

Série

Rochas e Minerais Industriais

Caracterização Tecnológica da Rocha do Prédio Principal e Argamassas do Parque Lage Rio de Janeiro-RJ

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Rosana Elisa Coppedê da Silva

Maria Inez de Moura Sarquis

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Caracterização Tecnológica da Rocha do Prédio Principal e Argamassas do Parque Lage – Rio de Janeiro – RJ

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

Gilberto Kassab

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

Elton Santa Fé Zacarias

Secretário-Executivo

Luiz Henrique da Silva Borda

Diretor Substituto de Gestão das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais da Secretaria Executiva

Isabela Sbampato Batista Reis de Paula

Coordenadora-Geral Substituta das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Robson de Araújo D'Ávila

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Rochas Ornamentais e Minerais Industriais - COROM

José Antônio Pires de Mello

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

Durval Costa Reis

Coordenador de Administração - COADM

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

ISSN 0103-7382

ISBN – 978-85-8261-074-9

SRMI - 21

Caracterização Tecnológica da Rocha do Prédio Principal e Argamassas do Parque Lage – Rio de Janeiro – RJ.

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Eng. Químico e Licenciado em Química pela UERJ, M.Sc. e D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da UFRJ. Pesquisador do CETEM/MCTIC.

Rosana Elisa Coppedê da Silva

Geóloga pela UFOP, M.Sc. e D.Sc. em Geologia Regional e Econômica pelo Instituto de Geociências da UFRJ. Bolsista PCI do CETEM/MCTIC.

Maria Inez de Moura Sarquis

Bióloga Bacharel e Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade Gama Filho, M.Sc. em Microbiologia Veterinária, Universidade Rural do Rio de Janeiro, D.sc. em Biologia Parasitária, Fundação Oswaldo Cruz, Instituto Oswaldo Cruz, Pesquisadora Titular em Saúde FIOCRUZ/IOC/Laboratório de Taxonomia Bioquímica e Bioprospecção de Fungos IOC.

CETEM/MCTIC

2017

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Silvia Cristina Alves França

Editora

Luiz Carlos Bertolino

Subeditor

CONSELHO EDITORIAL

Adão Benvindo da Luz (CETEM), Francisco Wilson Hollanda Vidal (CETEM), Jurgen Schnellrath (CETEM), Arthur Pinto Chaves (USP), Luis Lopes (Universidade de Evora), Carlos Adolpho Magalhães Baltar (UFPE), Marsis Cabral Junior (IPT), José Yvan P. Leite (IFRN) e Renato Ciminelli (Consultor).

A Série Rochas e Minerais Industriais publica trabalhos na área minerometalúrgica, com ênfase na aplicação de minerais industriais e de rochas ornamentais. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes de projetos desenvolvidos no CETEM e em parceria com outras instituições de PD&I.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Editores Eletrônica

Rosana Elisa Coppedê da Silva

Revisão

Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição

Caracterização tecnológica da rocha do prédio principal e argamassas do Parque Lage-Rio de Janeiro-RJ / Roberto Carlos da Conceição Ribeiro [et al.]. — Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2017.

47p.: il. (Série Rochas e Minerais Industriais, 21)

1. Rochas ornamentais. 2. Alterabilidade de rochas. 3. Microorganismos. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição. III. Silva, Rosana Elisa Coppedê da. IV. Sarquis, Maria Inez de Moura. V. Título. VI. Série.

CDD – 553.51

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Alterações em Rochas Ornamentais	9
1.2 Parque Lage	11
1.3 Suporte Tecnológico à Restauração	13
2 OBJETIVO	15
3 EXPERIMENTAL	16
3.1 Amostragem	16
3.2 Determinação Colorimétrica	21
3.3 Análise Petrográfica	21
3.4 Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção D'água Aparente (ABNT NBR 15845:2010)	22
3.5 Caracterizações Química e Mineralógica	22
3.6 Ensaio de Determinação do Traço	23
3.7 Caracterização de Biodeterioração	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 Alterações Encontradas nas Fachadas	27
4.2 Avaliação da Rocha	30
4.3 Argamassas	33
4.4 Análise Microbiológica	40
5 CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

RESUMO

O Parque Lage é um parque da Zona Sul do Rio de Janeiro constituído por edificações com rochas e argamassas que vem sofrendo acelerado processo de degradação. O objetivo deste trabalho é fazer a caracterização tecnológica da rocha e argamassas do prédio principal e a verificação das causas de alteração. Foram avaliados 25 tipos de argamassas e uma amostra de rocha. Foram realizados ensaios para determinação colorimétrica, FRX, DRX, petrografia, índices físicos, determinação do traço das argamassas e avaliação microbiológica. Os resultados indicaram que as alterações da rocha na lâmina delgada são incipientes, com formação de saussurita e mobilização de ferro, mas visualmente observa-se perda de material provocada pela escamação da rocha, intenso ataque microbiológico. As argamassas podem ser divididas em 3 grupos: alto teor de sílica, alto teor de cálcio/magnésio e teores similares de cálcio e sílica. Esses fatores refletem os resultados do traço, onde se observaram em alguns casos, altos teores de areia, altos teores de cal e em alguns casos, teores similares dos dois componentes, areia e cal. Além disso, algumas amostras apresentaram teores muito baixos de sílica solúvel (presente no cimento), indicando a possível ausência de cimento nessa composição. Em relação à alteração das rochas e argamassas, os agentes microbiológicos são os principais responsáveis, observando-se: *Cladosporium*, *Penicillium*, *Trichoderma* e *Aspergillus niger* em grande parte do prédio. Conclui-se que a proliferação microbiológica altera as rochas e argamassas do prédio principal, principalmente em relação ao aumento de absorção de água, chegando a cerca de 1% e modificações colorimétricas, onde a rocha deveria apresentar um padrão amarelo claro e apresentou padrões avermelhados ou negros. Já as argamassas, que deveriam apresentar um padrão branco, apresentaram tons de verde, preto, vermelho e outros.

Palavras-chave

Rochas ornamentais, alterabilidade de rochas, microorganismos.

ABSTRACT

Parque Lage is a park in the South Zone of Rio de Janeiro city, constituted by buildings made up of rocks and mortars that have undergone an accelerated degradation process. The objective of this work is to promote the technological characterization of rocks and mortars of the main building and the verification of the causes of alteration. 25 types of mortars and one rock sample were evaluated. Tests were performed for colorimetric determination, FRX, XRD; Petrography, physical indexes, determination of mortars and microbiological evaluation. The results indicated that the rock changes in the petrographic lamina thin section are incipient, with formation of saussurite and mobilization of iron, but visually it is observed loss of material caused by rock scaling, intense microbiological attack. Mortars can be divided into 3 groups: high silica content, high calcium / magnesium content and similar levels of calcium and silica. These factors reflect the results of the trace, where in some cases high levels of sand, high levels of lime were observed and, in some cases, similar levels of both sand and lime. In addition, some samples presented very low levels of soluble silica (present in the cement), indicating the possible absence of cement in this composition. In relation to rock and mortars, microbiological agents are mainly responsible for the presence of *Cladosporium*, *Penicillium*, *Trichoderma* and *Aspergillus niger* in a large part of the building. It is concluded that the microbiological proliferation changes the rocks and mortars of the main building, mainly due to the increase of water absorption, reaching about 1% and colorimetric modifications, where the rock should have a light yellow pattern and presented instead, reddish or black colors. The mortars, which should have a white pattern, presented shades of green, black, red and others.

Keywords

Mortars, dimension stones, microbiological agents.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Alterações em Rochas Ornamentais

As alterações das rochas se iniciam com sua exposição às condições atmosféricas reinantes na superfície da Terra, que levam à decomposição física e química dos minerais e à formação de novos, estáveis nas condições superficiais. Trata-se de um processo denominado intemperismo, que consiste no reajuste dos minerais constituintes, geralmente formados à altas pressões e temperaturas, ao longo de um tempo em escala geológica.

As principais variáveis que controlam a natureza e a taxa dos vários processos intempéricos são: aspectos climáticos, presença de diversos tipos de poluentes (gasosos e aerossóis), aspectos ligados à preservação da rocha, que são objetos da correta (ou incorreta) atuação antrópica na colocação, limpeza e manutenção do material rochoso.

Tabela 1. Causas da deterioração de rochas para revestimento.

NATURAIS			
Insolação	Climáticas	Biológicas	Desastres
	Mudanças de temperatura Mudanças diárias de temperatura Chuva Água subterrânea e umidade do solo	Excrementos de aves e animais Folhas Fungos, bactérias e líquens	Ventanias Escorregamentos Terremotos
ANTRÓPICAS			
Poluição ambiental	Procedimentos de colocação incorretos	Projetos inadequados	Ausência ou negligência na manutenção

Fonte: modificado de Feilden (1994).

A alteração da rocha estará, então, condicionada aos seguintes fatores:

- a) características intrínsecas da rocha (propriedades físicas e químicas inerentes à sua mineralogia e alterações preexistentes);
- b) “defeitos” (microfissuras principalmente) preexistentes ou gerados no processo de extração e/ou beneficiamento (corte e polimento);
- c) interação destes com intempéries e as condições de fixação, manutenção e uso (BARROSO, 1993).

A degradação das rochas ornamentais é um processo dinâmico e contínuo relacionada aos agentes físicos, químicos e biológicos, muitas vezes modificadas pelas atividades antrópicas, que atuam sobre os materiais originais.

Segundo o ICOMOS (2008), as morfologias de alteração nos monumentos são divididas por famílias: deformação e quebra; destacamento; característica induzida por perda de material; descolorização e depósito; e colonização biológica. Estas, por sua vez, são subdivididas em fissura, fratura, desintegração, abrasão, crosta negra, descoloração, colonização por algas e etc.

As rochas, que compõem grande parte dos monumentos, são afetadas pelos processos de intemperismo químico e físico (FRASCÁ, 2003) que atuam dependendo das condições climáticas da região. Sendo assim, alterações e degradações podem resultar da atuação desse intemperismo (AGAPIOU *et al.*, 2015). Entretanto, a ação do homem constitui um outro elemento que vem acelerando e/ou ocasionando este processo. Num ambiente altamente urbano como a cidade do Rio de Janeiro, a ação antrópica tem grande influência nos

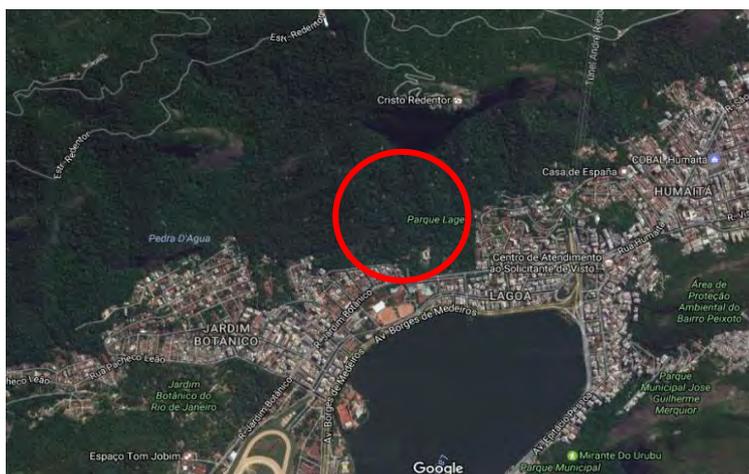
processos de alteração das rochas. Desta forma, poluentes emitidos por automóveis e por indústrias, principalmente os encontrados em suspensão na cidade como o dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e o dióxido de carbono, se dissipam, precipitam e podem reagir com o vapor d'água gerando chuvas ácidas (JESUS, 1996). Esta interação dos poluentes com a água é grande causadora dos ataques químicos às rochas, visto que a água age como solvente dos poluentes, como agente transportador do produto destas reações e até como sendo o próprio produto das reações (ZIVICA E BADJA, 2001), alterando gradualmente os materiais pétreos com a perda de resistência pelo aumento da porosidade.

A ação do enxofre na superfície das rochas (ALONSO E MARTÍNEZ, 2003) pode afetar significativamente sua estrutura, uma vez que a formação de gipsita pode ser encontrada em diversos monumentos que sofreram ação desse poluente.

Além disso, a biodeterioração de monumentos pétreos é um fator que deve ser mencionado, uma vez que representa boa parte das causas de alterações de monumentos em grande cidades (RANALLI *et al.*, 2009).

1.2 | Parque Lage

O prédio do Parque Lage situa-se no bairro do Jardim Botânico, zona sul da cidade do Rio de Janeiro, no meio da Mata Atlântica, como indica a Figura 1 e próximo à Lagoa Rodrigo de Freitas e às praias da Zona Sul, configurando o local com alto teor de umidade e salinidade. Localizado entre as encostas do Morro do Corcovado e a Rua Jardim Botânico, o Parque Lage é um dos mais agradáveis parques da Zona Sul do Rio de Janeiro.



Fonte: Google Earth, 2017.

Figura 1. Localização do Parque Lage.

Construído em 1849, o Parque Lage (Figura 2) foi tombado pelo patrimônio artístico e histórico nacional da cidade. Antiga propriedade do industrial Henrique Lage, o espaço abriga uma curiosa mansão em estilo eclético que o herdeiro da família mandou construir para agradar sua esposa, a cantora lírica Gabriela Besanzoni Lage. O casarão, que tem uma piscina ao centro do pátio, foi projetado pelo arquiteto italiano Mario Vodrel (Figura 3).

Os jardins são construídos em formas geométricas, e existem pequenas grutas espalhadas pelos 52 hectares de área verde. Na parte dos fundos do parque, observa-se uma antiga lavanderia de pedra, da época do império.

As trilhas levam os visitantes a recantos com muita vegetação e possibilitam caminhadas ecológicas que incluem até um atalho para o Cristo Redentor.



Figura 2. Fachada frontal do Palacete do Parque Lage.



Figura 3. Parte interna do Palacete do Parque Lage.

1.3 | Suporte Tecnológico à Restauração

Para que os bens tombados, especificamente os pétreos, possam ser preservados para as gerações futuras é necessário que as atividades de conservação e restauração sejam

embasadas com pesquisas de caracterização tecnológica que possam informar de maneira precisa o tipo de material que se vai restaurar e as principais causas de alteração, permitindo-se assim, uma restauração precisa e eficaz.

Dessa forma, diversos estudos de caracterização tecnológica (CREAGH, 2005) são realizados em monumentos tombados em todo o mundo, utilizando diferentes técnicas, como espectroscopia Raman (GÁZQUEZA, 2017), tomografia (PÉREZ-GRACIA *et al.* 2013), ressonância magnética nuclear (DONATELLA *et al.* 2012), microscopia eletrônica de varredura (Ph. SCIAU, 2016) (HAJJI, *et al.* 2015), infravermelho, fluorescência de raio-X, difração de raio-X (CUEVAS e GRAVIE, 2011), cromatografia iônica (MENÉNDEZ, 2017), absorção atômica de chama, determinação de microdureza, dentre outros, capazes de auxiliar os trabalhos dos restauradores, proporcionando maior segurança às intervenções nos monumentos.

Muitos processos de alterações podem levar a degradação quase por completa das rochas, sendo inevitável a ação de agentes de consolidação e hidrofugação. No entanto, para que esses procedimentos sejam realizados, torna-se inevitável que as pesquisas tecnológicas deem suporte a essas atividades para controlar a não formação de filmes poliméricos, permitindo-se a troca de vapores e gases do interior ao exterior da rocha e vice versa. Estudos de Pinto e Delgado-Rodrigues (2012) descrevem a importância da consolidação de carbonatos, indicando a importância dos protocolos de aplicação da consolidação e que absorção capilar de contato direto é um procedimento confiável para consolidação e que a determinação da velocidade ultrassônica é um método eficaz para verificação da coesão final da rocha após consolidação.

2 | OBJETIVO

Os objetivos do trabalho são os seguintes: caracterização tecnológica da rocha do prédio principal, caracterização das argamassas e verificação das causas de alteração da rocha e argamassas.

Para realização dos ensaios de caracterização da rocha, utilizou-se um fragmento de coluna, como indica a Figura 5.



Fonte: Autor, 2013.

Figura 5. Rocha utilizada para caracterização tecnológica.

As Figuras 6 a 12 indicam pontos de coleta de argamassas que foram avaliadas.



Figura 6. Local de coleta de amostras da cavaliariça (assentamento e emboço).



Figura 7. Local de coleta de amostras da copa.



Figura 8. Local de coleta de amostras da lavanderia.



Figura 9. Local de coleta de amostras da Loggia (Mosaico piso).



Figura 10. Local de coleta de amostras da ponte.



Figura 11. Local de coleta de amostras do recanto dos namorados.



Figura 12. Local de coleta de amostras de argamassa.

3.2 | Determinação Colorimétrica

Este ensaio foi feito utilizando um colorímetro da marca *Technidyne Color Touch 2 Model ISSO*, para determinação dos padrões colorimétricos das rochas e argamassas.

3.3 | Análise Petrográfica

Esta análise tem por objetivo verificar por meio de estudos macroscópicos e microscópicos a composição mineralógica da rocha, sua textura, o estado de alteração dos minerais, bem como o grau e o tipo de microfissuração.

A análise macroscópica foi realizada segundo NBR 15845-1/2015, com auxílio de lupa binocular e as amostras, quando necessário, foram fotografadas junto com seu número de identificação e uma escala gráfica. O microscópio petrográfico utilizado possui luz polarizada e refletida, e objetivas com aumentos de 2,5 a 60X, da marca *Carl Zeiss*. A identificação dos minerais seguiu os princípios da mineralogia ótica, baseado em cor, hábito, clivagem, ângulo de extinção, e propriedades observadas em luz conoscópica. As fotomicrografias obtidas foram feitas com objetiva de 2,5 e ocular de 10X, com um aumento total de 25x o tamanho natural.

3.4 | Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção D'água Aparente (ABNT NBR 15845:2010)

Este ensaio tem por objetivo caracterizar as propriedades de massa específica, porosidade e capacidade de absorção de água do material, permitindo avaliar, indiretamente, o estado de alteração e de coesão.

Para determinação dos índices físicos foram utilizados 10 fragmentos de rocha, os quais foram pesados após secagem em estufa a 110 +/- 5° C (peso A), após saturação em água por 48 horas (peso B) e na condição submersa, após saturação (peso C), segundo especificações da ABNT- NBR 12766.

Os valores foram obtidos por meio das seguintes expressões:

- Porosidade aparente (%): $(B-A)/(B-C) \times 100$
- Absorção d'água (%): $(B-A)/A \times 100$

3.5 | Caracterizações Química e Mineralógica

Para determinação da composição química e mineralógica das amostras de argamassas e rocha cada material foi pulverizado em pulverizador até obtenção de granulometria inferior a 0,125 mm. Posteriormente, o material foi avaliado por meio de fluorescência de raios-x e difração de raios-x.

A Fluorescência de Raios - X foi realizada unicamente por espectrômetro por dispersão por comprimento de onda (WD-XRF -Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence), baseado na lei de Bragg, o qual necessita de um movimento sincronizado e preciso entre o cristal difrator e o detector.

Essa análise foi feita no laboratório de Análises Químicas e Mineralógicas do CETEM.

A técnica de difração de raios-X foi realizada no equipamento D4 Endeavor da Bruker, feita no laboratório de Análises Químicas e Mineralógicas do CETEM.

3.6 | Ensaios de Determinação do Traço

O método de reconstituição do traço das argamassas utilizado foi desenvolvido originalmente no Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e baseia-se no princípio de que a argamassa, ao ser atacada com ácido clorídrico, dá origem a duas frações distintas: uma insolúvel e outra solúvel. Para argamassas convencionais de cimento Portland, cal hidratada e agregado quartzoso, a fração solúvel é composta essencialmente pelos aglomerantes e a fração insolúvel é constituída pelo agregado. Temos ainda uma terceira fração volátil, que permite quantificar as reações ocorridas após a aplicação da argamassa.

O método permitiu as determinações quantitativas do agregado na forma de resíduo insolúvel (RI) e dos aglomerantes na forma de seus íons principais e comuns solubilizados, cujos resultados são expressos na forma dos óxidos correspondentes: anidrido silícico (SiO_2), óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) e óxidos de ferro e alumínio (R_2O_3).

A amostra separada por quarteamento será moída até granulometria inferior a 0,84mm (# ABNT nº 20) e separada em amostras analíticas para os diferentes ensaios químicos.

Cálculo dos Constituintes

Com base nos dados da análise química calcula-se a proporção aglomerante(s):agregado, isto é, o traço da argamassa em massa, que poderá ser convertido em volume a partir das massas unitárias dos materiais empregados. A determinação do teor de um constituinte da argamassa, que provém exclusivamente do agregado ou do aglomerante, permite estimar, através de cálculo, a relação aglomerante:agregado presente na mesma.

O roteiro de cálculo a ser adotado depende do conhecimento da composição dos materiais empregados. Quando não se dispõe da composição química destes, torna-se necessário assumir valores médios de composição química de amostras de referência.

Os resultados da análise química são recalculados na base de material não volátil, isto é, excluindo o valor da perda ao fogo até 1000°C, ou seja, água livre, água combinada e anidrido carbônico dos materiais empregados ou incorporados à argamassa na evolução do processo de endurecimento. Justifica-se este artifício de cálculo para permitir a obtenção dos teores de materiais originalmente utilizados na confecção da argamassa: anidros e não carbonatados.

Com os valores na base não volátil (NV) e admitindo-se o teor de resíduo insolúvel como sendo a fração agregado (areia), e os óxidos restantes solubilizados como sendo a fração aglomerante (cimento e/ou cal), são calculadas as respectivas proporções percentuais, em referência aos materiais empregados, bem como o traço.

3.7 | Caracterização da Biodeterioração

O material para estudo microbiológico foi coletado em placas de Petri, e encaminhado para Fundação Fiocruz para ser inoculado em meios de cultura sólidos, e determinar os microrganismos presentes.

3.7.1 | Coleta Microbiológica

As figuras 13, 14 e 15 apresentam os processos de coleta de amostras para avaliação microbiológica.



Fonte: Autor, 2013.

Figura 13. Coleta de amostra avermelhada.



Fonte: Autor, 2013.

Figura 14. Coleta de amostra cinza de líquen.



Fonte: Autor, 2013.

Figura 15. Coleta de amostra amarela.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Alterações Encontradas nas Fachadas

As principais alterações encontradas nas rochas e argamassas em todo o prédio são propagações microbiológicas intensas, alterações cromáticas, oxidações, perdas de massa e descamações como apresentado nas Figuras 16 a 19.



Fonte: autor, 2013.

Figura 16. Balaústre com colonização biológica.



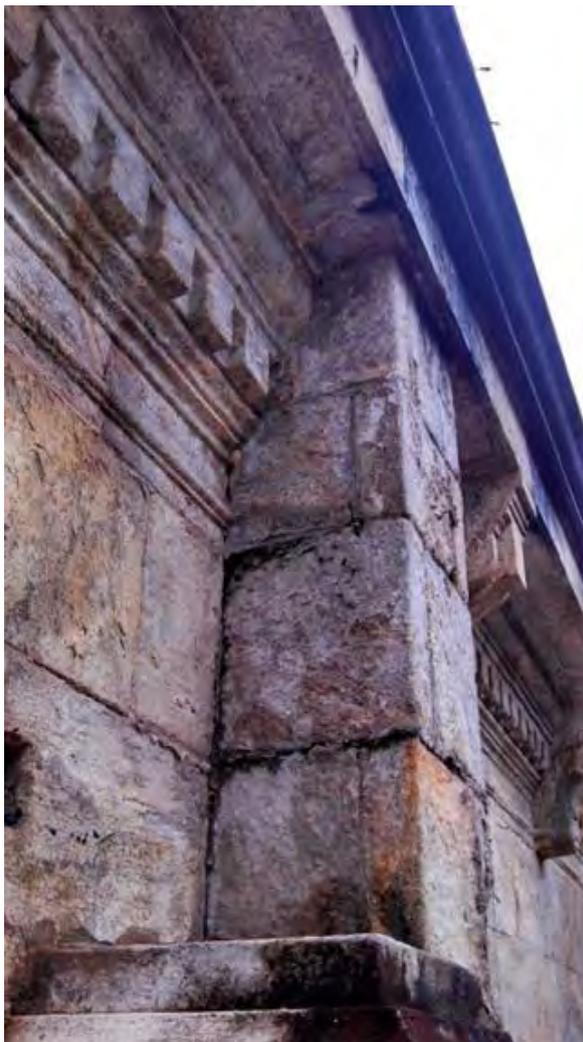
Fonte: autor, 2013.

Figura 17. Detalhe da alteração, com granadas oxidadas e perda de material.



Fonte: autor, 2013.

Figura 18. Escamação da rocha na face oeste.



Fonte: autor, 2013.

Figura 19. Rocha em pleno processo de escamação.

4.2 | Avaliação da Rocha

4.2.1 | Análise Petrográfica

Trata-se de um rocha leucocrática de cor cinza clara, levemente banada e pouco foliada, textura Granoblástica e granulação fina à média

A associação mineralógica é constituída de K-feldspato (10%), Plagioclásio (10%), Quartzo (60%), Biotita (10%), Augita (3%), Granada (5%), (muscovita e mineral castanho claro – 2%). O plagioclásio apresenta saussuritização incipente, alterando para muscovita. A lâmina apresenta microfissuras nos cristais de plagioclásio e k-feldspato, mas não foi possível estabelecer direções preferenciais. A rocha é clasificada como Gnaiss Leptínico ou Leptinito.

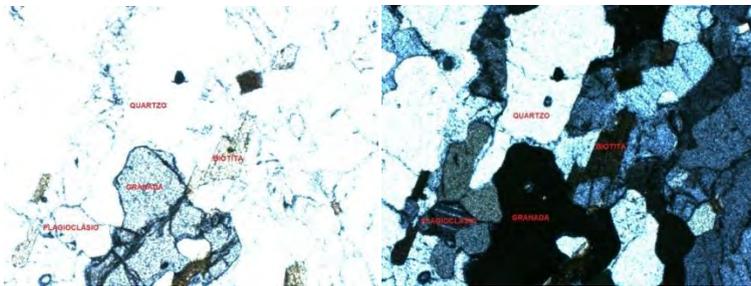


Figura 20. Fotomicrografias com luz transmitida e com luz polarizada.

4.2.2 | Análise Mineralógica

A Figura 21 apresenta os resultados da composição mineralógica feita por difração de raios X. Os minerais apresentados confirmam a descrição petrográfica da rocha, com presença de quartzo, k-feldspato (albita), muscovita, augita (clinopiroxênio), hausmanita Mn_3O_4 (alteração da granada, não identificável na lâmina) e oligoclásio.

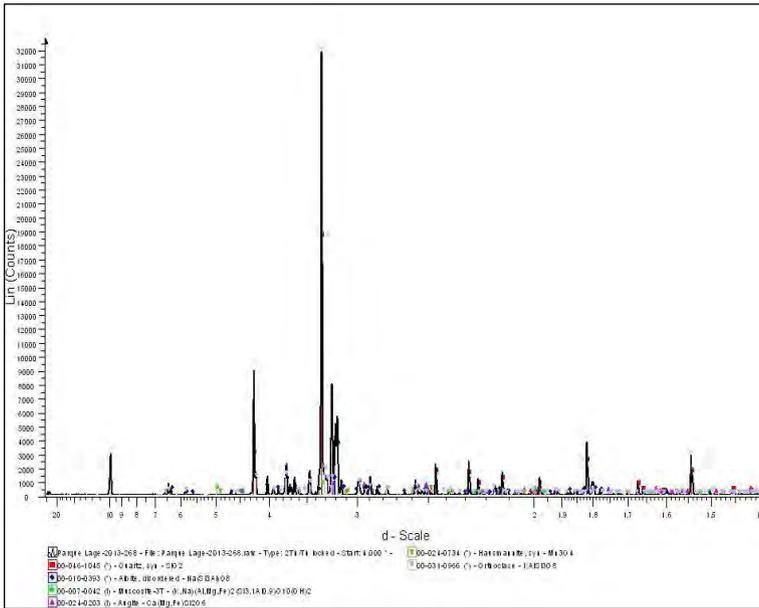


Figura 21. Difratoograma da rocha.

4.2.3 | Análise Química

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados da análise química do material em estudo. Pode-se observar que a rocha apresenta altos teores de sílica e alumina, confirmando se tratar de rocha gnáissica, como indicado na análise petrográfica. Os valores consideráveis de potássio e sódio sugerem que os mesmos estão interligados nas estruturas dos feldspatos.

Tabela 2. Composição química da rocha.

	Rocha Palacete Parque Lage
SiO ₂	73,30
Al ₂ O ₃	14,80
Na ₂ O	4,14
K ₂ O	3,50
CaO	1,10
Fe ₂ O ₃	1,70
MgO	0,26
P ₂ O ₅	0,07
TiO ₂	0,15
MnO	0,05
Rb ₂ O	0,01
PF	0,96

4.2.4 | Índices Físicos

Pode-se verificar na Tabela 3 que a rocha apresenta-se alterada devido à presença de sais na superfície das rochas que foram carreados por capilaridade e ao passarem no interior das rochas causaram essa degradação, aumentando as condições de absorção de água e porosidade

Tabela 3. Índices físicos da rocha.

Índices Físicos	
Massa específica (kg/m ³)	2.646,08
Porosidade aparente (%)	2,55
Absorção de água (%)	0,98

4.3 | Argamassas

4.3.1 | Determinação Colorimétrica

Na Tabela 4 pode-se observar o padrão colorimétrico das amostras de argamassas em estudo. Em geral, as amostras apresentam nos padrões a e b tendências de coloração entre vermelho e amarelo.

No entanto, são verificadas alterações significativas de colorações em diversos pontos, observando-se: cinza, amarelo e até mesmo vermelho. Tais fatos, estão relacionados com a proliferação microbiológica na superfície de rochas e argamassas em boa parte do prédio, devido à elevada umidade, causando mudanças de coloração, típicas desses microrganismos, ou até mesmo devido à reação desses microrganismos com alguns materiais, como ferro que sustentam sancas, gerando alterações cromáticas em boa parte do prédio.

Tabela 4. Padrões colorimétricos das amostras.

Amostras Eixos	a	b	L	Cor
Lavanderia – emboço	7,83	17,86	57,80	Marrom claro
Lavanderia liso – reboco	1,31	5,50	56,13	Cinza claro
Lavanderia crespó – reboco	2,51	9,16	50,20	Cinza claro
Coreto – reboco	2,78	10,24	71,3	Cinza claro
Coreto – emboço	5,03	16,09	74,13	Bege claro
Ponte – emboço	1,39	6,41	72,73	Cinza claro
Ponte – reboco	1,08	9,77	76,97	Begeclaro
Ponte – enchimento	1,64	5,01	61,09	Cinza claro
Cavaliária – emboço	7,16	14,10	67,63	Marrom claro
Cavaliária – assentamento	9,87	21,14	67,62	Amarelo claro
Copa – emboço	2,21	9,88	73,27	Bege claro
Copa – emboço 2	1,42	6,96	59,92	Bege claro
Copa – reboco	2,95	10,73	70,89	Bege claro
Palacete – sala estrelas emboço	2,27	8,69	70,96	Bege claro
Palacete – sala estrelas reboco	3,57	16,80	80,83	Branco
Palacete – galeria reboco (pó de rocha)	1,74	7,38	64,02	Cinza claro
Palacete – galeria emboço (pó de rocha)	2,40	9,42	70,96	Bege claro
Palacete – mosaico rejunte	9,71	8,64	50,78	Vermelho
Palacete – mosaico assentamento	3,21	10,15	66,67	Bege claro
Recanto dos namorados – mesa vermelho	15,06	12,42	53,44	Vermelho
Recanto dos namorados – reboco liso	2,08	8,49	62,05	Cinza claro
Recanto dos namorados – reboco crespó	7,40	17,10	62,74	Bege amarronzado
Recanto dos namorados - emboço	4,68	15,55	72,01	Bege amarelado
Torre – pórtico reboco	3,21	11,08	59,31	Cinza claro
Torre – torre reboco crespó	1,04	2,24	40,48	Cinza escuro

4.3.2 | Determinação do Traço

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados do traço das argamassas do Parque Lage. Nessa tabela, estão expressos as proporções, em massa, de cimento, areia e cal utilizadas nas formulações das argamassas. Utilizou-se o cimento como padrão, com valor fixo de 1, e os demais constituintes, cal e areia, vão variar de acordo com suas composições de RI, SiO₂, R₂O₃, CaO e MgO. Em alguns casos quando o teor de SiO₂ solúvel é muito baixo ou praticamente zero, pode-se considerar a ausência de cimento na formulação e respeita-se somente a proporção de cal e/ou areia.

Os valores obtidos no traço corroboram os resultados obtidos na análise química, que já distinguiam as amostras de argamassas em três grupos: com altos valores de sílica, associados com alto teor de areia, com alto teor de cálcio e magnésio, associados com alto teor de cal e argamassas com teores similares de sílica e cálcio, indicando teores similares de areia e cal no traço, que foi o que se pôde observar realmente no traço.

Nos anexos desse relatório encontram-se os cálculos detalhados da determinação do traço. Pode verificar que o valor de RI global corresponde a soma dos valores percentuais da sílica insolúvel (RI – areia) e da sílica solúvel (SiO₂ - cimento). O % de cimento é determinado pela relação das sílicas, solúvel e insolúvel, e posteriormente é corrigido em relação à perda ao fogo do cimento (%cimc), que em geral é 2,5%. Por fim, determina-se o teor de cal virgem, com base nos teores percentuais de cálcio para posteriormente, calcular o teor de cal, corrigido com os teores de perda ao fogo, que em geral é 4%.

Em geral, não se observa a presença de cimento no traço, configurando-se argamassas com traço de areia e cal. Não se observa um padrão em termos de traço, verificando-se teores de areia de 2:1 ou 3:1 e até mesmo de 5:1, em relação ao teor de cal e, algumas vezes o teor de cal é superior, chegando-se a dobro do teor de areia.

Tabela 5. Determinação do traço, em massa, das argamassas.

	Torre – torre reboco cresp	Recanto dos namorados – reboco cresp	Cavaliária – emboço	Ponte – enchimento	Recanto dos namorados – emboço	Lavanderia cresp – reboco	Lavanderia liso – reboco	Recanto dos namorados – mesa vermelho	Palacete – galeria reboco	Copa – reboco	Coreto – emboço	Coreto – reboco	Ponte – reboco	Palacete – mosaico rejunte	Palacete – galeria emboço	Palacete – mosaico assentamento	Cavaliária – assentamento	Recanto dos namorados – liso	Ponte – emboço	Torre Pórfico – reboco	Copa – emboço
Cimento	--	--	--	1	--	1	1	--	1	1	--	--	--	--	--	1	1	--	1	--	--
Areia	1	1	3	1	2	2	1	5	2	5	1	1	1	1	3	5	5	1	3	1	2
Cal	2	1	1	2	1	1	1	1	1	0	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1

4.3.3 | Análise Química

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados da análise química das argamassas, que podem dividi-las em três classes: classe I - alta concentração de sílica (em amarelo na tabela), indicando maiores teores de areia no traço; classe II - alta concentração de cálcio (em laranja na tabela), indicando maiores teores de cal ou gesso e a classe III, com teores de sílica e cálcio muito similares (em azul na tabela), indicando um traço com teores similares de areia e cal.

Em relação à concentração de ferro, observa-se que o teor varia entre 1 e 2% relacionado com composição mineral dessas argamassas. No entanto, as amostras, copa reboco e mosaico rejunte, apresentam teores de ferro bastante elevados, em torno de 3 e 6%, respectivamente.

Os teores de SO_3 indicam o processo de oxidação do dióxido de enxofre relacionado com a poluição atmosférica nessas superfícies, em especial nas amostras retiradas na torre reboco crespo, na ponte enchimento, na lavanderia liso reboco, no palacete galeria reboco, coreto reboco e no Palacete, mosaico rejunte e mosaico assentamento.

Por fim, observa-se um teor elevado de chumbo na amostra extraída da torre reboco crespo, em torno de 4,3% relacionado com algum tipo de tinta.

Tabela 6. Análise química das argamassas. Fonte: autor, 2013.

Resultados Analíticos																					
	Torre - torre reboco cresp	Recanto dos namorados - reboco cresp	Cavalaria - emboço	Ponte - enchimento	Recanto dos namorados - emboço	Lavanderia cresp - reboco	Lavanderia liso - reboco	Recanto dos namorados - mesa vermelho	Palacete - galeria reboco	Copa - reboco	Coreto - emboço	Coreto - reboco	Ponte - reboco	Palacete - mosaico rejunte	Palacete - galeria emboço	Palacete - mosaico assentamento	Cavalaria - assentamento	Recanto dos namorados - liso	Ponte - emboço	Torre Pórtico - reboco	Copa - emboço
SiO ₂	18,9	30,0	45,0	19,7	40,6	44,6	36,8	65,1	44,1	51,3	33,0	17,1	14,9	25,0	51,8	60,1	56,2	20,0	17,9	32,7	46,2
CaO	31,8	28,1	16,9	45,1	19,8	21,4	27,5	12,0	22,0	9,7	21,4	41,0	36,1	32,6	15,6	12,9	10,7	42,3	47,1	30,9	23,5
Cl	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,16	0,34	0,04	0,77	0,09	0,08	0,02	0,56	0,28	0,34	0,05
Fe ₂ O ₃	1,5	1,7	1,6	2,3	1,8	1,7	1,7	1,8	1,7	3,1	2,0	1,3	0,61	5,9	1,9	1,6	2,1	1,3	1,6	1,6	1,1
K ₂ O	0,14	1,0	2,0	0,11	2,2	1,6	1,2	1,7	2,4	2,5	1,9	0,22	0,19	0,24	2,8	1,4	1,9	0,13	0,26	0,57	1,4
MgO	0,98	0,89	0,48	1,1	0,71	0,74	1,00	1,5	0,79	0,72	0,68	1,2	8,6	1,5	0,65	1,2	0,40	1,3	1,2	0,71	0,50
Na ₂ O	0,19	0,22	0,52	0,15	0,36	0,53	0,43	0,37	2,2	1,1	0,59	0,13	0,13	0,49	2,5	1,1	0,54	0,07	0,10	0,30	0,63
P ₂ O ₅	0,17	0,16	0,07	0,15	0,10	0,10	0,11	0,03	0,26	0,12	0,08	0,10	0,12	0,19	0,14	0,25	0,07	0,13	0,14	0,12	0,11
Al ₂ O ₃	5,3	11,0	16,8	5,9	16,2	10,0	8,7	7,9	11,1	18,1	16,8	5,1	4,7	7,6	12,4	7,4	15,8	5,9	4,8	8,7	7,3
SO ₃	1,9	0,38	0,38	1,6	0,58	0,77	1,1	0,49	1,3	0,48	0,8	1,5	0,36	1,7	0,36	1,7	0,10	1,2	1,2	1,9	1,2
TiO ₂	0,19	0,18	0,22	0,20	0,24	0,19	0,19	0,28	0,25	0,29	0,21	0,12	0,13	0,35	0,27	0,18	0,23	0,15	0,19	0,19	0,17
MnO	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,04	0,10	0,05	0,06	0,02	0,02	0,12	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05
BaO	0,76	0,02	ND	ND	0,02	ND	ND	0,02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PbO	4,27	0,02	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SiO	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04	0,06	0,10	0,06	0,04
PF	33,8	26,3	16,0	23,5	17,5	18,3	21,3	8,8	13,9	12,6	22,5	31,8	34,0	23,6	11,4	12,1	11,9	26,9	25,3	21,9	17,8

Fonte: autor, 2013.

4.4 | Análise Microbiológica

Abaixo estão apresentados os resultados dos ensaios microbiológicos dos seis pontos coletados no prédio principal do Parque Lage, denominados como: Loggia Rosa, Platibanda fachada norte, balaustrada cobertura vista interna, laranja, vermelha e violeta.

Ponto de coleta	Colônia/gênero	Foto coleta/Foto colônia	Observação
Loggia Rosa	Família Dematiaceae Gênero <i>Cladosporium</i> sp Gêneros Cladosporium SPP.		<i>Cladosporium</i> sp é um gênero de fungo que se apresenta como manchas escuras, de cor marrom ou preta, tem aspecto aveludado.
Platibanda fachada norte	<i>Penicillium</i> spp <i>Purpurogenum</i>		O <i>Penicillium</i> spp é um gênero de fungos que cresce em matéria orgânica biodegradável, especialmente no solo e outros ambientes úmidos e escuros. Várias espécies produzem bactericidas (antibióticos) que concorrem com bactérias saprófitas pelas mesmas fontes de nutrição. A espécie em questão é responsável pela geração de uma pigmentação vermelha.

Ponto de coleta	Colônia/gênero	Foto coleta/Foto colônia	Observação
Balastrada cobertura vista interna	<i>Trichoderma</i> spp		É um gênero de fungo, geralmente presente em solos, do qual se extrai o antibiótico glioxina.
Laranja			
Vermelha	<i>Trichoderma</i> spp		
Violeta	<i>Aspergillus niger</i> , dematiacea – melanina		<p><i>Aspergillus niger</i> é um fungo e é uma das espécies mais comuns do gênero <i>Aspergillus</i>. Ela provoca um mofo-preto e é um contaminante comum. Ele é onipresente no solo e é comumente relatado em ambientes internos. Tem sido relatado que algumas cepas de <i>A. niger</i> produzem potentes micotoxinas chamadas ocratoxinas.</p>

5 | CONCLUSÕES

Do ponto de vistas mineralógico as alterações são ainda incipientes, indicadas pela formação de saussuritização. Outro efeito observado em lâmina delgada é a indicação de precipitação de ferro mobilizado em fissuras e outros planos de fraqueza da rocha.

Observa-se perda de material provocada pela escamação da rocha, intenso ataque biológico e cristalização de sais em todos os lados do Palacete, provocados pelas condições geográficas e climáticas da edificação.

As argamassas podem ser divididas em 3 grupos: alto teor de sílica, alto teor de cálcio/magnésio e teores similares de cálcio e sílica. Esses fatores refletem os resultados do traço, onde se observaram em alguns casos, altos teores de areia, altos teores de cal e em alguns casos, teores iguais de areia e cal. Além disso, algumas amostras apresentaram teores muito baixos de sílica solúvel (presente no cimento), indicando a possível ausência de cimento nessa composição.

Os resultados de índices físicos indicaram alterações significativas de porosidade e absorção de água da rocha e tais alterações sugerem estar relacionadas com a presença de sais que foram carreados pelo interior da rocha pela água da chuva.

Com relação à ação dos sais, uma vez que estão presentes formando eflorescências na rocha, colaboraram no afrouxamento da matriz da rocha, por meio do processo de haloclastia.

A propagação microbiológica é muito intensa, sendo capaz de realizar alterações cromáticas nas rochas e argamassas, devido à alta umidade do local, que também favorece a oxidação de ferro em vários pontos do prédio, aumentando ainda mais as alterações cromáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, (2015) NBR 15845-1/2015: Rochas para revestimento, parte 1: Análise petrográfica. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.766/92: rochas para revestimento, determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente. Rio de Janeiro. 1992.
- AGAPIOU, A., DIMITRIOS D. ALEXAKIS, VASILIKI LYSANDROU, APOSTOLOS SARRIS, BRANKA CUCA, KYRIACOS THEMISTOCLEOUS, DIOFANTOS G. HADJIMITSIS; Impact of urban sprawl to cultural heritage monuments: The case study of Paphos area in Cyprus, *Journal of Cultural Heritage*; v. 16, Issue 5, September–October 2015, p. 671–680.
- ALONSO, E e MARTÍNEZ, L., The role of environmental sulfur on degradation of ignimbrites of the Cathedral in Morelia, Mexico; *Building and Environment*, v. 38, Issue 6, June 2003, p. 861–867.
- CUEVAS, A. M. e GRAVIE, H. P., Portable energy dispersive X-ray fluorescence and X-ray diffraction and radiography system for archaeometry, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, v. 633, Issue 1, 21 March 2011, p. 72–78.
- CREAGH, D.C., The characterization of artefacts of cultural heritage significance using physical techniques, *Radiation Physics and Chemistry*, v. 74, Issue 6, December 2005, p. 426–442.
- DONATELLA CAPITANI, VALERIA DI TULLIO, NOEMI PROIETTI; Nuclear Magnetic Resonance to characterize and monitor Cultural Heritage, *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*, v. 64, July 2012, p. 29–69.

- FRASCÁ, M. H. B. O., Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento. **Tese de doutorado**. Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrologia, Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo - USP. 2003.
- GÁZQUEZA, F.; F. RULLB, A. SANZ-ARRANZB, J. MEDINAB, J.M. CALAFORRAC, C. DE LAS HERASD, J.A. LASHERASD; *In situ* Raman characterization of minerals and degradation processes in a variety of cultural and geological heritage sites; *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 172, 5 February 2017, p. 48–57.
- HAJJI, L., ABDELLATIF BOUKIR, JAMAL ASSOUK, HAMID LAKHIARI, ABDELALI KERBAL, PIERRE DOUMENQ, GILBERT MILLE, MARIA LUISA DE CARVALHO; Conservation of Moroccan manuscript papers aged 150, 200 and 800 years. Analysis by infrared spectroscopy (ATR-FTIR), X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy energy dispersive spectrometry (SEM-EDS), *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 136, Part B, 5 February 2015, p. 1038–1046.
- ICOMOS. Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns/Glossaire Illustrés ur les Formes D'altération de Lapierre. Champigni/Marne, França, 2008.
- JESUS, E. F. R. de. A Importância do Estudo das Chuvas Ácidas no Contexto da Abordagem Climatológica. *Sitientibus*. Feira de Santana, n.14, p.143-153, 1996.
- MENÉNDEZ, B., Estimation of salt mixture damage on built cultural heritage from environmental conditions using ECOS-RUNSALT model, *Journal of Cultural Heritage*, v. 24, March–April 2017, p. 22–30.
- PÉREZ-GRACIA, V.; J. O. Caselles, J. Clapés, G. Martinez E R. Osorio, Non-destructive analysis in cultural heritage buildings: Evaluating the Mallorca cathedral supporting structures, *NDT & E International*, v. 59, October 2013, p. 40–47.

- PH. SCIAU, Chapter Two – Transmission Electron Microscopy: Emerging Investigations for Cultural Heritage Materials Advances in Imaging and Electron Physics, v. 198, 2016, p. 43–67.
- RANALII, G., E. ZANARDINI E C. SORLINI; Biodeterioration – Including Cultural Heritage; Encyclopedia of Microbiology (Third Edition), 2009, p. 191–205.
- ZIVICA, V.; BAJZA, A. Acidic attack of cement based materials; a review; part 1: principles of acidic attack. Construction and Building Materials, v.15, p.331 - 340, 2001.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2016, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 300 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Rochas e Minerais Industriais

SRMI – 20 - **Areia de Fraturamento Hidráulico: usos, características, mercado e perspectivas.** Paulo Fernando Almeida Braga, Francisco Mariano R. de Souza Lima, José Mário Coelho e Caroline da Costa Gonçalves, 2017.

SRMI – 19 - **Caracterização Tecnológica das Rochas de Monumentos e Prédios Históricos da Terra a Noel - Vila Isabel, Rio de Janeiro, RJ.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Kátia Leite Mansur e Diego Peixoto Vieira, 2016.

SEMI – 18 - **Polimento de Rochas Ornamentais – Aspectos Tribológicos.** Leonardo Luiz Lyrio da Silveira e Thiago Motta Bolonini, 2016.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3865-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: biblioteca@cetem.gov.br

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 39 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.