

# XXIII JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Rio de Janeiro, RJ  
30 e 31 de Julho de 2015

**Tema: Rochas  
Ornamentais e de  
Revestimento**



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**

## APRESENTAÇÃO

Bolsistas do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e estagiários do CETEM apresentaram, durante a **XXIII Jornada de Iniciação Científica**, 40 trabalhos. O evento foi realizado no auditório do CETEM, no Rio de Janeiro, nos dias 30 e 31 de julho.

Na abertura do evento, o diretor do CETEM, Fernando Lins, destacou o sucesso do Programa, que já dura 23 anos, ressaltando que dos mais de 500 bolsistas que passaram pelo PIBIC muitos ocupam, atualmente, postos importantes em grandes empresas, indústrias, universidades e até mesmo em instituições públicas. Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, coordenador do PIBIC, chamou atenção para o alto nível dos bolsistas que participam do Programa. Segundo Ribeiro, atualmente, 28% dos bolsistas PIBIC do CETEM cursam Engenharia Química e 53% são alunos da UFRJ. O coeficiente médio dos bolsistas alcança 8,2.

Ao final das apresentações, a comissão avaliadora reuniu-se para selecionar os trabalhos que mais se destacaram, sendo seis trabalhos do PIBIC e um do grupo de estagiários. Do grupo de destaques do PIBIC, escolheu-se o campeão da Jornada (Destaque dos destaques) e um destaque na área de inovação tecnológica.

Paralelamente à avaliação da banca examinadora, a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), representada no evento pelo vice-presidente, Paulo Orcioli, avaliou os trabalhos do grupo de rochas ornamentais e premiou o trabalho de Daniel Silva Barbutti com uma capacitação técnica no Centro Tecnológico da Pedra Natural de Portugal - CEVALOR e com a participação no Encontro Luso-Brasileiro de Conservação e Restauro, que ocorrerá em novembro de 2015, em Évora - Portugal, tendo as despesas pagas pela ABIROCHAS.

Compuseram a banca de avaliação: Antônio Eduardo C. Peres (UFMG), Carlos Magno M. Silva (UFPE), Elbert Valdiviezo Viera (UFMG), Rafael L. Ferreira (CENPES/PETROBRAS) e Roberta Dutra (Núcleo de Inovação Tecnológica do INT/MCTI).

Outras informações sobre o programa de Bolsas de Iniciação científica do CETEM estão disponíveis em <http://www.cetem.gov.br/pdi/bolsas/iniciacao-cientifica>.

A seguir apresentamos todos os trabalhos que tiveram como foco as rochas ornamentais.

Fonte: <http://www.cetem.gov.br/noticias/799-xxiii-jornada-de-iniciacao-cientifica-do-cetem>

## CONTEÚDO

ALVES, Rafaela Farinazo Peloso; GADIOLI, Mônica Castoldi Borlini (orientadora). **Caracterização das partículas totais em suspensão da produção de rochas ornamentais.**

AVELLAR, Gabriela de Oliveira; QUEIROZ, Joedy Patrícia Cruz (orientadora); RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição (coorientador). **Avaliação da deterioração das rochas do prédio do Paço Imperial, Praça XV - Centro, Rio de Janeiro.**

BARBUTTI, Daniel Silva; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição (orientador). **Avaliação físico-química da interação entre minerais e produtos utilizados no restauro de bens pétreos.**

DOURADO, Marcelo De Luccas; RIZZO, Andrea Carmadela de Lima (orientador); RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição (coorientador). **Avaliação da degradação de rochas ornamentais devido à possível ação microbiana.**

LACERDA, Gabriela Fernandes; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição (orientador). **Avaliação da degradação de rochas ornamentais pelo uso de produtos de limpeza.**

LIMA, Raíssa Vieira; SILVA, Rosana Elisa Coppedê (orientadora); RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição (coorientador). **Avaliação da alterabilidade das rochas da fachada posterior do Mosteiro de São Bento.**

SERACO, Isaias Pereira; SILVEIRA, Leonardo Luiz Lyrio da (orientador). **Medição do desgaste abrasivo de resina vegetal por meio de ensaio Taber.**

SOUZA, Natielly Andressa da Silva; RIBEIRO, Roberto Carlos da Conceição (orientador). **Geração de papel Braille utilizando resíduo da lavra de pegmatitos e polietileno de alta densidade (PEAD).**

TAVARES, Daniel Pimentel; MOFATI, Luciana Marelli (orientadora); CASTRO, Nuria Fernández (coorientadora). **Ações para capacitar o CETEM como referência laboratorial para o setor de rochas ornamentais: estimativa de incertezas no controle dimensional de corpos de prova.**

VALDO, Letícia; PEITER, Carlos César (orientador); CASTRO, Nuria Fernández (coorientador). **Normatização do ensaio de resistência ao escorregamento para rochas ornamentais: análise pelo método do Pêndulo Britânico.**

# CARACTERIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO DA PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

**Rafaela Farinazo Peloso Alves**

Aluna de Graduação de Engenharia de Minas 8º período, IFES

Período PIBIC/CETEM: agosto de 2014 a julho de 2015,

[ralves@cetem.gov.br](mailto:ralves@cetem.gov.br)

**Mônica Castoldi Borlini Gadioli**

Orientadora, Eng. Química, D.Sc.

[mborlini@cetem.gov.br](mailto:mborlini@cetem.gov.br)

## Abstract

With the growth of industries, there is a major concern with the particulate matter suspended in the atmosphere, as metals, soot, dust, among others, and the dimension stone sector has contributed to this growth, even with the use of water in the processes there is still an amount of particles released into the environment. The suspended total particles may contain particles from the process, neighboring localities, road, which may have potential effects on human health and the environment. Thus, this study aimed to characterize the suspended total particles generated in the dimension stones processing by scanning electron microscopy connected to an energy dispersive X-ray spectroscopy system (SEM/EDS) and X-ray diffraction (XRD). Particulate samples were collected in a company using large-volume sampler (Hivol). Measurements were realized near the multiblade gang saws, multiwire gang saws and polishing, in order to obtain results of particulates that are emitted in the processes to be inserted in the life-cycle inventory of dimension stones.

**Keywords:** Particulate, dimension stones, characterization.

## Resumo

Com o crescimento das indústrias há uma grande preocupação com a liberação de poluentes atmosféricos, sejam eles metais, fuligem, poeira, entre outros, e o setor de rochas ornamentais vem contribuindo com este crescimento e, mesmo com a utilização de água nos processos ainda há uma quantidade de particulado liberado no meio ambiente. As partículas totais em suspensão podem conter partículas provenientes dos processos industriais, localidades vizinhas, estradas, e podem ter efeitos potenciais a saúde humana e ao meio ambiente. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo caracterizar as partículas totais em suspensão geradas no beneficiamento de rochas ornamentais por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada ao sistema de espectroscopia de energia dispersiva de raios-X e difração por raios-X (DRX). Coletas do material particulado foram realizadas em empresas do setor de rochas ornamentais por meio do amostrador de grande volume (Hi-vol). As medições foram realizadas próximas aos processos de serragem, ponto próximo ao tear multilâmina e outros em empresa, próximo ao multifio e ao processo de polimento, com

o propósito de obter dados de particulados que são liberados nos processos visando serem inseridos no inventário de ciclo de vida de rochas ornamentais.

**Palavras chave:** Particulado, rochas ornamentais, caracterização.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano e industrial tem originado um aumento da emissão de poluentes atmosféricos, onde estes se concentram no ar, se depositam no solo, nos vegetais e nos materiais e assim são responsáveis por inúmeras consequências. As partículas sólidas e líquidas encontradas no ar como a poeira, fuligem, partículas de óleo e metal, capazes de permanecer em suspensão por longos períodos, constituem as partículas totais em suspensão - PTS (YASSI *et al*, 2001 *apud* COSTA *et al*, 2009).

O setor de rochas ornamentais vem crescendo a cada ano, aumentando a extração, o beneficiamento e conseqüentemente contribuindo com a liberação de PTS no meio ambiente. Mesmo todo o processo sendo realizado com a utilização de água, a mesma não é capaz de reter todo material particulado, sendo parte deste liberado na atmosfera.

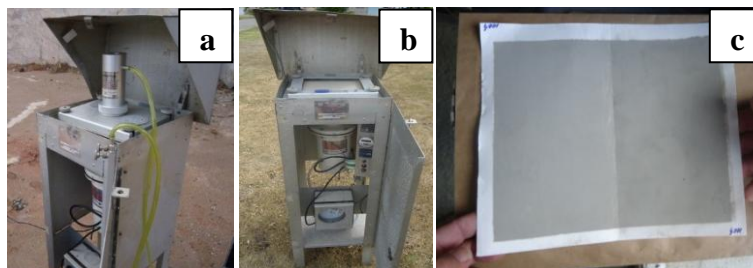
## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi a caracterização das partículas totais em suspensão (PTS), coletadas em campo no processo de beneficiamento de rochas ornamentais, por meio de análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) associada ao sistema de espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) e difração de raios-X (DRX). O levantamento de dados de PTS no beneficiamento de rochas ornamentais foi realizado com intuito de obter informações para serem inseridas no Inventário de Ciclo de Vida de rochas ornamentais.

## 3. METODOLOGIA

As medições de partículas totais em suspensão no campo foram realizadas na área de beneficiamento de rochas ornamentais, que é dividida em serragem e polimento. A serragem pode ser realizada utilizando teares multilâmina ou multifio. Visando levantar dados de saída (emissões) dos processos para o inventário de ciclo de vida, foram realizadas medições de PTS em empresa com serraria com teares multilâminas e em empresa que possui tear multifio e politriz. O equipamento foi colocado em pontos próximos aos processos de serragem e polimento.

A coleta de PTS foi executada pelo método expresso na norma ABNT NBR 9547 (ABNT, 1997), com auxílio de um amostrador de grandes volumes (AGV) Hi-Vol, Figura 1, da fabricante Energética. Antes das medições de PTS, em cada ponto, foi realizada a calibração do equipamento, Figura 1a, durante um período de 15 minutos. Após a calibração, foi inserido um filtro, e em seguida, deu-se início a amostragem. A aspiração do ar pelo amostrador, Figura 1b, foi feita durante um período de 24 horas em cada local de medição onde o aparelho foi instalado. A Figura 1c mostra um filtro com PTS.



**Figura 1:** a) Calibragem do Equipamento do amostrador de grandes volumes AGV Hi-Vol. b) AGV Hi-Vol com filtro. c) Filtro com PTS

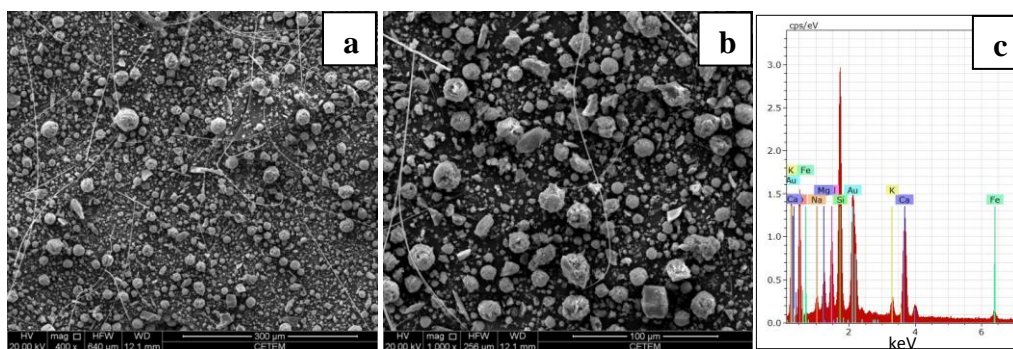
A vazão imprimida pelo amostrador e a geometria do abrigo favorecem a coleta de partículas de 25 – 50  $\mu\text{m}$ .

A caracterização morfológica dos PTS foi realizada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), acoplada ao sistema de espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) para análise qualitativa dos elementos químicos. O equipamento utilizado para gerar as imagens da microestrutura dos PTS foi um microscópio FEI Quanta 400 com um sistema de microanálise química por dispersão de energia Bruker Quantax acoplado. Antes da observação por MEV, as amostras foram metalizadas, aplicando-se um fino filme de ouro para tornar a superfície condutora elétrica. A caracterização mineralógica dos particulados foi realizada por difração de raios-X (DRX) pelo método do pó, utilizando o equipamento Bruker-D4 Endeavor, operando com radiação  $\text{Co } \alpha$ , a 35kV e 40mA.

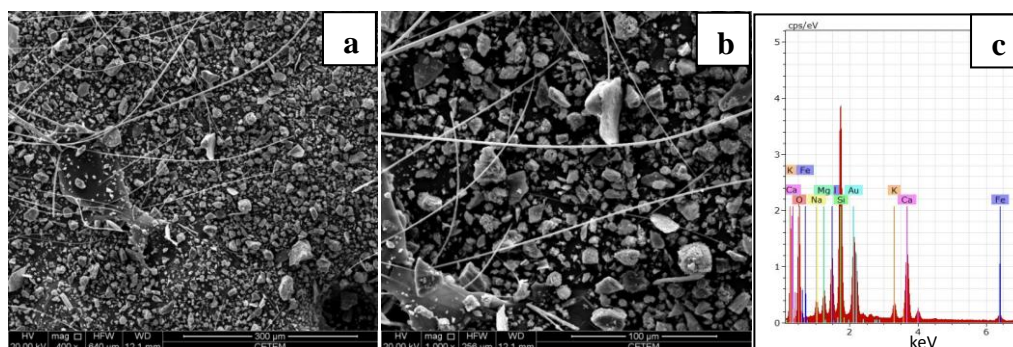
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2, 3 e 4 mostram as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos materiais particulados da área de beneficiamento de rochas ornamentais. Segundo Ferreira et. al. (2011), o MEV-EDS é muito utilizado na caracterização do tamanho, morfologia e química dos materiais particulados. Foram observadas estruturas na forma de aglomerados, com partículas com morfologia tubulares e angulosas.

O material particulado coletado próximo a serragem de rochas utilizando tear multilâmina, Figura 2, em sua maioria, apresentou estrutura na forma de aglomerados, com partículas de superfície rugosa. As micrografias dos PTS coletados próximos ao tear multifio, Figura 3, mostram aglomerados, partículas tubulares e irregulares com superfícies rugosas. O EDS mostrou a presença de K, Fe, Ca, Na, Mg e Si em ambos os pontos analisados.

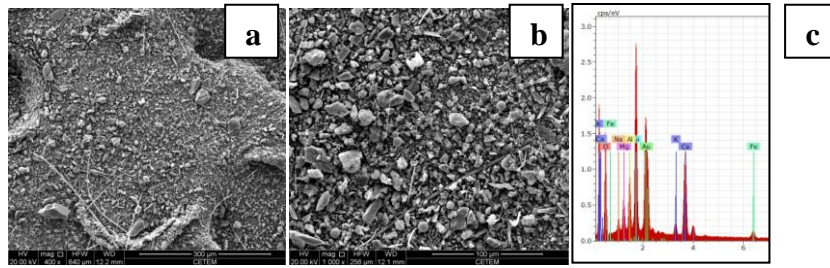


**Figura 2:** Micrografias e EDS de particulados coletados próximos ao tear multilâmina. a) 400x. b) 1000x. c) EDS de PTS.



**Figura 3:** Micrografias e EDS de particulados coletados próximos ao tear multifio. a) 400x. b) 1000x. c) EDS de PTS.

A Figura 4 mostra micrografias de particulados coletados próximos ao polimento. Pode ser observado que em sua maior parte, mostra morfologia com partículas angulosas e tubulares, apresentando os elementos K, Fe, Ca, Na, Mg, Al e Si.



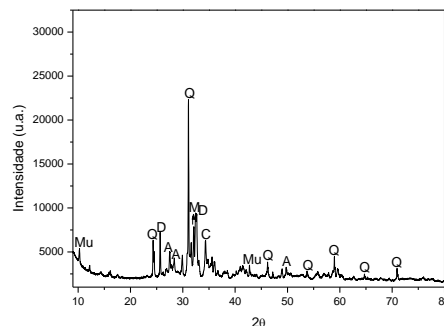
**Figura 4:** Micrografias e EDS de particulados coletados próximos ao polimento. **a)** 400x. **b)** 1000x. **c)** EDS de PTS.

keV

As Figuras 5 a 7 mostram os difratogramas de raios-X dos PTS da área de beneficiamento.

Os particulados coletados no ponto próximo ao tear multilâmina, Figura 5, apresentam picos de difração correspondentes ao quartzo, albita, microclina, muscovita e calcita, sendo que a principal fase cristalina presente no PTS é o quartzo. O quartzo que compõe o grupo dos silicatos ocorre comumente em rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares. A albita é típica de rochas magmáticas alcalinas e ácidas e faz parte do grupo dos plagioclásios. A microclina é a variedade de feldspato alcalino mais frequente e encontrado em vários tipos de rochas. A muscovita é um mineral muito comum em gnaisses, xistos, granitos, entre outros. A calcita faz parte na formação de rochas metamórficas e sedimentares e a dolomita, ocorre sob a forma de calcário dolomítico ou mármore dolomítico.

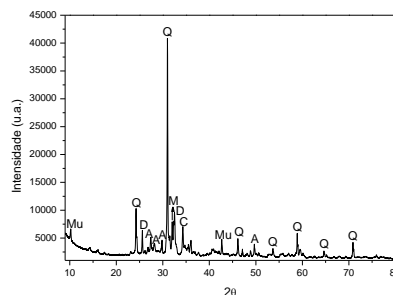
Na Figura 6 pode ser observado que o pico de difração com maior intensidade também foi o de quartzo. Outros picos apresentados foram identificados como albita, muscovita, dolomita, microclina e calcita.



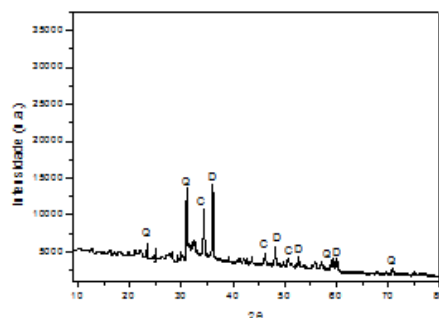
**Figura 5:** Difratograma de raios-X de particulados próximos ao tear multilâmina. Mu = muscovita, Q = quartzo, D = dolomita, A = albita, M = microclina, C = calcita

De acordo com os picos de difração das Figuras 5 a 7, verifica-se que, os minerais identificados possuem os elementos encontrados nas análises por EDS, confirmando os resultados.

Na Figura 7, correspondente aos particulados coletados no ponto próximo ao polimento, nota-se a presença de quartzo, calcita e dolomita.



**Figura 6:** Difratograma de raios-X de particulados próximos ao tear multifio. Mu = muscovita, Q = quartzo, D = dolomita, A = albita, M = microclina, C = calcita



**Figura 7:** Difratoograma de raios-X de particulados próximos ao polimento. Q = quartzo, C = calcita, D = dolomita

## 5. CONCLUSÕES

A caracterização é importante para uma avaliação dos efeitos potenciais das partículas em suspensão a saúde humana e ao meio ambiente, assim como para uma investigação das fontes de onde provêm os particulados. Para um melhor entendimento das propriedades e origem dos PTS está sendo muito utilizada a técnica de MEV-EDS, para identificar os dados de morfologia e composição química. Conclui-se, portanto, que os resultados obtidos indicam que os particulados aqui estudados possuem composição semelhante à de minerais silicáticos e carbonáticos, provenientes principalmente das rochas.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo que tens me dado, a minha família por acreditar em mim, ao CNPq pelo apoio e pela bolsa de iniciação científica concedida, ao CETEM em especial aos colaboradores do NR-ES e a meus amigos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Material Particulado em Suspensão no ar ambiente – Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume**. 10 p. (ABNT NBR ISO 9547). 1997.

COSTA, M. A. P. M.; MIYASHIRO, G. M.; CAMPELO, V.; BARBOSA, I. C.; FILHO, E. M. S.; SILVA, I.; KLIGERMAN, D. C.; COHEN, S. C. Efeitos das partículas totais em suspensão (PTS) na saúde da população dos bairros de Benfica, Bonsucesso, Ramos e Manguinhos - Rio de Janeiro/RJ. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**. p. 99-114. 2009. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/viewFile/16957/9351>>. Acesso em 25 de fev. de 2015.

FERREIRA, T. M.; FORTI, M. C.; ALVALÁ, P. C. **Caracterização morfológica e química do particulado atmosférico em uma região urbana: São José dos Campos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos/SP. 2011. 65p.

YASSI, A. KJELLSTRÖM, T. KOK, T. **Basic Environmental Health**. New York. **Oxford University Press**. 2001.



## **AVALIAÇÃO DA DETERIORAÇÃO DAS ROCHAS DO PRÉDIO DO PAÇO IMPERIAL, PRAÇA XV-CENTRO, RIO DE JANEIRO.**

**Gabriela de Oliveira Avellar**

Aluno de Graduação de Geologia, 7º período, UERJ.  
Período PIBIC/CETEM: agosto de 2014 a junho de 2015.

[gaabavellar@gmail.com](mailto:gaabavellar@gmail.com)

**Joedy Patrícia Cruz Queiroz**

Orientador, Geóloga, D.Sc.

[jqueiroz@cetem.gov.br](mailto:jqueiroz@cetem.gov.br)

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Co-Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.

[rcarlos@cetem.gov.br](mailto:rcarlos@cetem.gov.br)

### **Abstract**

The Paço Imperial monument, located at Rio de Janeiro's downtown, is a building of great cultural value because it is linked to important facts in Brazilian history. Since its construction, in 17th century until now a days, this building has been playing different roles throughout its existence. In 1713 it became as Brazilian Mint, and after, in 1743, it became as Governor House. In 1808 the monument was chosen to be the Portuguese Royal Family's House, and at last, in 1890 it housed the Brazilian Post and Telegraph Corporation; now-a-days, Paço Imperial is a cultural center. This paper proposes an assessment of the degradation in different rocks used for various purposes in the construction of the building. The lithotypes were submitted to chemical and physical indexes analysis for quantification of the levels of alterability that deplete the building. Chemical analysis indicated that on the facade the most abundant substances are: firstly, the sulfides produced by traffic around. In second place is Chlorine, element that was probably brought by the winds of Guanabara's Bay, when scattered and carried by winds. Inside the building, precisely in a column in the Del Rey Pavilion, the most abundant element was chlorine, due to the rising of salt water in the facilities, which is rich in chlorine and sodium.

**Keywords:** Rock alterability, Paço Imperial, Rio de Janeiro.

### **Resumo**

O monumento do Paço Imperial, localizado no centro da cidade do Rio de Janeiro, é um prédio com grande valor cultural, pois está ligado a importantes fatos históricos do Brasil. Desde sua construção, no século XVII, até os dias atuais, esta obra assumiu diferentes papéis ao longo de sua existência. Em 1713 virou Casa da Moeda, e depois Casa dos Governadores. Em 1808 o monumento foi escolhido para ser a moradia da família real portuguesa, e, enfim, em 1890, virou Sede dos Correios e Telégrafos; atualmente o Paço Imperial é um centro cultural. Este trabalho propõe uma avaliação da degradação das diferentes rochas utilizadas com diversas finalidades na construção do prédio. Para quantificar os níveis de alterabilidade aos quais os litotipos estudados foram submetidos, foram realizadas análises químicas e de índices físicos. As análises químicas indicaram que, nas fachadas, as substâncias mais abundantes são primeiramente os sulfetos, provenientes das descargas de automóveis que circulam nas ruas próximas. Em segundo lugar, o Cloro, elemento possivelmente oriundo do sal

marinho, proveniente da Baía de Guanabara, que foi disperso na atmosfera e carregado pelos ventos. Na parte interna do prédio, mais precisamente em uma coluna do pavilhão Del Rey, o elemento mais abundante foi o Cloro, devido à ascendência da água do mar nas imediações, que é rica em cloro e sódio.

**Palavras chave:** Alterabilidade de Rochas, Paço Imperial, Rio de Janeiro.

## **1. INTRODUÇÃO**

A cidade do Rio de Janeiro sempre foi palco de importantes eventos políticos que repercutiram no Brasil e no mundo. Desde o século XVIII até o século XX, a cidade abrigou imperadores e presidentes, sendo a capital da Colônia (a partir de 1763), do Império e da República (até 1960). Um dos lugares que mais recebeu figuras do alto escalão da sociedade brasileira foi o prédio do Paço Imperial, localizado na Praça XV, região central do Rio. Tombado pelo IPHAN em 1938, no Paço Imperial funcionou a Casa da Moeda, o Armazém Del Rey e Palácio dos Governadores. Após a proclamação da República, sofreu com a onda de “apagamento dos símbolos imperiais”, sendo abandonado pela sociedade carioca e esquecido. Nesse período, o prédio sofreu com diversos tipos de deterioração, desde as de causas naturais até atos de vandalismo. O presente trabalho fez um levantamento tecnológico e científico do estado de conservação das rochas da fachada e do interior do prédio do Paço Imperial, a partir do ponto de vista geológico. A partir dos resultados, este estudo apresenta uma discussão sobre a localização do patrimônio e a ação antrópica influencia na preservação ou não de bens pétreos.

## **2. OBJETIVOS**

Compreender a distribuição e extensão do intemperismo nas rochas ornamentais do prédio histórico em questão, analisando e estudando seus processos, fatores controladores e deflagradores. Busca-se ainda, averiguar de que modo o ambiente urbano e natural do seu entorno exercem influencia em seu estado atual de deterioração.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 Pesquisa Bibliográfica**

Foram realizadas pesquisas sobre a história do monumento do Paço Imperial e geoconservação, na Biblioteca Nacional e no acervo bibliográfico da UFRJ (Base Minerva), Biblioteca do CETEM.

### **3.2 Trabalhos de Campo**

#### **3.2.1 Identificação de patologias e registro fotográfico**

Durante as visitas técnicas feitas ao local, foram identificadas, descritas e fotografadas as patologias.

#### **3.2.2 Coleta de Material para análise química**

A coleta foi realizada nas fachadas e na pilastra degradada do interior do Pavilhão Del Rey, e foi dividida em dois tipos: úmida e seca. Para a amostragem úmida, foram utilizados frascos plásticos estéreis para coleta universal, com auxílio de uma pisseta com água destilada. A água foi aspergida sobre as rochas para lavar pequenas porções. Para cada local diferente, foi utilizado um novo frasco, com nova denominação. Posteriormente, essas amostras de solução salina foram submetidas à análise química pela COAM - Coordenação de Análises Mineraias do CETEM. Quanto à amostragem seca, esta foi feita apenas no Pavilhão Del Rey. Em locais onde era possível ver o crescimento de cristais macroscópicos de sal, com auxílio de uma palheta estéril, foram retirados alguns maços de sal, que foram guardados em pequenos frascos, também estéreis.

### 3.2.3 Análises Laboratoriais

As amostras coletadas foram processadas e analisadas pela COAM, do Laboratório de Química Analítica, para determinar a concentração de cada íon de interesse.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Fachada

Na etapa de campo, foi observado que algumas formas de danos ocorrem repetidamente, com pequenas variações, em determinados litotipos que compõem a fachada do prédio. As patologias de: crosta negra, fraturamento, manchamento (por pichações, urina, excremento de aves, oxidação, fluxo de líquido ou uso de produtos de limpeza inadequados) e perda de massa, ocorrem amplamente em todos os litotipos existentes no prédio. A última, contudo, apresenta padrões diferenciados de ocorrência, relacionados à presença ou ausência de estruturas das rochas como foliação. Nos portais nos quais foram implantadas peças de calcário, a perda de massa se concentra em locais onde foram introduzidas estruturas pontuais, como ponteiras de ferro. Nessa rocha, a da perda de massa é caracterizada por estruturação irregular, sem indicar um padrão. Já nos litotipos foliados, como os gnaisses facoidais e leptinitos, essa patologia ocorre paralelamente ao plano da foliação, uma vez que este é o principal plano de fraqueza da rocha. Nesses litotipos de gênese metamórfica, a feição é muito similar à de deslocamento.



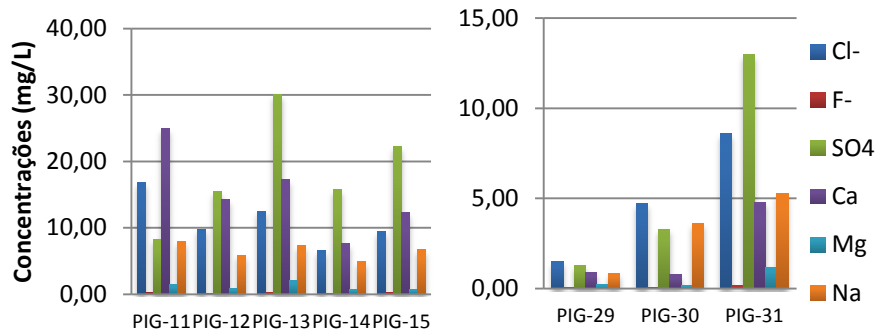
**Figura 1:** Exemplos de patologias de deterioração: a primeira apresenta uma perda de massa do calcário (superior) e intervenção inadequada (colagem de quina); a segunda apresenta uma combinação entre deslocamento, perda de massa e crosta negra.

A partir das observações, amostragens de campo e análises químicas, foram elaborados os gráficos abaixo. Os gráficos 1, 2 e 3 apresentam as relações entre as concentrações dos elementos químicos de cada ponto, por fachada.

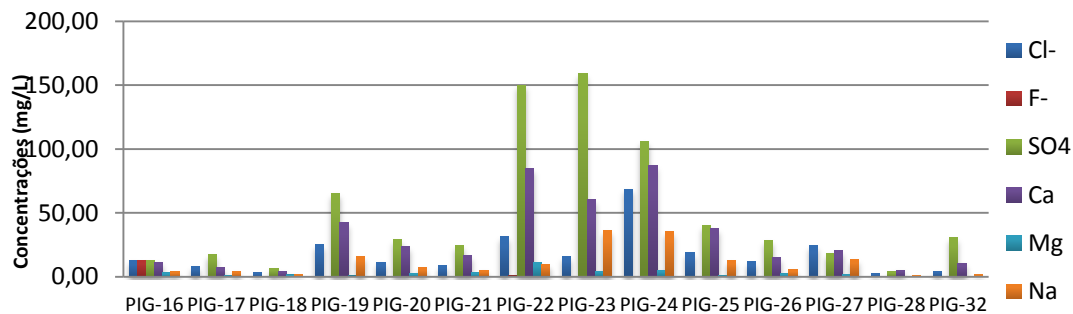
O Gráfico 1, mostra que na fachada voltada para a rua Primeiro de Março, a concentração total de íons coletados foi de 262,73 mg/L, sendo o íon de sulfato o mais presente, seguido pelos íons de cálcio, e de cloreto. O ponto que apresentou maiores teores iônicos foi o PIG-11, cuja composição rochosa é um calcário.

O Gráfico 2 apresenta os dados referentes à fachada voltada para a Praça XV. A soma das concentrações iônicas obtidas pelas três amostras é de 50,53 mg/L. Nesse conjunto de amostras, os elementos que apresentaram maiores concentrações salinas foram sulfato e cloreto. A amostragem dos pontos PIG-29, PIG-30 e PIG-31 foi realizada em pilastras de gnaisse, entretanto, todos os portais desse lado da fachada eram todos compostos por calcário. Um ponto interessante é que todos eles apresentam considerável deterioração.

O Gráfico 3 apresenta dados referentes à fachada voltada para a rua da Assembleia. A soma total das concentrações iônicas resultou em 1571,70 mg/L. Desse total, o íon do sulfeto teve a maior representação dentre todos. Dentre os pontos amostrados, aquele que apresentou concentração mais elevada foi o PIG-24 302,34 mg/L, cuja composição rochosa é de calcário.



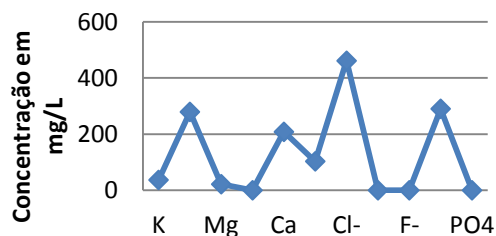
**Gráficos 1 e 2:** Concentrações salinas por elemento amostradas em cada ponto, nas fachadas voltadas, respectivamente, para a rua Primeiro de Março e Praça XV.



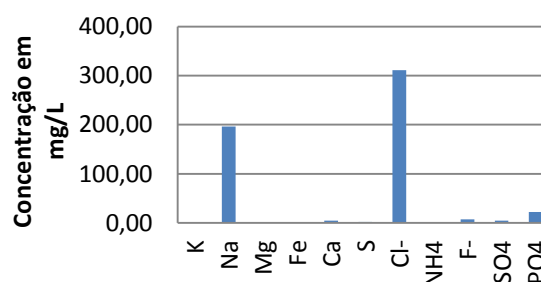
**Gráfico 3:** Concentrações salinas por elemento amostradas na fachada voltada para a Rua da Assembleia.

#### 4.2 Pavilhão Del Rey

No interior do prédio do Paço Imperial, no pavilhão de exposições Del Rey, foram coletadas amostras sólidas de sais que afloravam por eflorescência na superfície da pilastra degradada, e uma amostra líquida da lavagem da mesma pilastra. A amostra referente à lavagem foi submetida à análise química e apresentou os dados abaixo, descritos no Gráfico 4. Estudando esse gráfico, temos que a soma total das concentrações iônicas tem valor de 1399,32 mg/L. O íon de maior representatividade é o cloreto, seguido de sulfato e o sódio. Além desses três compostos iônicos, outros também alcançaram valores elevados, como o Cálcio, que obteve 208,00 mg/L e o Enxofre, com 103,00 mg/L. Foi possível observar que o processo de eflorescência se limitava apenas às porções compostas por tijolo. Na Figura 3 é possível ver um exemplo da ocorrência desse processo, que foi acompanhado, e verificou-se que a cristalização chegou a ser centimétrica. A amostra de sal sólida coletada da pilastra, também foi submetida a uma análise química (Gráfico 5) que apresentou a soma total das concentrações iônicas medidas é 550,75 mg/L. Dentre os íons analisados, o cloreto foi o que apresentou maior teor.



**Figura 2:** Pilastra degradada. **Gráfico 4:** Composição química da água que lavou parte da pilastra.



**Figura 3:** Eflorescência no tijolo do pavilhão Del Rey. **Gráfico 5:** Composição química do sal que cristalizava por eflorescência na pilastra do pavilhão Del Rey.

## 5. CONCLUSÕES

As características mineralógicas, texturais e estruturais são fatores de grande importância na determinação do quão susceptível à alterabilidade a rocha é. Somados a essas características, há ainda os condicionantes do ambiente: clima, proximidade com o mar, exposição à poluição do trânsito, entre outros. A partir das análises realizadas, pode-se concluir que na fachada do prédio, dos fatores acima citados, os mais prejudiciais são a poluição proveniente do trânsito de automóveis e a proximidade com a água salina da Baía de Guanabara. As amostras que apresentaram maiores teores iônicos correspondem a calcários, evidenciando a maior susceptibilidade do calcário aos processos intempéricos.

Na pilastra do pavilhão Del Rey, a atual situação se deve à provável combinação de diversos fatores, inclusive históricos e de assentamento de sua construção original. Além da água salina que está aflorando e cristalizando halita no piso do pavilhão, os outros compostos iônicos –sulfato e fosfato –indicam que houve contaminação, provavelmente remanescente da época em que o salão foi usado como armazém pelo Império. Apesar de a rocha dominante ser um gnaiss facoidal (tipicamente resistente), as condições ambientais desse pavilhão são tão extremas que superam a influência das características mineralógicas e texturais da rocha.

Portanto, é visível a influência do ambiente em que a construção se insere, na medida em que os poluentes do meio urbano e as condições climáticas atuam fortemente na deterioração das rochas.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro; ao CETEM, pela infraestrutura; e à Amanda Menezes, que me auxiliou e apoiou em todas as etapas da pesquisa.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES-BARROS, L. **Alteração e alterabilidade de rochas**. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa:Universidade Técnica de Lisboa. 384p. 1991.

FRASCÁ, M. H. B. O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. In: **III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**, 2002. Recife, Brasil. p. 1- 7, 2002.

MARIANI, A. W *et al.* **Paço Imperial: Roteiro para visita histórica**. 4ª.ed. – Rio de Janeiro: Paço Imperial, 2004 – 80p.:il. CDU725.17 (815.3).

# **AValiação Físico-Química da Interação entre Minerais e Produtos Utilizados no Restauro de Bens Pétreos**

**Daniel Silva Barbutti**

Aluno de Graduação em Química Industrial, 7º período, UFRJ.

Período PIBIC/CETEM: Agosto de 2013 a julho de 2015,

[dbarbutti@cetem.gov.br](mailto:dbarbutti@cetem.gov.br)

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.

[rcarlos@cetem.gov.br](mailto:rcarlos@cetem.gov.br)

## **Abstract**

Stone monuments and buildings located outdoors are exposed to natural weathering processes that change its physicochemical properties. The choice of an appropriate protective that does not affect its characteristics is essential to retard the stone decay. In this study, the interactions between three commercial protectives and the main minerals that compose the dimension stones were investigated. The interactions between samples and protectives were evaluated by static contact angle, interfacial tension and spectrophotometry measurements, while the protectives were characterized by Fourier Transform Infrared (FTIR) analysis. The spectrophotometry results report that rock matrices with higher concentrations of micas and/or calcite tend to improve interactions with the analyzed protectives. Protectives with lower interfacial tension tend to have higher wettability and reduced surface contact angle, promoting better interactions with the mineral substrates. The most suitable protective presented the smaller contact angles with the minerals calcite - 53°, and mica (110) - 45°, against 92° and 90° obtained by water, respectively, before the curing step, suggesting that the aqueous emulsion have better interactions with the surfaces, aiding in the scattering during formation of the hydrophobic coating. The characterization by infrared showed that protectives create organic polymeric films on the surface to be treated, aiding in the preservation of the national cultural heritage.

**Keywords:** Dimension Stones, contact Angle, hydrophobicity

## **Resumo**

Monumentos e construções pétreas localizados em áreas abertas sofrem intemperismos que alteram suas propriedades físico-químicas. A seleção de um agente de proteção adequado, que não altere as características da rocha, é fundamental para a preservação destes bens. Neste estudo, as interações entre três protetivos comerciais e os principais minerais que compõem as principais rochas ornamentais foram investigadas. As interações entre os protetivos e amostras foram avaliadas por meio de análises de ângulo de contato estático, tensão superficial e espectrofotometria, enquanto os protetivos foram caracterizados a partir de análises de infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR). Os resultados obtidos por espectrofotometria demonstraram que matrizes rochosas ricas em micas e calcita tendem a possuir uma maior interação com os protetivos. Protetivos com tensões superficiais menores tendem a possuir maior molhabilidade e menores ângulos de contato com a superfície de amostras minerais, facilitando sua interação com estes substratos. O protetivo mais adequado apresentou os menores ângulos de contato com os minerais calcita (54°) e mica na face hidrofóbica (45°), contra 94° e 89° obtidos pela água, respectivamente, antes da etapa de cura do mesmo, sugerindo que a emulsão aquosa interage melhor com as superfícies numa primeira análise, auxiliando no espalhamento durante a formação da camada hidrofóbica. A caracterização por infravermelho demonstrou que os protetivos adicionam filmes poliméricos à superfície a ser tratada, auxiliando na preservação do patrimônio cultural nacional.

**Palavras chave:** Rochas Ornamentais, ângulo de Contato, hidrofobicidade.

## 1. INTRODUÇÃO

Os intemperismos físico, químico, mecânico e biológico são prejudiciais aos monumentos pétreos encontrados em lugares abertos, alterando suas propriedades estruturais (ÖZTÜRK, 1992). O conhecimento aprofundado dos mecanismos que regem estas alterações é de fundamental importância para que sejam desenvolvidos métodos otimizados de proteção e consolidação das rochas ornamentais que os compõem. A proteção de monumentos rochosos é geralmente realizada a partir da aplicação de protetivos poliméricos em suas superfícies, adicionando-se assim uma camada hidrofóbica que tende a reduzir a tensão superficial do substrato rochoso (FERRI *et al.*, 2011). Consolidantes também podem ser utilizados, buscando minimizar a desagregação das mesmas. A seleção, tanto do protetivo quanto do consolidante adequado, é decisiva para garantir a integridade da composição do monumento e preservar sua coloração original e demais características, que algumas vezes podem ser alteradas de forma irreversível.

## 2. OBJETIVOS

Verificara interação dos principais minerais que compõem as principais rochas ornamentais com diferentes agentes de proteção comerciais, buscando auxiliar as atividades de restauro na seleção do protetivo mais adequado para cada tipo de rocha a ser tratada.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Amostras Mineraias Utilizadas

Foram utilizadas amostras de quartzo, feldspato, mica, calcita e talco em granulometria abaixo de 0,300mm, fornecidos pelo CETEM e previamente caracterizados por meio de fluorescência e difração de raios-X (FRX e DRX).

### 3.2 Protetivos Utilizados

Três agentes de proteção foram analisados, que serão chamados protetivos A, B e C, todos solúveis em água e avaliados por meio de infravermelho em um espectrofotômetro *Nicolet 6700* – FTIR, utilizando-se 1 mg de amostra e 99 mg de KBr de grau espectroscópico. Avaliou-se a região de  $4\ 000\ \text{cm}^{-1}$  a  $400\ \text{cm}^{-1}$ .

### 3.3 Interação entre Minerais e Protetivos

#### 3.3.1 Adsorção dos Protetivos pelos Minerais por Espectrofotometria

Os minerais foram avaliados quanto à sua interação com os protetivos por meio de um equipamento de espectrofotometria da marca *LaMotte*. Foram preparadas soluções diluídas em água Milli-Q, nas concentrações 0,5%, 1,0%, 2,0% e 5,0%. O protetivo A foi analisado no comprimento de onda 775 nm, enquanto os protetivos B e C foram analisados, respectivamente, nos comprimentos 950 nm e 480 nm.

#### 3.3.2 Análise dos Minerais por Ângulo de Contato

O ângulo de contato foi analisado por meio de um goniômetro *Dataphysics*, modelo OCA15EC, utilizando o método da gota séssil (*Sessile Drop*). Foram utilizados os três protetivos e preparadas soluções de água Milli-Q variando o pH entre 3 e 11. Três gotas de 1  $\mu\text{L}$  de cada solução foram depositadas sobre superfícies polidas de amostras dos minerais moldadas em resina epoxídica e seus ângulos de contato foram coletados.

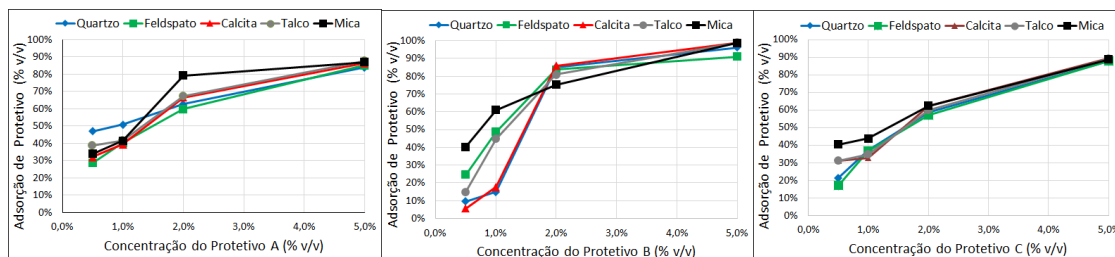
#### 3.3.3 Análise da Tensão Superficial dos Protetivos

A tensão superficial foi analisada por meio de um goniômetro *Dataphysics*, modelo OCA15EC, empregando-se o método da gota pendente (*Pendant Drop*) em ar. Foram analisadas as tensões superficiais das amostras de diferentes pH e protetivos, utilizadas para o ângulo de contato.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Adsorção dos Protetivos pelos Minerais por Espectrofotometria

As figuras 2, 3 e 4 representam as interações entre os minerais e os protetivos A, B e C, respectivamente. O aumento da concentração promoveu uma maior adsorção na superfície de todos os minerais. No entanto, é possível observar que o protetivo B apresenta maior poder de adsorção, uma vez que em 2% de diluição já consegue atingir cerca de 90% de adsorção na superfície dos minerais. No que tange ao protetivo A, observa-se que na mesma diluição de 2%, chega-se a cerca de 70% de adsorção para os minerais, porém com maior destaque para a mica onde a adsorção chega a valores em torno de 80%. Por fim, o protetivo C apresenta o pior desempenho, chegando-se a no máximo 60% quando está diluído à 2%. O melhor desempenho da mica na adsorção pode ser explicado pelo fato dela ser um filossilicato, com uma estrutura lamelar, facilitando a interação com os protetivos por meio das interações entre silício, alumínio e ferro. Sua estrutura deixa os hidrogênios dispostos nas extremidades, enquanto os oxigênios ficam no interior das lamelas, interagindo entre si por interações eletrostáticas. A calcita, aparentemente apresenta uma boa interação com os protetivos, pois os pares de elétrons livres dos oxigênios dos carbonatos favorecem a interação com os protetivos. Estudos de Barbutti e Ribeiro (2014) já apontavam que os minerais, mica e calcita, apresentavam melhores desempenhos de adsorção com alguns protetivos. No entanto, necessita-se de uma avaliação por meio de ângulo de contato para verificação desse processo de interação mineral/protetivos.

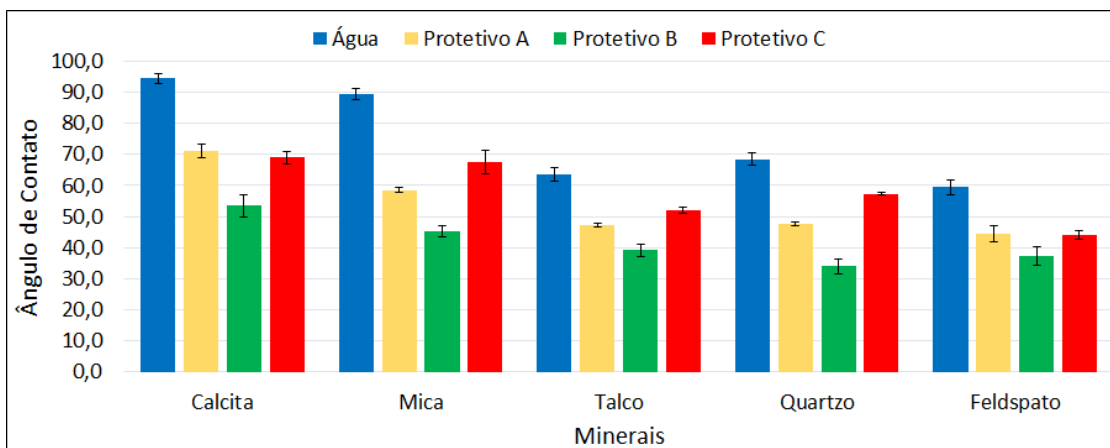


**Figura 2:** Adsorção do protetivo A x Concentração. **Figura 3:** Adsorção do protetivo B x Concentração. **Figura 4:** Adsorção do protetivo C x Concentração.

### 4.2 Avaliação da Interação por Ângulo de Contato

A figura 5 apresenta os valores médios de ângulo de contato de cada solução nos minerais amostrados. Segundo estudos de Lima e Luz (2007), Monte e Peres (2004) e Anderson (1986), uma superfície é considerada mais polar e hidrofílica se seu ângulo de contato com a água apresentar valores inferiores a  $90^\circ$ , como quartzo e feldspato, e hidrofóbica e menos polar se apresentar valores próximos ou superiores a  $90^\circ$ , como calcita e talco. A variação de pH não promoveu alterações efetivas nos ângulos de contato da água. Nela, calcita e mica apresentaram os maiores ângulos de contato e um maior caráter hidrofóbico, com cerca de  $92^\circ$  e  $90^\circ$ . O valor hidrofóbico encontrado para a mica está associado ao plano (110), uma vez que o plano (100) é hidrofílico e apresentou ângulos próximos a zero, impossibilitando uma análise coerente. O plano (110), no entanto, garante a representatividade da amostra, visto que é possível analisar todas as lamelas simultaneamente. O talco está dentro do intervalo esperado de ângulo de contato, entre  $60^\circ$  e  $90^\circ$  (FUERSTEAU et al, 2007). Após a adição de uma gota dos protetivos, foram observadas reduções nos ângulos de contato, com o protetivo B apresentando os menores ângulos, seguido do protetivo A. Os minerais calcita e mica apresentaram ângulos de contato hidrofóbicos, e o protetivo B foi o responsável pela maior redução destes ângulos, de cerca de  $92^\circ$  e  $90^\circ$  para  $53^\circ$  e  $45^\circ$ , respectivamente. Inicialmente, estes resultados sugerem que os protetivos aumentam a hidrofilicidade das superfícies. No entanto, uma vez que os agentes de proteção são emulsões aquosas, os valores estão dentro do esperado. Espera-se que, após a etapa de cura, para polimerização das resinas e evaporação da água na emulsão, os ângulos de contato passem para valores hidrofóbicos. Estes dados, portanto, corroboram os resultados de espectrofotometria, onde se pode verificar que o protetivo B tende a interagir melhor com as amostras minerais em solução aquosa, principalmente com as duas citadas.





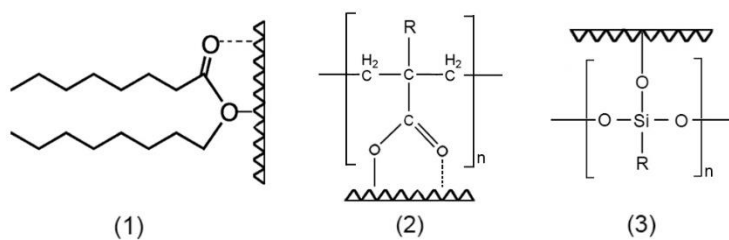
**Figura 5:** Ângulos de contato dos minerais com água e protetivos A, B e C, respectivamente.

### 4.3 Avaliação da Interação por Tensão Superficial

A tensão superficial apresentada pela água foi de cerca de  $74 \text{ mN.m}^{-1}$ , enquanto os agentes de proteção A, B e C apresentaram, respectivamente,  $41,2 \text{ mN.m}^{-1}$ ,  $34,4 \text{ mN.m}^{-1}$  e  $42,9 \text{ mN.m}^{-1}$ , corroborando novamente com os resultados encontrados para ângulos de contato. O protetivo B apresentou a menor tensão superficial, o que explica seus ângulos de contato notavelmente menores na superfície dos minerais enquanto emulsão aquosa. O protetivo A exibiu uma tensão superficial ligeiramente inferior à do protetivo C, ainda de acordo com os resultados vistos anteriormente. Protetivos com menores tensões superficiais tendem a promover melhores interações com as superfícies minerais, devido a um maior espalhamento que eleva a probabilidade de interação entre o composto químico ativo e a superfície a ser preservada.

### 4.4 Caracterização dos Protetivos por Infravermelho

Os resultados de infravermelho permitiram idealizar moléculas representativas dos protetivos A, B e C, exibidas na Figura 5. A molécula do protetivo A apresenta uma extensa cadeia carbônica que eleva a hidrofobicidade do material tratado e um grupamento éster, onde os oxigênios, com pares de elétrons livres, conseguem realizar ligações intermoleculares com os minerais. O protetivo B apresenta um poliéster, onde os oxigênios, que estão pouco impedidos, podem interagir com as estruturas minerais de forma similar ao protetivo A, enquanto a extremidade oposta garante a hidrofobicidade da superfície protegida. Por fim, o protetivo C pode ser representado por um polímero de alcoxissilanos, onde embora haja um oxigênio podendo interagir com seus pares de elétrons livres, há impedimento estérico proveniente dos oxigênios próximos a ele e pela cadeia polimérica como um todo. Durante as etapas de polimerização do protetivo C, a formação de ligações Si-O-Si adicionará uma camada similar à sílica na superfície rochosa a ser tratada, introduzindo uma camada artificial mineral de proteção, o que, em alguns casos, pode ocasionar em resultados menos expressivos.



**Figura 5:** Representação hipotética dos protetivos A (1), B (2) e C (3) e suas respectivas interações com uma superfície rochosa.

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados, é possível concluir que rochas ricas em micas e calcita tendem a apresentar melhores resultados para protetivos comerciais. Os três protetivos adicionam camadas orgânicas à superfície, alterando sua hidrofobicidade. Os maiores níveis de interação foram obtidos por meio do protetivo de menor tensão superficial, que também garantiu os menores ângulos de contato com a superfície, auxiliando no seu espalhamento e consequente interação com a superfície a ser tratada antes do processo de criação do filme polimérico. No trabalho em questão, o protetivo B tende a ser o mais indicado. Assim, mediante análise prévia, é possível selecionar o agente de proteção mais adequado para aplicação e preservação do monumento pétreo, evitando o uso de produtos que possam, por ventura, afetar suas propriedades até de modo irreversível.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela infraestrutura, a todos os colaboradores da CATE, ao Grupo de Fenômenos Interfaciais (GRIFIT) do PEQ/COPPE e ao CNPq pelo apoio financeiro.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, W. **Wettability Literature Survey - Part 2: Wettability Measurement**. Conoco Inc., 1986. 17p.

BARBUTTI, D. S. e RIBEIRO, R. C. C. **Estudo da interação de protetivos e minerais no restauro de monumentos pétreos**. XXII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, Brasil, 2014. 4p.

FERRI, L. et al. Study of silica nanoparticles – polysiloxane hydrophobic treatments for stone-based monument protection. **Journal of Cultural Heritage**, v. 12, p.356-363, 2011.

FUERSTENAU, M., JAMESON, G., YOON, R. **Froth Flotation - A Century of Innovation**. Society of Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 2007. 891p.

LIMA, R. M. F.; LUZ, J. A. M.. Medida de ângulo de contato. **Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2007. p. 491-503.

MONTE, M. B. M e PERES, A. E. C., **Química de Superfície na Flotação**. Capítulo 9, CT 2004-187-00, Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios Pág.339a 340, 2004.

ÖZTÜRK, I. **Alkoxysilanes consolidation of stone and earthen building materials**. 1992. 214 p. Tese (Mestrado) – Programa de Graduação em Preservação Histórica, Universidade da Pensilvânia, Pensilvânia (Estados Unidos).

# AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DEVIDO À POSSÍVEL AÇÃO MICROBIANA

**Marcelo De Luccas Dourado**

Aluno de Graduação da Engenharia de Alimentos, 6º período, UFRJ

Período PIBIC/CETEM: fevereiro de 2015 a julho de 2015

[mdourado@cetem.gov.br](mailto:mdourado@cetem.gov.br)

**Andrea Carmadela de Lima Rizzo**

Orientador, Engenheira Química, D.Sc.

[arizzo@cetem.gov.br](mailto:arizzo@cetem.gov.br)

**Roberto Carlos da Conceição**

Co-orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.

[rcarlos@cetem.gov.br](mailto:rcarlos@cetem.gov.br)

## Resumo

As rochas ornamentais podem ser expostas a diferentes mecanismos de intemperismo, sejam eles físicos, químicos ou biológicos. Este último pode ser o mais importante, dado que os ambientes rochosos propiciam substratos para as mais variadas classes de microrganismos, entre eles bactérias, fungos e actinomicetos, que excretam substâncias que podem agir sobre a superfície dos monumentos. O objetivo deste trabalho foi realizar coleta, isolamento e identificação preliminar dos microrganismos presentes nas fachadas do complexo arquitetônico do Mosteiro de São Bento, Rio de Janeiro. A coleta e isolamento realizado resultou na seleção prévia de 70 microrganismos, sendo 29 fungos filamentosos, 30 bactérias, 7 actinomicetos e 4 leveduras. Embora esta seleção possa esclarecer algum possível mecanismo de ataque do monumento, ainda se faz necessária a identificação por espécies dos microrganismos para saber quais metabólitos estão atuando de forma a aumentar a biodeterioração do local. Posteriormente, pretende-se avaliar os efeitos da propagação microbiológica e da sua conseqüente influência no processo de alterabilidade de rochas ornamentais, bem como propor um mecanismo de proteção contra o crescimento e desenvolvimento de colônias microbiológicas neste monumento.

**Palavras chave:** biotecnologia, rochas ornamentais.

## Abstract

Weathering in stone-based monuments can be by physical, chemical or biological factors. The last one could be the most important mechanism, because these stone-based environments provide substrates to many classes of microorganisms, such as bacteria, fungi, filamentous bacteria and yeasts. These microorganisms can produce organic acids and they attack the surface of the stone. The aim of this work was collect, isolate and identify the microbiological community that dwell in the stone surface of the Mosteiro de São Bento, Rio de Janeiro. The isolation and identification results were about 70 microorganisms, which are fungi, bacteria, yeast and filamentous bacteria. Although this selection may clarify any potential attack on the Mosteiro's rock surface, it is still necessary to identify the species in order to know what metabolites contributes to the local biodeterioration. In a second time, we intend to study the interaction between the microorganism and the rock and to propose a protection that will stop the microbiological growth in this stone-based monument.

**Keywords:** Biotechnology, stones and cultural heritages.

## 1. INTRODUÇÃO

O Complexo Arquitetônico do Mosteiro de São Bento, fundado em 1590 por monges vindos da Bahia, é um bem pétreo tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Nele, estão localizados o Colégio e a Faculdade São Bento, bem como o claustro dos monges beneditinos e a Igreja Nossa Senhora de Montserrat, reconhecida por ser um dos poucos locais que ainda perpetuam tradições da Igreja Medieval, como o canto gregoriano e missas rezadas em latim (<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/823>).

Localizado próximo à Praça Mauá, no Centro da Cidade do Rio de Janeiro, sua fachada é composta por gnaisse, uma rocha metamórfica composta por três minerais: feldspato, mica e quartzo. O primeiro caracteriza um grupo mineral constituído de alumino silicatos de potássio, sódio e cálcio. Já o segundo se refere a um grupo de minerais constituídos por silicatos hidratados de diversos metais, cristalizado no sistema monoclinico, com diferentes composições e propriedades físicas. Por fim, o terceiro se refere a fase estável da sílica a temperatura ambiente.

As rochas ornamentais podem ser expostas a diferentes mecanismos de intemperismo, sejam eles físicos, mecânicos, químicos ou biológicos. É importante ressaltar que este bem pétreo foi construído numa região próxima ao mar, com intenso tráfego de veículos automotivos e ação constante de ventos e chuvas. Nesse sentido, as fachadas do monumento encontram-se bastante deterioradas em função do intemperismo físico e químico que atuam no Mosteiro.

O intemperismo biológico, ou biodeterioração, é considerado um mecanismo secundário de degradação das superfícies rochosas, apesar de alguns artigos relatarem este mecanismo como primário (BECKER et al., 1994). Geralmente a biodeterioração ocorre porque os outros ataques de agentes erosivos permitiram que naquele ambiente houvesse a deposição de matéria inorgânica ou orgânica como nutrientes básicos para o complexo crescimento microbiano.

Algumas classes/famílias de microrganismos são capazes de residir na superfície das rochas. Entre eles, destacam-se as bactérias, os fungos filamentosos, alguns tipos de leveduras, os actinomicetos, além dos líquens. Eles são capazes de utilizar, como substrato, os compostos inorgânicos presentes nas rochas a fim de obter energia para desempenho de suas atividades vitais (BECKER et al., 1994). Consequentemente, é possível de ocorrer a geração de metabólitos que atuam sobre a superfície dos monumentos (EHRLICH, 2009).

Um exemplo é a geração de ácidos orgânicos sobre rochas de carbonato. Com a colonização por microrganismos, é possível que haja a produção de ácidos e, assim, o mineral será dissociado, liberando íons livres sobre a superfície da rocha (EHRLICH, 2009). Estes íons, por sua vez, estarão sujeitos a reagir com outros compostos presentes na atmosfera local, contribuindo, assim, para a corrosão do monumento. Além disso, as modificações causadas por microrganismos também incluem a alteração do diâmetro do poro das rochas bem como a possibilidade do aumento e propagação das trincas já existentes no material, além de alterações estéticas das fachadas. Deste modo, é necessário buscar algum mecanismo que seja capaz de diminuir significativamente a deterioração deste bem pétreo.

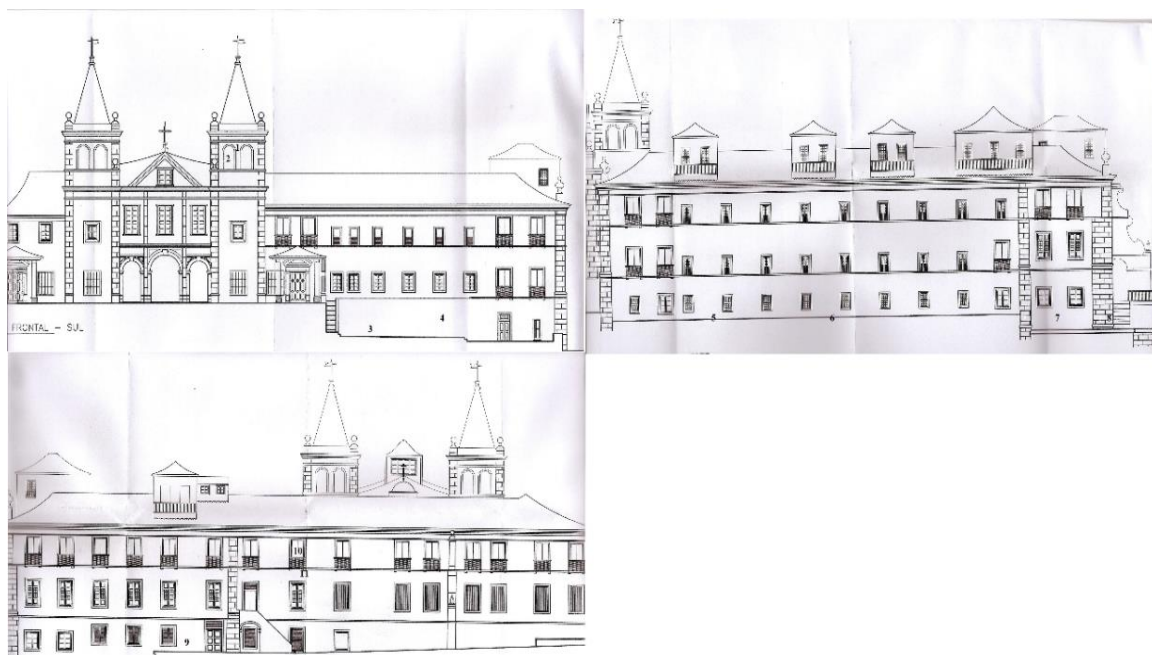
## 2. OBJETIVOS

Coletar, isolar e pré-identificar as populações microbianas presentes nas rochas ornamentais que compõem o complexo arquitetônico do Mosteiro de São Bento.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Pontos de Coleta

Na figura 1, reproduz-se a planta do Mosteiro de São Bento, localizado no Centro da Cidade do Rio de Janeiro, Brasil. Os locais da coleta microbiológica foram identificados por números nas plantas, reproduzidas abaixo.



**Figura 1:** Planta do Mosteiro. Da esquerda para direita e da linha superior para inferior: Fachada Frontal, Fachada Lateral Direita, Fachada Posterior.

Os pontos de coleta foram determinados por observação visual das fachadas. Coletou-se material nos seguintes pontos: Imagem do Cristo no jardim interno, Fachada Posterior, em dois pontos distintos; Fachada Lateral Direita, em três pontos diferentes; Fachada Frontal; Fachadas Frontal e Lateral Direita da Torre do Campanário; Sinos; Balcão 8 da Fachada Posterior em três pontos distintos, bem como o ornamento localizado imediatamente abaixo dele.

#### 3.2 Amostragem

Com o auxílio do swab, coletou-se o material biológico dos pontos acima identificados. Em seguida, espalhou-se o material sobre os meios de cultura. Para cada ponto coletado, o material foi inoculado em placa contendo meio TSA e/ou meio BDA, em duplicatas. O meio TSA (Caldo de Triptona de Soja) é um meio altamente nutritivo e versátil, normalmente utilizado para crescimento de bactérias. Já o meio BDA (Batata Dextrose Agar) é o meio comumente empregado para a cultura de fungos.

#### 3.3 Isolamento

Em laboratório, as placas foram mantidas em estufa a 30°C, por 4 dias. Ao final desse tempo, foi possível observar o crescimento de diversas colônias de microrganismos. A avaliação do crescimento microbiano foi visual, sendo selecionados os morfotipos diferentes presentes nas placas. Após a seleção das colônias, procedeu-se ao esgotamento por estrias no meio sólido correspondente (TSA ou BDA).

### 3.4 Identificação

Após o período de crescimento dos isolados (cerca de 4 dias), realizou-se o registro fotográfico das principais placas e as mesmas foram visualmente identificadas por famílias com o auxílio da equipe do Laboratório de Microbiologia Industrial da Escola de Química da UFRJ.

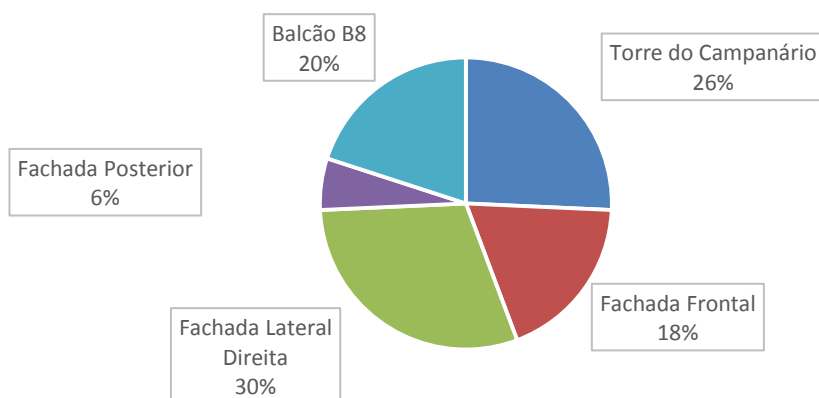
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo, foram identificados 70 microrganismos, dos quais 29 são possíveis fungos filamentosos, 30 são possíveis bactérias, 4 são possíveis leveduras e 7 são possíveis actinomicetos. A distribuição dos microrganismos coletados pode ser sumarizada na Tabela 1.

Além disso, também foi gerado um gráfico de setores, indicando os locais com maior proliferação microbiana (Figura 2).

**Tabela 1:** Distribuição das famílias microbianas por local de coleta

Local de Coleta	Fungos	Bactérias	Leveduras	Actinomicetos	Total	Porcentagem
Torre do Campanário	6	1	-	1	18	26
	4	2	-	-		
	2	2	-	-		
Fachada Frontal	-	2	-	-	13	18
	5	3	1	2		
Fachada Lateral Direita	1	2	-	1	21	30
	-	2	-	-		
	4	1	-	-		
Fachada Posterior	5	3	1	1	4	6
	1	3	-	-		
Balcão B8	-	3	-	-	14	20
	-	3	1	-		
	-	3	-	-		
	1	-	1	2		
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>70</b>	<b>100</b>



**Figura 2:** Quantidades relativas de microrganismos encontrados em cada local de coleta.

De acordo com o Gráfico 1, podemos perceber que os locais com maior proliferação microbiana foram na fachada lateral direita, na torre do campanário e na fachada frontal, confirmando, portanto, a observação feita *a priori* dos locais “críticos”. Cada localidade apresentou uma quantidade absoluta de microrganismos isolados, sendo eles fungos, bactérias, leveduras e actinomicetos. As possíveis famílias de microrganismos encontradas são explicadas pela flexibilidade da exigência nutricional de tais microrganismos, somado a capacidade de lidar com flutuações na temperatura, umidade

e pressão osmótica bem como a escassez nutricional, uma vez que as condições locais não são homogêneas durante o ano (BECKER et al., 1994).

Como ainda não foi realizada a identificação por espécies dos microrganismos, sabe-se apenas que eles podem ser classificados em organotróficos, uma vez que todos os microrganismos isolados apresentaram crescimento num meio próprio para cultivo de heterotróficos totais e/ou fungos, cuja principal fonte de carbono em ambos é um composto orgânico (DUNLAP et al., 2010). No entanto, não se deve descartar a presença de organismos autotróficos nos ambientes avaliados, necessitando de uma avaliação complementar sobre o metabolismo de cada microrganismo isolado.

Além disso, é possível que alguns dos microrganismos isolados sejam produtores de ácidos orgânicos, uma vez que, na literatura, encontram-se registros destes tipos de microrganismos residindo em rochas nos climas subtropicais (BECKER et al., 1994). Ao excretar os ácidos orgânicos, o gnaiss fica sujeito à dissociação, gerando, então, íons cálcio livres. Devido à grande quantidade de compostos derivados de enxofre presente no local, o cálcio livre reage com os compostos de enxofre e, assim, o gnaiss se transforma em gipsita ( $\text{CaSO}_3$ ). Os dois minerais citados apresentam propriedades físicas diferentes, o que pode contribuir para uma fragilização das fachadas externas do monumento.

## 5. CONCLUSÃO

Embora esta seleção possa esclarecer algum possível mecanismo de ataque do monumento, ainda se faz necessária a identificação por espécies dos microrganismos para saber quais metabólitos estão atuando de forma a aumentar a biodeterioração do local. Em uma segunda etapa, pretende-se estudar os efeitos da propagação microbiológica, e da sua conseqüente influência no processo de alterabilidade das rochas ornamentais presentes neste bem tombado pelo IPHAN, bem como buscar alternativas tecnológicas visando a proteção do monumento contra a ação biodeteriorativa dos microrganismos.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e ao apoio da equipe do Laboratório de Biotecnologia do CETEM, à professora Selma Gomes do Departamento de Engenharia Bioquímica (DEB/UFRJ), chefe do Laboratório de Microbiologia Industrial, que nos auxiliou no nosso processo de identificação preliminar das culturas microbiológicas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, T.W.; KRUMBEIN, W.E.; WARSCHEID, Th.; RESENDE, M.A. Investigations into Microbiology. **Project IDEAS: Investigation into Devices against Environmental Attack on Stones – A German-Brazilian Project.** p.147-186, 1994.

EHRlich, H.L.; NEWMAN D.K. **Geomicrobiology.** 5ª.ed. Boca Raton: CRC Press, 2009. 606p.

DUNLAP; MANDIGAN; MARTINKO. **Microbiologia de Brock.** 12ªed. Editora: Artmed. 2010.

<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/823> acessado em 25/06/2015 às 12:56.

# AValiação DA DEGRADAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS PELO USO DE PRODUTOS DE LIMPEZA

**Gabriela Fernandes Lacerda**

Aluna de Graduação de Engenharia Química 7º período, UFRJ,  
Período ESTÁGIO/CETEM: agosto de 2013 a julho de 2015

[glacerda@cetem.gov.br](mailto:glacerda@cetem.gov.br)

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.

[rcarlos@cetem.gov.br](mailto:rcarlos@cetem.gov.br)

## Abstract

The restoration process of stony monuments involves several steps, among them the cleaning system. Several problems are found in rocks that require cleaning with, for example, black crusting, graffiti, oxidations.... To remove some of these dirt is used a process called plaster, consisting in using together a number of chemicals on the dirt and rock is covered with paper and plastic film. However, even removing dirt, some restaurateurs do not care about the final conditions of rocks. Based on this, the objective of this study was to assess the effect of each compound (sodium bicarbonate, ammonium bicarbonate and EDTA), used in a plaster on the surface of granite and carbonate rocks. For this work, the rocks were evaluated before and after the attack of the mentioned products, by means of determining the porosity, water absorption, colorimetric aspects and microscopic observations. The results indicated that the patch is capable of altering the porosity and absorption values of all rocks, such as Portuguese stone, had altered porosity value of 0.58 to 3.20%. When evaluating the effect of each component found that sodium bicarbonate and EDTA are mainly responsible for these changes, possibly by the formation of new salts containing elements from rocks, explaining that the mass loss and increased porosity and water absorption, characterizing the degradation.

**Keywords:** plaster, ornamental rocks and cleaning .

## Resumo

O processo de restauração de monumentos pétreos envolve diversas etapas, dentre elas o sistema de limpeza. Para remoção de algumas dessas sujidades utiliza-se um processo chamado emplastro, que consiste na utilização em conjunto de uma série de compostos químicos sobre a sujidade da rocha e é recoberto com papel e filme plástico. No entanto, mesmo removendo as sujidades, alguns restauradores não se preocupam com as condições finais das rochas limpas. Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de cada um dos compostos (bicarbonato de sódio, bicarbonato de amônio e EDTA), utilizados em um emplastro, na superfície de rochas graníticas e carbonáticas. Para realização deste trabalho, avaliou-se as rochas, antes e após o ataque dos produtos mencionados, por meio da determinação da porosidade, absorção de água, aspectos colorimétricos e observações microscópicas. Os resultados indicaram que o emplastro é capaz de alterar os valores de porosidade e absorção de todas as rochas, como por exemplo a pedra portuguesa, que teve o valor de porosidade alterado de 0,58 para 3,20%. Ao se avaliar o efeito de cada componente verificou-se que o bicarbonato de sódio e o EDTA são os responsáveis principais por essas alterações, possivelmente pela formação de novos sais contendo elementos oriundas das rochas, explicando-se as perdas de massa e aumento de porosidade e absorção de água, caracterizando-se a degradação das mesmas.

**Palavras chave:** Emplastro, rochas ornamentais, limpeza.



## **1. INTRODUÇÃO**

A limpeza inadequada da superfície de rochas ornamentais pode causar danos irreversíveis como manchamentos, alterações cromáticas, perfurações nas superfícies, dentre outros tipos de degradações.

Os danos causados pelos métodos de limpeza podem ser tanto de natureza química, que se processam na superfície das rochas podendo levar ao consumo de minerais que compõe a rocha e/ou a formação de outros compostos na superfície da mesma, bem como de natureza física ou biológica, causadas por atrito e crescimento de microorganismos (Frasca, 2015).

Estudos realizados por Ribeiro *et al* (2007) para diagnosticar as causas de alteração de um limestone Mondoré aplicado no Shopping Novo Leblon - RJ, como mudanças drásticas na coloração, manchamento e liberação de um resíduo sólido em grande parte da superfície do chão do shopping; indicaram que a utilização de ácido muriático comercial utilizado na limpeza do Shopping foi responsável pela desestruturação da rocha.

Esse tem sido um problema bem recorrente na atualidade e a escolha inapropriada do produto de limpeza gerou danos no chão do shopping causando grande prejuízo financeiro. No entanto, o problema se torna ainda mais sério, quando se tratam de rochas que compõem o patrimônio pétreo tombado pelo IPHAN, que devido a sua importância cultural e histórica não podem ser substituído, causando um prejuízo incalculável para a preservação da história, tornando o estudo e diagnóstico prévio de um método de limpeza e proteção adequados imprescindível para cada tipo de rocha, antes de se iniciar qualquer obra de intervenção nos bens tombados. Atualmente, muitos restauradores utilizam emplastos, ou seja, um conjunto de compostos químicos aplicados na superfície das rochas a serem limpas, que são cobertos com celulose e filme plástico durante cerca de 12h. No entanto, por mais que se observe eficiência na limpeza, deve ser verificar o efeito que esse emplastro pode causar na superfície das rochas.

## **2. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é verificar o efeito de diferentes princípios ativos que compõem o processo de emplastro na superfície de rochas ornamentais silicáticas e carbonáticas.

## **3. Metodologia**

### **3.1 Amostragem**

Foram utilizados 4 tipos de rochas ornamentais : um granito conhecido comercialmente como Granito Juparaná Casablanca, um mármore branco , uma pedra portuguesa e um calcário ornamental, comercialmente chamado Calcário Cariri.

Preparou-se um emplastro em cada uma das rochas, formado por bicarbonato de sódio, bicarbonato de amônio, EDTA e carboximetilcelulose, nas proporções 1:0,8:1:1, como geralmente ocorre em obras de restauração. Além disso, utilizaram-se os seguintes compostos individualmente sobre cada rocha: bicarbonato de sódio, EDTA 10%, e bicarbonato de amônio, Todas as amostras de rochas, com 1 cm<sup>3</sup>, foram submetidas aos produtos durante 12h, sendo posteriormente lavadas com água destilada e caracterizadas como descrito abaixo.

### **3.2 Caracterização das amostras**

#### **3.2.1 Índices físicos**

Este ensaio possibilita a determinação da porosidade e absorção de água das rochas e foi realizado com base na norma ABNT- NBR 12766. O ensaio foi realizado com as amostras de rocha ao natural e após a utilização dos produtos e do emplastro.

### 3.2.2 Aspectos Colorimétricos e Microscópicos

Utilizou-se o aparelho *spectro-guide 45/0 gloss* para realizar as medições de cor das amostras antes e após a aplicação dos produtos. O aparelho fornece os valores de **L** (claro-escuro); **a** (verde-vermelho) e **b** (azul-amarelo). A avaliação microscópica foi realizada em lupa binocular para a determinação de alterações nas superfícies das rochas, após a utilização dos produtos.

## 4. Resultados e discussões

### 4.1 Índices físicos

As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados de porosidade e absorção de água, respectivamente, das amostras submetidas ao emplastro e também a cada um dos compostos químicos individualmente. Pode-se verificar que todas as rochas que sofreram limpeza por meio do emplastro apresentaram variações significativas de porosidade, como por exemplo, o mármore que sofreu um aumento de porosidade de cerca de 0,2% para cerca de 1,4% e a pedra portuguesa que teve um aumento de porosidade de 0,6 para 3,2%. O mesmo comportamento é observado nos resultados de absorção de água onde os valores do mármore, por exemplo, saltam de 0,1 % para 0,6%. Tal fato indica que mesmo sendo responsável pela limpeza de bens pétreos, o emplastro causa destruição estrutural da rocha, refletindo nos seus resultados de porosidade e absorção de água. Observando-se os compostos individualmente, pode-se verificar que a ação individual do bicarbonato de amônio não afeta significativamente os resultados de porosidade e absorção de água das rochas. No entanto, observa-se que o EDTA e o bicarbonato de sódio são responsáveis em atacar a superfície das rochas, causando alterações nos resultados de porosidade e absorção de água. O granito, por exemplo, após ataque de bicarbonato de sódio, tem o valor de porosidade aumentado de 0,74% para 1,02% e a pedra portuguesa, por exemplo, de 0,66% para 1,20%. Já quando são atacadas com EDTA observa-se um aumento de 0,70% para 1,20% no granito e 0,60% para 1,30% para a pedra portuguesa. Aparentemente, o EDTA parece causar um efeito de degradação nas rochas maior que o bicarbonato de sódio.

**Tabela 1:** Valores de porosidade (%) das rochas antes e após reação com os produtos de limpeza.

Produtos	Granito		Mármore		Pedra portuguesa		Calcário Cariri	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Bicarbonato de sódio	0,74	1,02	0,33	0,52	0,66	1,20	8,93	13,04
EDTA	0,70	1,20	0,32	0,40	0,60	1,30	9,01	13,00
Bicarbonato de amônio	0,72	0,78	0,28	0,30	0,65	0,65	9,33	9,45
Emplastro	0,62	1,05	0,21	1,38	0,58	3,20	9,23	13,00

**Tabela 2:** Valores de absorção de água (%) das rochas antes e após reação com os produtos de limpeza

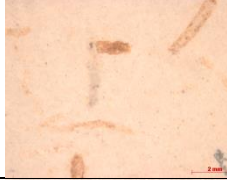
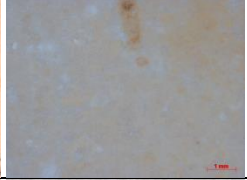

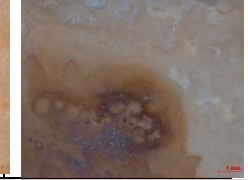
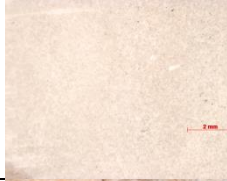

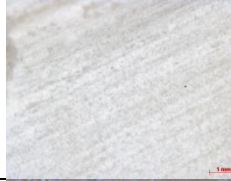

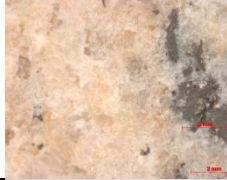




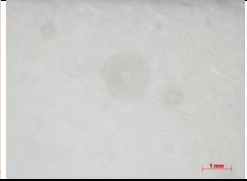


Produtos	Granito		Mármore		Pedra portuguesa		Calcário Cariri	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Bicarbonato de sódio	0,27	0,37	0,13	0,21	0,28	0,38	4,11	5,79
EDTA	0,26	0,60	0,10	0,10	0,20	0,50	5,00	6,00
Bicarbonato de amônio	0,28	0,25	0,23	0,23	0,23	0,20	5,13	5,40
Emplastro	0,25	0,4	0,09	0,56	0,21	1,18	5,3	6,6

Na figura 1 apresenta-se uma representação esquemática do processo de emplastro, onde bicarbonato de sódio, bicarbonato de amônio e EDTA reagem com a superfície a ser limpa das rochas, sendo o carboximetilcelulose (CMC) o meio para que a reação ocorra. As alterações observadas, causadas especificamente com bicarbonato de sódio e EDTA, podem estar relacionadas com a formação de um sal de sódio durante o processo de interação com a rocha, sendo o ânion oriundo da rocha, explicando-se a perda de massa e aumento de porosidade e absorção de água. No que se refere ao EDTA, observa-se um agente complexante polidentado, sendo capaz de não só limpar a superfície da rocha, mas também retirar cátions e/ou ânions de sua estrutura, explicando-se as variações de porosidade e absorção de água. Já o bicarbonato de amônio é um composto muito instável e seus elementos dissociados, possivelmente não conseguem realizar as interações como ocorre nos outros reagentes.



### 4.3 Avaliação em Lupa Binocular

Na Tabela 4 pode-se verificar o aspecto geral das rochas antes e após a realização dos diferentes métodos de limpeza por meio de avaliação em lupa binocular. As imagens corroboram os resultados apresentados anteriormente, verificando-se alterações na superfície das rochas após a realização do emplastro, da ação de bicarbonato de sódio e EDTA. Como a superfície das rochas não sofreu alterações com bicarbonato de amônio, não foram apresentadas tais imagens.

Rochas	Antes	Emplastro	Bicarbonato de Sódio	EDTA
Calcário Cariri				
Pedra Portuguesa				
Granito				
Mármore				

**Figura 2:** Aspecto microscópico do Cariri antes e após o emplastro, bicarbonato de sódio e EDTA.

### 5. Conclusões

Pode-se concluir que o tipo de emplastro, formado por bicarbonato de sódio, EDTA e bicarbonato de amônio, comumente utilizado na limpeza de bens pétreos tombados, afeta diretamente a superfície das rochas com aumento considerável nos valores de porosidade e absorção de água. Verificou-se que os principais componentes responsáveis pela degradação das rochas são o bicarbonato de sódio e o EDTA.

### 6. Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro, à CATE e ao CETEM pela infra-estrutura.

### 7. Referências Bibliográficas

- Frasca, M.H.B.O., Rochas Ornamentais – Tecnologia e Patologias, curso de rochas ornamentais, disponível em Sindirochas, 2015.
- Ribeiro, R.C.C., Correira, J. C. G, Caranassius, A., Queiroz, J. P. C; **Estudo de alterabilidade de um limestone de nome comercial Mondorè**, Relatório Técnico 2007/050, CETEM, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

## **AVALIAÇÃO DA ALTERABILIDADE DAS ROCHAS DA FACHADA POSTERIOR DO MOSTEIRO DE SÃO BENTO**

**Raíssa Vieira Lima**

Aluna de Graduação de Engenharia Química 7º período,  
Universidade Unigranrio

Período PIBIC/CETEM: agosto de 2014 a julho de 2015

[rvlima@cetem.gov.br](mailto:rvlima@cetem.gov.br)

**Rosana Elisa Coppedê Silva**

Orientadora, Geóloga, D.Sc.

[rosanacoppede@gmail.com](mailto:rosanacoppede@gmail.com)

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Co-orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.

[rcarlos@cetem.gov.br](mailto:rcarlos@cetem.gov.br)

### **Abstract**

The Rio de Janeiro has important historical monuments that were built during the colonial period with dimension stone. The Monastery of St. Benedict is an example of this type of construction, where the performance of natural and man-made agents affect the physical integrity of the rocks that make up its facade. These rocks are suffering the degradation process, under the influence of exposure to coming salinity Bay of Guanabara and the pollution emitted by vehicles circulating at high Perimeter. Currently, the monastery goes through an internal and external restoration, in order to preserve this important heritage. This study aims to determine the causes for alteration of rocks on the rear facade of the Monastery and evaluation of consolidating and repellents for their restoration and protection. Therefore, tests were conducted to porosity determinations, water absorption, chemical composition by X-ray fluorescence (XRF), mineralogical composition by X-ray diffraction (XRD) and chemical composition of the wash water. The results showed the presence of gypsum causing changes in porosity values around 20% and water absorption about 10 %. These amounts are reduced by the consolidation and waterproofing products used for the restoration of the rocks.

**Keywords:** Monastery of St. Benedict, degradation, restoration

### **Resumo**

O Rio de Janeiro apresenta importantes monumentos históricos que foram construídos no período colonial com rochas ornamentais. O Mosteiro de São Bento é um exemplo desse tipo de construção, onde a atuação dos agentes naturais e antrópicos afetam a integridade física das rochas que compõem a sua fachada. Estas rochas estão sofrendo o processo de degradação, sob a influência da exposição à salinidade vinda da baía de Guanabara e pela poluição emitida pelos veículos que circulavam no elevado da Perimetral. Atualmente, o Mosteiro passa por uma restauração interna e externa, com o intuito de preservar este importante patrimônio. O presente trabalho tem como objetivo determinar as causas de alterabilidade das rochas na fachada posterior do Mosteiro e avaliação de consolidantes e hidrofugantes para seu restauro e proteção. Para tanto,

foram realizados ensaios para determinações de porosidade, absorção de água, composição química por fluorescência de raios-X (FRX), composição mineralógica por difração de raios-X (DRX) e composição química da água de lavagem. Os resultados mostraram presença de gipsita provocando alterações nos valores de porosidade, em torno de 20% e absorção de água, cerca de 10%. Tais valores são reduzidos com os produtos de consolidação e hidrofugação utilizados para o restauro das rochas.

**Palavras chave:** Mosteiro de São Bento, degradação, restauração.

## 1. INTRODUÇÃO

A história do mosteiro começou em 1590, quando foi doado aos monges beneditinos, que haviam vindo do Mosteiro de São Bento de Salvador em outubro de 1589, um vasto terreno no Centro da cidade do Rio de Janeiro que incluía o atual Morro de São Bento.

As rochas utilizadas como matéria-prima, gnaiss facoidal, granito gnaiss e leptinito, perfazem as molduras das janelas e balcões e foram provenientes do Morro da Viúva, no atual bairro do Flamengo (ALMEIDA; PORTO, 2012).

Sua fachada apresenta aspecto sóbrio e praticamente sem ornamentação, utilizando-se de elementos geométricos simples. É composta em função da separação compartimentada da superfície, onde a alvenaria caiada contrasta com a pedra talhada.

A importância das rochas ornamentais na arquitetura é histórica, sendo utilizada em edificações como elementos estruturais ou como revestimentos internos e externos. Os materiais rochosos usados tendem a modificar e degradar, naturalmente, com o tempo. A degradação das rochas é mais pronunciada em centros urbanos e industriais, pois o ambiente urbano acelera e modifica os processos de alteração desses materiais, ou seja, altera e acelera os processos naturais (FRASCÁ, 2003).

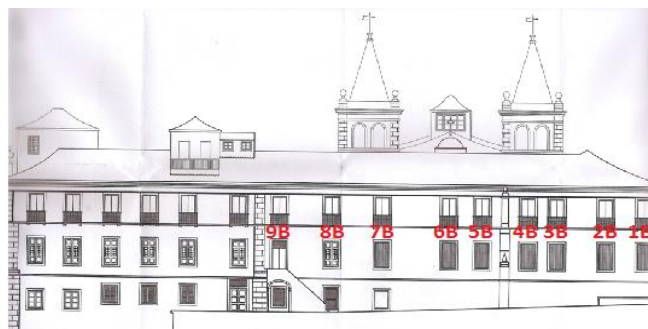
## 2. OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo identificar as causas de alterabilidade das rochas da fachada posterior do Mosteiro de São Bento, bem como verificar a eficácia dos produtos de consolidação e hidrofugação utilizados para a restauração das rochas.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Amostragem

A Figura 1 representa a planta da fachada posterior onde foram coletados pequenos fragmentos de rochas que estavam se desprendendo da parte inferior dos balcões (B). Estas amostras de rochas foram retiradas manualmente com espátulas sendo recolhidas em placas de petri e armazenadas em potes de PP estéril. Foram avaliados também três blocos de rochas que, por sua integridade, foram considerados como rochas sãs para comparação. Utilizou-se o consolidante silicato de potássio diluído em 90% em água aplicado em 3 demãos com intervalo de 3 horas entre demãos. E após 24h, o silicato de etila a 28% foi aplicado em 2 demãos com intervalo de 4h entre demãos. Após a consolidação, foi feita a hidrofugação realizada 2 demãos, com intervalo de 30 minutos e utilizou-se o *Repel'acqua*, incolor à base de silano-siloxano, disperso em água. Foram determinados os valores de porosidade e absorção de água antes e após a consolidação e, em seguida, após a hidrofugação, tanto para rochas sãs e para os fragmentos retirados da parte inferior dos balcões.



**Figura 1:** Fachada posterior

## 3.2 Caracterização das amostras

### 3.2.1 Caracterização química e mineralógica

Para determinação dos elementos químicos presentes nos fragmentos de rochas foram realizadas a técnica de fluorescência de raios-X (FRX) e para determinação dos compostos mineralógicos a técnica de difração de raios-X (DRX).

### 3.2.2 Água de lavagem

Algumas superfícies das rochas de balcões foram lavadas com água deionizada e esfregadas com escova de cerdas macias para recolhimento da água de lavagem. Foram coletadas amostras de pontos com sujidade negra e em pontos com suspeita de deposições salinas. As águas foram então armazenadas em potes de PP estéril e avaliadas por absorção atômica.

### 3.3.3 Índices físicos

Neste ensaio, os corpos de prova foram secos em estufa a 80°C por 24h. Posteriormente, foram pesados em uma balança de precisão, determinando o peso seco. Em seguida, foram submersos em água destilada por 24h e, assim, obtendo-se o peso saturado e o peso submerso. Por meio desses valores, pode-se determinar a porosidade e absorção de água com base na norma ABNT 12.768/92. Este ensaio foi realizado antes e após da consolidação e, novamente, após a hidrofugação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização química e mineralógica

A avaliação mineralógica das amostras da degradação dos balcões por Difração de Raios-X apresentaram: microclina, albita, ortoclásio, quartzo, anortita, muscovita e gipsita. A gipsita pode provir de poluentes das atmosferas urbanas, como enxofre emitido pelos automóveis que circulavam na Perimetral, que ao entrar em contato com a superfície da rocha, geraram ao longo dos anos o sulfato de cálcio provocando a degradação das rochas devido à cristalização da gipsita nas rochas. Entretanto, nas amostras sãs não foi observada a presença da gipsita.

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da análise química dos fragmentos de rochas dos balcões, avaliados por Fluorescência de Raios-X. Nela observa-se o aumento da concentração de CaO, possivelmente relacionada com a formação de um novo mineral, como a gipsita, associado ao teor de SO<sub>3</sub>, que também aumenta, além da diminuição do teor de SiO<sub>2</sub>. Tal fato pode ser observado principalmente nos balcões 3B, 7B e 9B.

**Tabela 1:** Análise Química (%) das amostras desfragmentadas dos balcões

	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*PPC
<b>Balcão 1B</b>	3,1	1,1	15,2	70,9	0,12	3,2	3,1	2,1	0,1	0,9	0,1
<b>Balcão 2B</b>	3,4	1,2	13	61,2	0,13	4,3	3,2	1,8	0,1	1	0,1
<b>Balcão 3B</b>	3,2	0,9	11,7	60,9	0,19	8,8	3,1	6,7	0,1	0,9	3,5
<b>Balcão 4B</b>	3,9	0,5	14,9	74,5	0,11	0,4	3,4	1,2	0,2	0,7	0,1
<b>Balcão 5B</b>	3,8	0,5	14,4	73,0	0,28	0,3	3,4	1,9	0,2	2	0,1
<b>Balcão 6B</b>	3,5	0,6	13,7	66,9	0,29	5,3	3,6	3,7	0,3	1,8	0,1
<b>Balcão 7B</b>	3	0,6	11,6	65,4	0,17	6	3,7	4,1	0,3	1,7	3,3
<b>Balcão 8B</b>	3,8	0,5	14,4	67,5	0,12	4,5	4,5	2,7	0,1	1,1	0,6
<b>Balcão 9B</b>	3,1	0,3	11,9	60,5	0,18	10,5	3,8	5,3	0,1	0,85	3,4

#### 4.2 Água de lavagem

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da análise química da água de lavagem de balcões da fachada posterior. Pode-se verificar que a concentração de sais é bastante intensa, caracterizada pelos altos teores de sódio, cálcio, potássio e cloreto. Tais sais estão relacionados com a ação do sal marinho na superfície das rochas. Além disso, observam-se altas concentrações de sulfato que podem estar relacionadas com a poluição emitida pelos veículos que circulavam na Perimetral, bem como também com a presença da gipsita como determinado na análise mineralógica. A presença dos nitratos pode estar associada à poluição atmosférica.

**Tabela 3:** Análise química (concentração (mg.L<sup>-1</sup>) dos elementos.

	Cl <sup>-</sup>	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
<b>Balcão 1B</b>	88	232,3	33,8	157,2	3,3	71,6	18,1
<b>Balcão 2B</b>	65	433,4	46,1	178,1	4,4	82,7	7,6
<b>Balcão 5B</b>	9,2	527	12,7	148,1	2,6	9,3	7,1
<b>Balcão 6B</b>	73,2	252,6	43,2	141,2	3,1	61,4	21,3
<b>Balcão 8B</b>	5,2	6	0	22,1	1,8	3,8	2,5
<b>Balcão 9B</b>	122	998,3	12,7	132,3	2,9	92,9	27,4

#### 4.3 Índices físicos

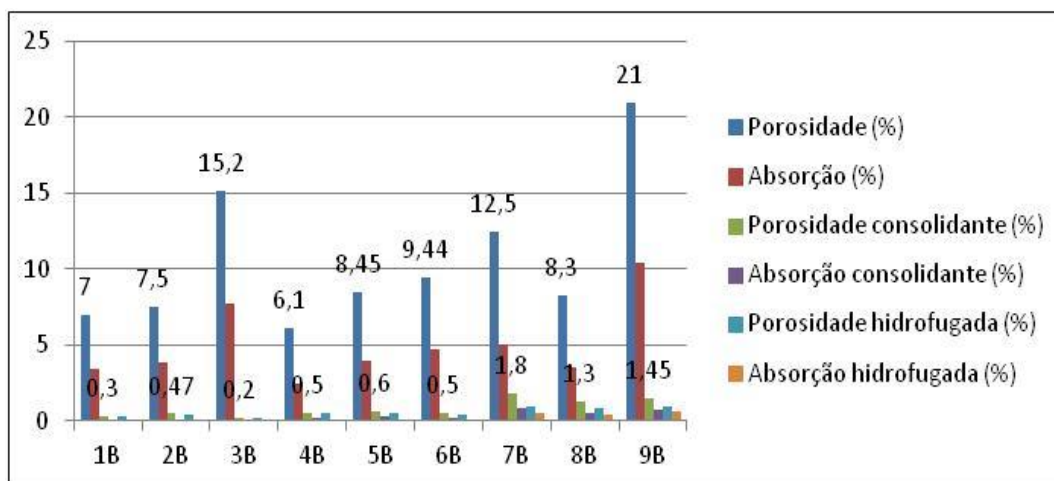
A Tabela 4 apresenta os resultados de porosidade e absorção de água das amostras sãs do Mosteiro de São Bento e a Figura 2 apresenta os resultados dos fragmentos dos balcões, antes e após a passagem de consolidante e hidrofugante. Verifica-se que as três amostras de rochas sãs apresentam resultados adequados, como descritos em Frazão e Farjallat (1995), que recomendam valores inferiores a 1% para porosidade e valores inferiores a 0,4% para absorção de água. Considera-se que a passagem do consolidante e do hidrofugante nas amostras sãs indicaram pequenas diminuições nestes valores, confirmando a integridade das rochas.

**Tabela 4:** Índices físicos das amostras sãs antes e após a passagem de consolidantes e hidrofugantes

Amostras	Porosidade	Porosidade consolidada	Porosidade hidrofugada	Absorção de água	Absorção consolidada	Absorção hidrofugada
<b>Rocha sã 1</b>	0,74	0,63	0,51	0,39	0,24	0,2
<b>Rocha sã 2</b>	0,37	0,33	0,28	0,14	0,14	0,1
<b>Rocha sã 3</b>	0,5	0,2	0,39	0,19	0,1	0,14



A Figura 2 indica que as rochas que compõem os balcões encontram-se com valores de porosidade e absorção de água bastante alterados. Observa-se, por exemplo, que o balcão 9B é o mais alterado, apresentando índices de porosidade em torno de 20% e os outros balcões apresentam valores entre 9% e 15%. O mesmo verifica-se para absorção de água, cerca de 10% para o balcão 9B e entre 3% e 8% para os outros. Esses resultados indicam valores distantes apresentados por Frazão e Farjallat (1995). Após passar o consolidante (silicato de potássio associado ao silicato de etila a 28%) verifica-se que os índices de porosidade e absorção reduzem consideravelmente. Após a passagem do hidrofugante (silano-siloxano) esses valores são reduzidos ainda mais, ficando de acordo com os valores estabelecidos por Frazão e Frajallat (1995).



**Figura 2:** Índices físicos das rochas dos balcões antes e após a passagem de consolidante e hidrofugante.

## 5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que as rochas que compõem a fachada posterior do Mosteiro de São Bento estão sofrendo ação de ataque salino e de deposição de  $SO_2$ . Observou-se que as alterações causadas pelos poluentes mencionados geraram gipsita no interior da rocha, causando degradação dos balcões. A consolidação dos balcões foi necessária e eficiente, o que indicou reduções nos valores de porosidade e absorção de água, conferindo maior vida útil às rochas. A passagem do hidrofugante é capaz de reduzir os valores de porosidade e absorção de água, entretanto o consolidante já havia conseguido realizar essa redução.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, ao CETEM pela infraestrutura e a todos os que contribuíram para a realização deste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, (1992) NBR 12.768/92: **Rochas para revestimento, análise petrográfica**, Rio de Janeiro.

ALMEIDA, S.; PORTO JR. Cantarias e pedreiras históricas do Rio de Janeiro: instrumentos potenciais de divulgação das Ciências Geológicas. **Terrae Didática**, v. 8, 2012, p. 3-23.

FRASCÁ, M.H. **Estudos experimentais de alteração acelerada de rochas graníticas para revestimento**. Tese de Doutorado. IGC-USP. Orientador: Jorge Yamamoto. São Paulo. 281p. 2003.

FRAZÃO, E.B.; FARJALLAT, J.E.S.. Seleção de pedras para revestimento e propriedades requeridas. **Rev. Rochas de Qualidade**. nº 124:8p. 1995. São Paulo.

# **MEDIÇÃO DO DESGASTE ABRASIVO DE RESINA VEGETAL POR MEIO DE ENSAIO TABER**

**Isaias Pereira Seraco**

Aluno de graduação em Engenharia de Produção, 7º período, Faculdade Multivix  
Período PIBIC/CETEM: agosto de 2014 a julho de 2015,  
[iseraco@cetem.gov.br](mailto:iseraco@cetem.gov.br)

**Leonardo Luiz Lyrio da Silveira**

Orientador, Geólogo, D.Sc.  
[leolysil@cetem.gov.br](mailto:leolysil@cetem.gov.br)

## **Abstract**

Although the sector of dimension stones has significant participation in the Brazilian economy, the tailings from the industrial process represent significant environmental liabilities and are under stringent government regulation. In this context, new technologies have emerged in recent years for the replacement of toxic inputs in the process by other ones more environmentally friendly, as the case of polishing wheels composed by polyurethane resin on castor oil base. The use of this resin is the result of studies developed by CETEM - Cachoeiro de Itapemirim, which lead to real potential of employment in the industry of dimension stones (patent INPI number 102012032157-2). Following methodology as used for such work carried out by CETEM, we started a more detailed analysis on the performance of this resin in terms of the wear parameter. The main objective of this study is to measure the resistance to abrasive wear, considering the Taber test, of test pieces made from polyurethane resin from castor oil in different traits. Such assays aim to guide the choice of an optimized combination for the development of an abrasive resinoid, with cutting element silicon carbide. The results revealed that certain specimens exhibited a satisfactory performance.

**Keywords:** Wear, Taber, abrasive.

## **Resumo**

O setor de rochas ornamentais possui participação marcante na economia do país. Entretanto, existem produtos químicos utilizados para as etapas de beneficiamento que podem causar danos ao meio ambiente e à saúde humana. Nesse âmbito, nos últimos anos novas tecnologias surgiram com vista à substituição de insumos tóxicos por outros mais ecológicos. Um exemplo são os rebolos para polimento, oriundos de resina poliuretana à base de mamona. O emprego desta resina na produção de rebolos abrasivos é fruto de estudos realizados pelo CETEM – Cachoeiro de Itapemirim, apresentando resultados que demonstram a real potencialidade de seu emprego, com depósito de patente no INPI sob o número 102012032157-2. Seguindo metodologia já utilizada nos trabalhos do CETEM com tais resinas, verificou-se a necessidade de se realizar uma análise mais detalhada sobre o desempenho da resina em termos do parâmetro de desgaste. O principal objetivo do presente trabalho é medir a resistência ao desgaste abrasivo, de corpos de prova confeccionados com resina poliuretana de

mamona em diferentes traços, por meio do ensaio Taber. Tal ensaio visa nortear a escolha de uma combinação otimizada para o desenvolvimento de um abrasivo resinóide, tendo como elemento de corte o Carbetto de Silício. Os resultados revelaram que determinados corpos de prova apresentaram um desempenho satisfatório.

**Palavras chave:** Desgaste, Taber, Abrasivo.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais apresenta significativa importância na economia do país, possuindo participação marcante na economia do estado do Espírito Santo, uma vez que, segundo Sedes (2011 *apud* LEITÃO, 2015) existem cerca de 1250 empresas responsáveis por 130 mil empregos diretos e indiretos neste setor produtivo no estado. O beneficiamento dessas rochas passa por três etapas principais, sendo elas: a extração dos blocos nas pedreiras, o desdobramento dos blocos através do processo de serragem e, por fim, o polimento, como principal tipo de acabamento superficial, no qual os rebolos abrasivos são a principal ferramenta responsável pela ação de polir. Dentre alguns trabalhos científicos relacionados ao estudo destas etapas de beneficiamento pode-se citar Silveira (2007), Turchetta (2003), Almeida (2014), Camargo (2013), Neves (2010), entre outros. Os rebolos mais comuns para o polimento de rochas ornamentais podem ser divididos em: Magnesianos – composto por um cimento sorel e tendo como elemento abrasivo o Carbetto de Silício (SiC), e Diamantados – apresentando diamante como elemento abrasivo, podendo estar fixado por resina epoxídica ou por pós metálicos sinterizados. Dentre tais abrasivos, os resinóides à base de epóxi são os mais amplamente utilizados e que apresentam maior potencialidade de dano ambiental, uma vez que tais produtos podem conter epícloridrina e bisfenol A. Em contraposição aos abrasivos resinóides epoxídicos, foi desenvolvido no CETEM, Núcleo Regional de Cachoeiro de Itapemirim (NR-ES) um reboło abrasivo à base de resina poliuretana de mamona, que pode representar uma alternativa sustentável e ecológica para o polimento de rochas ornamentais. Esta resina consiste de dois componentes, um poliól e um pré-polímero, que combinados em diferentes proporções irão gerar produtos com propriedades físico-mecânicas distintas. Mais detalhes sobre as características desse composto vegetal, do desempenho dos rebolos confeccionados com tal resina e da metodologia utilizada para sua confecção, podem ser encontrados em Leitão e Silveira (2011), Leitão e Silveira (2012), Leitão e Silveira (2013) e Silveira e Moro (2012). Os testes já realizados com os rebolos confeccionados com resina poliuretana de mamona que tinham o diamante sintético como elemento abrasivo, apresentaram resultados satisfatórios em relação aos valores de brilho e desgaste. Entretanto, os rebolos que continham como elemento de corte o Carbetto de Silício (SiC) não alcançaram resultados tão positivos quanto ao parâmetro de brilho. Essa constatação pode estar associada ao fato de que a relação de dureza entre a resina e o elemento de corte não tenha sido a mais apropriada, o que ocasionou uma diminuição do poder de corte da ferramenta. Logo, observou-se a necessidade de desenvolver uma nova liga resinóide para ser utilizada com SiC, onde a principal característica seria sua resistência ao desgaste menor quando comparada as desenvolvidas até o momento.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é medir a resistência à abrasão de corpos de prova compostos por resina vegetal poliuretana de mamona, preparados com diferentes traços e submetidos ao ensaio Taber.

## 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa é uma continuidade dos trabalhos desenvolvidos no CETEM, no Núcleo Regional de Cachoeiro de Itapemirim (NR-ES), visando o estabelecimento de um traço composicional específico de resina poliuretana de mamona que viabilize a sua utilização em rebolos com o elemento abrasivo SiC. Dessa forma, foram definidas algumas proporções entre os elementos utilizados na fabricação do reboło abrasivo “ecológico”, e foram confeccionados 18 corpos de

prova em forma de discos, com dois diferentes tipos de Polioli, o 442 e 178M. Além disso, em algumas amostras foi acrescentada uma carga de SiC de granulometria 1200 mesh. Nas Tabelas 1, 2 e 3, são demonstradas as diferentes proporções entre os diferentes constituintes, onde CP indica o corpo de prova, com sua respectiva numeração, PP refere-se ao Pré-polímero utilizado e P ao Polioli, sendo que o tipo utilizado é especificado entre parênteses, como 442 ou 178M.

**Tabela 1:** Corpos de prova compostos por polioli 442 sem carga.

Corpo de prova	% de PP	Massa de PP (g)	% de P (442)	Massa de P (g) (442)
CP 1	49	29,4	51	30,6
CP 2	52	31,2	48	28,8
CP 3	50	30	50	30
CP 4	51	30,6	49	29,4
CP 5	55	33	45	27

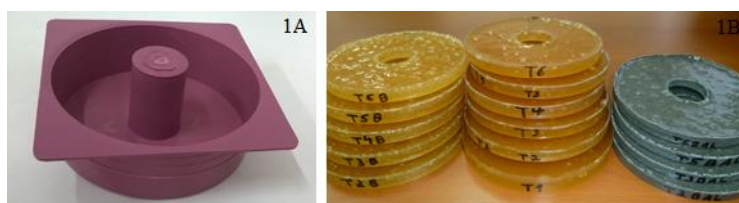
**Tabela 2:** Corpos de prova compostos por polioli 178M sem carga.

Corpo de prova	% de PP	Massa de PP (g)	% de P (178M)	Massa de P (g) (178M)
CP 6	49	29,4	51	30,6
CP 7	52	31,2	48	28,8
CP 8	50	30	50	30
CP 9	51	30,6	49	29,4
CP 10	55	30,6	45	27

**Tabela 3:** Corpos de prova compostos por polioli 178M com carga.

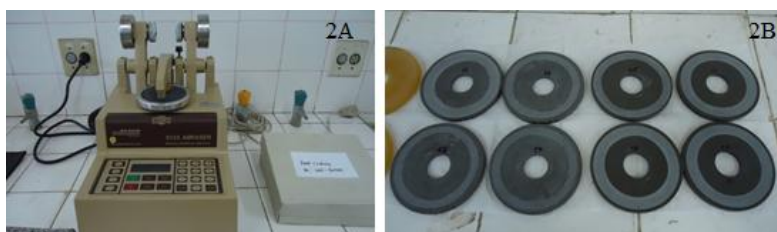
Corpo de prova	% de PP	Massa de PP (g)	% de P (178M)	Massa de P (g) (178M)	% SiC	Massa de SiC (g)
CP 11	49	20,6	51	21,4	30	18
CP 12	52	21,8	48	20,2	30	18
CP 13	51	21,4	49	20,6	30	18
CP 14	55	23,1	45	18,9	30	18
CP 15	56	23,5	44	18,5	30	18
CP 16	58	24,4	42	17,6	30	18
CP 17	60	25,2	40	16,8	30	18
CP 18	62	26	38	16	30	18

Após essa etapa de definição das proporções entre os constituintes, os discos foram confeccionados ao longo de dois meses, seguindo um processo de mistura e posterior envase em moldes apropriados, com dimensões de 95mm de diâmetro externo, 26mm de diâmetro interno e 9,5mm de espessura. A Figura a seguir mostra o molde utilizado (Figura 1A) e os corpos de prova prontos para serem destinados a realização do ensaio (Figura 1B). O teste em questão adotado para a medição do desgaste abrasivo chama-se Taber Test, e consiste em submeter uma amostra a um desgaste abrasivo cujo elemento de corte são dois rebolos padronizados.



**Figura 1:** Molde utilizado para confecção dos discos (1A) e amostras para ensaio Taber (1B).

O ensaio foi realizado em um abrasímetro da marca Taber, modelo 5135 (Figura 2A). Cada disco foi submetido à 2000 ciclos, com 2 Kg de peso adicional (Figura 2B).



**Figura 2:** Abrasímetro Taber utilizado no teste (2A) e os discos já ensaiados (2B).

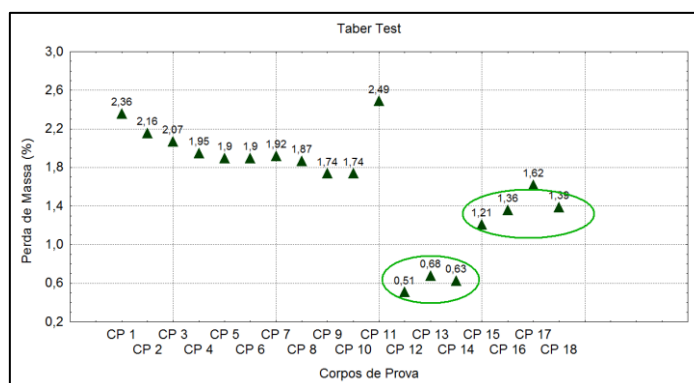
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mecanismo de desgaste que ocorre no processo de polimento de rochas ornamentais é a abrasão. O processo abrasivo ocorre pelo atrito proveniente do contato entre os corpos envolvidos, e pode ser dividido em dois grupos: a abrasão a dois ou a três corpos. Na primeira, o elemento abrasivo fica fixo em uma matriz que inside sobre a superfície a ser polida, enquanto na segunda, os grãos abrasivos ficam livres sobre a área a ser desgastada. O ensaio Taber Test utiliza o princípio da abrasão a dois corpos, que é o mesmo dos processos de polimento de rochas ornamentais, o resultado final é a relação entre a massa inicial e final dos corpos de prova. A seguir, são apresentados os resultados do ensaio Taber para os 18 corpos de prova confeccionados.

**Tabela 4:** Resultados obtidos em ensaio de abrasão Taber, dos corpos de prova de resina vegetal.

Identificação do CP	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Massa perdida (g)	Massa perdida (%)
CP 1	40,51	39,56	0,96	2,36
CP 2	43,11	42,18	0,93	2,16
CP 3	47,7	46,71	0,99	2,07
CP 4	46,18	45,28	0,9	1,95
CP 5	43,68	42,85	0,83	1,9
CP 6	50,34	49,38	0,96	1,9
CP 7	50,44	49,47	0,97	1,92
CP 8	50,52	49,58	0,95	1,87
CP 9	51,78	50,88	0,9	1,74
CP 10	50,95	50,07	0,89	1,74
CP 11	49,77	48,53	1,24	2,49
CP 12	48,31	48,06	0,25	0,51
CP 13	50,98	50,63	0,35	0,68
CP 14	47,2	46,9	0,3	0,63
CP 15	48,33	47,75	0,58	1,21
CP 16	62,73	61,88	0,85	1,36
CP 17	47,44	46,66	0,77	1,62
CP 18	48,29	47,62	0,67	1,39

A Figura 3 mostra um gráfico com os resultados de ensaios obtidos no equipamento Taber Test.



**Figura 3:** Resultados de ensaio dos corpos de prova submetidos ao Taber Test.

O gráfico evidencia que os resultados de resistência à abrasão tem uma íntima relação com a proporções entre o polioliol e o pré-polímero, sendo que, à princípio, quanto menor a quantidade de pré-polímero menor a resistência. Além desse fato é possível notar que as amostras compostas por polioliol 178M apresentaram os menores valores de perda de massa por abrasão. As amostras CP12, CP13 e CP14 apresentaram desgastes inferiores as demais amostras, sendo tais valores próximos aos encontrados em rebolos resinóides comerciais e também nos rebolos diamantados produzidos com resina vegetal de mamona submetidos ao mesmo tipo de ensaio, que é de aproximadamente 0,5% de perda de massa. Observa-se também que as características verificadas nessas amostras estão diretamente ligadas a carga de SiC adicionada a mistura, uma vez que CP7, CP9 e CP10, que também utilizam as mesmas proporções e o mesmo tipo de polioliol, apresentaram valores de perda de massa por abrasão consideravelmente maiores.

## 5. CONCLUSÃO

Foi possível observar que a incorporação do SiC na mistura aumentou consideravelmente a resistência à abrasão. Além disso, dois grupos de valores de perda de massa se destacaram dentre os valores obtidos no equipamento Taber, o que permite abrir dois campos de trabalhos futuros: o desenvolvimento de um abrasivo ecológico com SiC como elemento de corte, a partir de ligas de durezas intermediárias (CPs 15, 16 e 18) e o aprimoramento do traço utilizado no abrasivo ecológico com diamante como elemento de corte a partir da incorporação de SiC como carga, utilizando-se assim menor quantidade de resina, diminuindo assim os gastos com a sua fabricação.

## 6. AGRADECIMENTOS

À empresa Cobral Abrasivos e Minérios Ltda pela realização dos ensaios de desgaste e ao CNPq pela bolsa de iniciação de pesquisa concedida.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, P. **Estudo comparativo do polimento de “granitos” com diferentes tipos de abrasivos**. 2014. 121p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil).
- CAMARGO, J.L. **Influência das propriedades petrográficas no polimento de rochas ornamentais**. 2013. 201p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, São Paulo (Brasil).
- LEITÃO, V.M.F.; SILVEIRA, L.L.L. Principais tipos de rebolos abrasivos utilizados no polimento de rochas ornamentais. In: **XIX Jornada de Iniciação Científica** – CETEM, 2011, Rio de Janeiro, Brasil.
- LEITÃO, V.M.F.; SILVEIRA, L.L.L. Desempenho de reboło abrasivo confeccionado com resina vegetal submetido ao simulador de polimento de rocha. In: **XX Jornada de Iniciação Científica** – CETEM, 2012, Rio de Janeiro, Brasil.
- LEITÃO, V.M.F.; SILVEIRA, L.L.L. Ecoabrasivo: uma nova perspectiva para o setor de rochas ornamentais. In: **XXI Jornada de Iniciação Científica** – CETEM, 2013, Rio de Janeiro, Brasil.
- NEVES, M.C. **Estudo experimental do polimento de diferentes “granitos” e as relações com a mineralogia**. 2010. 115p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil).
- SILVEIRA, L.L.L. **Polimento de Rochas Ornamentais: Um Enfoque Tribológico ao Processo**. 2007. 203p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (Brasil).
- SILVEIRA, L.; MORO, V. Analysis of the Behavior of Abrasive Tool Performed With Alternative Resin Tested in the Polishing Rock Simulator (PRS). In: **Global Stone Congress**, 2012, Borba, Portugal.
- TURCHETTA, S. **Tecnologie di Lavorazione Delle Pietre Naturali**. 2003. 261p. Tese (Doutorado) - Università Degli Studi di Cassino, Italy (Europa).

# GERAÇÃO DE PAPEL BRAILLE UTILIZANDO RESÍDUO DA LAVRA DE PEGMATITOS E POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)

**Natielly Andressa da Silva Souza**

Aluna de Graduação de Engenharia Química – UFRJ

Período PIBIC/CETEM : agosto de 2014 a julho de 2015,

[nasouza@cetem.gov.br](mailto:nasouza@cetem.gov.br)

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Orientador, Eng. Químico, D.Sc.

[rcarlos@cetem.gov.br](mailto:rcarlos@cetem.gov.br)

## **Abstract**

The world has 34 million blind and the big challenge is to make the social inclusion of these people. The papers written in Braille need to have weights higher than those of traditional roles and need to be more resistant to the projections produced them not to wear with time. In this context, it will evaluate the technical feasibility of the production of papers in Braille using high polyethylene density (HPED) and wastes generated within pegmatite mining as reinforcing filler. The residue was characterized by DRX and FRX and composites with 10, 30 and 50% loading, were extruded, injected and subjected to an impact resistance test, tensile modulus and tensile strength. According to the results, the residues generated in the mining pegmatite can be used to generate Braille paper, in concentrations of 10 to 30% by weight of compatibilizer with the use of pegmatite, as have higher elastic deformation, the greater capacity shock absorption and similar moduli of elasticity.

**Keywords:** dimension Stone residues, polymeric composite, paper Braille.

## **Resumo**

Existem no mundo 34 milhões de cegos e o grande desafio é fazer a inclusão social dessas pessoas. Os papéis para escrita em Braille precisam ter gramaturas superiores às dos papéis tradicionais e precisam ser mais resistentes para que as saliências produzidas neles não se desgastem com o tempo. Nesse contexto, será avaliada a viabilidade técnica da produção de papéis em Braille utilizando polietileno de alta densidade (PEAD) e resíduos gerados na lavra de pegmatito como carga reforçante. O resíduo foi caracterizado por FRX e DRX e os compósitos, com 10, 30 e 50% de carga, foram extrusados, injetados e submetidos a ensaios de resistência ao impacto, módulo de elasticidade e resistência à tração. De acordo com os resultados obtidos, os resíduos gerados na lavra de pegmatitos podem ser utilizados para geração de papel Braille, nas concentrações de 10 e 30 %, em massa de pegmatito com uso de compatibilizante, visto que possuem maior deformação elástica, maior capacidade de absorção de choques e módulos de elasticidade semelhantes.

**Palavras-chave:** resíduos de rochas, compósitos poliméricos, papel Braille.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), existem no mundo 285 milhões de pessoas com baixa visão, e dentre elas, 34 milhões de cegos, sendo o grande desafio fazer a inclusão social dessas pessoas. A comunicação escrita para os deficientes visuais é feita através do sistema Braille e o papel para essa escrita deve possuir gramatura superior àquela normalmente usada para a escrita em tinta e deve ser em torno de 120 g/m<sup>2</sup>, para que o relevo do Braille não se apague facilmente. Atualmente, devido ao pouco investimento nesse setor, os deficientes visuais acabam por utilizar papéis já desgastados com o tempo, prejudicando o processo de leitura.

Uma alternativa é a criação de um papel mais resistente e apropriado para a escrita em Braille, para que os escritos sejam mais duráveis e assim haja uma disseminação da ciência através dos mesmos, gerando uma educação inclusiva.

Dessa forma, pretende-se verificar a viabilidade técnica da elaboração de papel polimérico em Braille utilizando cargas minerais reforçantes oriundas de resíduos de rochas pegmatíticas, uma vez que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de rochas ornamentais, gerando toneladas de resíduos mensalmente no meio ambiente.

Estudos de Vieira *et al* (2013) já indicavam a possibilidade de aproveitamento dos resíduos da lavra de quartzitos da região do Seridó como carga no setor cerâmico; E Barboza e Correia (2104) já indicavam métodos de beneficiamento desse tipo de resíduo. Segundo Lima (2007) a aplicação de cargas minerais em matrizes poliméricas aumenta a resistência mecânica dos compósitos e reduzem os custos de produção.

## 2. OBJETIVOS

Geração de papel Braille utilizando resíduos gerados na lavra de pegmatitos como carga reforçante na matriz do Polietileno de Alta Densidade (PEAD).

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Características dos Materiais Utilizados

O resíduo de pegmatito utilizado é oriundo de Junco do Seridó - PB (< 0,037 mm). O PEAD utilizado foi o RIOPOL® EI-60070 com índice de fluidez de 7g/10min. O compatibilizante utilizado foi o PE- AM com índice de fluidez 1,5 g/10min, enxertado com 0,26% de Anidrido Maleico.

### 3.2 Análise Química e mineralógica do Resíduo

A caracterização química do resíduo foi realizada por meio da técnica de Fluorescência de Raios-X (FRX) e a caracterização mineralógica por meio da difratometria de raios-X (DRX), realizadas pela COAM do CETEM.

### 3.3 Composição das amostras

Na tabela 1 estão apresentadas as composições utilizadas para confecção dos corpos de prova de PEAD e resíduo.

**Tabela 1:** Composição dos compósitos

Compósito	Massa de PEAD[phr]	PE-AM[phr]	RP
10 SC	100	0	10
10 CC	100	10	10
30 CC	100	5	30
50 SC	100	0	50
50 CC	100	10	50

phr – partes por 100 partes de polímero; RP – Resíduo de Pegmatito  
SC – sem compatibilizante; CC – com compatibilizante



### 3.4 Extrusão e Injeção

A mistura composta por pellets de PEAD, PE-AM e resíduo de pegmatito foi vertida em um misturador em Y com rotação de 30 r.p.m. durante 30 minutos. Posteriormente, foi extrusada por meio da máquina extrusora dupla-rosca, marca Extrusão Brasil, com L/D=26 utilizando-se as seguintes condições: velocidade de rotação de 200 r.p.m., com zonas de temperaturas compreendidas entre 80°C e 200°C para a confecção do compósito.

Os compósitos preparados foram moldados por injeção em máquina *Battenfeld* modelo *Plus 35*, a 190°C, para a confecção de corpos de prova para avaliação das propriedades mecânicas.

### 3.5 Ensaio de Módulo de Elasticidade

Os ensaios do módulo elástico por aplicação de frequência de vibração longitudinal foram realizados nas amostras injetadas de dimensões 63,5 x 12,7 x 3,2 mm, empregando a técnica de excitação por impulso utilizando o aparelho *Sonelastic® Stand Alone* de acordo com a norma ASTM E1876-07.

### 3.6 Ensaio de Impacto Izod

Os ensaios de resistência ao impacto foram realizados em equipamento de impacto para plásticos, marca EMIC, no modo Izod com pêndulo de 2,7 J de energia nominal. Os corpos de prova foram entalhados a  $2,5 \pm 0,05$  mm de raio de curvatura e ângulo de 45°, em um entalhador acoplado com faca em “V” e analisados segundo a norma ASTM D256-10.

### 3.7 Ensaio de Tração

O ensaio de tração foi realizado utilizando-se máquina universal de ensaios mecânicos, marca EMIC modelo DL3000, com velocidade de separação de garras de 50 mm/min, de acordo com a norma ASTM D638-10.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise Química do Resíduo

A análise química do resíduo indicou teores em torno de 46% de SiO<sub>2</sub> e 40% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, além de baixos teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, cerca de 0,4 %, além de uma perda por calcinação de 12%.

### 4.2 Análise Mineralógica do Resíduo

A análise mineralógica identificou proporções majoritárias dos minerais quartzo, caulinita, muscovita, albita e albita, minerais esses ricos em SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### 4.3 Módulo de Elasticidade

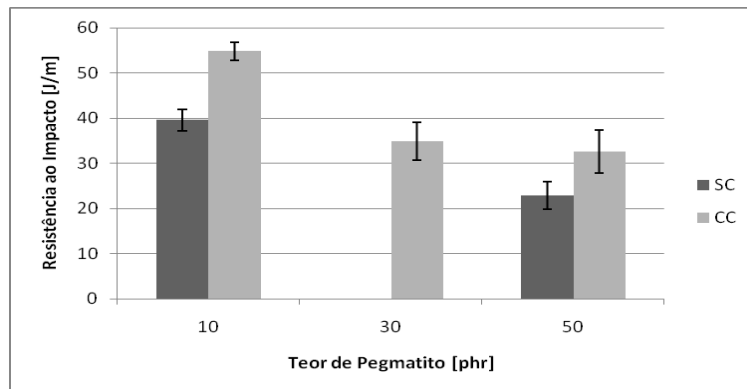
A tabela 2 apresenta os resultados de módulo de elasticidade dos compósitos e as frequências naturais de vibração em que foram determinados. Pode-se verificar que com o aumento do teor de carga mineral o módulo de elasticidade aumenta, indicando que a aplicação dessas cargas minerais aumenta a rigidez dos compósitos, tendo em vista a maior rigidez das partículas de pegmatito frente ao PEAD. Já a adição do compatibilizante reduz os valores de módulo, o que pode ser atribuído a uma melhor dispersão da carga, com a destruição de aglomerados, reduzindo a contribuição das partículas de pegmatito para a rigidez do compósito.

**Tabela 2:** Frequências e módulos de elasticidade de cada compósito.

Compósito	Frequência (KHz)	Módulo de Elasticidade (GPa) do E	Desvio Padrão
10 SC	1,237	1,86	0,04
10 CC	1,155	1,69	0,05
30 CC	1,279	2,33	0,07
50 SC	1,467	3,36	0,09
50 CC	1,340	2,61	0,05

#### 4.5 Resistência ao Impacto

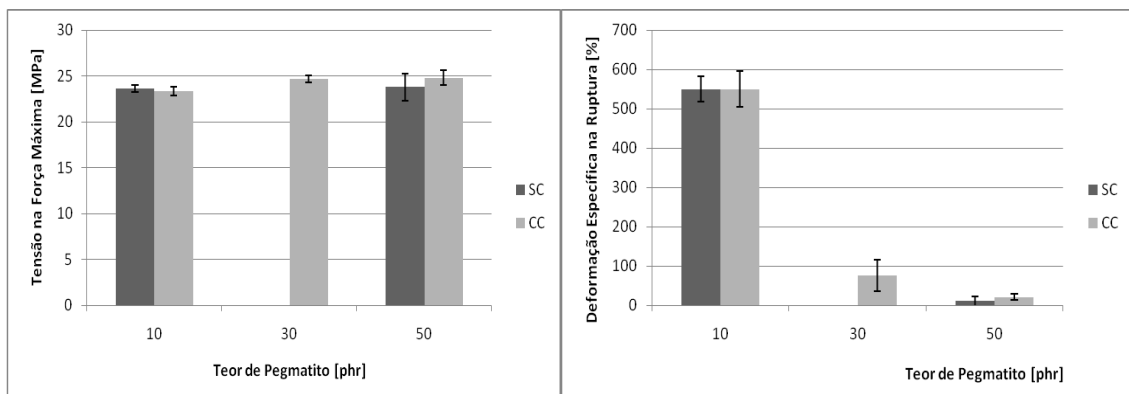
A Figura 1 ilustra o comportamento da resistência ao impacto dos compósitos de acordo com o teor de pegmatito e compatibilizante. Observa-se que o aumento da quantidade de carga diminui a capacidade do material de absorver o choque, de fato tais compósitos são mais rígidos conforme pode ser verificado nos valores de módulo elástico. A adição do compatibilizante contribui para melhoria da resistência ao impacto, sugerindo a sua atuação no sentido de favorecer a dispersão das partículas de pegmatito, reduzindo os pontos de concentração de tensão e aumentando a capacidade do compósito de absorver e dissipar a energia do carregamento instantâneo resultante do choque.



**Figura 1:** Resistência a Impacto [J/m] versus teor de Pegmatito [phr].

#### 4.6 Resistência a Tração

A Figura 2 ilustra a variação da tensão na força máxima com o teor de pegmatito, sendo possível observar que não houve variação significativa com o teor de pegmatito e com a adição de compatibilizante. Por outro lado, observa-se na Figura 3 uma grande redução da deformação na ruptura para o teor de 50 phr de pegmatito. De fato, em ensaios mecânicos com aplicação gradativa da força a deformação é ditada pela matriz termoplástica e teores crescentes de carga mineral (partículas rígidas) diminuem a quantidade de material deformável, assim há uma considerável redução da deformação. Embora, o compósito com o agente compatibilizante tenha reduzido a contribuição negativa da carga para a deformação, os valores obtidos ainda são bem mais baixos do que aqueles exibidos pelo PEAD.



**Figura 2:** Tensão na Força Máxima [MPa] versus teor de pegmatito [phr]. **Figura 3:** Deformação Específica na Ruptura [%] versus teor de pegmatito [phr].

## 5. CONCLUSÕES

A adição de teores crescentes de pegmatito ao PEAD contribui para o aumento da rigidez do compósito, levando a menor capacidade de deformação e resistência ao impacto do compósito.

A adição de compatibilizante em conjunto com o pegmatito favorece a interação carga-matriz em detrimento da interação carga-carga, suavizando a formação de aglomerados da carga, traduzida em menor rigidez, maior capacidade de deformação e resistência ao impacto.

O papel Braille gerado deve apresentar boa deformação elástica, não ser quebradiço e ter boa capacidade de absorção de choques. Portanto, os compósitos mais indicados para fabricação do papel Braille são os de 10 e 30 phr com compatibilizante.

## 6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro; à CATE, CETEM e INT pelas infraestruturas; à Michele Teixeira do CETEM; Maiccon Martins e Renato Oliveira do INT.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOZA, R.P.J.; CORREIA, J.C.G., Aproveitamento dos Resíduos da Lavra e do Beneficiamento de Pegmatitos da Serra de Borborema e do Seridó. In: **XXII Jornada de Iniciação Científica do CETEM**. Rio de Janeiro, 2014.

LIMA, A. B. T., **Aplicações de Cargas Mineraias em polímeros**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo (Brasil). 2007.

VIEIRA, E.V., SOUZA, M. M. e GONZAGA, L.M., Caracterização dos resíduos da lavra de quartzitos da região do Seridó visando a produção de cerâmica para porcelanato, **Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente**, v. 3, n. 1, 2013, ISSN 2179-6203.

**AÇÕES PARA CAPACITAR O CETEM COMO REFERÊNCIA  
LABORATORIAL PARA O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS:  
ESTIMATIVA DE INCERTEZAS NO CONTROLE DIMENSIONAL DE  
CORPOS DE PROVA**

**Daniel Pimentel Tavares**

Aluno de Graduação da Engenharia de Minas, 10º período,  
IFES

Período PIBIC/CETEM: agosto de 2014 a julho de 2015,  
[danielpimenteltavares@gmail.com](mailto:danielpimenteltavares@gmail.com)

**Luciana Marelli Mofati**

Orientadora, Geógrafa, *M.Sc.*

[lmofati@cetem.gov.br](mailto:lmofati@cetem.gov.br)

**Nuria Fernández Castro**

Coorientadora, Eng. de Minas, *M.Sc.*

[ncastro@cetem.gov.br](mailto:ncastro@cetem.gov.br)

**Abstract**

This study, part of CNPq scientific trainee program, was aimed to assist the regional Characterization Laboratory of Ornamental Stones - LABRO of CETEM, in determining measurement uncertainty used for dimensional control samples applied in the execution of technological characterization tests for ornamental stones. This is a requirement for obtaining accreditation tests based on a specific characterization standard, NBR 15845:2010, and also as established in ISO/IEC 17025:2005, standard that specifies the general requirements for the competence to carry out tests and/or calibrations, including sampling. Accreditation is the formal recognition of technical and managerial competence of a laboratory to perform testing or calibration, and in Brazil INMETRO is the body responsible for it. One of the competence requirements is to estimate measurements uncertainties and this study is based on EURACHEM guide / CITAC Guide methodology, which contains the steps to be followed in determining the measurement uncertainty sources and their quantification. The sources of uncertainty in the dimensional control of the samples used in LABRO testings were identified and quantified, and primary results indicates that they were related to being related to digital pachymeter and the repeatability of the measurements taken with him. Also, the relative standard uncertainty found was very small compared to the measured size of the samples.

**Keywords:** accreditation tests, measurement uncertainty, ornamental stones.

**Resumo**

O presente estudo, parte da atuação do bolsista de iniciação científica, teve por objetivo auxiliar o Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais – LABRO do Núcleo Regional do CETEM na determinação de incertezas de medição utilizadas para o controle dimensional de corpos de prova aplicados na execução de alguns ensaios, a fim de cumprir os requisitos mínimos para obtenção da acreditação de ensaios de

caracterização tecnológica de rochas ornamentais executados no LABRO, com base na norma NBR 15845:2010. A acreditação é o reconhecimento formal de competência técnica e gerencial de um laboratório para executar ensaios ou calibração, e no Brasil o INMETRO é o organismo responsável por concedê-la. Os requisitos de competência para laboratórios de ensaio ou calibração estão presentes na norma NBR ISO/IEC 17025:2005, sendo um deles a determinação da estimativa das incertezas do ensaio a ser acreditado. Como base para os procedimentos de cálculo dessas incertezas foi utilizado o guia EURACHEM/CITAC Guide, já que contém as etapas a serem seguidas na determinação das fontes de incerteza de medição e sua quantificação. As fontes de incerteza no controle dimensional dos corpos de prova foram identificadas e quantificadas, estando relacionadas ao paquímetro e à repetitividade das medições realizadas com ele. As incertezas padrão relativas encontradas foram muito pequenas em comparação com o tamanho medido dos corpos de prova.

**Palavras chave:** acreditação de ensaios, incerteza de medição, rochas ornamentais

## 1. INTRODUÇÃO

Com atuação na principal região produtora e exportadora de rocha ornamental do Brasil, o Núcleo Regional do Espírito Santo (NRES) desenvolve projetos relacionados à caracterização tecnológica e alterabilidade destes materiais e seus produtos. O Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais do NRES, o LABRO, está sendo preparado para acreditar ensaios, no âmbito do Projeto FINEP/ABNTROCHAS, intitulado “Apoio à Normalização e Avaliação de Conformidade dos produtos de rochas ornamentais”. Adicionalmente, a acreditação é meta institucional do ciclo de 2011 a 2015 do Plano Diretor do CETEM (item 7.1, diretriz 6, pág. 22), além de respaldar o interesse nacional em ampliar a competitividade externa do segmento de rochas ornamentais e de revestimento.

O reconhecimento formal de competência técnica e gerencial de um laboratório para executar ensaios ou calibração é denominado “acreditação” e se baseia em guias e normas nacionais e internacionais. A acreditação de um laboratório de ensaios é concedida por ensaio para atendimento a uma determinada norma ou a um procedimento desenvolvido pelo próprio laboratório. O organismo autorizado no Brasil para conceder a acreditação é a Coordenação Geral de Acreditação – CGCRE do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO e a norma de referência que contém os requisitos de competência para laboratórios de ensaio e calibração é a Norma NBR ISO/IEC 17025:2005. A acreditação da CGCRE do INMETRO fornece o reconhecimento formal aos laboratórios que comprovam competência em realizar suas atividades, de acordo com os requisitos estabelecidos pela norma NBR 17025:2005, auxiliando, de maneira rápida, os clientes na busca por laboratórios que forneçam resultados confiáveis. Em todo ensaio, experimentação ou medição existe um erro, mesmo que mínimo. Este erro, ou incerteza de medição, é um parâmetro não negativo que, baseado nas informações utilizadas, caracteriza a dispersão dos valores atribuídos ao mensurando (VIM, 2012; EURACHEM, 2012). Calcular esta incerteza é essencial para credibilizar um ensaio, sabendo os intervalos de aceitação dos resultados do ensaio. Porém, buscar uma correta expressão do resultado e uma avaliação ideal e correta do mensurando pode ser até mais importante do que se conseguir uma incerteza cada vez menor (BIMP *et al*, 2008). Assim, o resultado de uma medição só é completo quando acompanhado de uma declaração de sua incerteza. Tendo em vista o exposto, o presente trabalho apresenta os procedimentos realizados para a avaliação das estimativas de incerteza de medição no controle dimensional de corpos de prova do ensaio de Resistência à compressão uniaxial, Módulo de Ruptura (flexão por carregamento em três pontos) e Coeficiente de dilatação térmica linear. As estimativas de incerteza para os ensaios de Flexão por carregamento em três pontos deverão ser refeitas com um paquímetro de leitura mínima de 200 mm, porém o procedimento foi realizado para

treinamento do corpo técnico do laboratório. As incertezas relativas para os Ensaios de Resistência à compressão uniaxial e de Coeficiente de dilatação térmica linear deverão ser complementadas com as demais incertezas do ensaio, para se chegar à incerteza expandida do mesmo, em cumprimento à norma NBR ISO/IEC 17025:2005. Por motivo de escopo, será aqui detalhado apenas o procedimento para o ensaio de Resistência a Compressão, sendo o procedimento idêntico para todos os ensaios analisados.

## **2. OBJETIVOS**

Auxiliar o Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais – LABRO do CETEM na determinação de incertezas no controle dimensional de corpos de prova utilizados na execução dos ensaios, a fim de cumprir os requisitos mínimos para obtenção da Acreditação dos ensaios de caracterização executados no LABRO.

## **3. METODOLOGIA**

No Brasil, a norma que estabelece os métodos de ensaio para rochas ornamentais é a NBR 15485:2010. A norma brasileira NBR ISO/IEC 17025:2005 apresenta os requisitos gerais necessários para comprovação de competência de laboratórios que realizam ensaios ou calibrações, sendo que um desses requisitos é a estimativa das incertezas em cada etapa do ensaio, e que deverá compor o resultado final do mesmo na forma de um intervalo que caracteriza a dispersão de valores que pode ser atribuída ao mensurando (VIM, 2012). Como o LABRO não realizará a amostragem dos materiais a serem ensaiados, e sim o cliente, os procedimentos de ensaio do laboratório serão iniciados após a verificação dimensional desses materiais em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR 15845:2010.

O guia EURACHEM/CITAC está sendo usado como base dos procedimentos de cálculo da estimativa de incertezas nas medições do LABRO, sob orientação de consultoria de especialistas em cálculo de incertezas, sendo considerado como o método mais adequado, de modo a fornecer confiabilidade e rastreabilidade dos dados obtidos, cumprindo assim um dos parâmetros requisitados pela NBR ISO/IEC 1705:2005. Todas as possíveis fontes de incerteza inerentes ao controle dimensional dos corpos de prova foram identificadas e separadas segundo o método mais adequado e quantificadas. A verificação dimensional dos corpos de prova foi realizada para certificar que estes materiais têm suas dimensões dentro de limites estabelecidos pela norma NBR 15845:2010. O anexo E da norma, referente ao ensaio de Resistência à compressão uniaxial, terá o procedimento do controle dimensional descrito neste trabalho.

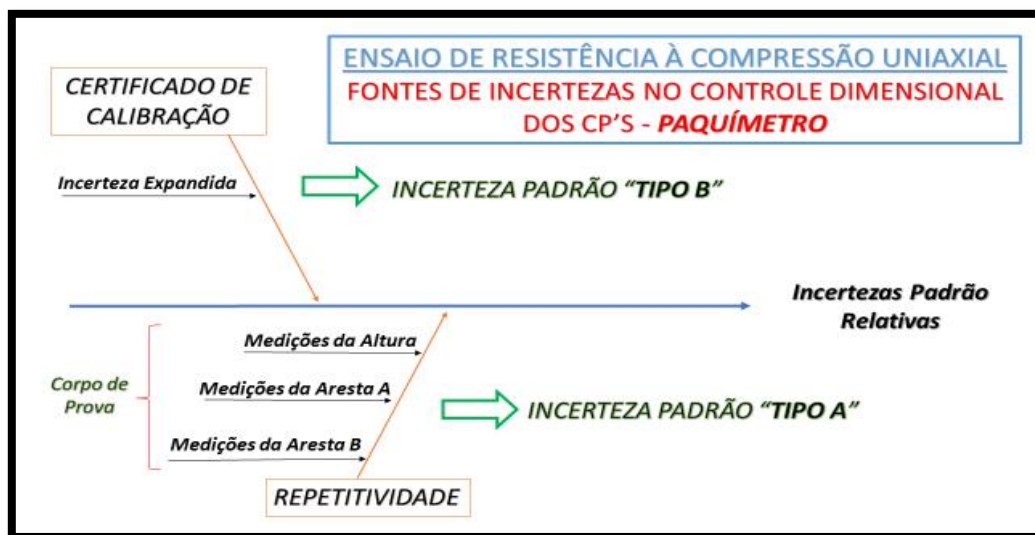
Para essa comprovação, foram utilizados paquímetros calibrados da marca Mitutoyo, modelo 500-171-20B, de leitura de 150 mm. Foi realizada a repetitividade das medições em um corpo de prova aleatório que estava dentro das especificações da norma supracitada, sendo realizadas dez medidas de cada dimensão e calculado o desvio padrão, caracterizando o método Tipo A. Do certificado de calibração do paquímetro obteve-se a incerteza expandida do equipamento, caracterizando uma avaliação Tipo B. Essa incerteza expandida foi dividida pelo fator de abrangência para uma probabilidade de 95% (PEREIRA, 2015), ambos obtidos também do certificado de calibração, o que deu origem à incerteza padrão do equipamento. Futuramente deverá ser realizada a combinação de todas incertezas do ensaio e, com o fator de abrangência já definido de acordo com o intervalo de confiança escolhido, ser calculada a incerteza expandida para o ensaio, que vira juntamente ao resultado final do mesmo na forma de um desvio padrão. As fórmulas dos cálculos utilizados para os métodos Tipo A e B encontram-se na Tabela 1, sendo  $\sigma$  = desvio padrão amostral,  $n$  = número de repetições,  $u$  = incerteza padrão e  $x$  = média do mensurando,  $k$  = fator de abrangência e  $U$  = incerteza expandida.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Como pode ser observado na Figura 1, representando o diagrama de Ishikawa ou “diagrama de causa e efeito”, as fontes de incerteza encontradas no controle dimensional dos corpos de prova foram quanto ao funcionamento do paquímetro e na repetitividade das medições.

**Tabela 1:** Equações utilizadas para a avaliação quantitativa das incertezas pelos métodos Tipo A e Tipo B no controle dimensional de corpos de prova dos ensaios de rochas ornamentais.

ESTIMATIVA DE INCERTEZAS	
MÉTODO TIPO A	$u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
MÉTODO TIPO B	$u = \frac{U}{k}$
INCERTEZA PADRÃO RELATIVA	$\frac{u}{x}$



**Figura 1:** Fontes de incerteza no controle dimensional de corpos de prova do ensaio de resistência à compressão uniaxial de rochas ornamentais.

Fonte: Procedimento Operacional N° 02 do Sistema de Gestão da Qualidade Laboratorial da Coordenação de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas – CATE/CETEM

Ambos os métodos de avaliação da incerteza, seja Tipo A ou Tipo B, são representativos, apesar da diferente abordagem de cada um (BIMP *et al*, 2008). Os valores encontrados resultantes da quantificação das fontes de incerteza, como a incerteza expandida do paquímetro e as incertezas padrão e relativas do paquímetro e das medições encontram-se na Tabela 2.

Apesar de todos os valores encontrados serem consideravelmente baixos em relação ao resultado final, o maior valor encontrado de incerteza foi para a medição da Aresta B, onde ocorreu a maior dispersão de valores em relação à média. Essa incerteza poderá ser diminuída com um maior cuidado no manuseio do equipamento ao realizar as medições e com a correta manutenção do mesmo, sempre seguindo os procedimentos do ensaio e as boas práticas laboratoriais.

**Tabela 2:** Estimativa de incerteza no controle dimensional de corpos de prova do ensaio de resistência à compressão uniaxial de rochas ornamentais. ABNT NBR 15845: 2010 - ANEXO E

AVALIAÇÃO TIPO A - REPETITIVIDADE				
FONTE DE INCERTEZA	MÉDIA DAS MEDIÇÕES - $\bar{x}$ (mm)	DESVIO PADRÃO - $\sigma$ (mm)	INCERTEZA PADRÃO - $u$ (mm)	INCERTEZA PADRÃO RELATIVA - $u/x$
Altura	69,95	0,018973666	0,006	8,57706E-05
Aresta A	71,23	0,053	0,016760072	0,000235296
Aresta B	70,88	0,153375	0,048501434	0,000684249

**AValiação TIPO B - CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO (PAQUÍMETRO)**

<b>FONTE DE INCERTEZA</b>	<b>MÉDIA DAS MEDIÇÕES - <math>x</math> (mm)</b>	<b>INCERTEZA EXPANDIDA – <math>U</math>(mm)</b>	<b>INCERTEZA PADRÃO - <math>u</math> (mm)</b>	<b>INCERTEZA PADRÃO RELATIVA - <math>u/x</math></b>
Paquímetro		0,02	0,01	
Paquímetro/Altura	69,95	-	-	0,000142951
Paquímetro/Aresta A	71,23	-	-	0,000140391
Paquímetro/Aresta B	70,88	-	-	0,000141078

Fator de abrangência:  $k = 2$

## 5. CONCLUSÕES

No presente estudo realizaram-se as etapas iniciais da estimativa das incertezas dos ensaios de Resistência à compressão uniaxial, Coeficiente de dilatação térmica linear e Flexão por carregamento em três pontos. Com a calibração dos demais equipamentos necessários para a realização completa desses ensaios, será possível finalizar a determinação da estimativa de todas as incertezas dos mesmos, sendo possível estimar com precisão suas incertezas expandidas. Dessa forma, será garantido ao Laboratório de Caracterização de Rochas Ornamentais - LABRO do CETEM o cumprimento de um dos requisitos exigidos na norma NBR 17025:2005, auxiliando o laboratório na acreditação dos ensaios propostos, fornecendo, assim, maior confiança e credibilidade nos resultados gerados.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço à orientadora Luciana M. Mofati pelo apoio e orientação, à Thalissa Pizetta e Nuria Castro pela colaboração e dedicação, aos técnicos do LABRO pelo apoio laboratorial, à toda equipe do CETEM-NRES, aos meus pais pelo incentivo e ao CNPq pela bolsa concedida (proc. nº 117150/2014-2).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -. NBR ISO/IEC 17025:2005. **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração**. Rio de Janeiro, Errata 2, publicada em 25/09/2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 15845:2010 Anexo E: Rochas para revestimento – **Determinação da resistência à compressão uniaxial**- Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML (2008). **Evaluation of measurement data - guide to the expression of uncertainty in measurement**. Joint Committee for Guides in Metrology, Technical report, Bureau International des Poids et Mesures, JCGM 100:2008. Primeira versão desse documento referente ao ano de 1995 foi traduzido pelo INMETRO e ABNT, terceira edição brasileira em 2003. Disponível em: <[http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM\\_100\\_2008\\_E.pdf](http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf)>. Acesso em: 20 fev/2015.

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL -. **Plano Diretor 2011-2015**. Disponível em: <[www.cetem.gov.br/documentos/plano\\_diretor\\_cetem\\_2011\\_2015.pdf](http://www.cetem.gov.br/documentos/plano_diretor_cetem_2011_2015.pdf)>. Acesso em: 19 mar. 2015.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA **Avaliação da Conformidade**. Material impresso de divulgação. 5ª edição, maio de 2007.

PEREIRA, O. M. **Treinamento de Incerteza em Medições: Cálculo de Incerteza**. CETEM-NRES. Cachoeiro de Itapemirim, 2015

S. L. R., Ellison & A., Williams. (Eds). Eurachem/CITAC guide: **Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement**, Third edition, 2012. ISBN 978-0-948926-30-3.

Vocabulário Internacional de Metrologia: **Conceitos fundamentais e gerais e termos associados** (VIM 2012). Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012. 94p.



# **NORMATIZAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO PARA ROCHAS ORNAMENTAIS: ANÁLISE PELO MÉTODO DO PÊNDULO BRITÂNICO**

**Letícia Valdo**

Aluna de Graduação em Engenharia de Minas 10º período, IFES  
Período PIBIC/CETEM: agosto de 2014 a julho de 2015,  
[lvaldo@cetem.gov.br](mailto:lvaldo@cetem.gov.br)

**Carlos César Peiter**

Orientador, Eng. Metalúrgico, D.Sc.  
[cpeiter@cetem.gov.br](mailto:cpeiter@cetem.gov.br)

**Nuria Fernández Castro**

Co-orientadora, Eng<sup>a</sup>. de Minas, M.Sc.  
[ncastro@cetem.gov.br](mailto:ncastro@cetem.gov.br)

## **Abstract**

One of the most important properties for the use of stone materials as floorings is the dynamic friction coefficient, since this property is related to safety issues regarding the mobility. The Brazilian sector of dimension stones does not consider, within stones technical standards, a test to determine such coefficient. The aim of this study was to propose the standardization of an essay, by means of the British pendulum method, adapting the European Standard EN 14.231:2003, within the scope of the FINEP/ABNTROCHAS project. The tests executed by measuring the coefficient, as a result of 16 measurements, in 15 specimens each, of 13 types of commercial stones, as determined by statistical analysis of previous results, provided enough data to evaluate the uncertainties associated to the measurements performed. The results showed that this method has good reliability, but further studies are still needed in order to propose its standardization.

**Palavras chave:** Resistance, slip, regulation.

## **Resumo**

Uma das propriedades mais importantes para a utilização de materiais rochosos como revestimento de pisos é o coeficiente de atrito dinâmico, já que essa propriedade está relacionada a questões de segurança quanto à locomoção. O setor brasileiro de rochas ornamentais não considera, no conteúdo de suas normas técnicas, um ensaio normatizado para determinação de tal coeficiente. O objetivo desse trabalho foi propor a normatização de um ensaio pelo método do Pêndulo Britânico adaptando-o da norma europeia EN 14.231:2003, no âmbito do projeto FINEP/ABNTROCHAS. Foram selecionados 13 tipos de materiais comerciais e para cada um deles, foi executado o teste em 15 corpos de prova, fazendo-se 16 medições em cada um desses, o que foi determinado por análise estatística de dados obtidos anteriormente. Foi realizada uma análise estatística dos dados obtidos e avaliação das incertezas das medições. Os resultados deste trabalho mostraram que esse método apresenta boa confiabilidade, precisando ainda de mais estudos e ajustes para ser proposta sua normatização.

**Palavras chave:** Resistência, escorregamento, normatização.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais brasileiro destaca-se por seu volume de produção, de mais de 10 milhões de toneladas anuais, e a considerável variedade de produtos. Para tantas variedades concorrendo mercados nacional e internacional, a necessidade de caracterização tecnológica desses produtos é de fundamental importância, principalmente para aqueles utilizados como revestimento de pisos e fachadas. Uma das propriedades mais importantes para a utilização desses revestimentos como piso é o coeficiente de atrito dinâmico, já que essa propriedade está relacionada a questões de segurança quanto à locomoção. Para Powers e colegas (2007) os custos financeiros associados com quedas deverão exceder 85 bilhões de dólares americanos até o ano de 2020, quando se estima que mais de 17 milhões de quedas que resultam em ferimentos irão ocorrer nos Estados Unidos.

No setor cerâmico, um dos requisitos de conformidade de pisos, sobretudo em ambientes públicos e industriais, é sua segurança ao escorregamento, para evitar acidentes com seus usuários (UENO, 1999). No Brasil, para caracterizar a resistência ao escorregamento de superfícies de pisos cerâmicos a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT recomenda o método de determinação do coeficiente de atrito pelo sistema *Tortus* (ABNT 13.818/1997 - Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios).

O setor brasileiro de rochas ornamentais, entretanto, não considera tal requisito no conteúdo de suas normas técnicas. Por esse motivo, a norma da ABNT 15.575/2013 - "Desempenho de edificações habitacionais", que dita exigências relativas à segurança, - apenas orienta à utilização de sistemas que melhorem ou contribuam para aumentar o coeficiente de atrito, quando se trata de pisos de rochas ornamentais polidas. Já o Comitê Europeu de Normalização - CEN e a Sociedade Americana de Testes e Materiais - ASTM possuem normas específicas para determinação do coeficiente de atrito, por diversos métodos, sendo um deles o método do Pêndulo Britânico, (EN 14231/2003 e ASTM E 303/1993).

No âmbito do projeto ABNT-ROCHAS: "Apoio à normalização e avaliação da conformidade das rochas ornamentais", financiado pela FINEP, que tem como uma de suas metas a elaboração de normas de ensaio de caracterização de produtos de rochas ornamentais, Valdo e outros (2013, 2014) vêm estudando diferentes métodos de determinação do coeficiente de atrito dinâmico para aplicação nesses materiais. Um dos métodos utilizados pelos autores foi o do Pêndulo Britânico. Os autores observaram que sua utilização é simples e que já é um método utilizado, no Brasil, em pavimento asfáltico, por exigência da norma DNIT 112/2009-ES.

O equipamento conhecido como Pêndulo Britânico é o *Portable Skid Resistance Tester*, projetado originalmente na década de 1940, por Percy Sigler, para medir a resistência ao deslizamento de andares em prédios do governo. O departamento de saúde e segurança do Reino Unido (HSE, 1999) afirma que o teste do pêndulo é o método preferido por eles e pelos Grupos de Resistência ao Escorregamento (UKSRG) e de Rugosidade Superficial (UKSRG) do Reino Unido, pois oferece uma boa reprodução da dinâmica do real deslizamento de pessoas sobre superfícies, tendo demonstrado, ao longo de muitos anos, uma boa correlação entre os resultados do instrumento e incidentes reais de deslizamentos de pessoas. Além disso, outras razões para a grande utilização deste equipamento são relacionadas às questões de praticidade do dispositivo, uma vez que ele é portátil e pelo fato de que o Pêndulo está em conformidade com 26 normas para a determinação do coeficiente de atrito em diversas superfícies.

## 2. OBJETIVOS

Propor a normatização do ensaio de resistência ao escorregamento pelo método do Pêndulo Britânico a partir de adaptações, a serem sugeridas, no conteúdo da norma europeia EN 14.231/2003 mediante aquisição e análise de um significativo volume de dados.

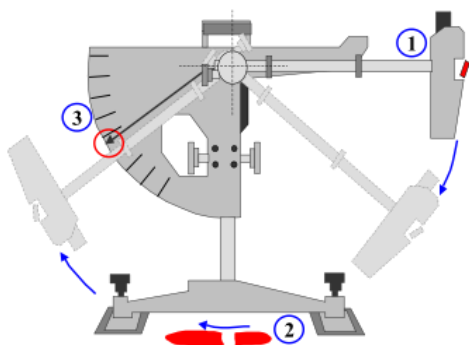
## 3. METODOLOGIA

Foram selecionados 13 tipos de rochas atualmente comercializadas para uso como revestimento de pisos e fachadas no Brasil e no exterior: os granitos comerciais Alaska, Arabesco, Blue Fire,

Crazy Horse, Fiorito, Ocre, Preto Escovado, Suprime, Tiger, Volcano e Volcano Escovado, o Mármore Branco e o esteatito comercializado como Soapstone Black.

O planejamento dos ensaios foi realizado com base em uma análise estatística dos resultados obtidos por Valdo e outros (2014). Os resultados dos autores evidenciaram uma curva normal e com isso foi utilizada, como base, a distribuição normal de frequência. Foi considerado um intervalo de 99% de confiança e o índice "z" de 2,575 para a determinação do número de medições a serem realizadas em cada corpo de prova e também o número de corpos de prova necessário. Assim, para cada tipo de rocha foram definidos 15 corpos de prova e em cada um foram realizadas 16 medições, dando um total de 3.120 medições. Foram definidas duas direções de medição em cada corpo de prova, sendo efetuadas 8 medições na direção 1 e, após girar o corpo de prova 180°, realizaram-se mais 8 medições na direção 2.

Nos corpos de prova foi realizado o ensaio de resistência ao escorregamento pelo método do Pêndulo Britânico utilizando o dispositivo medidor *Portable Skid Resistance Tester* (marca Munro), sendo o ensaio realizado na situação seca e com o dispositivo equipado com a borracha normalizada TRRL (5S). O procedimento de ensaio, ilustrado pela Figura 1 (etapas de 1 a 3), consistiu em posicionar o corpo de prova, medir e registrar a temperatura de ensaio e determinar o comprimento de deslizamento da borracha sobre o corpo de prova. As medições começam quando o braço do pêndulo é liberado a partir de uma posição horizontal (etapa 1), o braço pendular atinge a superfície do corpo de prova com uma velocidade constante (etapa 2). A distância percorrida pelo pêndulo depois de colidir no corpo de prova, é determinada pela resistência de atrito na superfície do corpo de prova. Os valores do coeficiente de resistência ao escorregamento são lidos diretamente a partir da escala graduada (x 100) (etapa 3).



**Figura 1:** Etapas de ensaio do *Portable Skid Resistance Tester* (Pêndulo Britânico).

Com os resultados, foram calculadas as médias, os desvios padrão, as incertezas padrão correspondentes às medições, as incertezas padrão associadas à calibração do dispositivo, e as incertezas combinadas e expandidas. A análise de incertezas aqui conduzida está em conformidade com o Guia para a expressão da Incerteza de medição - GUM 2008 (INMETRO, 2012).

Cada fonte de incerteza pode ser avaliada ou por procedimentos estatísticos, normalmente através do desvio padrão, ou por procedimentos não estatísticos, baseados em observações analíticas, teóricas ou em informações preexistentes. Os procedimentos estatísticos são denominados pelo guia como procedimentos "tipo A", enquanto que os não estatísticos, "tipo B". Procurou-se classificar o método de avaliação de cada uma das fontes de incerteza como "tipo A" ou "tipo B". Para a incerteza "tipo A", a incerteza padrão foi estimada a partir de repetidas medições através do desvio padrão experimental. A incerteza "tipo B" foi estimada a partir de informações disponíveis no certificado de calibração do equipamento. Finalmente, as duas incertezas foram combinadas para se calcular a incerteza expandida aplicando um fator de abrangência  $k=2,97$  para um nível de 99% de confiança e um grau de liberdade igual a  $15-1=14$ .

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

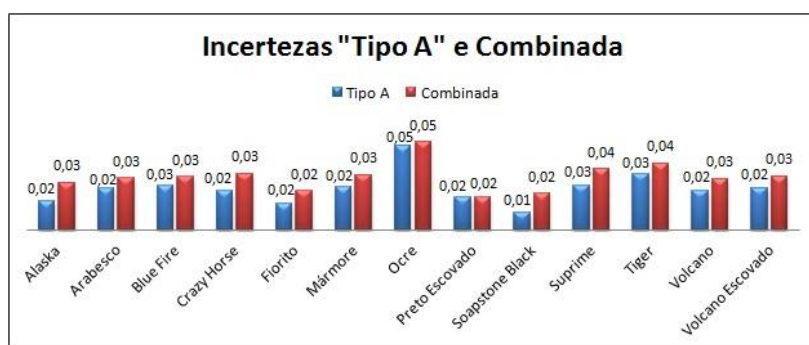
Diante dos dados obtidos do ensaio pelo método do Pêndulo, mostrados na Tabela 1, observa-se que as incertezas "Tipo A", que são relacionadas às fontes de incertezas de repetidas medições,

do operador do equipamento e do próprio material, apresentaram uma homogeneidade nos resultados para os diferentes tipos de materiais e nota-se, ainda, que os valores das incertezas "Tipo A" são demasiadamente pequenos quando comparados com os valores de suas respectivas médias. Nota-se também que a incerteza expandida para todos os materiais apresentou valores baixos e homogêneos. Isso implica que o procedimento de ensaio pelo método do Pêndulo Britânico é bastante confiável.

**Tabela 1:** Resultados do ensaio pelo método do Pêndulo Britânico expressos em valores do coeficiente de atrito x 100 (adimensional).

Nome Comercial	Média	Desvio Padrão	Incerteza "Tipo A"	Incerteza Combinada	Incerteza Expandida $k = 2,97$	Limite Inferior	Limite Superior
Alaska	48,97	3,22	0,02	0,03	0,08	48,83	49,10
Arabesco	59,29	5,56	0,02	0,03	0,09	59,16	59,42
Blue Fire	61,33	6,06	0,03	0,03	0,09	61,21	61,46
Crazy Horse	45,23	4,02	0,02	0,03	0,10	45,07	45,38
Fiorito	62,59	3,69	0,02	0,02	0,07	62,48	62,70
Mármore	52,73	5,08	0,02	0,03	0,10	52,59	52,87
Ocre	72,09	13,65	0,05	0,05	0,15	71,92	72,26
Preto Escovado	54,71	3,99	0,02	0,02	0,06	54,60	54,83
Soapstone Black	57,38	2,29	0,01	0,02	0,06	57,27	57,49
Suprime	43,25	4,28	0,03	0,04	0,11	43,09	43,42
Tiger	50,75	6,35	0,03	0,04	0,11	50,60	50,91
Volcano	54,98	4,87	0,02	0,03	0,09	54,85	55,11
Volcano Escovado	55,77	5,34	0,02	0,03	0,09	55,63	55,90

Ao se comparar a incerteza combinada com a incerteza do "Tipo A" em cada material, pode-se perceber que os valores são próximos, como mostra a figura 2. Tal comprovação implica que a incerteza associada às medições ("Tipo A") tem maior influência que a incerteza associada ao equipamento de ensaio ("Tipo B"). Isso pode ser explicado pela variabilidade natural dos materiais ensaiados, o que é corroborado pelos desvios padrão dos resultados.



**Figura 2:** Incertezas "Tipo A" e incertezas combinadas de cada material.

Diante da observação de que a incerteza devida ao equipamento influencia pouco no resultado da incerteza combinada do experimento, podemos afirmar que os ensaios realizados por esse tipo de dispositivo garantem uma boa confiabilidade em seus resultados e que esse método merece ser mais estudado para que se torne um ensaio normatizado no Brasil. Com intuito de tornar o ensaio mais expedito, pode-se considerar um intervalo de confiança menor do que utilizado para a determinação de números de medições e corpos de prova necessários, pois, normalmente, um intervalo de 95% é suficiente. Nesse caso, bastariam oito corpos de prova e a execução de 10 medições em cada um deles, com base nos dados aqui utilizados. Essa redução implicará em menor tempo de ensaio e diminuirá os custos associados aos corpos de prova.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos revelaram uma homogeneidade nas incertezas relacionadas às medições, as quais apresentaram um valor baixo em comparação às médias. As incertezas expandidas também apresentaram valores baixos e homogêneos, revelando ser um método bastante confiável, o que justifica sua ampla utilização por diversas entidades internacionais. A incerteza associada ao equipamento influencia pouco nos procedimentos de ensaio garantindo uma boa confiabilidade dos resultados por meio do Pêndulo Britânico. Considerando a falta de um ensaio normatizado de determinação do coeficiente de atrito no setor de rochas ornamentais, todas as constatações contribuem para reforçar que este método tem um grande potencial e que possui reais condições de ser incorporado ao conjunto de normas técnicas brasileiras para caracterização de rochas ornamentais com vistas a garantir a segurança além de aumentar a competitividade internacional de seus produtos. Sugere-se diminuir o número de medições e o número de corpos de prova a serem ensaiados, considerando um intervalo de 95% de confiança, e calcular as incertezas associadas às medições e a incerteza expandida do método para uma comparação dessas incertezas entre os níveis de confiança analisados.

## 6 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida. Ao CETEM/NRES, aos meus orientadores, Carlos Peiter e Nuria Castro, aos técnicos, Jefferson Camargo, Pedro P. Pizetta, Hieres V. Silva e Thiago M. Bolonini. Ao professor Carlos Eduardo Ribeiro, Lucas B. Valdo e ao Lucas B. Partelli.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 13.818/1997 - **Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios.**

\_\_\_\_\_ - ABNT NBR ISO/IEC 15.575/2013 - **Desempenho de edificações habitacionais.**

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - BS EN 14.231 - **Natural stone test methods - Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester.** 2003.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DOS TRANSPORTES – Norma DNIT 112/2009 - ES - **Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico com asfalto - borracha, via úmida, to tipo "Terminal Blending" - Especificação de serviço.** 2009.

HSE - HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE - Preventing slips in the food and drink industries: Technical update on floor specifications. Food Information Sheet FIS22 HSE Books 1999

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, **Avaliação de dados de medição: Guia para expressão de incerteza de medição** - GUM 2008, Duque de Caixias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIM, 2012, 141 p.

POWERS, C. et al, - Assessment of walkway tribometer readings in evaluating slip resistance: A Gait-Based approach - **J Forensic Sci**, v.52, n. 2, p. 400-405. março de 2007.

UENO, O. K. - **Avaliação metrológica de um sistema de medição do coeficiente de atrito em pisos cerâmicos** - Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

VALDO, L.; PEITER, Carlos C.; SILVEIRA, Leonardo L. L., - Determinação do coeficiente de atrito dinâmico em superfícies de rochas ornamentais brasileiras submetidas a diferentes tipos de acabamento - In: **XXI Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral** - Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCTI, 2013.

\_\_\_\_\_, - Determinação do coeficiente de atrito dinâmico de superfícies de rochas ornamentais brasileiras ensaiadas no *tilt test* e pêndulo britânico - In: **XXII Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral** - Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCTI, 2014.