

DUREZA KNOOP EM ROCHAS PARA REVESTIMENTO: CORRELAÇÃO COM DESGASTE ABRASIVO

Eduardo B. Quitete¹ e Henrique Kahn²

¹ Divisão de Geologia – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Avenida Pro. Almeida Prado, 532. Cidade Universitária. CEP 05508-901. São Paulo-SP
E-mail: quitete@ipt.br

² Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Mello Moraes, 2373. Cidade Universitária. CEP 05508-900. São Paulo-SP
E-mail: henrkahn@usp.br

RESUMO

A dureza Knoop é determinada como a área, de formato losangular, produzida por uma ponta de diamante, dividida pela carga utilizada para produzir uma impressão na superfície em teste. Assim, quanto maior a impressão produzida, menor a dureza.

Para este trabalho foram selecionadas 16 amostras de rochas de revestimento do Estado de São Paulo. Os ensaios de desgaste abrasivo Amsler foram realizados segundo a norma NBR 12042, da ABNT. A dureza Knoop foi determinada através de 40 impressões em um dos dois corpos-de-prova ensaiados para desgaste, após polimento. Utilizou-se carga de 1,96N.

A dureza Knoop, que pode ser expressa como a média das 40 medidas ($HK_{média}$) ou como valores intermediários obtidos em diagrama de valores individuais em ordem crescente: HK_{25} (correspondente ao valor de 25% do diagrama), HK_{50} (correspondente ao valor da metade do diagrama) e HK_{75} (correspondente a 75% do diagrama).

A melhor correlação linear entre dureza Knoop e o desgaste abrasivo Amsler foi obtida como parâmetro HK_{25} , confirmando a tendência observada na literatura. Este fato reforça a hipótese de que os minerais essenciais de dureza mais baixa são os principais condicionantes da resistência ao desgaste abrasivo. Assim, os valores de dureza Knoop média mais elevados, devido à presença de quartzo, não refletiriam, necessariamente, maior resistência ao desgaste. A quantidade de quartzo reflete-se melhor na dureza Knoop média ($HK_{média}$), com uma correlação baixa, entretanto.

O desgaste abrasivo é um ensaio que simula condições extremas de utilização da rocha, uma vez que em poucas situações um piso de granito sofrerá perda de espessura próxima a 1mm. Nesse ponto, a dureza Knoop apresenta a vantagem de só afetar alguns micrômetros da espessura, fazendo com que este parâmetro seja mais adequado para avaliar, por exemplo, uma eventual alteração da durabilidade do lustro de rochas sob ação de películas ou outro tipo de tratamento de superfície.

INTRODUÇÃO

A dureza Knoop, assim como a dureza Vickers, é um teste de dureza de micro impressão, em que essa é determinada como a área produzida por uma ponta de diamante, dividida pela carga utilizada para produzir a impressão na superfície avaliada. Assim, quanto maior a impressão produzida, menor a dureza. A ponta Knoop produz uma impressão em forma de losango com razão largura:comprimento igual a 1:7,1, sendo que a área é calculada a partir da diagonal maior.

A dureza Knoop é calculada através da equação 1:

$$HK = \frac{1.450,6 \cdot 10^3 \cdot F}{l^2} \cdot 9,807 \quad (1)$$

Onde:

HK = Dureza Knoop em MPa

F = Carga aplicada em N (1,961N = 200gf)

l = Comprimento da diagonal maior da impressão, em μm

Em materiais maleáveis como metais, polímeros e boa parte dos minerais opacos, a dureza de micro impressão, tanto Vickers quanto Knoop, é determinada com uma extensa gama de cargas, comumente de 0,049 N a 19,6 N (5 gf a 2 kgf). Nos materiais quebradiços, como os minerais transparentes e materiais cerâmicos, a utilização de cargas elevadas gera um fissuramento intenso que impede leitura confiável das diagonais. Por isso, em tais materiais é comum a utilização de cargas inferiores a 1,96 N (200 gf). Entretanto, como esses materiais geralmente apresentam durezas elevadas, torna-se difícil a determinação de dureza com cargas inferiores a 0,49 N (50 gf), pois a impressão produzida é muito reduzida para uma medição confiável sob microscopia óptica. Para facilitar a leitura e diminuir o fissuramento, a ponta Knoop é mais recomendada pois “*uma penetração muito rasa é suficiente para produzir impressão longa o bastante para ser medida com precisão de 1%*” (Winchell, 1945). Assim, uma impressão com diagonal de 100 μm tem profundidade de apenas 3 μm , aproximadamente. A menor tendência ao microfissuramento da impressão Knoop em relação a Vickers foi também indicada por Rice et al. (1994).

Um dos primeiros estudos de dureza de micro impressão em rochas foi realizado por Brace

(1960), que conseguiu calcular a resistência à compressão uniaxial de algumas rochas monominerálicas a partir de impressões com a ponta Vickers. Para tanto, foram usadas cargas elevadas (7 a 75 kgf) e rochas de granulação muito fina, de modo que o tamanho das impressões fosse sempre superior a 10 vezes o tamanho médio das fases minerais presentes nas rochas e minerais estudados (calcário, mármore, anidrita e halita). Posteriormente, o mesmo autor (Brace, 1961) concluiu que, pelo menos para rochas de granulação menor que 1mm, as durezas Vickers (em calcário e dolomitos) e Knoop (em basaltos e quartzitos) aumentam proporcionalmente à redução da granulação dessas rochas. Foi utilizada, porém, uma carga de 150 kgf, produzindo impressões com comprimento superior a 10 grãos. Para manter essa relação, em rochas de granulação de 10 mm e dureza em torno de 5 GPa, seria necessário uma carga de 358.000 kgf e uma ponta de diamante com 10 cm na diagonal maior. Tal condição, além representar um desafio tecnológico, devido ao tamanho do diamante, estaria mais próxima a um ensaio de compressão simples do que de dureza de micro impressão.

O uso da dureza de Knoop, como teste rotineiro para avaliação de rochas, foi sugerido por Frisa Morandini e Mancini (1982). Esses propuseram a realização de impressões em 20 pontos alinhados e igualmente espaçados de 1 mm, com carga de 1,96 N (200 gf). Os autores introduziram a confecção de um “diagrama de distribuição de dureza”, que exprime os valores em ordem crescente. Dessa distribuição registram-se os valores relativos aos primeiros 25%, 50% e 75% da curva (quartil inferior, mediana e quartil superior), designados “frequências cumulativas”: HK_{25} , HK_{50} e HK_{75} . Também, sugeriram que se fosse determinado um “coeficiente de heterogeneidade”, definido como HK_{75}/HK_{25} . Não adotam o desvio padrão pois o diagrama de dureza não segue uma distribuição normal, já que depende da combinação de populações (fases minerais) independentes entre si em relação à dureza.

Conforme os autores acima, esses valores (HK_{25} , HK_{50} e HK_{75}) refletiriam a diversas situações em que a dureza da rocha está envolvida. Por exemplo, o valor HK_{75} exprimiria a influência dos minerais mais duros da rocha, que afeta principalmente a abrasividade da rocha, sendo importante na avaliação do desgaste de ferramentas de corte ou perfuração de túneis. Por sua vez, o valor HK_{25} seria um bom indicador de desgaste por abrasão, onde os minerais de dureza baixa são efetivamente desgastados, enquanto que os minerais mais duros são removidos por escarificação, independentemente de sua dureza. O HK_{50} seria um valor muito próximo da dureza média da rocha ($HK_{médio}$).

Trabalhando com 20 amostras de rochas de diversas durezas, Frisa Morandini e Mancini (1982) obtiveram um coeficiente de correlação de 0,66 entre HK_{25} e o desgaste abrasivo em mm, utilizando como abrasivo uma mistura de carbeto de silício e óleo mineral. Para HK_{50} e HK_{75} os coeficientes obtidos foram, respectivamente, 0,59 e 0,57. Por outro lado, após estudo de 16 amostras de rocha, Fornasero et al. (1988) não conseguiram boas correlações entre

dureza Knoop e serrabilidade de rochas ornamentais em teares que utilizam granalha de aço como abrasivo. Os autores, que esperavam uma boa correlação do HK_{75} com a serrabilidade, atribuem a baixa correlação à imprecisão dos dados de serrabilidade.

Vidal (1999), apresentou valores de dureza Knoop, desgaste Amsler e teor de quartzo para 4 granitos do Estado do Ceará. O estudo, voltado ao corte de granito com fio diamantado, não apresenta discussão sobre os dados de dureza Knoop e desgaste abrasivo Amsler. Entretanto, pelos dados apresentados, percebe-se uma baixa correspondência entre os valores apresentados pelas 4 amostras.

O tipo de ensaio mais difundido para avaliar a resistência ao desgaste de rochas ornamentais, consiste em submeter corpos-de-prova da mesma amostra a desgaste em disco giratório de material duro, alimentado com abrasivo. No Brasil, conforme a NBR 12042 (ABNT, 1992), utiliza-se areia quartzosa como abrasivo e o desgaste é indicado pela média da redução da espessura, em milímetros, de dois corpos-de-prova após um percurso equivalente a 1.000 m. O equipamento utilizado é a máquina Amsler, também chamada de Tribômetro Amsler, utilizando uma carga de 66 N em cada corpo-de-prova.

Na Itália, o método difere basicamente pela carga de 148 N nos corpos-de-prova e por utilizar carbeto de silício (carborundum) misturado a óleo mineral como abrasivo. Também, é comum expressar o resultado como um índice relativo a uma rocha padrão, o Granito San Fedelino; nesse caso o ensaio é realizado com um corpo-de-prova da amostra em estudo e o outro da rocha padrão e um valor maior do que 1,0 indica rocha de maior resistência ao desgaste do que o Granito San Fedelino (MARMI italiano: guia técnica, 1982).

Em um estudo sobre agregados rochosos para pavimentação, Baldino et al. (2001) concluíram que não há relação unívoca entre dureza Knoop média e desgaste medido pelo índice PSV – Polishes Stone Value. Entretanto, esses autores mostraram que o índice PSV é influenciado, entre outros fatores, pela heterogeneidade de dureza entre as fases minerais das rochas, expressa pelo coeficiente HK_{75}/HK_{25} .

MATERIAIS E MÉTODOS

O universo de amostras para este estudo compreende os corpos-de-prova do desgaste abrasivo Amsler realizados em 1999 para a elaboração do CD-ROM Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de São Paulo (Frasca, 2000). As Tabelas 1 e 2 apresentam as 16 amostras selecionadas e os resultados apresentados na publicação. Foram selecionadas amostras representativas da variedade comercial e petrográfica das rochas silicáticas (comercialmente chamadas de “granitos”) então extraídas no Estado de São Paulo.

Os ensaios de desgaste abrasivo Amsler foram realizados segundo a norma NBR 12042 (ABNT, 1992), cujos principais aspectos são assinalados no parágrafo a seguir.

Para cada amostra, são preparados, com serra diamantada, dois corpos-de-prova com dimensões 70 mm x 70 mm x 30 mm. As laterais são medidas com paquímetro e a espessura com relógio comparador, em quatro pontos, nas diagonais, a 30 mm dos vértices. Após as medidas os dois corpos-de-prova são colocados na máquina marca Amsler, modelo A 154, onde ficam dispostos diametralmente opostos, sob carga de 66 N em um disco de ferro fundido, com 2 m de perímetro no centro dos corpos de prova. Esse disco é alimentado com areia normal IPT 50¹ com vazão de 72 cm³/min e posto a girar com 30 rpm, enquanto que os corpos-de-prova rotacionam a 0,6rpm em torno de seu próprio eixo perpendicular à superfície

de contato. Após o equivalente a 500 m e 1.000 m de percurso, os corpos-de-prova são limpos com escova macia e sua espessura é novamente registrada em quatro pontos com o relógio comparador. Após os 500m iniciais os dois corpos-de-prova são recolocados na máquina Amsler, com as posições trocadas.

Para o ensaio de dureza Knoop, a face submetida a desgaste de um dos corpos-de-prova é polida com politriz manual, utilizando-se discos abrasivos em granulações decrescentes (60, 150, 300, 500, 1.000, 2.000 e 3.000 mesh; equivalentes a 250, 105, 45, 25, 12, 6 e 4µm). Após polimento, a base do corpo-de-prova é desgastada mediante torno com rebolo diamantado, para garantir o paralelismo com a superfície polida.

TABELA 1 – Identificação das amostras estudadas (Fracá, 2000)

| Amostra | Nome comercial | Procedência (município) | Classificação petrográfica |
|---------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 01 | Cinza Mauá | Suzano | Biotita monzogranito porfirítico |
| 02 | Vermelho Capão Bonito | Capão Bonito | Biotita monzogranito |
| 06 | Preto Apiaí | Apiaí | Gabronorito |
| 16 | Marrom Itu | Salto | Monzogranito |
| 17 | Dourado Caju | Indaiatuba | Monzogranito |
| 18 | Preto Piracaia | Piracaia | Biotita-hornblenda quartzo monzonito |
| 19 | Vermelho Bragança | Bragança Paulista | Monzogranito porfirítico |
| 20 | Azul Fantástico | Bragança Paulista | Biotita granodiorito gnáissico |
| 21 | Preto Bragança | Bragança Paulista | Biotita quartzo monzonito |
| 22 | Rosa Salmão | Bragança Paulista | Biotita monzogranito gnáissico |
| 24 | Prata Interlagos | São Paulo | Biotita monzogranito |
| 28 | Azul Paulista | Lavrinhas | Nefelina sienito |
| 30 | Rosa Cedro | Paraibuna | Biotita gnaisse monzogranítico |
| 31 | Rosa Biritiba | Biritiba-Mirim | Biotita sienogranito |
| 32 | Verde Mococa | Mococa | Hiperstênio monzonito gnáissico |
| 33 | Marrom São Paulo | Itu | Monzogranito |

TABELA 2 – Dados das amostras estudadas (Fracá, 2000)

| Amostra | Desgaste abrasivo Amsler (mm/ 1.000m) | Principais minerais (% em volume) | | | | | |
|---------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------|---------------------|-----------------------|--------|
| | | quartzo | feldspato potássico | plagioclásio | biotita / muscovita | piroxênio + anfibólio | outros |
| 01 | 0,76 | 30 | 25 | 30 | 15 | - | tr |
| 02 | 0,60 | 30 | 35 | 25 | 10 | - | tr |
| 06 | 0,76 | tr | - | 60 | - | 35-40 | <5 |
| 16 | 0,43 | 35 | 35 | 20 | 5 | tr | 5 |
| 17 | 0,57 | 30 | 35 | 30 | 5-10 | - | <5 |
| 18 | 1,05 | 5 | 15 | 35 | 15 | 20-25 | 5 |
| 19 | 0,51 | 30 | 35-40 | 25-30 | <5 | - | <5 |
| 20 | 0,62 | 25 | 15 | 40 | 15-20 | - | <5 |
| 21 | 0,85 | 5-10 | 25 | 35 | 15-20 | 5-10 | <5 |
| 22 | 0,52 | 25-30 | 30 | 30 | 10 | - | <5 |
| 24 | 0,67 | 30 | 25 | 30 | 15 | - | tr |
| 28 | 0,65 | - | 75-80 | - | <5 | 5 | 15 |
| 30 | 0,80 | 25 | 35 | 30 | 5-10 | - | <5 |
| 31 | 0,70 | 25-30 | 35-40 | 15 | 15 | tr | 5 |
| 32 | 0,62 | tr | 35-40 | 35 | <5 | 20-25 | <5 |
| 33 | 0,54 | 25 | 45 | 25 | 5 | - | tr |

¹ Areia quartzosa, passante na peneira de malha quadrada com abertura 0,6mm e retida na peneira de malha quadrada com de abertura 0,3mm.

A dureza Knoop é então determinada através de 40 impressões em cada corpo-de-prova. O comprimento da diagonal é medido, em micrometros, imediatamente após cada impressão, sob a objetiva de 50X (aumento total de 500X) com o auxílio da escala *vernier* no sistema da ocular do aparelho. Se a superfície na área da impressão ficar danificada a ponto de impedir a identificação das extremidades da diagonal, uma nova impressão é feita, de preferência no mesmo grão mineral, ou seja, em área adjacente e com mesma cor (refletância) e textura.

Como a ponta Knoop produz uma impressão anisotrópica e o aparelho utilizado não permite sua rotação de forma fácil e sistemática; optou-se, então, ao invés da simples movimentação da platina (base) nos eixos X-Y, pela movimentação da platina em apenas um eixo e rotação do corpo-de-prova. As primeiras 5 medidas são obtidas, 4 mm a partir do centro do corpo-de-prova, em um mesmo segmento de reta na direção da diagonal maior da impressão, espaçadas por 4 mm. A seguir o corpo-de-prova é rotacionado por aproximadamente 45° e mais 5 medidas são feitas, inicialmente a 20 mm a partir do centro e com o mesmo espaçamento. Este procedimento é repetido até se completar as 40 medidas, conforme o esquema ilustrativo na Figura 1.

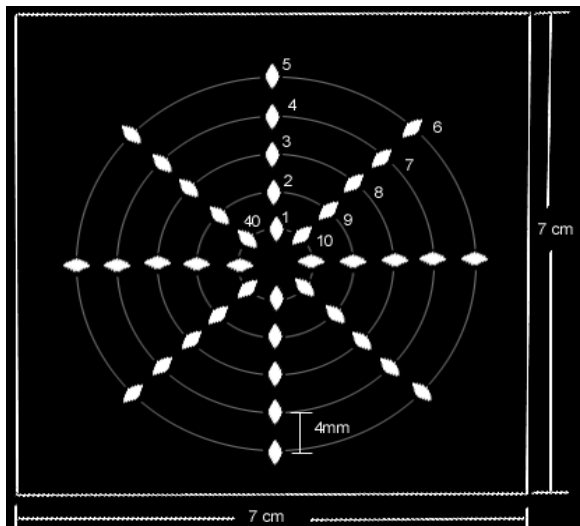


FIGURA 1 – Esquema das 40 impressões realizadas em cada corpo-de-prova. Os números indicam a ordem em que foram feitas.

Conforme o procedimento descrito, são realizadas 10 medidas em 4 direções a 45°. As impressões são feitas com carga de 1,96 N (200 gf) e medidas em um aparelho modelo Miniload 2, marca E. Leitz. Previamente às medidas em cada um dos corpos-de-prova são efetuadas 3 impressões em uma placa de cobre, para limpeza da ponta de diamante.

Após o cálculo da dureza nas 40 impressões os valores são distribuídos em ordem crescente. Dessa distribuição obtêm-se os valores relativos aos primeiros 25% (25° percentil ou quartil inferior), 50% (mediana) e 75% (75° percentil ou quartil superior) da curva, designados “frequências cumulativas”: HK₂₅, HK₅₀ e HK₇₅. Calcula-se também a dureza média e o

“coeficiente de heterogeneidade”, adotado como HK₇₅/HK₂₅.

RESULTADOS

Os valores de desgaste abrasivo Amsler foram apresentados na Tabela 2. Os resultados do ensaio de dureza Knoop estão resumidos na Tabela 3, a seguir.

DISCUSSÃO

A melhor correlação linear entre dureza Knoop e o desgaste abrasivo Amsler foi obtida como parâmetro HK₂₅, confirmando a tendência observada por Frisa Morandini; Mancini (1982). Embora esses autores tenham apresentado coeficiente de correlação (melhor do que o obtido neste trabalho - 0,66 e 0,49, respectivamente), utilizaram uma equação potencial para essa correlação. Para uma equação linear, os dados apresentados por Frisa Morandini; Mancini (1982) geram um coeficiente de 0,54, bastante próximo do valor ora obtido.

O fato de o desgaste apresentar melhor correlação como o HK₂₅ reforça a hipótese de que os minerais essenciais de dureza mais baixa são os principais condicionadores da resistência ao desgaste abrasivo (Frisa Morandini; Mancini, 1982). Provavelmente, porque os minerais de dureza mais alta são arrancados no decorrer do ensaio, independentemente de quão alta é a dureza. Assim, os valores de dureza Knoop elevada devido à presença de quartzo não refletiriam, necessariamente, maior resistência ao desgaste. Nesse caso, apesar de baixa, a melhor correlação entre a dureza Knoop e o desgaste Amsler seria (e realmente foi) obtido com HK₂₅, que não seria influenciado por teores de quartzo dessa ordem. Portanto, o estudo petrográfico não deve ater-se simplesmente à porcentagem dos minerais presentes; é necessário enfatizar outros parâmetros que influenciam a dureza e resistência ao desgaste, como grau de alteração dos minerais, o microfissuramento e a textura das rochas (particularmente granulação). A quantidade de quartzo reflete-se melhor na dureza Knoop média, com uma correlação baixa (0,35).

TABELA 3 – Resultados da dureza Knoop

| Nº | Amostra Nome comercial | HK ₂₅ | HK ₅₀ | HK ₇₅ | HK _{médio} | HK ₇₅ |
|----|---------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|
| | | (GPa) | (GPa) | (GPa) | (GPa) | HK ₂₅ |
| 01 | Cinza Mauá | 5,6 | 6,9 | 8,2 | 7,1 | 1,45 |
| 02 | Vermelho Capão Bonito | 6,3 | 7,8 | 8,8 | 7,9 | 1,41 |
| 06 | Preto Apiaí | 6,2 | 7,2 | 7,8 | 7,0 | 1,25 |
| 16 | Marrom Itu | 6,5 | 7,4 | 8,4 | 7,4 | 1,30 |
| 17 | Dourado Caju | 5,9 | 6,8 | 7,8 | 7,0 | 1,33 |
| 18 | Preto Piracaia | 2,7 | 4,5 | 6,5 | 4,4 | 2,27 |
| 19 | Vermelho Bragança | 5,5 | 6,4 | 9,4 | 7,4 | 1,72 |
| 20 | Azul Fantástico | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 7,0 | 1,32 |
| 21 | Preto Bragança | 4,3 | 6,2 | 7,3 | 5,7 | 1,69 |
| 22 | Rosa Salmão | 5,0 | 6,4 | 7,2 | 6,3 | 1,43 |
| 24 | Prata Interlagos | 5,5 | 7,0 | 8,2 | 7,1 | 1,51 |
| 28 | Azul Paulista | 4,5 | 5,8 | 6,7 | 5,6 | 1,47 |
| 30 | Rosa Cedro | 4,4 | 5,2 | 6,2 | 5,7 | 1,42 |
| 31 | Rosa Birritiba | 5,6 | 7,0 | 8,6 | 7,4 | 1,54 |
| 32 | Verde Mococa | 5,3 | 6,6 | 7,3 | 6,4 | 1,36 |
| 33 | Marrom São Paulo | 5,0 | 6,0 | 7,4 | 5,7 | 1,49 |

CONCLUSÕES

Os resultados mostram que a dureza Knoop e o desgaste Abrasivo Amsler fornecem dados com tendência à proporcionalidade direta, ou seja, quanto maior a dureza menor o desgaste. Entretanto, essa associação não é precisa, sendo baixa a correlação entre estas duas propriedades ($R^2 = 0,49$ para HK_{25} e $0,32$ para $HK_{média}$).

A dureza de micro impressão e o desgaste abrasivo são parâmetros que podem ser associados a diversos tipos de situações com ocorrência de desgaste, seja da rocha ou de ferramenta utilizada para alterá-la, como os diversos tipos de ferramenta de corte, de perfuração e de polimento. Nenhuma das duas propriedades deve ser usada como único meio de se prever o desempenho ou consumo em equipamentos de trabalho na rocha.

Quando o ensaio de dureza Knoop é realizado isoladamente, os principais parâmetros que devem ser utilizados em sua interpretação são o HK_{25} e a dureza média ($HK_{média}$). Essa abordagem é justificada pela melhor correlação desses dois parâmetros com os outros indicadores – desgaste, teor de quartzo e granulação. Correlações da dureza Knoop com a granulação para as 16 amostras foram apresentadas por Quitete, 2002.

O desgaste abrasivo é um ensaio que simula condições extremas de utilização da rocha, uma vez que em poucas situações um piso de granito sofrerá perda de espessura próxima a 1 mm. Nesse ponto, a dureza Knoop apresenta a vantagem de só afetar alguns micrômetros da espessura, fazendo com que este parâmetro seja mais adequado para avaliar, por exemplo, uma eventual alteração da durabilidade do lustro de rochas sob ação de películas ou outro tipo de tratamento de superfície. Este exemplo é particularmente, aplicável a mármore, que devido à sua dureza baixa, seriam mais sensíveis a esses tratamentos.

REFERÊNCIAS

American Society For Testing And Materials (ASTM). Standard test method for abrasion resistance of stone subjected to foot traffic - C 241. West Conshohocken. 1990.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Materiais inorgânicos – Determinação do desgaste por abrasão – NBR 12042. Rio de Janeiro. 1992.

Baldino, V.; Barisone, G.; Greggio, G. High polished stone value aggregates in Piedmont (Northern Italy). In: Aggregates 2001 – Environment And Economy, 2001, Helsinki. Proceedings. Tampere: Tampere University of Geology, 2001. v. 1, p. 69-73.

Brace, W.F. Behavior of rock salt, limestone and anhydrite during indentation. Journal of Geophysical Research, Washington. 65, n. 6, p. 1773-88, 1960.

_____. Dependence of fracture strength of rocks on grain size. Bulletin of The Mineral Industries Experiment Station – Pennsylvania State University, n.76, p.99-103, 1961.

Frasca, M.H.B. de O. (Coord.). Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 2000. (Publicação IPT, 2651) CD-ROM.

Frisa Morandini, A.; Mancini, R. Applications of microhardness tests to the technical evaluation of dimension stones. In: IAEG Congress, 4., New Delhi, 1982. Proceedings. [S.l.]: [s.n], 1982. v. 6.p. 21-31.

FORNASERO, D.; FRISA MORANDINI, A.; MANCINI, R. Petrografia e durezza di graniti assunti come termini di una scala di segabilità. Marmomacchine, Milano, n. 83, p. 97-108, 1988.

Marmi italiani: guida tecnica. Milano: Istituto Nazionali per il Commercio Estero/Vallardi Editori, 1982. 145p. v. 2.

Quitete, E.B. Dureza Knoop para revestimentos: metodologia e correlação com desgaste abrasivo. São paulo; 2002. 70p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Rice, R.W.; Wu, C.; Borchelt.F. Hardness–grain-size relations in ceramics. Journal of the American Ceramic Society, Easton, v. 77, n. 10, p. 2539-53, 1994.

Vidal, F.W.H. Estudo dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granitos do Ceará. São Paulo, 1999. 173p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

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