translação do conjunto mandril. Assim, os discos executam cortes verticais e paralelos em uma ou em várias passagens do mandril, dependendo da profundidade de corte desejada e do material cortado. A profundidade máxima possível é de, aproximadamente, $1/3$ do diâmetro do disco (Figura 8).

Figura 8. Talha-bloco multidiscos. Foto CETEMAG (2000a).

No talha-bloco de duas colunas, o conjunto mandril com os discos de corte trabalham em uma viga que é percorrida pelo mandril em seu movimento transversal sobre o bloco, no sentido do comprimento das tiras geradas. Esta viga é apoiada nas colunas que atuam como

guias no movimento de descida do conjunto ao longo do processo de corte. Neste equipamento, o carro porta-bloco se movimenta proporcionando o avanço que permite o corte sucessivo de tiras paralelas ao longo da dimensão do bloco perpendicular ao comprimento das tiras (ALENCAR, *et al.*, 1996).

Ainda de acordo com ALENCAR, *et al.*, (*op cit*), no talha-bloco de quatro colunas, a viga de sustentação do mandril é apoiada em um quadro suportado pelas colunas. A viga ou ponte do mandril possui um movimento de translação ao longo deste quadro, permitindo, assim, que o carro porta-bloco seja fixo.

Nos mais modernos talha-blocos, os instrumentos e dispositivos das operações são totalmente automatizados, tornando mínima a intervenção de mão-de-obra durante o processo, proporcionando, além de maior segurança e uniformidade na produção, uma produtividade média em torno de 8 m²/hora para granitos de dureza média e de até 20 m²/hora, ou mais, para os mármore (KASCHNER, 1996).

O Quadro 4 apresenta as vantagens e desvantagens dos talha-blocos multidiscos de grande dimensão, de acordo com ALENCAR, *et al.*, 1996.

Quadro 4 – Vantagens e desvantagens dos talha-blocos multidiscos (ALENCAR, *et al.*, 1996).

VANTAGENS	DESVANTAGENS
-ciclo produtivo mais curto	-maior investimento inicial
-permite o aproveitamento de blocos disformes e de pequenas dimensões	-insumos (discos) mais caros
-melhor qualidade superficial das tiras	-custo operacional um pouco mais alto
-pouco tempo de paradas	-exige manutenção mais cuidadosa

-necessita de pouca mão-de-obra	-permite pouca flexibilidade produtiva à planta, se for o único meio de beneficiamento primário (só produz tiras). -exige mão-de-obra e equipamento especializado para o repastilhamento e desempenho do disco.
---------------------------------	--

2.2.1.3 O corte com fio diamantado

Das mais recentes tecnologias utilizadas na serragem de bloco, o corte com fios diamantados encontra-se numa etapa de grandes avanços no seu desempenho. As pesquisas e o contínuo desenvolvimento técnico no campo da fabricação de ferramentas e de máquinas e equipamentos têm sido transferidos, de forma bastante rápida, para a aplicação prática na indústria de beneficiamento de rochas ornamentais.

Segundo ALENCAR, *et al.*, (1996), o processo de corte com fio ocorre pela ação abrasiva dos anéis ou pérolas com grãos de diamante, dispostos ao longo do fio. Este funciona como uma espécie de serra-fita que gira a determinada velocidade e é tensionada sobre o bloco. O fio, em contato tensionado contra o bloco e girando a alta velocidade de translação, circula conduzido e tensionado por um sistema de polias e acionado por motor elétrico (Figura 9).

Figura 9. O corte com fio diamantado. Foto CETEMAG (2000a).

O corte com fio diamantado utiliza equipamentos bastante parecidos com os teares por lâminas e os talha-blocos, porém de construção mais simples. A máquina de corte com fio diamantado ou monofio (Figura 9), como é também conhecido, constitui-se basicamente de um conjunto de polias que, acionadas por um motor, imprimem determinada velocidade e tensionamento ao fio, montado ou instalado em circuito fechado em torno deste conjunto de polias (ALENCAR *et al.*, *op cit*).

KASCHNER (1996) salienta que essas máquinas já estão disponíveis no mercado e em uso corrente, com um razoável nível de automação, e oferecem ampla opção de controles de tensão, velocidade e programação de trabalho. Alguns fabricantes já tornaram disponíveis, para a indústria de beneficiamento, modelos que permitem o corte programado em curva, o que possibilita a execução de corte em formas e desenhos antes inimagináveis.

Os teares a fio diamantado (Figura 10), apresentam-se como a melhor opção para as empresas, pois o tempo de serragem e os custos são inferiores aos apresentados pelo modelo tradicional com uso de lâminas.

Figura 10. Tear a fio diamantado (Foto: ROCHAS DE QUALIDADE, 2004).

Segundo ROCHAS DE QUALIDADE (2004), no Brasil a tecnologia do fio diamantado já existe há 13 anos na extração de blocos, mas na etapa de beneficiamento primário é de uso recente. Existem seis máquinas multifios em operação, sendo cinco no Estado do Espírito Santo e uma no Estado de Minas Gerais, duas são de 20 fios, duas de 15 e outras duas de 10 fios.

O fio diamantado, incorporado aos teares, trouxe uma nova perspectiva para a indústria de rochas ornamentais. O tempo de corte pode ser diminuído para todas as rochas, independente do grau de dureza ou serrabilidade das mesmas, sendo que quanto maior o grau de dureza da rocha, maior é a relação de economia no tempo para cortar um bloco (ROCHAS DE QUALIDADE, 2004).

Como exemplo, ROCHAS DE QUALIDADE (2004), cita que através de dados fornecidos pelas empresas Marmocil e Cava, na serragem de um bloco de 7 m³ do granito Verde Bambu levava-se 15 dias no tear convencional e se submetido a um tear de 20 fios, leva em torno de apenas 32 horas. No caso de um bloco do granito Preto Porto Rosa o tempo de serragem cai de 5 dias para 27 horas e o do granito Giallo Cathedral, de 3 dias para 15 horas.

De acordo com o gerente de produção da Marmocil, Jayme Silveira Filho (ROCHAS DE QUALIDADE, *op. cit.*), após mais de dois anos trabalhando com o tear a fio diamantado, verificou-se que a sua praticidade, alta produção e benefícios nas questões ambientais são fundamentais para a empresa optar por este equipamento.

As vantagens propiciadas pelo tear a fio diamantado em relação ao sistema de corte tradicional são várias, como (ROCHAS DE QUALIDADE, *op. cit.*):

- necessita de menos obras de fundação, o investimento para a base de instalação é quatro vezes menor que com os teares convencionais;
- a disponibilidade de área ocupada pode chegar a um quarto da utilizada pelo tear convencional, em relação à capacidade de produção instalada;
- os custos são semelhantes quando os materiais trabalhados são de menor dureza e chapas de 2 cm, mas em materiais de maior dureza e chapas de 3 cm ou mais o custo do tear a fio diamantado é menor;
- em muitos casos, dispensa a necessidade de levigamento (primeira etapa do polimento) das chapas proporcionando uma economia de até 30% no material polido;
- pode-se obter na mesma serragem chapas de diferentes espessuras;
- é totalmente automatizado não necessitando de mais do que dez minutos de regulagem das espessuras das chapas;

- não utiliza nenhum outro produto (granalha, lama, cal), além do fio diamantado e água, sendo a operação extremamente simples, prática e ecológica, pois os rejeitos líquidos e sólidos podem ser facilmente reciclados;

- em relação à saúde e segurança no trabalho, o tear a fio diamantado veio contribuir com baixos níveis de ruídos, diminuindo, assim, a possibilidade de estresse e de perdas auditivas do trabalhador, promovendo uma melhoria contínua do ambiente de trabalho reduzindo acidentes e doenças.

2.2.2 Beneficiamento Secundário ou final

No beneficiamento secundário, as tecnologias utilizadas são para dimensionar, amoldar e especificar o produto final. Nesta etapa do ciclo produtivo de rochas ornamentais, os processos de acabamento superficial ressaltam a coloração, a textura e a aparência do material; o corte lhes confere as dimensões, formas e desenhos; os acabamentos de borda e outros especiais (ALENCAR, *et al.*, 1996).

De acordo com ALENCAR, *et al.*, (*op. cit.*), os tipos de acabamento superficiais especificados para os produtos de rochas ornamentais são: o levigamento, o polimento, o jateamento, a flamagem e o apicoamento, sendo o polimento o mais amplamente utilizado.

Em virtude da sua importância, o acabamento superficial é fundamental na exploração das características de coloração, beleza e aplicação do material como rocha ornamental.

A rocha bruta e mesmo após o processo de serragem, não exhibe totalmente as várias particularidades que o material pode apresentar. Para que estas características se apresentem, até de diferentes maneiras em um mesmo material, foram desenvolvidas tecnologias que resultam nos mais variados tipos de acabamentos superficiais (CETEMAG, 2000b).

2.2.2.1 Polimento

O processo de polimento e lustro (acabamento final) de rochas ornamentais nada mais é do que uma série de operações que reduzem a rugosidade da superfície trabalhada, buscando dotá-la do maior brilho possível, realçando, assim, a coloração predominante dos diferentes minerais presentes no material.

Através da eliminação das rugosidades, o brilho e o lustro são conseguidos pelo fechamento dos poros entre os diferentes minerais ou cristais que formam a rocha. Utilizam-se elementos abrasivos que, conduzidos em movimentos de fricção sobre o material, vão desbastando-o até atingir o grau de polimento desejado, através do uso de abrasivos de granulometria decrescente. Todo o processo é realizado em meio úmido, sendo a água o elemento de refrigeração e de expurgo dos resíduos gerados (ALENCAR, *et al.*, 1996).

As seguintes variáveis são fundamentais no controle do processo de polimento (MACHADO & CARVALHO, 1992): pressão de trabalho, velocidade de rotação/translação (tempo de polimento), vazão de água e qualidade dos insumos (água, equipamentos, abrasivos).

A vazão de água é muito importante no polimento de chapas. Uma vazão menor do que a recomendada ocasiona aumento do consumo de abrasivo e perda de qualidade no polimento.

O abrasivo mais utilizado para esses processos é o carbetto de silício, em diferentes granulometrias e formas cristalográficas, aglomerados em rebolos de formas distintas, de acordo com sua aplicação e com os desenhos exclusivos de cada fabricante. Recentemente, foram desenvolvidos rebolos para polimento que utilizam grãos de diamante como elemento abrasivo (ALENCAR, *et al.*, 1996).

Segundo CHIODI FILHO (1995) os rebolos abrasivos são fixados em cabeçotes rotativos que circulam sobre a superfície da chapa, utilizando-se um fluxo constante de água para eliminação de resíduos e refrigeração.

Os dois principais tipos de cabeçotes são o de satélite e o tangencial. Os rebolos de cabeçote de satélites são de formato cilíndrico ou sub-cônico, apresentando movimento de rotação tanto do cabeçote quanto dos rebolos (satélites). Os rebolos do cabeçote tangencial têm formato de tijolos e são fixados em sapatas oscilantes em relação à superfície da chapa (CHIODI FILHO, 1995).

O processo de polimento é usualmente subdividido em duas etapas; o levigamento e o polimento propriamente dito.

De acordo com ALENCAR, *et al.*, (1996), o levigamento é à parte do processo que objetiva a eliminação das rugosidades mais acentuadas, geradas na superfície das chapas pelo processo de corte, seja em teares ou em talha-blocos, com a obtenção de uma perfeita planicidade da superfície e uma espessura mais regular e uniforme da peça. A chapa levigada apresenta melhor definição da cor do material e dos grãos e cristais dos minerais que o constituem, mantendo, entretanto, uma tonalidade clara e opaca.

Já o polimento, segundo ALENCAR, *et al.*, (*op cit*), é a etapa onde se faz o fechamento dos poros da superfície da rocha, buscando-se, assim, obter o máximo brilho que o material pode atingir. Nessa etapa, acentuam-se as diferenças de tonalidade entre os diversos minerais presentes no material, destacando-se as cores escuras, e consegue-se uma superfície espelhada.

Tanto o levigamento quanto o polimento são executados por equipamentos denominados politrizes (polideiras) disponíveis em diversas configurações e modelos. Há desde máquinas manuais, que exigem a operação direta do operador, até linhas totalmente automatizadas, que empregam o que existe de mais moderno no campo de automação e do controle. Todos estes

modelos e variações podem ser agrupados em três tipos: politrizes manuais de bancada fixa, politrizes de ponte móvel com bancada fixa e politrizes multicabeças com esteira transportadora (KASCHNER, 1996).

Politrizes manuais de bancada fixa

Foram às primeiras máquinas utilizadas para o polimento de chapas e ainda são muito empregadas em pequenas marmorarias onde o volume de produção não justifica o investimento em equipamentos mais modernos.

Estas politrizes (Figura 11) possuem uma coluna que sustenta o braço e apresenta, na sua extremidade, o conjunto do cabeçote onde são fixados os rebolos abrasivos. As chapas são colocadas deitadas sobre bancadas fixas de concreto construídas ao lado da coluna de sustentação do braço da politriz (ALENCAR, *et al.*, 1996).

Figura 11. Politriz Manual de bancada fixa. Foto CETEMAG (2000b).

Todo o manejo do equipamento depende do operador que proporciona a pressão do cabeçote e a sua trajetória sobre a superfície polida. Assim, ocorrem muitas variações no material polido em uma mesma chapa, sendo, por isso, o seu uso bastante restrito, pois a qualidade do produto e a produtividade são baixas (ALENCAR, *et al.*, *op. cit.*).

Estas politrizes manuais, conhecidas como “cabritas”, são o tipo de equipamento ainda mais utilizado no Brasil. Pela experiência e habilidade de alguns operadores, os resultados obtidos nestas politrizes são, por vezes, superiores aos equipamentos mais modernos. Para o polimento de granitos, por exemplo, produzem entre 1,0 a 2,0 m²/h, sempre de acordo com a experiência do operador e da qualidade serrada (CHIODI FILHO, 1995).

Politrizes de ponte móvel com bancada fixa

Esta politriz (Figura 12) é composta de uma ponte, montada sobre trilhos suspensos, que suporta o conjunto moto-redutor, responsável pelo acionamento do cabeçote de polimento onde são fixados os rebolos abrasivos. Sob a ponte é construída uma bancada de concreto onde são dispostas às chapas a serem polidas. Esta bancada pode ser construída com comprimento suficiente para receber um número de chapas adequado à otimização do uso dos jogos de abrasivos (ALENCAR, *et al.*, 1996).

Figura 12. Politriz de ponte móvel com bancada fixa. Foto CETEMAG (2000b).

A operação de polimento é realizada com o movimento de vai-e-vem da ponte sobre a bancada, ao longo do seu comprimento, aliado ao movimento transversal do conjunto motor-reductor/cabeçote ao longo da ponte e ao movimento de rotação do cabeçote. Assim, o polimento vai-se procedendo a cada passada de um jogo de abrasivos com determinada granulometria, que é substituído em sequência dos grãos mais grossos para os mais finos, até o lustro final (ALENCAR, *et al.*, *op. cit.*).

Segundo KASCHNER (1996), estas máquinas são bastante antigas, utilizadas há décadas para polimento de chapas em pequena escala de produção. Através de constantes melhorias, estes equipamentos se modernizaram e executam desde o simples movimento de vai-e-vem, até o movimento conhecido como “renda grega” (movimentos de contorno intercalados com movimentos de zig-zag).

Em relação aos modelos projetados especificamente para o polimento de granitos, CETEMAG (2000b) salienta que os elementos abrasivos podem trabalhar com pressão e velocidade periféricas maiores, além de cabeçotes com mecanismos que imprimem movimentos tangenciais aos rebolos abrasivos, em relação às chapas.

As politrizes de ponte são as sucessoras imediatas e naturais das antigas e ainda muito utilizadas politrizes manuais, pelo seu custo bastante acessível e pelos ganhos de qualidade e produtividade que proporcionam. Quando do seu aparecimento, eram utilizadas exclusivamente nas maiores empresas e hoje estão sendo instaladas nas pequenas em substituição as politrizes manuais (KASCHNER, 1996).

Politrizes multicabeças com esteira transportadora

Estas máquinas são as mais modernas e funcionais desenvolvidas para o polimento de chapas tanto de mármore como de granitos (Figura 13).

Este equipamento é composto por um chassi de ferro fundido ou aço que sustenta uma bancada ou mesa perfeitamente plana, sobre a qual corre uma esteira de borracha que transporta as chapas a serem polidas. Sobre esta esteira, e disposta longitudinalmente a ela, é montada uma trave que sustenta os conjuntos moto-redutor e cabeçote, e realiza um movimento transversal sobre a mesa. A conjugação do movimento da esteira que conduz as chapas, com o movimento de rotação dos cabeçotes e o movimento transversal da trave, proporciona todos os movimentos necessários à ação dos abrasivos no processo de polimento. Os abrasivos são colocados nos cabeçotes em seqüência, do grão maior para o menor, no sentido de movimentação das chapas, de modo que, ao sair no final da esteira, o material esteja polido (ALENCAR *et al.*, 1996).

Segundo KASCHNER (*op. cit*) o nível de automação desses equipamentos é extremamente elevado e oferece facilidades operacionais como: programação das velocidades

da esteira e da trave, alarme indicativo do fim dos rebolos abrasivos em cada cabeçote, e abastecimento e desabastecimento automático sem o manuseio do operador. Além disso, estas politrizes são equipadas com microprocessadores que disponibilizam para o usuário um conjunto de informações sobre o processo, tais como: tempo de trabalho, tempo de paradas, quantidade polida, consumo de abrasivo, etc.

Figura 13. Politriz multicabeça com esteira transportadora. Foto CETEMAG (2000b).

Estas máquinas apresentam uma produtividade de cerca de $40 \text{ m}^2/\text{h}$ de material polido para granitos de dureza média, em chapas com boa qualidade da superfície serrada. Por este motivo, o polimento de chapas com politrizes multicabeças de esteira é, sem dúvida, o mais recomendado quando se quer atingir alta qualidade e uniformidade de lustro, em escala de produção elevada (CHIODI FILHO, 1995).

De acordo com CETEMAG (2000b), as politrizes multicabeças de esteira são apresentadas basicamente em dois tipos: uma para mármore e rochas similares e outra para granitos e rochas eruptivas em geral. As diferenças são o cabeçote polidor e a estrutura e robustez que,

no caso das máquinas para granitos, precisam ser mais reforçados para suportar os maiores esforços de trabalho necessários ao polimento de uma rocha mais dura.

2.2.2.2 Apicoamento e Flamagem

Estes outros dois tipos de acabamento superficial buscam explorar as várias características das rochas ornamentais através de diferentes tratamentos do material.

Segundo CHIODI FILHO (1995), as técnicas de apicoamento e flamagem produzem, em alguns materiais, um efeito estético e prático mais interessante que o do polimento, o que amplia a variedade de tipos utilizáveis como rocha ornamental.

O apicoamento é o processo que submete a peça ou chapa ao impacto de um martelo pneumático de percussão, com uma ferramenta específica na sua extremidade que, dependendo do seu desenho, confere um tipo de rugosidade e, conseqüentemente, uma aparência diferente à superfície trabalhada (ALENCAR, *et al.*, 1996).

A flamagem é obtida através de um processo de choque térmico a que o material é submetido, mediante uma chama de alta temperatura (cerca de 3000 °C) dirigida a sua superfície por um maçarico a gás, com chamas simples ou múltiplas, seguida, instantaneamente, de um resfriamento com água. Este choque térmico provoca uma espécie de descamação e vitrificação da superfície, conferindo-lhe um aspecto muito particular (ALENCAR, *et al.*, *op cit*).

KASCHNER (1996) explica que apesar de proporcionar um resultado estético especial, a flamagem aumenta a resistência da superfície do material à agressão química, sobretudo à poluição ambiental. Observa que, para muitos tipos de materiais, os resultados da flamagem não são satisfatórios e que esta técnica é mais indicada para granitos.

Já CHIODI FILHO (1995), não recomenda a flamagem em chapas de granitos com menos de 3 cm de espessura, pois a crepitação dos minerais provoca microfraturas que facilitam a infiltração de poluentes e aceleram o ataque físico-químico na superfície da placa.

De acordo com ALENCAR *et al.*, (1996) estes dois tipos de acabamento superficial utilizam basicamente a mesma estrutura de equipamento. Composta de uma mesa ou bancada onde a chapa é disposta e uma trave ou ponte, onde são fixadas as ferramentas, como o maçarico e o martelo pneumático. As ferramentas operam ao longo da ponte, de modo transversal ao comprimento ou ao curso da chapa.

Com o crescente uso do granito e sua aplicação nos mais diversos ambientes, a utilização destes tipos de acabamento superficial aumentaram consideravelmente, sendo este aumento acompanhado pelos fabricantes de máquinas e equipamentos com o desenvolvimento de modelos mais eficientes e com maior nível de automação e produtividade (CETEMAG, 2000b).

2.2.3 Principais problemas operacionais

São inúmeros os problemas operacionais que ocorrem nas etapas de beneficiamento primário (serragem) e beneficiamento final (polimento) de granitos ornamentais.

Beneficiamento Primário

Alguns destes problemas são decorrentes da etapa de extração e necessitam ser resolvido nas etapas seguintes, para que o produto final atenda as especificações do setor de rochas ornamentais. Outros problemas ocorrem justamente nas etapas de beneficiamento, onde o uso inadequado dos equipamentos ou o desconhecimento do material trabalhado faz com que o resultado esperado não satisfaça ao mercado.

De acordo com STELLIN JUNIOR (1998), a primeira tarefa é a escolha e seleção dos blocos que serão serrados, caracteriza-se por uma série de procedimentos começando pela verificação de defeitos. Deve ser observada a existência de trincas, “mulas” (manchas) e “barbantes” (linhas) ou cristais. A ocorrência de um ou mais defeitos pode ser motivo de rejeição do bloco e, neste caso, a serragem conduziria ao desperdício e à baixa produtividade.

Outro fator importante é a medição do bloco. A altura deve ter uma dimensão entre 1,60 a 1,80 metros, e é a que necessita de maiores cuidados nas aferições. Quanto maior a altura de um bloco, maior esforço mecânico será necessário. Portanto, alturas acima da média causam menor eficiência no corte inicial. Já blocos com altura inferior à média implicam numa taxa de ocupação menor, o que significa utilização do tear muito abaixo de sua capacidade plena (STELLIN JUNIOR, *op. cit.*).

Este autor salienta que outros fatores também são importantes. A verificação do padrão do material, conhecido como “corrida da pedra”, é determinada na pedreira através de experiência, sendo que na serraria as rochas devem ser cortadas a favor do veio, pois apresentam corte mais macio. Quando da utilização do bloco complementar conhecido como entera, termo técnico utilizado para descrever o bloco que completa a carga do tear, este bloco deve ser do mesmo material ou de material de dureza similar ao que está completando, pois, do contrário, o custo de serragem do material mais macio será elevado. Também, os blocos devem ter alturas próximas, pois assim será evitado o desgaste diferencial de lâminas e a perda de tempo na iniciação do processo (entrada de lâminas no bloco).

Após a escolha do bloco, feita sua medição e preparação da carga, opera-se a laminação, que é um grupo de operações que proporciona a colocação das lâminas de aço utilizadas nos teares para a serragem dos blocos.

Segundo STELLIN JUNIOR (1998), estas operações podem ser divididas em cinco etapas, que se não forem bem executadas, poderão comprometer todo o material trabalhado.

A primeira etapa é a colocação ou substituição de lâminas. Esta operação pode ser realizada total ou parcialmente, dependendo do nível de desgaste das lâminas utilizadas na serrada anterior e pelas dimensões dos blocos a serem serrados. Ao final de uma serrada, o desgaste das lâminas é avaliado e, em função da dureza do material e da altura do bloco a ser serrado, definem-se as lâminas que podem ser reutilizadas e as que devem ser substituídas. Como regra, as lâminas que não resistirem até o final da próxima serragem devem ser substituídas para evitar a troca de lâminas durante o corte. Esta é uma operação trabalhosa que requer muito tempo de máquina parada e que normalmente causa defeitos nas chapas em razão do reinício do processo de corte.

Na segunda etapa, verifica-se o posicionamento correto das lâminas, ou seja, a distribuição e espaçamento no quadro, que é determinado pela espessura das chapas a serem produzidas; a padronização e esquadreamento dos blocos; composição da carga; quando se usa mais de um bloco (entera), e os defeitos do material.

Na colocação e posicionamento das lâminas, é importante à correta instalação das lâminas mais externas em relação ao bloco, pois estas funcionam como lâminas mestras para o alinhamento de todas as demais.

Na terceira etapa, é verificado o alinhamento das lâminas. Alguns teares, por motivo de desgaste, empenamento do quadro ou montagem mal realizada, apresentam certo desalinhamento entre os lados do quadro porta-lâminas e o seu movimento de vai-e-vem. Neste caso, o posicionamento da lâmina mestra deve ser feito alinhado com o movimento do quadro. Este perfeito alinhamento permite um aproveitamento máximo do esforço aplicado no processo de corte garantindo uma maior produtividade.

O tensionamento das lâminas, que é a quarta etapa citada por Stellin Junior, confere às lâminas tensão necessária para a ação no processo de corte da rocha sem que sofra alteração de posição, prumo ou alinhamento. As lâminas devem trabalhar com o tensionamento adequado durante todo o processo, pois o perfeito tensionamento é fundamental para o bom desempenho do processo e para melhor qualidade das chapas serradas. Este tensionamento pode ser feito de duas maneiras: manual, através de cunhas fixadas por impacto ou mecanismo hidráulico.

O procedimento de tensionamento manual, ainda é o mais utilizado no Brasil, mas praticamente já está em desuso em lugares mais desenvolvidos porque apresenta as seguintes deficiências: não permite o tensionamento uniforme de todas as lâminas; não apresenta a tensão aplicada contínua e invariavelmente; as lâminas perdem a tensão ao longo do processo, obrigando a paradas freqüentes para “bater cunhas”; e é uma operação perigosa e fatigante para o trabalhador. Já o tensionamento hidráulico, é um sistema mais moderno e que garante o melhor aproveitamento das lâminas. Apresenta como principais vantagens: o tensionamento é mantido constante em todas as lâminas ao mesmo tempo; a tensão aplicada é uniforme em todas as lâminas e constante ao longo do processo de serragem, e isto evita o afrouxamento das lâminas durante a serrada, elevando a qualidade das chapas serradas; por fim, elimina os tempos de paradas obrigatórias para “bater cunhas”.

A última etapa da laminação representa o nivelamento vertical das lâminas, conhecido como prumagem. Esta deve ser feita em todas as lâminas, uma a uma, com o auxílio de uma chave apropriada e a verificação do prumo, realizada com o uso de um prumo tipo de pedreiro ou com nível de bolha adequada. As lâminas que se encontrarem fora do prumo devem sofrer uma pequena torção, feita com a chave. O prumo deve ser verificado nas duas extremidades da chapa, pois a sua forma longa e delgada permite que uma extremidade esteja aprumada e a outra não. As lâminas fora do prumo podem acarretar vários problemas, como:

desbalanceamento lateral no movimento do quadro; maior esforço desperdiçado no processo de corte; largura excessiva do canal de corte; serradas atravessadas e imperfeições superficiais das chapas.

De acordo com STELLIN JUNIOR (1998), uma boa laminação deve garantir que as lâminas resistam até o final da serragem, que ocorra um posicionamento correto das lâminas em relação à carga e ao que se quer produzir em termos de chapas, que o jogo de lâminas esteja alinhado com o movimento do quadro, que as lâminas tenham o tensionamento correto, e que estas lâminas estejam aprumadas. E por fim, lembrar que uma lâmina com problema significa, no mínimo, duas chapas com defeito e que uma laminação mal feita é sinal de atraso na serragem e baixa qualidade das chapas produzidas.

Além dos problemas ocasionados nas etapas especificadas anteriormente, o consumo dos principais insumos, como lâminas e granalhas, também influencia no custo final de produção.

SOUSA & RODRIGUES (2002) estudaram a relação entre o consumo de alguns insumos (granalha, lâmina e energia elétrica) no processo de serragem de granitos do Nordeste brasileiro de diferentes graus de dureza. Verificaram que a dureza dos granitos interfere decisivamente no custo do corte e na produtividade, ou seja, quanto mais duro o granito maior o consumo dos insumos e que a granalha é o insumo que sofre maior incremento com este aumento da dureza.

Estes autores salientam que existe uma relação indireta entre o consumo de granalha e lâmina, ou seja, quanto maior o consumo de granalha, menor o consumo de lâmina, sendo o inverso também verdadeiro, e que a energia elétrica mostrou ser o insumo de maior dificuldade de controle durante o processo produtivo.

Nas várias serrarias com teares estudadas pelos autores citados, observaram que o grau de dureza da rocha esconde a ineficiência da empresa sendo comum ouvir que: “os custos de

produção e o consumo dos insumos elevados são por culpa do material que é muito duro”. Reiteram, que o importante é avaliar o controle dos processos, visando otimizar custos e a produtividade das serragens, pois só desta forma é que se justifica a busca constante do aperfeiçoamento dos processos produtivos.

MACHADO (1992) resume os principais problemas que ocorrem na etapa de beneficiamento primário:

- consumo excessivo de granalha: granalha de má qualidade, granalha fora das especificações para aquele tipo de material;
- alto tempo de serragem: bloco muito alto, lâmina desviando, bloco mal apoiado;
- consumo excessivo de lâminas: mau tensionamento, qualidade ruim das lâminas, lâminas fora do prumo, bloco mal assentado. (Figura 14);
- chapas de qualidade ruim: excesso de granalha no circuito, tensionamento das lâminas ruim, espessadores de chapa com defeito.

Figura 14. Deformação da lâmina devido ao seu consumo excessivo.

Beneficiamento Final (Polimento)

Em relação ao processo de polimento, MACHADO & CARVALHO (1992) ressaltam os fatores que devem ser evitados para uma melhor eficiência deste processo:

- alta rugosidade do material a ser polido que faz aumentar o tempo de desbaste e consumo de abrasivos;
- uso de areia no primeiro passe pode deixar grãos que nas etapas seguintes poderão riscar a superfície;
- impurezas na água devido à deficiência no processo de reaproveitamento;
- demora na troca de rebolos;
- abastecimento/descarregamento moroso das chapas;
- baixa qualificação da mão-de-obra.

Cabe ainda verificar o empenamento das chapas, a presença de trincas e se a espessura da placa é constante. Dependendo da posição da trinca, deve-se, antes de iniciar a operação, retirar o pedaço trincado para evitar que seja lançado para fora da politriz durante o polimento e danos ao equipamento (principalmente satélites) e aos abrasivos (CETEMAG, 2000b) (Figura 15).

Figura 15. Presença de trinca atravessando a chapa.

Uma variável importante nesta etapa é a água. As principais funções da água no processo de polimento são (CETEMAG, *op. cit.*):

- refrigeração, diminui a temperatura de atrito entre rebolo e rocha;
- retirada de material, fragmentos de rocha e abrasivos, ao longo do polimento pois, por centrifugação, a água auxilia na remoção dos detritos;
- limpeza entre as trocas de abrasivos, pois no final de cada granulometria de abrasivo, deve-se limpar com água corrente possíveis fragmentos que se alojem nos interstícios da placa (RABINOWICZ, 1966) (Figura 16).

Figura 16. Indicação do desgaste causado no processo de polimento juntamente com o acúmulo de detritos nos interstícios (RABINOWICZ, 1966).

De acordo com CETEMAG (2000b) uma baixa vazão de água pode provocar aquecimento da chapa que está sendo polida, com a queima da mesma, percebida quando o material da chapa muda de coloração. (Figura 17) A vazão mínima de água recomendada é de 30 l/min, para uma pressão de 4 bar por satélite.

Figura 17. Polimento de chapa em superfície apresentando baixa vazão de água.

As mesas, os abrasivos e os cabeçotes devem ser cuidadosamente lavados antes de iniciar cada operação de polimento. Durante o processo, é recomendável que o satélite superponha aproximadamente 10 cm entre uma passada e outra. Quando o operador notar que as chapas estão apresentando riscos, deve imediatamente determinar a causa dos mesmos. A primeira providência é examinar a qualidade e quantidade de água; a seguir, verificar se há rebolos lascados ou quebrados e substituí-los (CETEMAG, 2000b). Existem muitas variáveis envolvendo o processo de polimento de chapas de rochas ornamentais, sendo as principais: a

qualidade da serragem, a dureza do material e o esquadrejamento da chapa. Alternativas como subidas e descidas automáticas dos satélites, compensação automática para chapas que “andam” sobre a esteira, vários tipos de translação da trave, leitura do perfil da chapa a ser trabalhada, etc, fazem com que o trabalho se torne mais produtivo e rentável.

2.3 Análise petrográfica

Técnica amplamente utilizada constituindo no único método de investigação laboratorial que permite a visualização detalhada dos constituintes da rocha, fornecendo informações sobre a composição mineralógica, relações estruturais (anisotropia), relações texturais, grau e tipo de alteração mineral e estado microfissural (RODRIGUES, *et al.*, 1997).

RODRIGUES *et al.*, (1996) explicam que a petrografia microscópica é realizada a partir do exame por microscopia óptica de luz transmitida em fatias de rocha (lâminas delgadas) expostas em áreas de aproximadamente 4,0 x 2,5 cm, com espessuras da ordem de 0,03 mm. A petrografia de seções delgadas é utilizada para identificação e análise dos denominados minerais transparentes (transmitem a luz), principalmente silicatos e carbonatos. Em rochas contendo minerais metálicos não transparentes (pirita, calcopirita, magnetita, ilmenita), o exame microscópico é realizado sob luz refletida, a partir de corpos de prova (seções polidas), representando fragmentos rochosos extremamente bem polidos em abrasivos à base de diamante.

Nas rochas ornamentais e de revestimento possibilita prever e explicar o comportamento físico-mecânico das rochas, avaliar a durabilidade das rochas nas obras ao longo do tempo, melhorar a otimização rocha/ambiente, prever eventuais modificações nas propriedades físico-mecânicas e de alterabilidade das rochas perante condições ambientais e as solicitações a que

são submetidas nas obras (atrito, impacto, umidade, ataque de líquidos e agentes atmosféricos agressivos, etc) (FRAZÃO, 2002).

De acordo com RODRIGUES *et al.*, (1997) os principais aspectos petrográficos a serem analisados relacionam-se à composição, à textura, à granulação, o grau de alteração mineral e o estado microfissural da rocha, que estes autores sintetizam abaixo.

O aspecto composicional visa uma caracterização qualitativa e quantitativa da rocha, identificando os minerais friáveis, alterados, alteráveis, deletérios e solúveis que possam comprometer a durabilidade e desempenho das rochas, comprometerem o lustro, promoverem manchas e escarificação. Como exemplo, a presença de calcita e dolomita em mármore facilita a corrosão destes minerais por substâncias ácidas presentes em chuvas de regiões industrializadas, em materiais de limpeza, etc. Os sulfetos (pirita, calcopirita), presentes em rochas, alteram-se rapidamente quando expostos ao ar e líquidos ácidos ou alcalinos. A magnetita presente em muitos granitos e principalmente gabróides, oxida quando exposta à ambientes úmidos e a água. As granadas em granitos, gnaisses e migmatitos produzem escarificações, além de oxidação.

O aspecto textural é importante para a análise previsional no desempenho e durabilidade das rochas em obras civis. Inclui a granulação da rocha, forma dos minerais, distribuição dos minerais e relações de contato entre os constituintes minerais da rocha.

A granulação interfere na resistência da rocha, com o aumento da granulação e da sua heterogeneidade diminui a resistência, na susceptibilidade a ataques diante de líquidos agressivos e no grau de microfissuramento.

O grau de alteração mineral exerce influência no comportamento físico-mecânico da rocha conduzindo a redução da resistência mecânica e de esforços flexores, maior absorção d'água, desagregação e menor durabilidade da rocha.

O estado microfissural influencia várias das propriedades das rochas e relacionam-se diretamente a resistência mecânica e aos esforços flexores, resistência à abrasão (atrito), porosidade, absorção d'água e alterabilidade da rocha.

De acordo com NAVARRO (2002) estas variáveis petrográficas podem ser agrupadas genericamente em três categorias: composição mineral, texturas e estruturas, que definem um trinômio de complexa inter-relação que responde pelo comportamento físico e mecânico da rocha. (Figura 18).

Figura 18. Esquema ilustrando o comportamento físico e mecânico de uma rocha, como resultado da interação entre os aspectos petrográficos definidos pela mineralogia, textura e estrutura (NAVARRO, 2002).

Segundo NAVARRO (2002) devido a esta complexidade, 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. Dessa maneira 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.

MEYER (2003) estudando as rochas ornamentais do Complexo Socorro (SP) e Maciço Pedra Branca (MG) demonstra que o comportamento físico-mecânico e de alterabilidade das rochas são diretamente controlados e influenciados pela conjugação de aspectos composicionais, estruturais e texturais.

MEYER *et al.*, (2003) salientam que a composição mineral é o principal condicionante a resistência das rochas em relação ao ataque de substâncias químicas. Rochas de composição ácida, ou seja, mais de 66% de sílica (SiO_2) na constituição, são as que resistem mais ao ataque químico. Assim, à medida que uma rocha possua deficiência em sílica, sua composição torna-se mais básica, constituída por minerais com elevados teores de ferro, cálcio e magnésio, tornando-se mais susceptíveis ao ataque de substâncias químicas. Observaram que os aspectos texturais e estruturais das rochas também influenciam o comportamento químico dos materiais. Nas rochas de granulação mais fina e estruturas isotrópicas, a textura e as descontinuidades físicas são bem discretos, o que dificulta a absorção d'água e conseqüentemente de reagentes.

TUGRUL & ZARIF (1999) analisando granitos selecionados na Turquia, evidenciam que as propriedades físicas e mecânicas se relacionam com as características mineralógicas e texturais da rocha. As características petrográficas que afetam as propriedades mecânicas são: granulação, forma dos grãos, grau de imbricamento, tipos de contato e composição mineralógica. Neste estudo revelam que a influência dos parâmetros texturais, nas propriedades físicas e mecânicas (índices físicos, resistência à compressão uniaxial, velocidade de ondas P, etc), é mais importante do que a mineralogia.

WILLARD & MC WILLIAMS (1969) na tentativa de obter um melhor conhecimento do comportamento mecânico das rochas em relação a sua micro-estrutura, observaram que as microfraturas, as bordas dos grãos, as clivagens e os planos de geminação influenciam na resistência final da rocha. Estes são fatores preponderantes que ativam as superfícies de fraqueza controlando, assim, as direções de rupturas nas rochas.

No estudo de monumentos, principalmente antigos, a influência da petrografia está relacionada com a deterioração destas obras.

MATIAS & ALVES (2002) ao analisarem monumentos na cidade de Braga, em Portugal, verificaram que a presença de elementos heterogêneos, como xenólitos e fenocristais, em granitos, desenvolvem superfícies irregulares resultando numa erosão diferencial. Com esta variação granulométrica, a rocha apresenta diferentes níveis de deterioração, sendo que as áreas mais afetadas nas obras são aqueles onde os elementos heterogêneos estão presentes.

As características petrográficas das rochas exercem uma grande influência no processo de corte, tanto na escala macroscópica (diáclases, fraturas, planos de estratificação) como na escala microscópica (mineralogia, texturas, espaços vazios), sendo que esta escala “micro” é que deve ser considerada no processamento de rochas ornamentais (RODRIGUEZ-REY *et al.*, 1998).

Fatores microscópicos como a composição mineral da rocha, contatos entre os minerais, sua forma, distribuição, deformação e alteração, são considerados na avaliação de uma ocorrência de rocha ornamental. Rochas com alto conteúdo de mica, anfibólio ou carbonatos apresentam um impacto negativo na etapa de polimento, pois contém sulfetos de ferro que corroem a chapa, e com o tempo, causam manchamentos amarelados (SELONEN *et al.*, 2000).

No processo de beneficiamento secundário, a alteração do plagioclásio, minerais com diferentes durezas e 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 & QUITETE, 2000).

NAVARRO & ARTUR (2002) apresentam modelos matemáticos que prevêm o comportamento físico-mecânico de granitos ornamentais considerando aspectos petrográficos (mineralogia, granulação, número e comprimento médio de fraturas, área alterada, número e tipos de contatos entre os grãos) e propriedades tecnológicas (porosidade aparente, resistência à compressão uniaxial, módulo de ruptura, desgaste abrasivo e coeficiente de dilatação térmica). Com estes resultados os autores pretendem auxiliar as diversas etapas da cadeia produtiva do setor de rochas ornamentais, ressaltando que a diversidade entre os conjuntos estudados limitou a utilização das equações apenas para os granitos *stricto sensu*, ou seja, sienogranitos e monzogranitos.

Um fator importante na análise petrográfica e que não é normalmente considerado na caracterização de rochas ornamentais é a anisotropia. Mesmo que sutil, deve ser sempre considerada em função do plano de serragem do material e/ou do uso que se destina. É importante no sentido de orientar a melhor posição de serragem e detectar limitações práticas que terão, por exemplo, peças graníticas serradas em planos com menor resistência física e/ou mecânica (MESQUITA, 2002).

STROHMEYER, D. & SIEGESMUND, S. (2002) observaram que os parâmetros investigados, resistência à tensão, resistência à compressão, resistência à abrasão, susceptibilidade magnética e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, são controlados pela anisotropia da rocha e secundariamente pela composição mineralógica e os diferentes

elementos texturais como feições microestruturais, cristalografia, orientação preferencial e forma dos minerais, e o estado de microfraturamento.

Para a execução das análises petrográficas, devem ser seguidas às recomendações da norma ABNT NBR 12768 (1992).

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Dentre as inúmeras empresas da região, que beneficiam e comercializam vários materiais pétreos, duas se dispuseram a colaborar com esta pesquisa, a Granitos Medeiros Ltda e Nazareth Mármore e Granitos Ltda, ambas localizadas no Município de Barra do São Francisco, norte do Estado do Espírito Santo. Nelas foi possível acompanhar o processo de corte, utilizar os dados correspondentes e coletar amostras.

A Granitos Medeiros Ltda utiliza, para o corte das rochas, dois teares Beka 3 S 200, de tecnologia nacional, fabricados pela CIMEF Metalurgia S.A., em Cachoeiro do Itapemirim, Estado do Espírito Santo. Apresentam largura de 260 cm, comprimento 300/320 cm, altura de 200 cm, comportando 80 lâminas cada tear, com uma potência instalada de 55,5 cv. As lâminas utilizadas são da marca *Newport*, com espessura de 5 mm, largura ou altura de 120 mm e 3 metros de comprimento. Podem ser utilizadas até a largura ser reduzida a 20 mm o que, em média, corresponde à serragem de seis blocos, gastando cerca de 20 mm por corte.

As granalhas utilizadas pela empresa são das marcas Tupy, Sinto e IKK, com as duas primeiras apresentando uma composição basicamente de aço e as da marca IKK com 20% de ferro misturado ao aço, mais utilizadas no corte de rochas macias.

É recomendada, pelos fabricantes, a utilização de tipos de granalha contendo mais aço que ferro para o corte de materiais considerados duros e de mais ferro que aço para materiais macios. As granalhas de aço são aconselháveis para materiais extremamente duros e as granalhas de ferro para materiais muito macios (mármore).

Na Granitos Medeiros Ltda não existe uma padronização no uso dos tipos de granalhas. No desdobramento dos blocos ocorre até a mistura de tipos de granalhas utilizadas para rochas de características diferentes e, em muitos casos, até mesmo as granalhas específicas para materiais extremamente duros são utilizadas no corte de rochas macias, pois, assim, é acelerado o processo de serragem, embora possa comprometer a qualidade da serragem.

A Nazareth Mármore e Granitos Ltda utiliza quatro teares Beka 9, também fabricados pela CIMEF Metalurgia S.A., com as características técnicas dos teares Beka 3 S 200, mas com altura superior e maior velocidade de corte.

As lâminas utilizadas pela empresa também são as da marca *Newport*; as granalhas são das marcas Granassa, com 30 a 40% de ferro misturado com aço, e Tupy, basicamente de aço.

Em relação às rochas, foram selecionados três tipos de granitos ornamentais, considerados tecnicamente duros (verdes), macios (amarelos) e intermediários (brancos), oriundos de lavras em charnoquitos, maciços gnáissico-graníticos e graníticos, respectivamente, do norte capixaba e acompanhadas suas serragens. Após os blocos terem sido desdobrados na forma de chapas, foram coletadas três amostras de cada material, perfazendo um total de dezoito amostras, nas duas empresas já citadas.

Foram escolhidos os granitos denominados comercialmente **Verde *Peacock* (VP)**, **Amarelo Ornamental (AO)** e **Branco Siena (BS)** como representantes significativos de uma gama de granitos ornamentais verdes (duros), amarelos (macios) e brancos (intermediários), em razão da grande demanda por estes materiais.

A necessidade desta seleção decorre da semelhança entre os materiais de mesma cor, o que possibilita uma redução significativa do número de amostras. As várias denominações encontradas no setor se originam de pequenas peculiaridades, tais como: posição de corte do

bloco, cor mais clara ou mais escura do material, granulação da rocha e presença marcante de determinado mineral.

A caracterização dos equipamentos (teares e seus componentes), dos insumos (lâminas e granalhas) e dos parâmetros operacionais (lama abrasiva e velocidade do corte (cala)) utilizados pelas empresas é de fundamental importância para o entendimento do processo de corte de rochas ornamentais.

Assim, apesar do foco de observação e análise ser a rocha e de como os atributos a ela inerentes afetam no corte de granitos ornamentais, o estudo das variáveis que atuam no processo de desdobramento dos blocos é primordial para o desenvolvimento da pesquisa.

Para avaliar a qualidade das chapas resultantes do corte dos materiais, utilizou-se o Avaliador de Rugosidade de Chapas (ARC).

Os componentes principais do ARC são mostrados na Figura 19; em (A): (1) corpo de aço, com comprimento de 1,10 m; (2) apoios ajustáveis por quatro parafusos para o nivelamento do sistema; (3) carro de medição, que se desloca por meio de uma rosca sem fim (4), acionada manualmente contando-se os giros de uma canopla graduada (5), com precisão de 0,25 mm, que mede o deslocamento do carro (6). O ARC possui um curso livre de 92 cm com 5 cm de recobrimento para amarração do perfil. Em (B) observam-se detalhes do carro de medição de rugosidade, constituído por um sistema de braços ortogonais interligados e com um defletômetro acoplado; em um dos braços (1), é fixada a ponta de vídea que toca a superfície da chapa; no outro (2), a 90°, são colocados os pesos que compensam a pressão da mola (3) e do defletômetro (4).

Figura 19. (A) Componentes do ARC e (B) detalhe do corpo de medição. Fotos: RIBEIRO, *et al* (2005).

3.2 MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas: uma em empresas do setor de rochas ornamentais, no acompanhamento dos cortes e coletas dos materiais e outra em gabinete (revisão bibliográfica) e laboratório (análises petrográficas, estatísticas e da rugosidade das chapas).

3.2.1 Acompanhamento dos cortes e coletas dos materiais

O acompanhamento do processo de corte, fundamental para a análise dos fatores relacionados à rocha e aos parâmetros operacionais, foi realizado nas empresas citadas.

A primeira fase se caracteriza pela observação dos materiais rochosos mais serrados, análise dos parâmetros operacionais (lama abrasiva, insumos e equipamentos) e verificação

dos principais problemas que ocorrem na serragem em decorrência de fatores relacionados com a rocha (mineralogia, estrutura e textura).

Após o entendimento desta primeira fase, foram selecionados os três tipos de granitos ornamentais citados (Verde Peacock –VP, Amarelo Ornamental –AO e Branco Siena-BS).

No setor de rochas ornamentais, as duas chapas laterais do bloco serrado são denominadas casqueiro e, por terem apenas uma face regular resultante do corte, não são comercializadas. Dessas chapas e de outras que se quebraram, foram coletadas as dezoito amostras utilizadas na pesquisa, retiradas respectivamente do topo (início da serragem), do meio e da base (parte final da serragem) dos casqueiros ou chapas, como indicado pelos números 1, 2 e 3, da Figura 20 as quais foram consideradas representativas de cada bloco desdobrado.

Figura 20. Casqueiro do granito Verde *Peacock*. Os números 1, 2 e 3 indicam, respectivamente, o topo, meio e a base das chapas de onde foram retiradas as amostras.

As dezoito amostras foram retificadas para que os corpos de prova resultantes apresentassem regularidade geométrica. Além disso, as provenientes de casqueiros foram niveladas, pois apresentam uma superfície irregular (parte externa do casqueiro). Este procedimento torna possível a determinação da rugosidade das superfícies de corte no Avaliador de Rugosidade de Chapas (ARC), que necessita de uma base plana para o apoio dos corpos de prova. Os corpos de prova ficaram, em média, com 20 cm de comprimento no sentido do corte (do topo para a base), ao longo do qual as medidas foram realizadas.

Durante o processo de corte, as características da lama abrasiva são verificadas de hora em hora. As empresas do setor utilizam fichas de controle onde são anotados dados de vários parâmetros relacionados ao corte e aos insumos. Essa atividade é de responsabilidade do serrador que tem a função de acompanhar todo o processo de corte, coletar e anotar as informações provenientes dos equipamentos utilizados no processo de serragem e averiguar a correta utilização dos insumos (granalha, lâmina, cal). Cabe-lhe ainda intervir caso haja risco para a continuidade do corte que afete tanto o material serrado como os equipamentos utilizados no processo de serragem.

Os dados obtidos referentes aos parâmetros operacionais se encontram relacionados por materiais e empresas no Anexo 1 deste trabalho.

3.2.2 Análise petrográfica

A análise petrográfica foi realizada no Laboratório do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos-USP, São Paulo, em lâminas confeccionadas no Laboratório do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, UNESP-Rio Claro, São Paulo.

No auxílio ao trabalho de análise petrográfica foram consultados os trabalhos de MACHADO *et al* (2003), DANA & HURLBUT (1960), BLENKINSOP (2000), DEER, *et al* (1966), KERR, (1977), TEIXEIRA, *et al* (2000), WINKLER, (1976) e YARDLEY, (1994).

Os critérios de classificação petrográfica das rochas granitóides são baseados nas normas da IUGS, 1973 (“*Subcomission on the Systematics of Igneous Rocks*” da “*International Union of Geological Sciences*”).

Para a execução das análises petrográficas a norma recomendada é a ABNT NBR 12678 (1992).

3.2.3 Análise estatística

Para a análise estatística foram selecionados, dentre os parâmetros operacionais, os dados de “viscosidade”, densidade e teor de granalha, registrados nas fichas de controle da mistura abrasiva dos materiais cortados na Granitos Medeiros Ltda e os dados de “viscosidade” e teor de granalha registrados nas fichas de controle da viscosidade na Nazareth Mármore e Granitos Ltda.

A análise dos dados foi feita com o auxílio do software *Statistica* 5.0 e do programa *Microsoft Office Excel* 2003, que geram representações gráficas e equações matemáticas que ajudam na interpretação e correlação entre os parâmetros escolhidos.

A correlação entre parâmetros se restringiu aos dados provenientes do sistema de beneficiamento de cada empresa, relativos aos três diferentes tipos de granitos ornamentais (verde, amarelo e branco), e analisados separadamente.

3.2.4 Análise da rugosidade

A rugosidade das chapas foi determinada no Avaliador de Rugosidade de Chapas (ARC), que é um equipamento portátil desenvolvido especialmente para medir a rugosidade das chapas desdobradas em teares que utilizam granalha (RIBEIRO *et al.*, 2005).

As medidas sobre a superfície serrada são feitas no sentido do corte (altura da chapa) para o estudo integrado das variações de rugosidade.

Uma vez nivelado o ARC, estabelece-se uma referência horizontal sobre a chapa. Gira-se a canopla graduada movimentando horizontalmente o carro e no defletômetro (precisão de 1 mm) vão sendo feitas as leituras nas depressões e saliências.

O equipamento permite a adaptação de um motor servo-controlado com uma interface para registro automático das medidas em um *notebook*.

Após efetuar as medidas de rugosidade sobre as superfícies serradas dos dezoito corpos de prova, os dados foram registrados automaticamente no programa *Microsoft Office Excel 2003* com a contribuição de um aparelho de *notebook* ligado ao ARC.

Como ocorre desnivelamento entre a superfície da amostra e a mesa de instalação do ARC foi necessário realizar a horizontalização das superfícies citadas (Figura 21). Para isso utilizou-se o método dos mínimos quadrados, de acordo com o trabalho de MUMMERY (1992).

Figura 21. Perfil esquemático medido (A) e horizontalizado (B) (Mummary, 1992).

Com o perfil horizontalizado e por meio de cálculos computacionais, definem-se os parâmetros de rugosidade. A rugosidade total (R_t) é dada pela diferença entre o pico mais alto e a depressão mais baixa no comprimento avaliado (L) (Figura 22).

Figura 22. Perfil esquemático apresentando a definição de rugosidade total (R_t) que é a diferença entre o pico mais alto e a depressão mais baixa num certo comprimento (L).

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES.

4.1 Caracterização Tecnológica

Para a caracterização tecnológica dos três granitos ornamentais selecionados, são apresentados os dados da análise petrográfica feita bem como os valores dos seguintes índices físicos e mecânicos: massa específica aparente, absorção d'água, porosidade aparente, desgaste abrasivo Amsler, compressão uniaxial, resistência à flexão e coeficiente de dilatação térmica linear, obtidos em catálogos da Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais (Abirochas) e das empresas Michelangelo Mármore e Granitos e Paulinos Marmoraria.

4.1.1 Análise petrográfica

A- Granito Verde *Peacock*

É uma rocha com estrutura maciça, compacta, de granulação média a grossa e cor verde oliva escuro. Fanerítica, inequigranular, hipidiomórfica a xenomórfica, leucocrática, holocristalina com textura granular.

É uma rocha que exhibe superfícies de contato irregulares entre os minerais, com imbricamento côncavo-convexo.

O quartzo apresenta hábito granular, brilho vítreo, incolor a branco, constituindo cerca de 25% da rocha.

O feldspato potássico presente é o micropertítico (microclínio), prismático, com clivagem perfeita, brilho vítreo e de coloração cinza-claro. Perfaz 25% da rocha.

O plagioclásio é a andesina com hábito tabular, clivagem perfeita em uma direção, brilho vítreo a nacarado, incolor a esverdeado, com ângulo de extinção em média de 20° e compõe 35% da rocha.

Os outros minerais constituintes são: granada (5%), dodecaédrica, brilho vítreo a resinoso, de cor marrom-avermelhado a preto; biotita (5%) de hábito e brilho micáceo, clivagem perfeita e cor preta, e ortopiroxênio hiperstênio (5%), de hábito prismático, clivagem boa, brilho vítreo a nacarado, e de cor verde oliva que realça a tonalidade da rocha.

O estado microfissural desta rocha é baixo a médio, sem preenchimento. Estes fissuramentos são intragãos predominando nos minerais de quartzo.

Ocorrem poucas alterações minerais sendo visíveis apenas em regiões pontuais.

Nome petrográfico: Charnoquito com granada.

B-Granito Amarelo Ornamental

É uma rocha orientada e irregularmente bandada, de granulação média a grossa, e textura granolepidoblástica e estrutura gnáissica.

O quartzo constitui 25 % da rocha, apresenta brilho vítreo a incolor, com cristais anédricos e caracteriza-se por apresentar microfissuramento, sem preenchimento.

O feldspato alcalino micropertítico (microclínio) compõe 45% desta rocha, facilmente identificável por apresentar geminações e clivagens perfeitas em duas direções.

O plagioclásio é o oligoclásio (20%), de hábito prismático, clivagem perfeita em uma direção e de cor amarelada.

Os outros 10 % da rocha são constituídos por: a) granada (5%), de forma arredondada a ovalada, cor vermelho escuro e que exhibe, ao seu redor, de forma radial, pequenas fissuras

preenchidas ou não; b) biotita (5%), que aparece principalmente preenchendo os fissuramentos e nos contatos entre os feldspatos e plagioclásios.

Essa rocha apresenta microfissuramentos intergrãos, com a grande maioria superficial sem preenchimento. No oligoclásio as fissuras atravessam todo o mineral, concordantemente com seu plano de clivagem; quando mais abertas, acham-se preenchidas por mica.

Na grande maioria das amostras, as superfícies de contato entre os minerais são serrilhadas, mas podem ser encontrados contatos côncavo-convexos.

As alterações minerais se iniciam a partir das superfícies fraturadas preenchidas por micas que, em alguns casos, se estendem por todo o grão, principalmente os plagioclásios.

No microclínio, a alteração não é tão marcante; ocorre mais intensa apenas em alguns grãos e em outros o processo esta se iniciando.

.Esta rocha é característica de um metamorfismo dinamotermal, de médio a alto grau, de fácies metamórfica do anfibolito a granulito. Nome petrográfico: Granada Gnaiss Sienogranítico.

C - Granito Branco Siena

É uma rocha gnáissica, de granulação média a grossa e cor branca rosada, com pequenos pontos avermelhados (granada). Apresenta textura granoblástica, localmente granolepidoblástica de estrutura levemente gnáissica.

O quartzo perfaz 30% da rocha, é de cor branca, com cristais subédricos à anédricos, e apresenta algumas microfissuras não preenchidas.

O feldspato alcalino micropertítico (microclínio) compõe 27 % da amostra, apresenta hábito prismático e de cor branca e brilho vítreo.

Os minerais de plagioclásio (oligoclásio) encontram-se presentes em 30 % da rocha, tem brilho vítreo, clivagem perfeita em uma direção e cor branco-amarelada.

Os outros minerais constituintes desta rocha são: granada (10%) de brilho vítreo a resinoso e cor vermelha escura; ortopiroxênio (3%) de cor branco-esverdeada, de clivagem boa e hábito prismático.

Apresenta superfícies de contato, entre os minerais, serrilhadas a côncavo-convexas.

O estado microfissural é baixo e quando ocorrem fissuras, que são de pequena extensão e intragrão, se encontram preenchidas. Nos feldspatos, o fraturamento não acompanha a clivagem e não atravessa todo o mineral. Normalmente, o quartzo aparece pouco fraturado. As fraturas são mais proeminentes no plagioclásio, que também apresenta inclusões.

A rocha é característica de metamorfismo dinamotermal ou regional, de médio a alto grau, de fácies metamórfica do anfibolito a granulito. Nome petrográfico: Granada Gnaiss Monzogranítico.

4.1.2 Índices físicos e mecânicos

Os dados referentes aos índices físicos e mecânicos bem como os valores especificados pela Norma ASTM (1992) e os sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), para fim de comparação, encontram-se resumidos no Quadro 5 abaixo.

Quadro 5 – Resumo dos resultados dos índices físicos e mecânicos dos materiais estudados e valores especificados pela norma ASTM (1992) e sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) para comparação.

Índices Físicos e Mecânicos	Granito Verde Peacock	Granito Amarelo Ornamental	Granito Branco Siena	Valores de referência: ASTM (1992)	Valores de referência: Frazão & Farjallat (1995)
Massa específica seca (Kg/m³)	2713	2627	2640	≥ 2560	≥ 2550
Porosidade aparente (%)	0,59	0,98	0,70	n.e.	≤ 1,0
Absorção d'água (%)	0,22	0,37	0,26	≤ 0,4	≤ 0,4
Dilatação térmica linear (10⁻³mm/m °C)	5,2	4,7	5,0	n.e.	≤ 12,0
Desgaste Amsler (mm)	1,0	1,0	0,8	n.e.	≤ 1,0
Compressão uniaxial simples (Mpa)	109,3	107,8	113,7	≥ 131	≥ 100
Flexão (módulo de ruptura) (Mpa)	11,21	15,20	15,11	≥ 10,34	≥ 10,0

n.e.: não especificado.

4.2 Análise estatística dos materiais

O objetivo da análise estatística foi o de verificar se ocorre correlação entre os parâmetros operacionais, ao averiguar a dependência/independência entre “viscosidade”, densidade e teor de granalha, selecionados na Granitos Medeiros Ltda, e os parâmetros operacionais “viscosidade” e teor de granalha na Nazareth Mármore e Granitos Ltda , para detectar possíveis problemas a eles relacionados durante o processo de serragem.

Com a contribuição do *software Statistica 5.0* e do programa *Microsoft Office Excel 2003*, os dados referentes aos parâmetros operacionais foram analisados separadamente por material serrado e por empresa, resultando em gráficos e equações matemáticas.

Assim, os gráficos referentes à análise estatística, descrita a seguir, enfoca apenas a relação densidade x teor de granalha, das rochas serradas na Granitos Medeiros Ltda, sendo que os gráficos mostrando as outras relações encontram-se no Anexo 2.

O Quadro 6 apresenta as características dos cortes dos três granitos selecionados.

Quadro 6 – Características dos cortes dos três granitos selecionados.

Características/Materiais	Verde Peacock	Amarelo Ornamental	Branco Siena
Lâminas(início/término)(cm)	8/6	6/4	10/8
Tempo de corte (horas)	62	65	71
Quantidade de granalha (sacos de 25 kg)	16	18	16
Espessura das chapas (cm)	3	2	1,5
Número de medidas	57	66	76

4.2.1 Granito Verde *Peacock*

O Gráfico (A), da Figura 23, mostra que até a metade do processo de corte, por volta de trinta horas de serragem (trecho A), os dois parâmetros, densidade da lama abrasiva e teor de granalha, apresentavam uma relação direta. A partir daí (trecho B), a densidade da lama abrasiva aumenta rapidamente e o teor de granalha oscila entre quedas e elevações. Este fato pode ser atribuído a uma diminuição da velocidade de corte (cala) de 4,53 cm/h, na trigésima segunda hora, para 3,85 cm/h, na trigésima terceira hora, abastecimento de quatro sacos de cal de 20 kg/cada e de quatro sacos de granalha de 25 kg/cada, acarretando, assim, uma elevação da densidade e na trigésima nona hora elevação do teor de granalha. Só bem no final do corte a relação entre densidade da lama abrasiva e teor de granalha se estabiliza, mas, um pouco antes, quinquagésima sexta hora, o tear é abastecido com três sacos de granalha de 25 kg/cada ocasionando uma elevação abrupta do teor de granalha (trecho C).

O Gráfico (B) da Figura 23 mostra uma linha de tendência horizontal, com os pontos bem distribuídos, demonstrando uma independência entre os parâmetros, corroborada pelo valor de $R^2 = 0,0089$ ser muito baixo.

(A)

(B)

Figura 23. Granito Verde Peacock - Gráficos mostrando a relação entre a densidade da lama abrasiva x teor de granalha. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 57.

4.2.2 Granito Amarelo Ornamental

O Gráfico (A), da Figura 24, mostra que no início do corte a densidade da lama abrasiva subiu e logo em seguida caiu rapidamente, com o teor de granalha decrescendo (trecho A). Na fase final desta etapa, da 12^a a 16^a horas, ocorreu um aumento da cala de 3,02 cm/h para 4,25 cm/h. Para a lama abrasiva não permanecer com uma densidade baixa (menos que 1780 g/l), o tear foi abastecido com três sacos de granalha de 25 kg/cada e três sacos de cal de 20 kg/cada, acarretando um aumento da densidade e do teor de granalha (início do trecho B).

Na metade do corte, o teor de granalha encontra-se estabilizado por volta de 120 g/l, mas a densidade volta a subir chegando a níveis do início do corte (1860 g/l) devido à diminuição da cala de 4,25 cm/h para 3,98 cm/h, na trigésima terceira hora (trecho B). No final do processo de serragem (trecho C) o teor de granalha sobe para 160 g/l, pois o tear é abastecido por três sacos de granalha de 25 kg/cada e desce rapidamente, juntamente com a densidade da lama abrasiva, até finalizar o corte.

O valor de $R^2 = 0,2961$, apesar de ainda ser muito baixo, mostra que em certos períodos do corte do granito Amarelo Ornamental a densidade e o teor de granalha foram variáveis relacionadas diretamente.

Figura 24 - Granito Amarelo Ornamental - Gráficos mostrando a relação entre densidade x teor de granalha.

Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R2. Número de medidas: 66

4.2.3 Granito Branco Siena

O Gráfico (A) da Figura 25 mostra que em certos períodos do corte, início e logo após a metade da serragem (setas 1), as variáveis densidade da lama abrasiva e teor de granalha estiveram correlacionadas, mas em outras tantas etapas não (setas 2), como próximo da metade e no final do corte. Próximo à metade da serragem, por volta de vinte horas de corte, a densidade da lama abrasiva aumenta e o teor de granalha cai, devido ao abastecimento de 3 sacos de cal de 20 kg/cada no tear e sem fornecimento de granalha. No final do corte a densidade da lama abrasiva cai e depois sobe e o teor de granalha cresce, pois o sistema é alimentado por três sacos de granalha de 25 kg/cada.

Esta inconstância, além de ser claramente visualizada, é também observada no resultado de $R^2 = 0,1392$ e pelo espalhamento dos pontos (Figura 25 (B)).

(A)

(B)

Figura 25. Granito Branco Siena - Gráficos mostrando a relação entre densidade x teor de granalha. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R2. Número de medidas: 76.

4.3 - Análise da rugosidade no avaliador de rugosidade de chapas – ARC

A título de exemplificação, serão mostrados e analisados os perfis de rugosidade encontrados no estudo das amostras do granito Amarelo Ornamental cortado na Granitos Medeiros Ltda, amostra descrita pela sigla AO_M. Estas amostras foram retiradas de chapas e não de casqueiro.

Os outros quinze perfis e suas respectivas análises constam do Anexo 3 deste trabalho uma vez que as análises seguem o padrão do exemplo citado.

As medições efetuadas nas três amostras de 30 cm de comprimento cada, sempre no sentido do corte (do topo para a base), mostram os seguintes dados:

- A amostra representativa do topo da chapa (AO_M1), com 1181 medições, entre o início do corte e a décima sexta hora, apresenta $R_t = 0,57$ mm (Figura 26);
- A amostra representativa do meio da chapa (AO_M2), com 1122 medições, entre a vigésima quinta e a trigésima terceira hora, apresenta $R_t = 0,73$ mm (Figura 27) e;

- A amostra representativa da base da chapa (AO_M3), com 1122 medições, da quinquagésima sétima hora até o final do corte (65ª hora), apresenta $R_t = 0,67$ mm (Figura 28).

A Figura 29 mostra a variação entre densidade da lama abrasiva e teor de granalha durante o corte do granito Amarelo Ornamental e um resumo das rugosidades totais (R_t)

As características do corte deste material foram descritas no item 4.2.2.

Figura 26. Perfil horizontalizado da rugosidade do granito Amarelo Ornamental serrado na Granitos Medeiros Ltda. Perfil da amostra AO_M1. As áreas circulares mostram os valores máximos e mínimos de rugosidade.

Figura 27. Perfil horizontalizado da rugosidade do granito Amarelo Ornamental serrado na Granitos Medeiros Ltda. Perfil da amostra AO_M2. As áreas circulares mostram os valores máximos e mínimos de rugosidade.

Figura 28. Perfil horizontalizado da rugosidade do granito Amarelo Ornamental serrado na Granitos Medeiros Ltda. Perfil da amostra AO_M3. As áreas circulares mostram os valores máximos e mínimos de rugosidade.

Figura 29. Comparação entre os gráficos de densidade da lama abrasiva e teor de granalha contra o tempo no corte do granito Amarelo Ornamental. As áreas circulares (1, 2 e 3) correspondem as regiões de onde foram retiradas as amostras representativas. As setas apontadas para o eixo x (abscissas) indicam os intervalos, em horas, de onde foram retiradas as amostras. Número de medidas: 66. R_t = rugosidade total.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise petrográfica mostra que o Granito Verde *Peacock* é o que apresenta características mais propícias para ser utilizado como rocha ornamental, pois: exibe uma estrutura maciça, baixo fraturamento e microfissuramento intragrão; encontra-se com poucas alterações minerais e, mesmo sendo de granulação média a grossa, é um material coeso com imbricamento mineralógico (côncavo-convexo).

O Granito Amarelo Ornamental é uma rocha de estrutura gnáissica, orientada e bandada, com microfissuramentos abertos nos plagioclásios, preenchidos por biotita, propiciando o processo de alteração mineral; nos feldspatos potássicos, esse processo também é visualizado, porém menos marcante. Nos quartzos, por serem mais resistentes, ocorre um microfissuramento superficial e sem preenchimento. Por estas características, é uma rocha que deve ser aplicada adequadamente após estudos diagnósticos.

O Granito Branco Siena apresenta uma gnaissificação tênue; as microfissuras, tanto no quartzo como nos feldspatos e plagioclásios, são pequenas, e em alguns minerais com preenchimento, conferindo-lhe boas características para uso como rocha ornamental.

Os valores dos índices físicos (massa específica aparente seca, absorção d'água e porosidade aparente) e mecânicos, desgaste abrasivo Amsler, compressão uniaxial simples, resistência à flexão e coeficiente de dilatação térmica linear (Quadro 5), obtidos de catálogos para as três variedades de granitos ornamentais estudados neste trabalho, foram comparados com os valores limites fixados pela norma ASTM (1992) e os sugeridos por Frazão e Farjallat (1995).

O fundamento desta comparação é para avaliar se os materiais estudados se enquadram nas especificações para o uso como rochas ornamentais.

A análise estatística dos dados de corte mostrou uma baixa correlação entre os vários parâmetros envolvidos no processo de serragem, a saber: teor de granalha, densidade e “viscosidade”. Nos gráficos das relações estabelecidas, constantes do Anexo 2, observa-se uma grande variação dos parâmetros analisados ao longo dos cortes dos granitos estudados.

Como exemplo, no gráfico que mostra a relação entre densidade e teor de granalha no corte do Granito Verde *Peacock*, Figura 23(A), estes dois parâmetros, em muitas etapas da serragem, apresentam uma independência anormal.

Quando a lama abrasiva apresenta uma alta densidade, espera-se que o teor de granalha também deva exibir uma alta concentração, e vice e versa, pois, são variáveis que apresentam correlação positiva.

Além disso, através da análise da linha de tendência, do valor de R^2 e da distribuição dos pontos não só deste exemplo (Figura 23/B), mas de todas as outras relações estabelecidas, ocorre uma quase total independência entre os parâmetros.

As possíveis causas para estas discrepâncias seriam: o procedimento de coleta dos dados dos parâmetros pelas empresas, a influência de outras variáveis no processo de corte (cala, expurgo, cal, tipo de granalha, espessura da lâmina) e a quantificação e a correlação entre atributos de difícil mensuração (condições operacionais do tear, por exemplo) e que influenciam no processo de desdobramento de blocos.

Salienta-se que, mesmo para materiais pétreos diferentes, as representações gráficas e os resultados das equações matemáticas relativos aos parâmetros analisados no beneficiamento primário não diferem muito.

Quanto aos resultados mostrados pelos ensaios no Avaliador de Rugosidade de Chapas (ARC), observa-se que os maiores valores de rugosidade apresentados pelas amostras, tanto no caso exemplificado como nos incluídos no Anexo 3, ocorrem nas etapas do corte com teores

de granalha altos (acima de 120 g/l), densidades altas (acima de 2000 g/l) e “viscosidades” acima da média 7 acarretando chapas com superfícies estriadas. As amostras que apresentam superfícies menos rugosas se relacionam a baixos valores nos teores de granalha e densidades alta, porém com saliências e reentrâncias nas chapas.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

As três rochas estudadas apresentam características propícias à utilização como rochas ornamentais, com ressalvas quanto ao desgaste e ao uso como elementos estruturais.

Os resultados dos ensaios no Avaliador de Rugosidade de Chapas (ARC) mostram que os maiores valores de rugosidade encontrados nas amostras ocorrem nas etapas de corte com elevados teores de granalha, densidades altas e “viscosidades” acima da média.

Quanto à análise estatística, observa-se uma grande variação dos parâmetros operacionais estudados relativos à etapa de beneficiamento primário (corte), com baixa correlação entre eles. Isso se deve, provavelmente, à influência de outras variáveis no processo de corte que são de difícil quantificação, além da falta de padronização do processo por parte das empresas.

Portanto, para aprimorar a etapa de serragem de granitos ornamentais e assim gerar chapas com menos defeitos, se faz necessária uma integração entre os processos operacionais (máquinas, equipamentos, insumos e operadores) e as características petrográficas.

O presente estudo confirma o empirismo reinante na etapa de beneficiamento primário de rochas ornamentais, que é uma das preocupações da CETEMAG (Centro Tecnológico do Mármore e Granito) e da ABIROCHAS (Associação Brasileira das Indústrias de Rochas Ornamentais).

Para reduzir tal empirismo, na busca de uma otimização do beneficiamento primário, entende-se que há necessidade de uma pesquisa aplicada que permita a definição de procedimentos adequados a diferentes tipos de granitos ornamentais, com a participação intensa das empresas que atuam nesse ramo da economia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, C.R.A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. (1996). Tecnologia de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. Instituto Euvaldo Lodi, V.3. Estudo econômico sobre rochas ornamentais, Fortaleza-CE 225 págs.
- ARTUR, A.C.; WERNICK, E.; RODRIGUES, E. de P.; ANDRIGHETTI, R.M.; SOUZA, P.H.G. (2002). Perda de lustro em rochas ornamentais durante abrasão progressiva: principais fatores condicionantes. Anais III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste (Ed.: F.W.H. Vidal; Rio de Janeiro: CETEM/UFPE) p.24-37. Recife-PE.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ABIROCHAS (2006). Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2005. Informe nº 004/2006. www.abirochas.com.br.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT NBR 12768 (1992). Rochas para revestimento: análise petrográfica. 3p. Rio de Janeiro.
- BLENKINSOP, T. (2000). *Deformation microstructures and mechanisms in minerals and rocks*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 150 pp.
- CETEMAG (2000a). Curso de encarregado de serraria. CETEMAG-Centro tecnológico do Mármore e Granito. Cachoeiro de Itapemirim, E.S. 67 p.

CETEMAG (2000b). Curso de polidor. CETEMAG – Centro tecnológico do mármore e Granito. Cachoeiro de Itapemirim, E.S. 22p.

CHIODI FILHO, C. (2002). Caracterização tecnológica das rochas ornamentais e de revestimento. Pedras do Brasil, n°s 7 e 8, p.24-26 e p.16-17.

CHIODI FILHO, C. (1995). Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais. Série Estudos e Documentos, n° 28 75 págs. Rio de Janeiro: CNPQ/CETEM.

DANA, E.S. & HURLBUT, C.S.; (1960). Manual de Mineralogia. Editora Reverte S.A., New York, USA 2ª edição, 600 pp.

DeCAMILLES, E. (2004). Insumo indispensável. Pedras do Brasil, n° 30 p.65-66.

DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, Y. (1966). Minerais constituintes das rochas: Uma introdução. Editora Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 1ª edição, 358 pp.

FRASCÁ, M.H.B.O. (2004). Rochas Ornamentais e para revestimento: Variedades, propriedades, usos e conservação. In: A Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e para Revestimento no Estado de São Paulo. Ed. Páginas & Letras Editora e Gráfica Ltda. Publicação IPT 2995, cap. 7, p.153-191.

FRASCÁ, M.H.B.O. & QUITETE, E.B. (2000). Estudos diagnósticos de patologias em rochas de revestimento. Publicação IPT 2623. São Paulo.

FRAZÃO, E.B. (2002). Tecnologias de rochas na construção civil. São Paulo. ABGE

FRAZÃO, E. B. & FARJALLAT, J.E.S. (1995). Características Tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento. In: Atas do I Congresso Internacional da Pedra Natural. Lisboa, Portugal, 1995, 47-58p.

KASCHNER, D. (2004). Modernização e a Falta de Crédito. Pedras do Brasil, n° 29. p.92-98.

KASCHNER, D. (1996). Tecnologias para beneficiamento. II Encontro do Centro-Oeste sobre granitos, mármore e pedras ornamentais. Goiânia 16 a 18 de outubro de 1996.

KERR, P. F. (1977). *Optical Mineralogy*. Mc GrawHill Inc. New York, USA, 1ª edição, 492 pp.

MACHADO, F.B.; GODOY, A.M.; GALEMBECK, T.M.B.; ANDRE, A.C.N.; FERREIRA, J.A.; ZANARDO, A.; ARTUR, A.C.; NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F. (2003). Atlas multimídia: Rochas e Minerais. Rio Claro (SP): Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, CD-ROM. Editado em html.

- MACHADO, M. & CARVALHO, D. (1992). Técnicas para polimento e lustro de mármore e granitos. *Revista Brasil Mineral*, Ano X, nº 102. p.38-40.
- MACHADO, M. (1992). Aumento da produtividade nas serrarias de mármore e granitos. *Rochas de Qualidade*, nº 106. p.38-40.
- MATIAS, J.M.S. & ALVES, C.A.S. (2002). *The influence of petrographic, architectural and environmental factors in decay patterns and durability of granite stones in Braga Monuments (NW Portugal)*. In: Siegesmund, S.; Vollbrecht, A. & Weiss, T. (eds) *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies*. Geological Society, London, *Special Publications*, 205, 265-273.
- MELLO, I.S.C. (2004). Indicadores do mercado nacional e internacional de rochas ornamentais e para revestimento. In: A Cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo. Ed. Páginas & Letras Editora e Gráfica Ltda. Publicação IPT 2995, cap. 1, p.1-26.
- MESQUITA, M.P.S. (2002). Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do stock morrinho, Santa Quitéria (CE). Tese Doutorado, IGCE-UNESP, Rio Claro-SP, 171 p.
- MEYER, A. P. (2003). A Influência da Petrografia no Comportamento Tecnológico de Rochas Ornamentais do Complexo Socorro (SP) e Maciço Pedra Branca (MG). Dissertação de Mestrado, IGCE-UNESP, Rio Claro-SP, 117 p.

MEYER, A.P.; ARTUR, A.C.; NAVARRO, F.C. (2003). Principais fatores petrográficos condicionantes da resistência ao ataque químico em rochas de revestimento. Anais: IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. (Eds.: F.W.H. Vidal e M.A.A.B. Lima; Rio de Janeiro: CETEM/BG, 2003). P.153-164. Fortaleza-CE.

MONTANI, C. (2005). Word Marketing Handbook, Faenza (ITA): Gruppo Editoriale Faenza Editrice, 250 p.

MUMMERY, L. (1992). *Surface texture analysis*. Muhlhausen: Hommelwerke, 105 p.

NAVARRO, F.C. (2002). Caracterização petrográfica como técnica para previsão do comportamento físico e mecânico de “granitos” ornamentais. Dissertação de Mestrado, IGCE-UNESP, Rio Claro-SP. 88 p.

NAVARRO, F.C. & ARTUR, A.C. (2002). 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, realizado em 2001, Salvador, BA. Ed. CETEM/MCT – Rio de Janeiro, p.45-52.

PEDRAS DO BRASIL (2006). A Força do Espírito Santo. Revista Pedras do Brasil, nº 45, p. 62 e 63.

RABINOWICZ, E. (1966). *Friction and Wear of Materials*. Cambridge, Massachussets, John Wiley, 243 p.

RIBEIRO, R. P.; PARAGUASSÚ, A. B.; SILVEIRA, L. L.; RODRIGUES, J. E. & MOREDO, H. C. (2005). Quantificação da textura superficial de chapas de granitos serrados em teares multilâminas. Guarapari, ES. I CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS e II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 6 p.

ROCHAS DE QUALIDADE (2004). Tear a fio diamantado. A tecnologia da produtividade. Revista: Rochas de qualidade, 177 p.198-200.

RODRIGUES, E. P.; COUTINHO, J.M.V.; CHIODI FILHO, C. (1997). Importância da petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. Revista: Rochas e Equipamentos, v. 47, p.78-86. Lisboa-Portugal.

RODRIGUES, E.P.; COUTINHO, J.M.V.; CHIODI FILHO, C. (1996). Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental. São Paulo: Rochas de qualidade, nº 127 p.80-84.

RODRIGUEZ-REY, A.; SUÁREZ DEL RIO, L.M.; CALLEJA, L. Y RUIZ DE ARGANDOÑA, V.G. (1998). *El corte de rocas ornamentales con discos diamantados: influencia de las características petrográficas de la roca*. *Materiales de construcción*, vol. 48, nº 251. p. 49-55.

- SELONEN, O.; LUODES, H. & EHLERS, C. (2000). *Exploration for dimension stone – implications and examples from the Precambrian of southern Finland. Engineering Geology* 56 (3/4), 275-291.
- SOUSA, A. A. P. & RODRIGUES, R. (2002). Consumo dos principais insumos no desdobramento de granitos do nordeste de diferentes graus de dureza. Anais: III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste (Editor: Francisco W.H.Vidal; Rio de Janeiro: CETEM/UFPE) p. Recife, PE. Brasil.
- SPÍNOLA, V. (2003). Rochas Ornamentais em Arranjo Produtivo. Série de Estudos e Pesquisas. Salvador, BA. 121p.
- STELLIN, A. (1990). Mármore e granitos brasileiros. In: Convegno Minerario Italo-brasiliano, nov. 1990.
- STELLIN JR, A. (1998). Serragens de granitos para fins ornamentais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Depto de Engenharia de Minas, São Paulo, 1998. 40 p.
- STROHMEYER, D. & SIEGESMUND, S. (2002). *Anisotropic technical properties of building stones and their development due to fabric changes*. In: Siegesmund, S.; Vollbrecht, A. & Weiss, T. (eds) *Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies. Geological Society, London, Special Publications*, 205, 107-127.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.M.; TAIOLI, F. (2000). Decifrando a Terra. Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 558 pp.

TUGRUL, A. & ZARIF, I.H. (1999). *Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. Engineering Geology*, nº 51. p.303-317.

WILARD, R.J. & McWILLIAMS, J.R. (1969). *Microstructural techniques in the study of physical properties of rock. International Journal Rock Mechanics Mining Sciences*. V.6 p.1-12.

WINKLER, H.G.F. (1976). Petrogênese das rochas metamórficas. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 256 pp.

YARDLEY, B.W.D. (1994). Introdução a petrologia metamórfica. Universidade de Brasília, Brasília, 34 pp.

ANEXOS

ANEXO 1 DADOS DAS FICHAS DE CONTROLE DAS MISTURAS

GRANITOS MEDEIROS LTDA

Granito Verde *Peacock* – 57 medidas

Viscosidade	Densidade	Teor de granalha (g/l)	Cala (cm/h)
8,0	1850	100	1,52
8,0	1850	100	1,52
8,0	1900	116	1,52
9,0	1900	120	2,10
10,0	1900	120	2,66
12,0	1900	100	2,66
7,0	1814	82	2,66
8,0	1830	96	2,66
7,0	1870	110	3,00
7,0	1870	122	3,57
7,0	1870	126	3,57
6,5	1870	114	3,57
7,0	1890	112	3,57
7,0	1890	112	3,55
6,0	1890	112	3,55
6,5	1900	110	3,55

7,0	1910	120	3,55
6,0	1920	132	3,87
7,0	1900	130	4,50
7,0	1900	130	4,53
7,0	1900	120	4,53
7,0	1900	130	4,53
7,0	1900	130	4,53
7,0	1880	120	4,53
7,0	1900	120	4,53
7,0	1880	120	4,53
7,0	1900	130	4,53
7,0	1880	110	4,53
7,0	1900	110	4,53
5,0	1900	90	4,53
6,0	1920	95	4,53
6,0	1940	100	4,53
6,5	1950	110	3,85
7,0	1950	120	3,86
7,0	1960	126	3,99

7,0	1960	120	4,11
7,5	1960	115	4,33
7,0	1980	110	4,33
7,5	1980	100	4,33
7,0	1990	95	4,33
7,0	1980	95	4,33
6,5	1970	110	4,33
6,5	1970	105	4,54
7,0	1980	116	4,54
7,0	1970	120	4,55
7,0	1950	120	4,55
7,5	1950	130	4,56
7,0	1960	140	4,57
6,5	1950	130	4,58
5,5	1940	180	4,49
5,5	1900	160	4,49
7,0	1900	136	4,49
7,0	1890	136	4,49
7,0	1890	126	4,49

6,5	1890	122	4,49
6,5	1890	120	4,49
6,5	1890	122	4,49

Granito Amarelo Ornamental – 66 medidas

Viscosidade	Densidade	Teor de granalha (g/l)	Cala (cm/h)
7,0	1770	120	1,70
10,0	1800	122	1,70
12,0	1860	120	1,70
12,0	1860	120	1,70
12,0	1860	115	1,81
12,0	1870	115	1,86
12,0	1850	110	1,90
12,0	1830	110	2,12
12,0	1800	100	2,14
12,0	1810	100	2,14
10,0	1800	100	2,56
8,0	1750	95	3,02
8,5	1780	112	3,51

8,5	1800	120	4,01
8,0	1790	115	4,25
8,0	1790	118	4,25
8,0	1810	115	4,25
7,5	1790	110	4,25
7,5	1800	112	4,25
7,5	1800	112	4,25
7,5	1820	120	4,25
8,0	1820	115	4,25
7,5	1840	120	4,25
7,0	1840	112	4,36
8,5	1830	110	4,36
8,0	1810	110	4,26
8,0	1830	120	4,25
8,0	1840	120	4,25
8,0	1850	130	4,26
8,0	1840	135	4,25
8,0	1850	140	4,25
8,0	1850	135	3,90

7,0	1850	130	3,95
7,0	1850	130	3,96
7,0	1850	130	3,99
7,0	1850	130	3,98
7,0	1860	130	3,98
7,0	1850	130	3,98
7,0	1870	120	3,99
7,0	1870	130	3,99
7,0	1860	120	3,99
7,0	1870	130	3,99
7,0	1840	124	3,98
8,0	1840	116	3,98
8,0	1830	118	3,98
7,0	1850	118	3,98
7,0	1830	118	3,98
7,0	1840	128	3,98
7,5	1840	116	3,98
7,5	1830	116	3,98
7,0	1830	110	3,98

8,0	1840	112	3,98
7,0	1840	122	3,98
8,0	1870	160	3,97
7,5	1870	150	3,94
7,0	1870	170	3,94
7,0	1860	170	3,94
6,5	1840	165	3,94
7,0	1815	142	3,94
6,5	1810	130	3,94
7,0	1810	120	3,94
7,0	1800	115	3,94
7,5	1800	115	3,94
7,5	1800	118	3,94
7,5	1800	112	4,27
8,0	1810	110	4,26

Granito Branco Siena – 76 medidas

Viscosidade	Densidade	Teor de granalha (g/l)	Cala (cm/h)
8,0	1870	184	1,46
8,0	1860	176	1,46
8,0	1860	158	1,46
10,0	1860	146	1,46
10,0	1860	130	1,55
11,0	1890	136	1,57
10,0	1860	130	1,57
11,0	1850	120	1,61
9,0	1820	115	1,73
10,0	1820	115	1,73
10,0	1820	100	2,03
8,0	1800	100	2,34
8,0	1780	110	2,34
10,0	1820	115	2,58
8,0	1790	120	2,61
8,0	1780	130	3,04

7,5	1790	130	3,36
7,0	1800	140	3,37
7,0	1790	120	3,37
7,5	1810	125	3,37
7,0	1800	124	3,37
6,5	1800	116	3,35
7,0	1820	120	3,35
6,5	1820	115	3,37
6,5	1820	110	3,37
6,5	1830	115	3,27
6,5	1830	125	3,55
6,5	1820	115	3,55
7,0	1830	115	3,55
7,0	1840	115	3,55
6,5	1840	116	3,54
6,5	1860	115	3,55
6,0	1840	120	3,55
5,0	1830	130	3,55
6,0	1820	130	3,55

6,0	1820	140	3,55
6,0	1815	140	3,55
6,5	1790	124	3,55
6,5	1790	135	3,55
6,0	1770	120	3,56
7,0	1790	115	3,65
6,5	1770	115	3,65
7,0	1770	115	3,65
7,5	1790	120	3,65
7,0	1780	115	3,65
6,0	1800	130	3,66
7,0	1790	130	3,82
6,5	1780	122	4,04
6,0	1770	126	4,04
6,5	1770	118	4,04
7,0	1810	124	4,04
6,5	1790	126	4,04
6,5	1780	120	4,04
7,0	1790	124	4,04

7,0	1800	118	4,04
6,5	1816	136	4,04
6,5	1810	130	3,64
6,5	1790	126	3,83
6,5	1790	112	3,83
6,5	1780	130	3,83
6,0	1770	130	3,83
6,0	1780	128	3,83
6,5	1790	130	3,83
6,0	1780	130	3,83
6,5	1780	120	3,83
6,5	1770	120	3,83
5,5	1780	110	3,83
6,0	1780	115	3,83
6,5	1800	110	3,82
6,0	1820	115	3,81
6,0	1820	115	3,91
5,5	1800	120	3,92
5,5	1800	125	3,92

5,5	1750	120	3,92
6,0	1780	125	3,95
6,0	1790	130	3,94

NAZARETH MÁRMORES E GRANITOS

Granito Verde *Peacock* – 48 medidas

Viscosidade	Teor de granalha (g/l)
5,5	130
5,5	140
5,0	130
5,5	124
5,5	96
7,5	144
7,0	114
6,0	120
6,5	98

7,0	110
7,0	136
8,0	108
8,0	116
8,0	122
7,5	116
7,0	130
6,5	128
6,5	124
7,5	98
6,5	120
7,0	124
6,5	120
7,0	94
7,0	92
7,0	108
7,0	122
7,0	122
7,0	122

7,0	102
7,5	110
7,0	122
7,0	120
7,0	118
6,5	128
6,5	132
6,5	130
6,5	128
6,5	115
6,5	108
6,5	106
7,0	104
6,5	122
6,5	140
6,5	112
5,5	136
5,5	146
5,0	138

5,5	128
-----	-----

Granito Amarelo Ornamental – 72 medidas

Viscosidade	Teor de granalha (g/l)
4,0	162
5,5	200
7,0	206
6,0	140
6,5	152
9,0	114
8,0	126
8,0	115
8,0	150
6,5	134
7,5	138
8,0	124
8,5	98
9,0	132

9,0	108
8,0	92
8,0	102
8,0	82
8,0	120
8,0	102
7,5	78
7,5	80
7,5	88
7,0	98
7,0	98
7,0	126
6,0	106
6,0	116
6,0	100
6,0	98
6,0	110
6,0	118
6,0	100

6,0	102
6,5	98
6,5	92
6,5	90
6,5	92
6,5	91
6,5	90
6,5	85
7,0	80
6,5	84
7,0	86
7,0	80
6,5	110
6,0	114
7,0	92
7,5	124
7,0	88
6,5	120
6,0	132

6,0	128
6,5	142
6,5	130
6,0	136
6,0	149
6,0	146
5,5	158
6,0	130
6,5	118
6,5	114
7,0	130
6,5	140
6,5	130
7,5	124
7,5	108
7,5	110
7,5	102
7,0	100
7,5	106

7,5	106
-----	-----

Granito Branco Siena – 71 medidas

Viscosidade	Teor de granalha (g/l)
7,0	140
6,5	122
8,0	138
8,0	136
8,0	122
9,0	134
8,0	125
9,5	110
12,0	108
10,0	102
9,0	100
9,0	100
8,0	90

8,0	90
8,0	100
8,0	112
7,0	112
7,0	118
7,0	116
6,5	120
6,5	120
6,0	126
7,0	130
6,5	126
6,0	124
6,0	128
6,0	126
6,5	120
6,0	126
6,0	126
6,5	116
6,0	122

5,0	112
6,0	110
6,0	118
7,0	122
6,0	130
6,0	140
5,5	120
6,0	126
6,0	120
6,5	122
5,5	120
5,5	115
6,0	138
6,0	130
5,5	135
6,0	138
5,5	130
6,0	120
5,5	115

5,0	120
5,5	126
5,0	120
5,5	130
6,0	120
5,5	115
6,0	110
6,0	100
6,0	100
5,5	115
6,0	120
5,5	120
6,0	138
6,0	116
7,0	122
6,5	120
6,0	114
6,5	110
6,0	110

6,0

154

ANEXO 2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

(A)

(B)

Figura 1A. Gráficos mostrando a relação entre densidade e “viscosidade” no corte do granito Verde *Peacock_M*. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 57.

(A)

(B)

Figura 2A – Gráficos mostrando a relação entre “viscosidade” e teor de granalha no corte do granito Verde *Peacock_M*. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 57.

(A)

(B)

Figura 3A – Gráficos mostrando a relação entre “viscosidade” e densidade no corte do granito Amarelo Ornamental_M. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 66.

(A)

(B)

Figura 4A – Gráficos mostrando a relação entre “viscosidade” e teor de gralha no corte do granito Amarelo Ornamental_M. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 66.

(A)

(B)

Figura 5A – Gráficos mostrando a relação entre “viscosidade” e densidade no corte do granito Branco Siena_M. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 76.

(A)

(B)

Figura 6A – Gráficos mostrando a relação entre “viscosidade” e teor de granalha no corte do granito Branco Siena_M. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 76.

(A)

(B)

Figura 7A – Gráficos mostrando a relação entre “viscosidade” e teor de granalha no corte do granito Verde *Peacock_N*. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 48.

(A)

(B)

Figura 8A – Gráficos mostrando a relação entre “viscosidade” e teor de granalha no corte do granito Amarelo Ornamental_N. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação, apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 72.

(A)

(B)

Figura 9A – Gráficos mostrando a relação entre “viscosidade” e teor de granalha no corte do granito Branco Siena_N. Em (A), variação no decorrer do corte e em (B) correlação apresentando a linha de tendência, a equação da reta e o valor de R^2 . Número de medidas: 72.

Quadro 1A – Resultados dos valores de R^2 das análises dos cortes dos granitos especificados neste anexo.

Granitos	Verde Peacock_M	Amarelo Ornamental_M	Branco Siena_M	Verde Peacock_N	Amarelo Ornamental_N	Branco Siena_N
Parâmetros						
“Viscosidade” x	0,0192	0,0002	0,2805	–	–	–
Densidade						
“Viscosidade” x	0,0478	0,1462	0,0087	0,1413	0,0795	0,1012
Teor de granalha						

ANEXO 3 ANÁLISE DA RUGOSIDADE NO ARC

Verde Peacock M

As características do corte deste material são as seguintes:

- Lâminas – iniciaram a serragem com 8 cm e terminaram com 6 cm de espessura, em média. Ou seja, as lâminas estavam na terceira serrada.
- Tempo de corte – 62 horas.
- Quantidade de granalha e marca – dezesseis sacos de 25 kg da marca IKK.
- Espessura das chapas – 3 cm

As medições efetuadas nas três amostras representativas, com comprimentos de 13 cm no topo, 14 cm no meio e de 23 cm na base, sempre no sentido do corte (do topo para a base), demonstram os seguintes fatos:

- A amostra do topo da chapa (VP_M1), com 519 medições, apresenta $R_t = 0,46$ mm (Figura 10A);
- A amostra do meio da chapa (VP_M2), com 505 medições, apresenta $R_t = 0,55$ mm (Figura 11A) e;
- A amostra da base da chapa (VP_M3), com 842 medições, apresenta $R_t = 0,50$ mm (Figura 12A).

Figura 10A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Verde *Peacock_M*. Perfil da amostra VP_M1. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo da R_t . Número de medidas: 519.

Figura 11A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Verde *Peacock_M*. Perfil da amostra VP_M2. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo da R_t . Número de medidas: 505.

Figura 12A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Verde *Peacock_M*. Perfil da amostra VP_M3. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo da R_t . Número de medidas: 842.

Figura 13A – Relação entre densidade e teor de granalha no corte do “granito” Verde *Peacock*. As áreas circuladas (1, 2 e 3) correspondem às regiões de onde foram retiradas as amostras representativas. As setas apontadas para o eixo x (abscissas) indicam os intervalos, em horas, de onde foram retiradas as amostras. Número de medidas: 57.

Branco Siena M

As características do corte deste material são as seguintes:

- Lâminas – iniciaram a serragem com 10 cm e terminaram com 8 cm de espessura, em média. Ou seja, as lâminas estavam na segunda serrada.
- Tempo de corte – 71 horas.
- Quantidade de granalha e marca – dezesseis sacos de 25 kg da marca IKK.
- Espessura das chapas – 1,5 cm

As medições efetuadas nas três amostras representativas, com comprimentos de, 20 cm no topo, 12 cm no meio e de 21 cm na base, sempre no sentido do corte (do topo para a base), demonstram os seguintes fatos:

- A amostra do topo da chapa (BS_M1), com 750 medições, apresenta $R_t = 0,69$ mm (Figura 13A);
- A amostra do meio da chapa (BS_M2), com 401 medições, apresenta $R_t = 0,64$ mm (Figura 14A) e;
- A amostra da base da chapa (BS_M3), com 841 medições, apresenta $R_t = 0,50$ mm (Figura 15A).

Figura 14A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Branco Siena_M. Perfil da amostra BS_M1. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo da R_t . Número de medidas: 750.

Figura 15A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Branco Siena_M. Perfil da amostra BS_M2. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo da R_t . Número de medidas: 401.

Figura 16A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Branco Siena_M. Perfil da amostra BS_M3. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo de R_t . Número de medidas: 841.

Figura 17A – Relação entre densidade e teor de granalha no corte do “granito” Branco Siena. As áreas circuladas (1, 2 e 3) correspondem as regiões de onde foram retiradas as amostras representativas. As setas apontadas para o eixo x (abscissas) indicam os intervalos, em horas, de onde foram retiradas as amostras. Número de medidas: 76.

Verde Peacock N

As características do corte deste material são as seguintes:

- Lâminas – iniciaram a serragem com 10 cm e terminaram com 8 cm de espessura, em média. Ou seja, as lâminas estavam na segunda serrada.
- Tempo de corte – 46 horas.
- Quantidade de granalha e marca – treze sacos de 25 kg da marca Tupy.

- Espessura das chapas – 3 cm

As medições efetuadas nas três amostras representativas, com comprimentos de, 12 cm no topo, 11 cm no meio e de 22 cm na base, sempre no sentido do corte (do topo para a base), demonstram os seguintes fatos:

- A amostra do topo da chapa (VP_N1), com 401 medições, apresenta $R_t = 0,78$ mm (Figura 18A);

- A amostra do meio da chapa (BS_M2), com 401 medições, apresenta $R_t = 0,88$ mm (Figura 19A) e;

- A amostra da base da chapa (BS_M3), com 801 medições, apresenta $R_t = 0,60$ mm (Figura 20A).

Figura 18A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Verde *Peacock_N*. Perfil da amostra VP_N1. As áreas circeladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo de R_t . Número de medidas: 401.

Figura 19A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Verde *Peacock_N*. Perfil da amostra VP_N2. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo de R_t . Número de medidas: 401.

Figura 20A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Verde *Peacock_N*. Perfil da amostra VP_N3. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo de R_t . Número de medidas: 801.

Figura 21A – Relação entre “viscosidade” e teor de granalha no corte do “granito” Verde *Peacock_N*.

As áreas circuladas (1, 2 e 3) correspondem as regiões de onde foram retiradas as amostras representativas. As setas apontadas para o eixo x (abscissas) indicam os intervalos, em horas, de onde foram retiradas as amostras. Número de medidas: 48.

Amarelo Ornamental N

As características do corte deste material são as seguintes:

- Lâminas – iniciaram a serragem com 12 cm e terminaram com 10 cm de espessura, em média. Ou seja, as lâminas estavam na primeira serrada.
- Tempo de corte – 72 horas.
- Quantidade de granalha e marca – vinte e cinco sacos de 25 kg da marca Tupy.

- Espessura das chapas – 2 cm

As medições efetuadas nas três amostras representativas, com comprimentos de, 16 cm no topo, 17 cm no meio e de 12 cm na base, sempre no sentido do corte (do topo para a base), demonstram os seguintes fatos:

- A amostra do topo da chapa (AO_N1), com 562 medições, apresenta $R_t = 0,47$ mm (Figura 22A);

- A amostra do meio da chapa (AO_N2), com 519 medições, apresenta $R_t = 0,23$ mm (Figura 23A) e;

- A amostra da base da chapa (AO_N3), com 512 medições, apresenta $R_t = 0,40$ mm (Figura 24A).

Figura 22A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Amarelo Ornamental_N. Perfil da amostra AO_N1. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo de R_t . Número de medidas: 562.

Figura 23A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Amarelo Ornamental_N. Perfil da amostra AO_N2. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo de R_t . Número de medidas: 519.

Figura 24A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Amarelo Ornamental_N. Perfil da amostra AO_N3. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo de R_t . Número de medidas: 512.

Figura 25A – Relação entre “viscosidade” e teor de granalha no corte do “granito” Amarelo Ornamental_N. As áreas circuladas (1, 2 e 3) correspondem as regiões de onde foram retiradas as amostras representativas. As setas apontadas para o eixo x (abscissas) indicam os intervalos, em horas, de onde foram retiradas as amostras. Número de medidas: 72.

Branco Siena N

As características do corte deste material são as seguintes:

- Lâminas – iniciaram a serragem com 10 cm e terminaram com 8 cm de espessura, em média. Ou seja, as lâminas estavam na segunda serrada.
- Tempo de corte – 72 horas.
- Quantidade de granalha e marca – vinte e dois sacos de 25 kg da marca Tupy
- Espessura das chapas – 1,5 cm

As medições efetuadas nas três amostras representativas, com comprimentos de, 33 cm no topo, 24 cm no meio e de 31 cm na base, sempre no sentido do corte (do topo para a base), demonstram os seguintes fatos:

- A amostra do topo da chapa (BS_N1), com 1254 medições, apresenta $R_t = 0,80$ mm (Figura 26A);
- A amostra do meio da chapa (BS_N2), com 1254 medições, apresenta $R_t = 0,75$ mm (Figura 27A) e;
- A amostra da base da chapa (BS_N3), com 901 medições, apresenta $R_t = 0,59$ mm (Figura 28A).

Figura 26A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Branco Siena_N. Perfil da amostra BS_N1. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo de R_t . Número de medidas: 1254.

Figura 27A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Branco Siena_N. Perfil da amostra BS_N2. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo de R_t . Número de medidas: 1254.

Figura 28A – Perfil horizontalizado da rugosidade do “granito” Branco Siena_N. Perfil da amostra BS_N3. As áreas circuladas correspondem às regiões de onde foram retirados os valores para cálculo de R_t . Número de medidas: 901.

Figura 29A – Relação entre “viscosidade” e teor de granalha no corte do “granito” Branco Siena _N. As áreas circuladas (1, 2 e 3) correspondem as regiões de onde foram retiradas as amostras representativas. As setas apontadas para o eixo x (abscissas) indicam os intervalos, em horas, de onde foram retiradas as amostras. Número de medidas: 72.

Quadro 2A – Resumo dos resultados da análise da rugosidade no ARC.

Granitos Ornamentais	Amostras (cm)	Número de medidas	R _t (mm)
Verde Peacock_M	1 – 13	1 – 519	1 – 0,46
	2 – 14	2 – 505	2 – 0,55
	3 – 23	3 – 842	3 – 0,50
Branco Siena_M	1 – 20	1 – 750	1 – 0,69
	2 – 12	2 – 401	2 – 0,64
	3 – 21	3 – 841	3 – 0,50
Verde Peacock_N	1 – 12	1 – 401	1 – 0,78
	2 – 11	2 – 401	2 – 0,88
	3 – 22	3 – 801	3 – 0,60
Amarelo Ornamental_N	1 – 16	1 – 562	1 – 0,47
	2 – 17	2 – 519	2 – 0,23
	3 – 12	3 – 512	3 – 0,40
Branco Siena_N	1 – 33	1 – 1254	1 – 0,80
	2 – 24	2 – 1254	2 – 0,75
	3 – 31	3 – 901	3 – 0,59