

# **Avaliação Geológica das Causas de Alterações em Monumentos Pétreos Tombados**

## **Geological Evaluation of Causes of Alteration in Historical Dimension Stone Monuments**

**Luanna Cavalcanti Rebecchi de Moura**

Bolsista Capacitação Institucional, Geóloga, UERJ

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Supervisor, Engenheiro Químico, D. Sc.

### **Resumo**

O presente trabalho busca relacionar os estados de alteração das rochas que compõe os monumentos pétreos do Rio de Janeiro a fatores que podem contribuir para estes estados a fim de auxiliar na busca de formas para minimizar tais alterações. Foram realizadas visitas técnicas aos patrimônios com avaliações por meio de equipamentos portáteis não-destrutivos. Foram feitas descrições macro dos materiais e dos danos, avaliados sais e sujidades, dureza superficial e colorimetria das peças. As rochas estudadas foram os gnaisses facoidais e os leptinitos ambos com danos diversos. As alterações colorimétricas notadas estão relacionadas ao escurecimento das peças e a perda do brilho. Nas análises de sais foram detectadas concentrações significativas de cloretos (2,80 a 465mg/L), sulfetos (entre 2,40 e 1400mg/L) e sulfatos (0,80 e 1900mg/L). Em relação à dureza os valores estão em torno de 300 HLD. Conclui-se que os principais fatores são a localização do patrimônio, o tráfego de automóveis na região e atividades antrópicas. Limpezas periódicas são recomendáveis, a fim de reduzir a exposição da rocha ao poluente atmosférico depositado e ações para conscientização do público que frequenta os espaços.

Palavras-chave: Rochas ornamentais, ensaios não-destrutivos, gnaisse leptinitico, gnaisse facoidal, monumentos históricos.

### **Abstract**

This paper seeks to relate the various altered states of the dimension stone within Rio de Janeiro's monuments and the factors that may contribute to their present altered state; with the intention of studying the best ways to minimize such alterations. This study required site technical visits to local monuments and the use of portable non-destructive test equipment. The study evaluated salts and dust, surface hardness through equotip 3, a portable spectrophotometers was used to determine a benchmark status of each piece under evaluation, macro descriptions were made of the studied materials and their damage. The dimensional stone studied were augen gneiss and leptinite both with several damages. The color alterations are related to the darkening of the pieces and loss of gloss. There were detected significant concentrations of chlorides (2.80 to 465mg/L), sulfides (between 2.40 and 1400mg/L) and sulphate (0.80 to 1900mg/L). Regarding the hardness values are around 300 HLD. It is concluded that the main factors are the location of the property, car traffic in the region and human

activities. Periodic cleaning is recommended in order to reduce the exposure of rock deposited air pollutant and actions for public awareness that frequents the spaces.

Key words: Dimension Stone, non-destructive analysis, leptinite gneiss, augen gneiss, historical buildings

## **1. Introdução**

As rochas são utilizadas desde os primórdios da humanidade para diversas finalidades, entre elas como materiais de construção e, portanto, foram amplamente empregadas como parte das alvenarias, das cantarias e calçamentos (Cavalcanti, 1950). São compostas por associações minerais e podem ser formadas em ambientes com altas pressões e temperaturas ou acima da crosta terrestre, em condições de baixa pressão (Aires-Barros, 2001). Segundo Aires-Barros (1991), as rochas estão sujeitas a alterações, que podem ser primárias, quando relacionadas aos estágios tardios da consolidação magmática, ou secundárias relacionadas ao ambiente externo, por consequência ao clima. Ainda segundo este autor a alteração de uma rocha é a sua desagregação e decomposição por meio de agentes naturais que a transformam em outro produto, agora em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente em que se encontra. Ele sugere que para as rochas ornamentais as alterações serão condicionadas também pela geometria da construção, seu posicionamento e orientação geográficos, ao microclima ao qual estará sujeita, a superfície exposta e aos fatores antrópicos. Tendo isso pontuado, é possível extrapolar que para a conservação dos patrimônios pétreos tombados é necessário o conhecimento das rochas que os compõe e dos fatores que as alteram, uma vez conhecidas essas informações talvez seja possível encontrar formas de minimizá-los. E para eventuais restauros, as informações relativas a natureza da rocha e suas alterações servirão para direcionar os esforços e buscar intervenções coerentes garantindo a perpetuação da história e a autenticidade do preservado.

## **2. Objetivo**

O presente trabalho busca relacionar os estados de alteração das rochas que compõe os monumentos da cidade do Rio de Janeiro a fatores que podem contribuir para estes estados a fim de antecipar problemas futuros e auxiliar a busca por formas de minimizar tais alterações.

## **3. Material e Métodos**

Os estudos ocorreram na cidade do Rio de Janeiro com visitas técnicas aos patrimônios estudados e avaliações apresentadas por meio de equipamentos portáteis não-destrutivos. No presente estudo para fins comparativos e de ilustração estão contemplados alguns dados do Museu Casa de Rui Barbosa (MCRB), Igreja de Nossa Senhora da Candelária (INSC), Mosteiro de São Bento (MSB) e Museu Nacional da Quinta da Boa Vista (MN).

### **3.1. Descrição das Rochas Estudadas**

Foram realizadas inspeções visuais com registro fotográfico dos patrimônios estudados.

### **3.2. Avaliação Colorimétrica**

As características da cor são definidas por três atributos: o atributo da luminosidade e dois atributos de cromaticidade. Os parâmetros principais são  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , obtidos da escala CIELAB (1976). O parâmetro  $L^*$  representa a luminosidade, que nesta escala varia de zero (preto) a cem (branco). A cromaticidade é representada pela raiz quadrada da soma dos valores de  $a^*$  e  $b^*$  ao quadrado. Quanto mais positivo for o valor de  $a^*$  mais intensa será a cor vermelha, quanto mais negativo maior será a coloração verde. Igualmente o parâmetro  $b^*$  representa a relação entre a cor amarela ( $+b^*$ ) e azul ( $-b^*$ ) (JUDD, 1952). O ensaio foi realizado utilizando-se um espectrofotômetro portátil da marca *BYK-Gardner* para determinação dos valores nos eixos a, b e L. Os resultados de coloração foram interpretados segundo a distribuição espacial das cores, para o presente trabalho foi utilizado um programa de computador que simulou a cor obtida segundo essa distribuição.

### **3.3. Análise de Sais e Sujidade**

As rochas são porosas e, portanto, sua superfície total engloba também vazios internos, isso modifica a relação com a água, já que uma vez enriquecida em sais superficiais ao percolar as rochas pode carrear-los para o interior e ao evaporar permite a recristalização destes, que podem expandir e promover destruições internas. As águas podem também reagir com poluentes atmosféricos, como sulfetos e nitratos, formando chuvas ácidas que ao interagirem com a rocha podem formar gesso, por exemplo. Além disso, a atividade de microorganismo que habitam as superfícies das rochas pode contribuir com os danos, já que muitos são capazes de sintetizar ácidos (nitratos e carbonatos), que atacam o material rochoso (Aires-Barros, 1991). Dessa forma, para a avaliação de sais e sujidades aderidos às superfícies das rochas, algumas superfícies foram lavadas com água deionizada, esfregadas com escova de cerdas macias, armazenadas em potes de polipropileno estéril e enviadas à COAM para averiguação dos íons de interesse por meio de espectrofotometria de emissão ótica com plasma induzido. Foram também realizadas análise de pH nestas amostras para a determinação da acidez/alcalinidade utilizando o pHmetro digital, modelo *Orion 4-Star*.

### **3.4. Dureza Superficial**

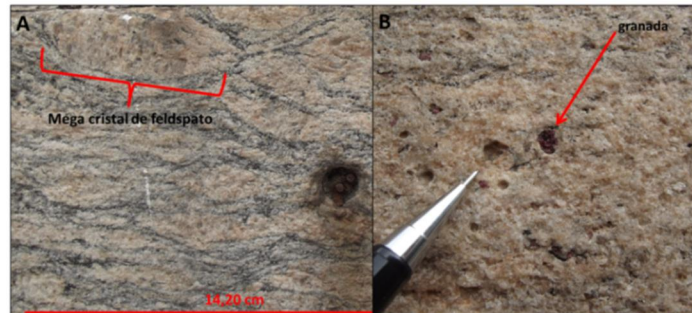
A dureza foi medida pelo método dinâmico de rebote (ASTM A 956). No método de rebote a medição da dureza é feita de forma indireta por meio da perda de energia, chamada popularmente de impacto. A medida de dureza Leeb (nome de seu inventor) ou HL é calculada pela razão entre o impacto e a velocidade de rebote, isto é, do retorno. Foi utilizado um durômetro da marca *Proceq, Equotip3*.

## **4. Resultados e Discussão**

### **4.1. Rochas Estudadas**

O Rio de Janeiro possui construções históricas cujas fachadas e cantarias são compostas, predominantemente, por gnaiss facoidal (facoidal) e/ou leptinito (Almeida & Junior, 2012). O primeiro possui megacristais róseos de feldspato (5,0 a 10,0 cm de comprimento no maior eixo) envolvidos por matriz de biotita e quartzo (Figura 1A), há

ocorrências de granadas. A foliação é evidenciada pelas biotitas que contornam os megacristais dando o aspecto anastomosado típico deste gnaiss, sua tonalidade tende ao escuro, por conta das biotitas. Já o leptinito é uma rocha leucocrática, de granulometria mais fina, composta por quartzo, feldspato, biotita e granada (Figura 1B), a tonalidade predominante é clara, quando exposta ao ambiente tende a ficar amarelado ou bege.



**Figura 1:** Megacristal de feldspato típico do gnaiss facoidal (A); Granulometria mais fina do leptinito (B).

A Figura 1A também evidencia os danos e patologias que os bens da cidade apresentam, durante as visitas técnicas foram constatados como danos mais frequentes as perdas de material, filmes negros, formações de bolhas (muito associadas aos leptinitos), pichações, manchamentos, fezes de animais (pássaros principalmente) e colônias microbiológicas.

#### 4.2. Colorimetria

Por meio das avaliações colorimétricas foi possível observar mudanças nas rochas expostas dos monumentos. Devido a ampla quantidade de dados coletados, para fins de simplificação foram selecionados os valores mais representativos das rochas em estudo nos diferentes locais da cidade e estas foram comparadas as faixas de valores obtidos em laboratório para os mesmos tipos de rochas, estes dados encontram-se apresentados na Tabela 1. Nas Figuras 2 e 3 estão as imagens comparativas da rocha de rochas avaliadas.
















**Figura 2:** Tonalidade bege da parte exposta do leptinito (001) em contraste com a região protegida da peça (002).



**Figura 3:** Tonalidade escura do Gnaiss facoidal (A) em contraste com leptinito (B), fachada da INSC.

Embora pela natureza do gnaiss facoidal as medições pelo aparelho não estejam tão perceptíveis quando apresentadas na tabela, as principais modificações estéticas observadas foram mudança na coloração das biotitas, possivelmente decorrente de oxidação, que passaram a apresentar pontos dourados, e os feldspatos que ao invés de esbranquiçados estavam mais acinzentados, possivelmente pela cobertura por filmes negros. Em relação ao leptinito as diferenças são mais sensíveis, o escurecimento é perceptível e, em campo, foi possível observar os feldspatos mais amarelados, filmes negros e manchamentos ferruginosos tingindo parte dos muitos corpos avaliados.

**Tabela 1:** Colorimetria comparativa.

Local	Rocha	L*	A*	B*	G	Cor correspondente <sup>1</sup>
INSC	Leptinito(001)	51,02	3,94	13,16	0,40	
	Leptinito (002)	64,42	2,30	7,92	0,80	
MCRB	Leptinito	52,82	2,57	12,57	0,43	
MN	Facoidal	48,7	2,61	10,27	0,50	
		66,79	-13,19	25,58	1,20	
	78,69	-1,99	8,35	1,50		
	Faixa para Leptinito (002)	74,25	-15,82	24,82	1,50	
		71,57	4,20	10,29	1,40	
	Padrões de Laboratório	73,90	-0,23	2,30	1,40	
		75,59	-14,03	28,44	1,40	
	Leptinito (001)	51,14	3,85	17,22	1,30	
	Facoidal (002)	67,86	1,09	6,20	1,20	
	Facoidal (001)	49,06	2,85	11,11	0,40	

(001): Rocha exposta; (002): Rocha preservada.

#### 4.3. Sais e Sujidade

As investigações realizadas consideram relevantes principalmente os íons sulfato – (SO<sub>4</sub>)<sup>2-</sup>; sulfeto – S<sup>2-</sup>; cloreto – Cl<sup>-</sup>; nitrato – (NO<sub>3</sub>)<sup>-</sup> e cálcio – Ca<sup>2+</sup>, embora o sódio (Na<sup>+</sup>) também seja avaliado. Outros íons podem ser avaliados pontualmente, mas apenas quando há suspeita de sua presença ou quando são relevantes para a avaliação. As faixas com os resultados obtidos nos monumentos analisados estão apresentados na Tabela 2.

Por meio da avaliação desta tabela pode-se, por exemplo, notar os altos valores de sulfetos e sulfatos encontrados no Mosteiro de São Bento e na Igreja da Candelária. Muito embora a Avenida Perimetral tenha sido implodida no ano de 2015, as décadas de poluentes depositados nas fachadas do Mosteiro persistiram até a atual restauração, ainda em andamento, na qual estão sendo realizadas limpezas adequadas das fachadas. Em relação à Igreja da Candelária, localizada próxima das principais avenidas da cidade, Avenidas Presidente

<sup>1</sup>Pode ocorrer leve alteração de tonalidade durante a impressão deste relatório. A cor correspondente é reportada conforme o calculator CIE-L\*ab. Disponível em: <<http://colormine.org/delta-e-calculator/>>.

Vargas e Rio Branco, as concentrações detectadas podem simbolizar um severo grau de contaminação. Em contraste estão as concentrações detectadas na fachada do Museu Nacional, por exemplo, que sugerem um ambiente menos agressivo e podem indicar que embora não seja ideal, a presença de árvores e o afastamento do monumento em relação à cidade podem minimizar a influência da poluição atmosférica no bem imóvel.

**Tabela 2:** Faixas de Concentração de Sais e Sujidade (mg/L).

Local	Rocha	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	S <sup>2-</sup>	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>
MCRB	Leptinito	3,20 a	2,80 a	16,90 a	2,40 a	6,70 a	n.d. a
		8,90	9,40	83,60	70,60	141,00	4,90
INSC	Facoidal	4,00 a	4,00 a	n.d. a	2,40 a	5,00 a	n.d. a
		30,10	103,00	599,00	1.400,00	1.600,00	745,00
MN	Facoidal	6,00 a	5,20 a	13,60 a	4,70 a	0,80 a	n.d. a
		36,60	49,00	99,50	107,00	270,00	38,00
MSB	Leptinito	3,20 a	3,10 a	109,00 a	47,00 a	266,00 a	n.d. a
		79,00	464,00	204,00	373,00	1.900,00	86,00

(nd): Abaixo do limite de detecção

#### 4.4. Dureza

Na Tabela 3 estão apresentados alguns dos valores médios obtidos nos monumentos visitados, que foram comparados aos obtidos em laboratório. É notável a diferença entre os valores encontrados nos monumentos e os obtidos em laboratório, sem deixar de considerar que as superfícies das rochas em laboratório são planas, e estão em melhor condição de rugosidade do que as superfícies analisadas dos monumentos. Naturalmente que essa rugosidade, aspecto áspero, observado em campo reflete os danos que a rocha vem sofrendo ao longo do tempo, perdas de massa e outras patologias observadas nessas visitas, reflexo de um estado mais alterado das peças expostas.

**Tabela 3:** Dureza comparativa.

Local	Rocha / Mineral	Dureza (HLD)		
INSC	AB6 - leptinito	481	Dureza média (HLD) dos Padrões de Laboratório	
	AB2 - leptinito	364		
MSB	J-09C - leptinito	348		
	J-09B - leptinito	456		
	J-09B - facoidal	474		
MCRB	SJ4- leptinito	245		
	SP5- leptinito	547		

Leptinito (são) = 779  
Facoidal = 779  
Granito = 802  
Mármore Carrara = 490  
Cristal de Calcita = 388  
Cristal de Quartzo = 672

#### 5. Conclusão

As rochas estudadas foram os gnaisses facoidais e os leptinitos, os principais danos são perdas de material, filmes negros, formações de bolhas, pichações, fezes de animais (pássaros principalmente) e colônias

microbiológicas Os valores de dureza sugerem diferentes estados de alteração das rochas. As concentrações detectadas para os sais e sujidade apontam a presença de poluentes que são, historicamente, apontados como os principais agentes de alteração quando na interação água-rochas, como sulfetos e sulfatos. Dentre as medidas para minimizar o problema pode-se apontar limpezas periódicas das superfícies e aplicação de produtos protetivos adequados. Em relação a coloração, era esperado o clareamento das superfícies rochosas por conta da luz do sol, todavia é notável que os filmes negros e o particulado atmosférico vêm interferindo na cor dos monumentos, escurecendo-os. O fator da interação antrópica com as peças avaliadas é de fundamental importância, uma vez que muitos danos observados decorrem do uso inapropriado, principalmente através das pichações e da urina humana, são recomendáveis ações de conscientização e fiscalização. A metodologia que vem sendo empregada aparenta ser satisfatória, mesmo assim está em constante aperfeiçoamento. Os estudos continuam em andamento e mais dados estão sendo obtidos.

## 6. Agradecimentos

Agradeço ao CNPq pelo suporte financeiro, ao CETEM pela infraestrutura e aos meus colegas de trabalho por toda ajuda, conselhos e sugestões, especial agradecimento a Daniele Dalto.

## 7. Referência Bibliográfica

Aires-Barros, L. (1991). *Alteração e Alterabilidade de Rochas*. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica.

Aires-Barros, L. (2001). *As rochas dos monumentos portugueses: tipologias e patologias* (Vol. 2). Lisboa: Instituto Português do Patrimônio Arquitetônico.

Almeida, S., & Junior, R. P. (2012). Cantarias e pedreiras históricas do Rio de Janeiro: instrumentos potenciais de divulgação das Ciências Geológicas. *Terra e Didática*, pp. 3-23.

ASTM. (2012). Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products. *ASTM International*. West Conshohocken, PA, EUA.

Cavalcanti, A. M. (1950). *Tecnologia da Pedra. Monografia*. Rio de Janeiro.

Frazão, E. B., & Farjallat, J. S. (1996). Proposta de Especificação para Rochas Silicáticas de Revestimento. 8º *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia* (pp. 369-380). Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

JUDD, D. B. (1952). Color in business, science and industry. *Journal of the Franklin Institute*, 254, p. 184.