

## **A Geomorfologia Aplicada ao Estudo da Alteração de Rochas Ornamentais em Prédios Históricos na Cidade do Rio de Janeiro.**

José Antonio Baptista Neto<sup>1,3</sup>; Bernard J. Smith<sup>2</sup>; John J. McAlister<sup>2</sup>; Maria Augusta Martins da Silva<sup>3</sup>; Rodrigo C. Abuchacra<sup>3</sup>; André Luiz Carvalho da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. Geografia, FFP/UERJ, [jneto@igeo.uff.br](mailto:jneto@igeo.uff.br)

<sup>2</sup>School of Geography – Queen’s University, Belfast-RU

<sup>3</sup>Dept. Geologia/LAGEMAR, UFF

### **Resumo**

O poder do intemperismo de sal e de poluentes como processo geomorfológico tem sido sugerido tanto com base em investigações de campo como em investigações de laboratório. O sal e a poluição têm sido apontados como os principais agentes de intemperismo de rochas ornamentais em áreas urbanas em todo o mundo. Na cidade do Rio de Janeiro os prédios históricos encontram-se em avançado estado de degradação, onde parte das rochas que compõem a fachada dos mesmos, apresentam-se bem intemperizadas. O objetivo deste trabalho é o de entender os processos de intemperismo nas principais igrejas históricas da cidade do Rio de Janeiro, demonstrando as implicações geomorfológicas do intemperismo em ambientes urbanos. No laboratório foram feitas análises físico-químicas em fragmentos das amostras. Através deste estudo ficou evidente que apesar da proximidade do mar e a sua influencia natural sobre os processos de intemperismo das rochas ornamentais, o intemperismo “antropogênico” associado à poluição ambiental de áreas urbanas exerce forte influência sobre as rochas. Este tipo de intemperismo “antropogênico” atua concomitantemente com os processos naturais, acelerando processos que levariam mais tempo para ocorrerem. A destruição destas rochas em fachadas de prédios históricos, diferentemente, das rochas no ambiente natural, apresenta grandes implicações geomorfológicas, culturais e financeiras.

Palavras-chave: intemperismo de sal, processos geomorfológicos, poluição urbana.

### **Abstract**

The power of salt and pollution weathering as a geomorphological process has now been suggested both on the basis of field investigations as well as in laboratory experiments. The salt and the pollution has been pointed out as one of the main causes of deterioration of stonework in urban areas all over the world. In the city of Rio de Janeiro the historical buildings show symptoms of severe decay. The aim of this paper is to understand the salt weathering processes in the main historical church in Rio de Janeiro city, demonstrating, the geomorphological implications of the weathering in the urban environment. In the laboratory physical-chemicals analyses were carried out in samples fragments. Through this study it was evidenced that despite of the proximity of the sea and its influences on the natural processes of weathering of the stonework, "the anthropogenic" weathering associate with the environmental pollution in urban areas exerts strong influences on the rocks. This type of "anthropogenic" weathering acts concomitantly with the natural processes, speeding up the processes that would take more time to occur. The destruction of these rocks on the historical building façades, differently, of the rocks in the natural environment, presents great geomorphologic, cultural and financial implications.

Keywords: salt weathering, geomorphological processes, urban pollution.

## **Introdução**

O intemperismo das rochas ornamentais em prédios e monumentos históricos é um processo antigo e natural, com o qual, o homem aprendeu a conviver. Contudo, a velocidade deste processo aumentou de forma considerável após a revolução industrial, em função do incremento da poluição da atmosfera urbana. Na atualidade tem havido uma grande preocupação com a conservação de monumentos históricos, onde considera-se que a perda de monumentos antigos para a sociedade, é análoga a perda da história pelo homem (Baptista Neto, 1997). No Brasil, este problema não tem chamado muito a atenção da comunidade, somente na cidade de Ouro Preto, a degradação das obras de Aleijadinho tem atraído mais atenção (Silva & Roeser, 2003), e mais recentemente alguns trabalhos na cidade de Niterói (Smith et al., 2004) e no centro do Rio de Janeiro (Smith et al., 1990; Smith et al. 2004; 2007; Baptista Neto et al. 2006)

Por ter sido a capital do Brasil Colônia, e posteriormente a capital do império, a cidade do Rio de Janeiro apresenta um dos mais importantes complexos arquitetônicos do país, representados por grandes prédios públicos e igrejas. No entanto, pelas condições climáticas da cidade, os altos níveis de poluição, a proximidade do mar e a falta de recursos para conservação, muitos prédios históricos se encontram mal conservados e em alguns casos as rochas ornamentais apresentam-se com grau elevado de intemperismo.

No presente trabalho examinamos as causas e mecanismos que afetam o intemperismo de rochas ornamentais que revestem importantes igrejas históricas na Cidade do Rio de Janeiro. Nos estudos de intemperismo em ambiente urbano, as rochas graníticas e gnáissicas têm recebido pouca atenção. Essas rochas são, contudo, bastante utilizadas como rocha ornamental, por apresentarem boa propriedade mecânica e baixa porosidade, e têm reputação de apresentarem a maior durabilidade, entre os outros tipos de rochas (Lazzarini, 1993; Smith, et al, 2004).

Com o objetivo de se entender os processos de intemperismo que atuam nas rochas ornamentais da grande maioria das edificações, foram realizados vários procedimentos de campo, escritório e laboratório.

## **Metodologia**

Objetivando a caracterização dos principais agentes que afetam o intemperismo das rochas ornamentais das fachadas das Igrejas da cidade do Rio de Janeiro, foram coletadas

amostras de rochas que apresentavam considerável grau de intemperismo. No laboratório as amostras foram submetidas a análises que identificam os principais componentes que podem afetar a rocha.

No laboratório fragmentos das amostras foram analisados através de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo Joel Winsen JSM 6400, com o objetivo de identificar possíveis sais nas rochas e nas crostas. Com o intuito de confirmar a presença de sais na superfície das rochas, foram realizadas análises químicas utilizando-se de um Espectrofotômetro de Absorção Atômica (AAS) que foi usado para detectar e determinar quantitativamente os seguintes elementos: Na, K, Mg, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu e Zn. Amostras da superfície das rochas e das crostas foram moídas em um moinho de ágata e peneiradas em uma peneira de malha de  $63\mu\text{m}$ . Cerca de 2 gramas de cada amostra foram agitadas com 10 ml de água deionizada por duas horas, colocadas para descansar por toda a noite em temperatura ambiente antes de serem centrifugadas e passadas em um filtro de  $0.2\mu\text{m}$  antes da análise. Cada amostra foi analisada pela Cromatografia de íons (IC, Dionex DX 500) para os íons F, Cl,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  e  $\text{SO}_4$ , com limite de detecção para cada íon inferior a 0.5ppm.

### **Caracterização ambiental da área**

A área metropolitana do Rio de Janeiro está posicionada nas proximidades do mar, e, em função desta característica local, apresenta uma grande concentração de umidade atmosférica. Associando-se ainda a atuação de ventos vindos do oceano que propiciam um elevado índice pluviométrico, com chuvas concentradas, principalmente, entre os meses de dezembro e abril, apresentando índices pluviométricos entre 1000 a 1500 mm.

Os níveis de poluição atmosférica foram recentemente revistos por Moreira-Nordemann et al. (1988), eles identificaram elevados níveis de emissão de enxofre na área urbana, sendo a sua maioria depositada localmente como consequência do tipo de vento que predomina nas encostas. Fazendo com que a área apresente um grau de poluição maior do que os centros de São Paulo e Belo Horizonte. A deposição total de enxofre será estimada em  $6\text{gs/m}^2/\text{ano}$  e a concentração média de dióxido de enxofre excede a  $90\text{mg/m}^2$ , esses valores foram encontrados em 5 das 7 estações, onde a composição química da água de chuva medida na Floresta da Tijuca, localizada no centro da Cidade do Rio de Janeiro, mostrou um pH 4.6, no entanto, variando entre 4.16 e 6.05, de acordo com Silva Filho et al. (Moreira-Nordemann, et al., 1988). Nesses estudos, os autores sugerem também uma alta taxa de deposição de sódio ( $2.2\text{ t/km}^2/\text{ano}$ ) e de cloro ( $4.2\text{ t/km}^2/\text{ano}$ ), presumindo-se que eles ocorram na forma de

NaCl originando-se do sal da água do mar. Infelizmente, poucas são as informações disponíveis sobre outros poluentes ácidos, mas Moreira-Nordemann et al. (1988), baseando-se em um estudo realizado pela FEEMA (1985), revelam, uma emissão dos componentes de enxofre dentro da cidade do Rio de Janeiro. E, este estudo também denuncia que 35% da emissão antropogênica à atmosfera são enviadas pelos veículos.

Os elevados níveis de emissão de poluentes dos automóveis são refletidos na aparência física de muitos prédios no centro urbano, onde a intensidade do tráfego é frequentemente canalizada através das ruas, cercada por altos prédios. A poluição tende a concentrar-se e a persistir nesses corredores, sendo o seu efeito, em longo prazo, mais óbvio a partir da presença de uma camada de fuligem em muitos prédios, principalmente à nível da rua. Associada com essa fuligem é possível observar a desintegração granular e esferoidal nas rochas, especialmente, em antigos prédios eclesiásticos e governamentais, que representam os prédios mais bem conservados no centro da cidade (Smith & Magee, 1990).

## **Discussões**

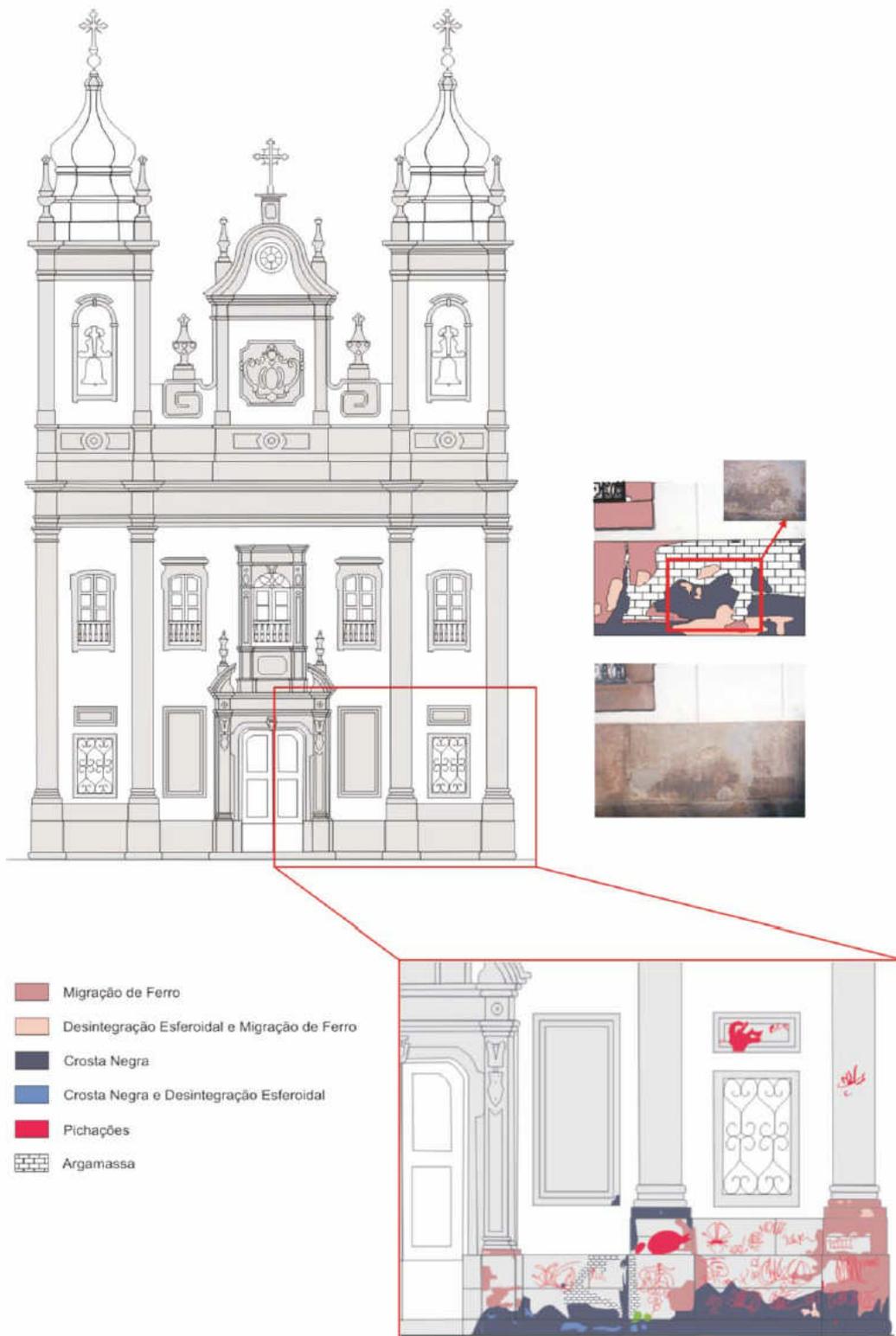
O intemperismo em rochas ornamentais, das construções de diversas partes do mundo, vem sendo pesquisado por cientistas, preocupados com a degradação desses monumentos, portanto buscam-se as causas da alteração acelerada em tais edificações. O ambiente poluído urbano, segundo diversos autores (Smith & Magee, 1990; Fitzner et al., 1995; Smith et al., 2004; Baptista Neto et al., 2006; Smith et al., 2007), contribui para acelerar o intemperismo por apresentar condições favoráveis ao fornecer elementos facilitadores para alteração dos componentes originais da rocha.

Smith & Magee (1990), após um estudo no centro da cidade do Rio de Janeiro, constataram altos níveis de poluentes em suspensão na atmosfera, emitidos principalmente por veículos automotores. Esses resíduos são depositados facilmente nas fachadas de muitas das construções do centro da cidade.

A dificuldade da circulação do ar, imposta por barreiras formadas pelos altos prédios, tende a concentrar a poluição ao longo das ruas, depositando-se nas fachadas dos altos prédios que se integram formando estreitos “corredores”, acarretando com isso, em longo prazo, a formação de uma mancha negra responsável pelo escurecimento das rochas que revestem as fachadas; concentrando-se principalmente próximo ao nível da rua e nas áreas protegidas da chuva.

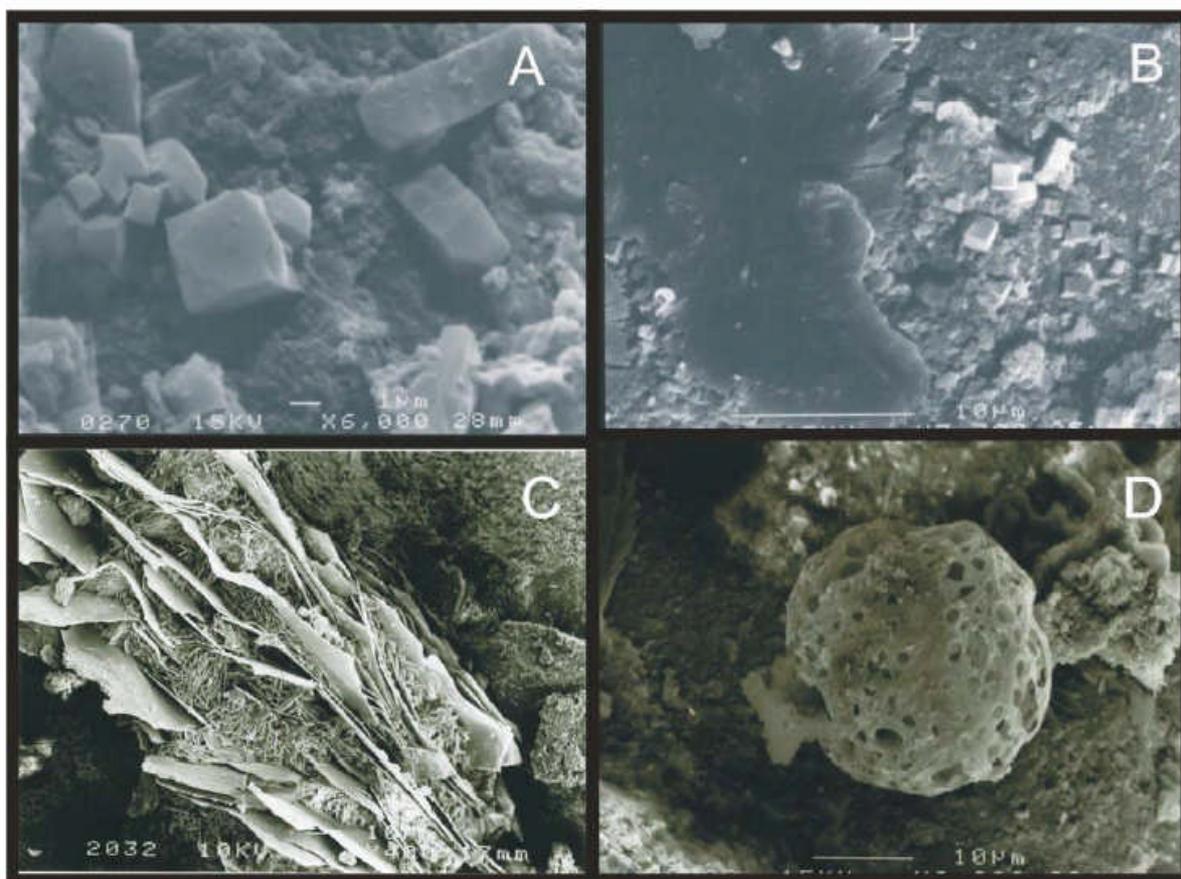
Como medida de preservação das rochas ornamentais em prédios históricos é necessário um conhecimento em detalhe do estado de intemperismo das rochas. O mapeamento das formas de intemperismo é um método que nos permite o registro do tipo, extensão e distribuição da destruição visual do intemperismo. Isto requer uma classificação esquemática das formas de intemperismo. Na literatura internacional existem varias formas esquemáticas de classificar os tipos de intemperismo. No nosso caso, foi utilizado, ligeiramente modificado, a classificação proposta por Fitzner *et al.* (1995), que apresentou um dos mais detalhados métodos de classificação e mapeamento das formas de intemperismo. Segundo esses autores as formas de intemperismo são resultantes dos processos de degradação que ocorrem na superfície das rochas naturais. Os processos são iniciados e controlados pela interação dos vários fatores. Os fatores de intemperismo e os seus processos podem, normalmente, ser identificados e quantificados somente em larga escala e num período longo de investigação. As rochas ornamentais em monumentos e fachadas de prédios históricos, assim como outros materiais na superfície da Terra, são sujeitos à interação de um sistema complexo e aberto na natureza. Desta forma, uma correlação genética clara entre fatores, processos e formas de intemperismo pode ser estabelecida de forma restritiva. No entanto, a associação das formas de intemperismo com análises laboratoriais pode proporcionar um entendimento detalhado dos processos, fatores e formas de intemperismo nas fachadas dos prédios históricos. No presente trabalho, apresentamos o mapeamento da Igreja de São José, como exemplo do que vem sendo realizado nas Igrejas estudadas.

Em todas as Igrejas analisadas foi observada a ocorrência de crosta negra, sempre associada às áreas de maior degradação das rochas (Figura 1). A formação de crosta negra, rica em gipsita nas rochas em áreas urbanas, é considerada um importante fator na degradação resultante de processos físico-químicos que ocorrem na superfície da rocha e os poluentes atmosféricos, invariavelmente na presença de água e de catalisadores (Goudie & Viles, 1997; Camuffo *et al.*, 1983, Fassina, 1991). O desenvolvimento da crosta negra é favorecido em áreas com altas concentrações de dióxido de enxofre na atmosfera, umidade na superfície da rocha e disponibilidade de óxidos metálicos e partículas carbonáceas (Sabbioni, 1995; Sabbioni & Zappia., 1992; Sabbioni *et al.*, 1996). A presença de outros componentes, como cloreto de sódio, pode encorajar a dissolução de gipsita dentro da crosta (Evans, 1970). Vários estudos têm demonstrado que os principais tipos de intemperismo são criticamente,



**Figura 1** – Mapeamento das formas de intemperismo na fachada da Igreja de São José

dependentes da forma como a superfície é molhada pela chuva (Camuffo et al., 1983). Através da análise da superfície das amostras, utilizando-se o Microscópio Eletrônico de Varredura, constatou-se a presença de gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), na forma de cristais e pátina (ver Figura 2), associada a cinzas de combustíveis fósseis (Figura 3) e a halita ( $\text{NaCl}$ ). Os sais solúveis são os principais agentes nos processos de intemperismo de rochas ornamentais e fonte de grande frustração daqueles envolvidos na conservação dos prédios históricos. O comportamento dos sais pode ser imprevisível, uma vez que, eles podem ficar inativos por um longo período, tornando-se ativos, causando grande dano e desfigurando os monumentos históricos. Em outros casos, a ação dos sais é progressiva, enfraquecendo a superfície a um nível microscópico, por décadas e séculos, causando a erosão natural.



**Figura 2** – Fotos do Microscópio Eletrônico de Varredura de amostras de áreas intemperizadas (A) cristais de halita, (B) cristais de halita e gipsita na forma de pátina, (C) cristais de gipsita entre laminações de mica, (D) cinzas de combustíveis fósseis.

Através das análises da Absorção Atômica (AAS) ficou evidente as grandes concentrações do elemento cálcio (Ca). As análises de Cromatografia de Íon (IC) o enxofre

(SO<sub>4</sub>) ocorre com as maiores concentrações. A significativa correlação entre os elementos Na e Cl e entre Ca e SO<sub>4</sub> (Figura 3), demonstra claramente a influência do intemperismo de sal nas rochas das fachadas das igrejas, uma vez que estes íons são conhecidos por atuarem nos processos de intemperismo de sal (McAlister, 1996). As análises químicas demonstram tanto a influência da proximidade do mar, da composição da rocha, da composição do cimento (utilizado para fixar as rochas) como da influência da deposição seca e úmida de poluentes sobre as rochas. A associação destes elementos é responsável pela formação de sais como a halita (NaCl) e a gipsita (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O). Os elementos associados para a formação desses sais são originados através de: Na (derivado do mar e das rochas), Cl (derivado do mar e da queima de combustíveis fósseis), Ca (derivado das rochas e do cimento, entre os blocos de construção) e SO<sub>4</sub> (derivado da queima de combustíveis fósseis).

Os resultados evidenciaram a influência da proximidade do mar como sendo um importante fornecedor de sal para o intemperismo das fachadas dos prédios históricos no centro do Rio de Janeiro. No entanto, a grande ocorrência de crosta negra ricas em gipsita nas fachadas dos prédios históricos demonstra que a influência antrópica é a principal fornecedora de sais que atuam nos processos de intemperismo nos prédios históricos estudados.

### **Conclusões.**

Os granitos e gnaisses são considerados rochas de grande resistência aos processos de intemperismo. No entanto, a proximidade do mar, as características climáticas e a deposição de poluentes, fazem com que as rochas fiquem muito vulneráveis aos processos de intemperismo. A ocorrência de halita e de gipsita vem acelerando os processos de intemperismo nos últimos anos. Já é bastante evidente, principalmente através do mapeamento das formas de intemperismo, que a parte inferior das igrejas apresenta uma maior concentração de crosta negra, por serem áreas mais protegidas da ação das chuvas, criando condições para que o processo de intemperismo seja mais atuante. Neste contexto, a aplicação dos conhecimentos da Geomorfologia pode ser fundamental para contribuir com arquitetos e outros profissionais da área, na preservação do patrimônio cultural do Brasil.

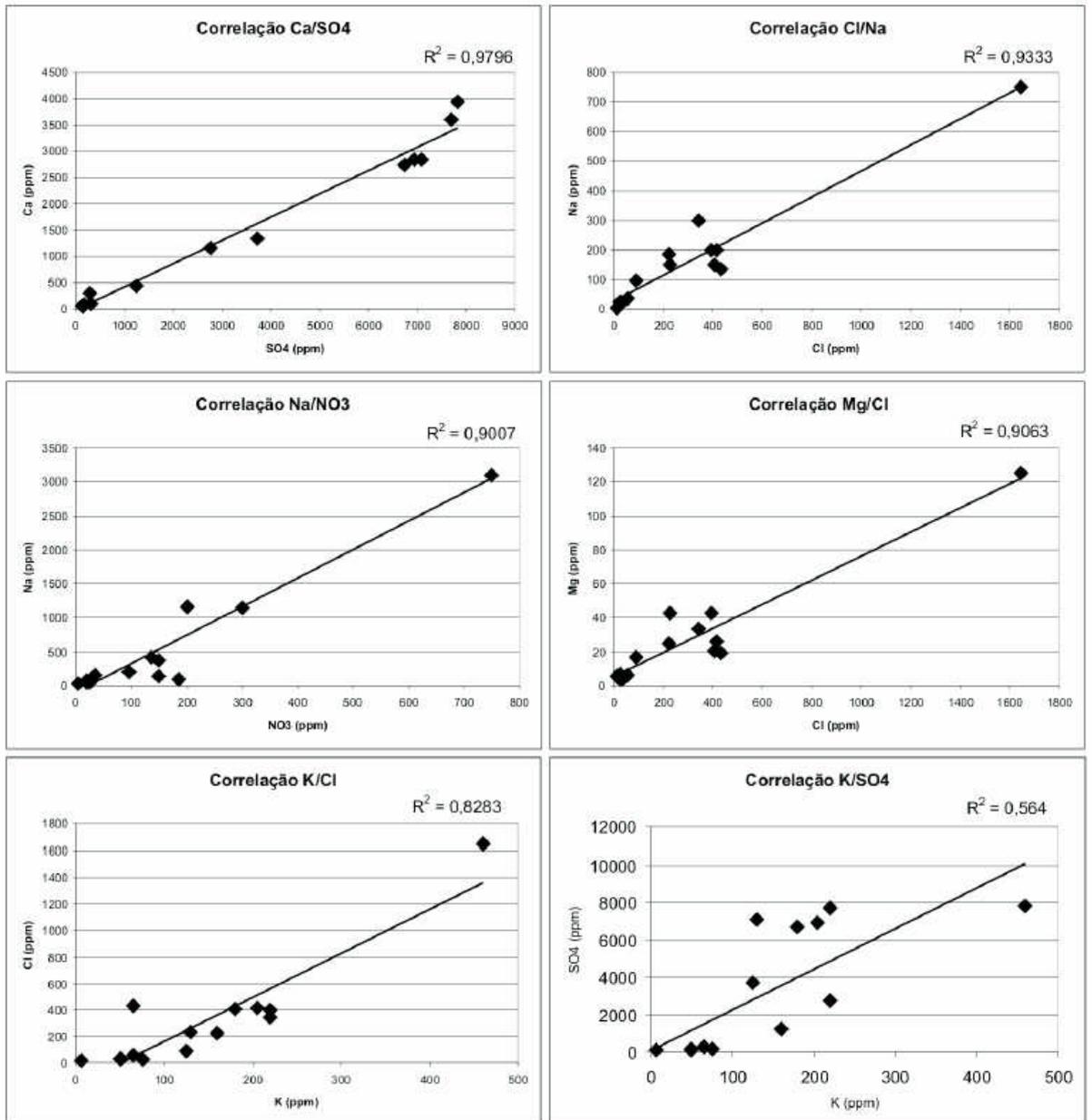


Figura 3 – Gráfico de correlação dos elementos químicos.

### Referências

Baptista Neto, J.A. (1997). O Efeito da poluição no processo de intemperismo de rochas ornamentais em fachadas de prédios históricos na cidade do Rio de Janeiro. V Simpósio de Geologia do Sudeste Pp. 285- 287.

Baptista Neto, J.A.; Smith, B.J.; McAlister, J.J.; Silva, M.A.M. & Castanheira, F. (2006). Surface modification of a granite building stone in central Rio de Janeiro. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 78(2): 1-14

Camuffo, D.; Del Monte, M and Sabbioni, C. (1983). Origin and Growth mechanisms of the sulphated crusts on urban limestone. *Water, Air and Soil Pollution*, 19: 351-359.

Evans, I. S. (1970). Salt crystallization and rock weathering: a review. *Revue de Geomorphologie Dynamique*, 19: 155-177.

Fassina, V. (1991). Atmospheric pollutants responsible for stone decay. Wet and dry surface deposition of air pollutants on stone and the formation of black scabs. In: Zezza, F. (ed.) *Weathering and Air pollution*. Community of Mediterranean Universities, Bari, 67-86.

Fitzner, B.; Heinrichs, K. & Kownatzki, R. (1995). Weathering forms – classification and mapping/Verwitterungsformn- Klassifizierung und Kartierung. *Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Naturstein-Konservierung*, vol. 1. Berlin: Verlag Ernst & Sohn. P. 41-88.

Goudie, A. & Viles, H., (1997). *Salt weathering hazards*. John Wiley & Sons, London, UK. 256p.

Lazzarini, L., (1993). In: F. Zezza (Ed.) *Stone Material in Monuments: Diagnosis and conservation*. Community of Mediterranean Universities, Bari, pp. 160-168.

McAlister, J. J. (1996). Analytical Techniques for the Examination of Building Stone, In: Smith, B. J. & Warke, P. A. *Processes of Urban Stone Decay*. Donnhead Publishing Ltd, , pp. 171 - 193.

Moreira-Nordemann, L.M., Forti, M.C., Dilascio, V.L., Monteiro do Espirito Santo, C. & Danelon, O. M., (1988). In: H. Rodhe & R. Herrera (eds). *Acidification in Tropical Countries*, Chinchester, 257-296.

Sabbioni, C. (1995) Contribution of atmospheric deposition to the formation of damage layers. *Science of the Total Environment*. 167: 49-55.

Sabbioni, C. & Zappia, G., (1992). Decay of sandstone in urban areas correlated with atmospheric aerosol. *Water, Air and Soil Pollution*, 63: 305-316.

Sabbioni, C.; Zappia, G. & Gobbi, G., (1996). Carbonaceous particles and stone damage in a laboratory exposure system. *Journal of Geophysical Research*, 101: 19621-19627.

Silva, M. E.; Roeser, H. M. P. (2003) Mapeamento de deteriorações em monumentos de pedra-sabão, Ouro Preto, MG. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, nº. 4: 331-338.

Smith, B.J.; McAlister, J.J.; Baptista Neto, J.A.; Silva, M.A.M. (2007). Post-depositional modification of atmospheric dust on a granite building in central Rio de Janeiro: implications for surface induration and subsequent stone decay. In P•ikryl, R. & Smith, B.J. (eds.) *Building stone decays: from diagnosis to conservation*. Geological Society, London, Special Publication. 271: 153 – 166.

Smith, B.J.; Baptista Neto, J.A.; Silva, M.A.M.; Warke, P.; McAlister, J.J. & Curran J. M. (2004). Conservation of colonial built heritage: practical considerations and cultural constraints in Rio de Janeiro. *Environmental Geology*, 46: 493-503.

Smith, B.J. & Magee, R.W. (1990). Granite weathering in an urban environment: an example from Rio de Janeiro. *Singapore Journal of Tropical Geography*, II(2): 143-153.