

117

Série Tecnologia Ambiental

Efeito da poluição atmosférica nas rochas das fachadas do Paço Imperial do Rio de Janeiro

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Caroline Martins de Souza
Amanda Menezes Ricardo**

CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL



SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Efeito da poluição atmosférica nas rochas das fachadas do Paço Imperial do Rio de Janeiro

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Jair Messias Bolsonaro

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES

Marcos Cesar Pontes

Ministro de Estado

Sergio Freitas de Almeida

Secretário-Executivo

Paulo Mauricio Jaborandy de Mattos Dourado

Subsecretário de Unidades Vinculadas

Vanessa Murta Rezende

Coordenadora-Geral de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Silvia Cristina Alves França

Diretora

Marusca Santana Custodio

Coordenadora Substituta de Administração - COADM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Paulo Fernando Almeida Braga

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

STA - 117

Efeito da poluição atmosférica nas rochas das fachadas do Paço Imperial do Rio de Janeiro

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Eng. Químico, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela EQ-UFRJ. Pesquisador Titular do CETEM/MCTI

Caroline Martins de Souza

Estagiária de Engenharia Ambiental da Universidade Estácio de Sá – CETEM/MCTI

Amanda Menezes Ricardo

Geóloga, M.Sc. pelo Instituto de Geociências da UFRJ

CETEM/MCTI

2021

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luis Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Marisa Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos Augusto da Costa (UERJ), Fátima Maria Zanon Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánches (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

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

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Editoração Eletrônica

CIP – Catalogação na Publicação

R484

Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição

Efeito da poluição atmosférica nas rochas das fachadas do Paço Imperial do Rio de Janeiro / Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Caroline Martins de Souza, Amanda Menezes Ricardo – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021.

42p. - (Série Tecnologia Ambiental; 117).

ISBN 978-65-5919-001-0

1. Paço Imperial. 2. Alterabilidade de rochas. 3. Crosta negra. I. Souza, Caroline Martins de. II. Ricardo, Amanda Menezes. III. Centro de Tecnologia Mineral. IV. Título. V. Série.

CDD 553.6

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do CETEM/MCTI
Bibliotecário(a) Rosana Silva de Oliveira CRB7 - 5849

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO	17
3 EXPERIMENTAL	18
3.1 Avaliação dos Danos	19
3.2 Pesquisa Urbanística	19
3.3 Avaliação Climatológica	20
3.4 Trabalho em Campo	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1 Avaliação dos Danos	22
4.2 Avaliação Urbanística	28
4.3 Avaliação Climatológica	29
4.4 Análise Laboratorial	32
5 CONCLUSÕES	35
6 AGRADECIMENTOS	37
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

RESUMO

O Paço Imperial do Rio de Janeiro, construído no século XVIII na Praça XV de Novembro, é um dos mais importantes edifícios coloniais e tornou-se a residência da família real até a proclamação da República. A região sofreu grandes transformações urbanas ao longo do tempo, alterando as condições meteorológicas da região, sendo a última em 2014 com a retirada da Via Perimetral. Nesse trabalho avalia-se o efeito da poluição atmosférica nas rochas do prédio devido às alterações urbanísticas, utilizando-se a análise por ICP-plasma nas águas de lavagem das fachadas coletadas em 2013, 2019 e 2020. Os resultados indicaram que os teores de enxofre eram altos, em torno de 300 mg.L^{-1} , antes da imploração da Via Perimetral e da alteração de sentido da Rua São José, primeira rua transversal antes do Paço, reduzindo-se para 19 mg/L em 2019 na Rua 1º de Março, uma vez que o fluxo de veículos diminuiu, e $1,5 \text{ mg/L}$ na Praça XV de Novembro devido a retirada da Via. Em 2020, em plena pandemia do Covid-19, os teores de enxofre não ultrapassaram $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ devido à circulação inexpressiva de veículos. Os teores de cálcio, que se encontravam em torno de 100 mg.L^{-1} em 2013, reduziram-se para valores em torno de 11 mg.L^{-1} visto que esse elemento, presente nas rochas ou nas argamassas, se associa ao enxofre, emanado dos veículos, formando crostas negras (gipsita), que diminuíram. No que tange a emanção de NaCl na fachada da Praça XV, verificou-se um aumento dos teores de 5 mg.L^{-1} em 2013 para 17 mg.L^{-1} em 2020, visto que a retirada da Via Perimetral facilitou a ação dos ventos oriundos do mar. Conclui-se que as alterações de tráfego na região foram benéficas para o Paço visto que os teores de enxofre foram reduzidos, impedindo a formação de crostas negras e que a ação do spray salino foi mais acentuada, necessitando-se de uma lavagem com água destilada, periodicamente, para evitar eflorescências e descamações nas rochas.

Palavras-chave

Paço Imperial, alterabilidade de rochas e crosta negra.

ABSTRACT

Paço Imperial of Rio de Janeiro, built in the 18th century at Praça XV, is one of the most important colonial buildings. The region has undergone major urban transformations, changing weather conditions, the last in 2014 with the removal of the Via Perimetral. In this work, the effect of the atmospheric pollution on the building's rocks due to these changes is evaluated, using the ICP-plasma analysis in the washing waters of the facades collected in 2013, 2019 and 2020. Results indicated that the sulphur were high (300 mg.L^{-1}), before Perimetral's implosion and the change of direction of S. José Street, reducing to 19 mg.L^{-1} in 2019 on 1º de Março Street, as the flow of vehicles decreased, and 1.5 mg.L^{-1} at Praça XV due to Via withdrawal. In 2020, in the midst of the Covid-19, sulphur levels did not exceed 0.5 mg.L^{-1} . Calcium, which were around 100 mg.L^{-1} in 2013, were reduced to values around 11 mg.L^{-1} since this element, present in rock or mortar, is associated with sulphur forming the black crusts. With reduced vehicle flow and building maintenance, black crusts have been reduced. NaCl emanation on the facade of Praça XV, there was an increase in levels from 5 mg.L^{-1} in 2013 to 17 mg.L^{-1} in 2020, since the removal of Perimetral facilitated the action of winds from the sea. It is concluded that the traffic changes in the region were beneficial to the Paço since the sulphur levels were reduced, preventing the formation of black crusts and that the saline spray action was more accentuated, requiring a wash with distilled water, periodically, to avoid efflorescence and scaling on the rocks.

Keywords

Paço Imperial, dimension stones alterability and sea breezes.

1 | INTRODUÇÃO

Com a chegada dos portugueses ao Brasil, houve o desenvolvimento de técnicas de cantaria. Em 1549, o então rei de Portugal, D. João III, ordena a viagem à colônia de Thomé de Souza que foi nomeado primeiro governador geral. Ele deveria trazer uma comitiva de pedreiros e carpinteiros cuja função era atuar na construção de fortalezas e edifícios para defesa. Nesta comitiva, estava presente o mestre de obras Luís Dias, encarregado de liderar e orientar profissionais advindos da Europa e, segundo Mansur et al. (2008), este é o momento quando a arte da cantaria é introduzida no Brasil. O fato de não haver mão de obra local capaz de construir nos moldes da metrópole, nem de operar instrumentos, usando técnicas de construção da época, faz com que a chegada deste grupo tenha papel fundamental, já que Luís Dias era perito na técnica da cantaria.

As fortalezas e edificações pelo litoral brasileiro foram realizadas com rochas disponíveis nestas regiões, por exemplo, nas regiões Norte e Nordeste foram utilizados calcários e arenitos, já na região Sudeste, granitos e gnaisses (CRISTOFARO, 2016), bem como rochas que vinham como lastros em navios.

Segundo Almeida e Porto Júnior (2012): “As pedreiras históricas influenciaram o traçado urbano e a formação de núcleos populacionais, com conexões econômicas em todos os estratos sociais. O material delas extraído hoje se encontra, em suas diversas formas de uso, expostos no conjunto arquitetônico do chamado Rio Antigo, situado no centro econômico e turístico da capital”.

A cidade do Rio de Janeiro tem em sua geomorfologia diversos maciços rochosos e, desde o Brasil Colônia, em seus primeiros núcleos urbanos, seu desenvolvimento foi condicionado pela

indústria de extração de rochas. Que se tornou cada vez mais intenso com o aumento de habitantes em função da chegada da corte. Hoje, observando as antigas construções, nota-se que o uso abundante das rochas e suas distribuições em fachadas e adornos nos permitem confirmar que as pedreiras da cidade tiveram um papel fundamental na história da construção urbana carioca. A ligação entre a população e as pedreiras, localizadas muito próximas dos locais onde essas pessoas residiam era tão grande, que algumas ruas carregavam o nome das mesmas, por exemplo, a atual Rua da Conceição antigamente era conhecida como “Rua da Pedreira da Conceição” (ALMEIDA & PORTO JÚNIOR, 2012).

A região do centro da cidade do Rio de Janeiro representa uma importante parte da história do Brasil e foi palco de grandes marcos que influenciaram e modificaram a política e a sociedade brasileira. O prédio do Paço Imperial foi construído em alvenaria e rochas ornamentais, onde se destacam o gnaisse facoidal e o leptinito, no Largo do Carmo, nomeado atualmente de Praça XV e foi o coração das transições políticas e sociais, registrando importantes trajetórias históricas do Brasil Colônia, Real e Imperial desde o século XVIII até o início do século XX.

O Paço Imperial é um prédio de aparência simples que teve suas fundações fixadas sobre as antigas construções da Casa da Moeda e dos Armazéns Reais. Foi concluído em 1743 e sua primeira ocupação como Casa dos Governadores prolongou-se até 1763. Nesse mesmo ano, tornou-se Palácio dos Vice-Reis em função da transferência da sede do Governo Geral para o Rio de Janeiro. Entre 1808 e 1822, o prédio serviu de primeira moradia da corte portuguesa ao abrigar a família real vinda de Lisboa e recebeu o nome de Paço Real. O Paço Imperial passou a ter essa nomenclatura entre os anos 1822 e 1889, período que talvez seja um dos mais marcantes na sua história,

pois presenciou eventos como o Dia do Fico, a assinatura da Lei Áurea e a comunicação do Major Solon Guimarães a Dom Pedro II sobre a proclamação da República. A partir de 1890 e até 1982, foi sede dos Correios e Telégrafos. Em 1982, iniciaram-se as obras de restauração e, hoje, o Paço Imperial é um centro cultural que oferece exposições de artes e visitação aberta ao público (RICARDO et al., 2017; MARIANI et al., 2004).

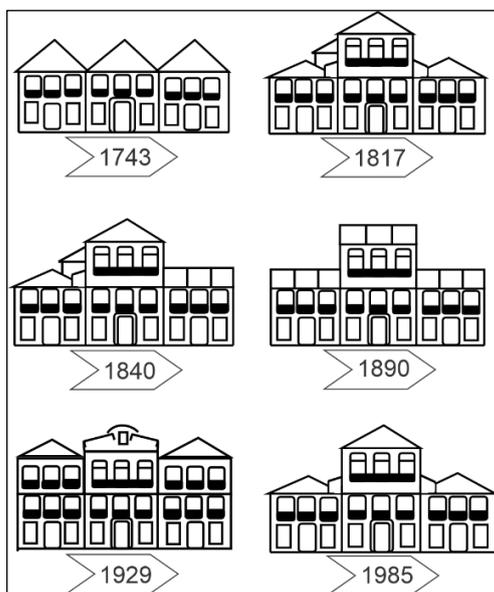


Figura 1. Evolução da fachada principal do Paço. Adaptado de Ricardo et al., 2017.

Assim como os tempos mudam, os estilos de construção também e, portanto, não só o próprio prédio sofreu modificações, mas seu entorno exhibe, até hoje, as constantes adaptações de uma metrópole.

A Figura 2 ilustra a evolução urbanística local desde o início do século XIX, na pintura de Debret (A) (1836), passando pela construção da via expressa Perimetral, entre 1957 e 1978 (B), culminando com a demolição da via expressa em 2014 (C).



Figura 2. Evolução dos arredores do Paço Imperial. (A) pintura de Debret (1836) evidenciando a proximidade do prédio do Paço (à esquerda) com o mar e as poucas construções do entorno; (B) fotografia de Márcio Machado, retirada de <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=180294>, mostrando o aterramento da região e a via perimetral, com o Paço Imperial localizado à esquerda, ao lado das árvores da Praça XV de Novembro; (C) fotografia do ano de 2014, retirada de <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1802943>, do mesmo local, porém sem a via perimetral em função das obras do Porto Maravilha, com o Paço localizado no canto esquerdo, próximo às árvores.

A área da Praça XV passou por diversas transformações urbanistas e modificação da paisagem natural, gerando drásticas alterações ambientais no entorno, com a formação de ilhas de calor, modificação do regime de ventos de superfície na região e intensificando as altas concentrações de salinidades e poluição. Tendo por consequência, estados avançados de deterioração das rochas do Paço Imperial. Com isso, o presente trabalho fez um levantamento tecnológico e científico do estado de conservação das rochas das fachadas do prédio do Paço Imperial, buscando analisar de que modo as transformações urbanas e naturais exercem influência nessa deterioração do monumento.

Ricardo et al., 2017 já indicava o processo de deterioração do referido prédio por conta da poluição e pôde gerar o mapa de danos da edificação apresentado na Figura 3. Essa figura indica acentuadas perdas de massa causadas em virtude das mudanças das propriedades físicas das rochas. Essas mudanças dizem respeito à cristalização de sais em seu interior ou alterações por influências externas às rochas como, por exemplo, reação do enxofre, oriundo da poluição urbana, com o cálcio dos mármore, gerando gipsita (*i.e.*, $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), causando o desprendimento da fachada. Verificaram-se, ainda, alterações cromáticas causadas pelas incidências dos raios solares e a formação de crostas negras, principalmente devido à ação do enxofre emitido pelos veículos que circulavam na Perimetral, que foi demolida durante remodelação da cidade para a copa do mundo de 2014 e jogos olímpicos de 2016.



Fonte: Ricardo et al., 2017.

Figura 3. Mapeamento de danos da Fachada do Paço Imperial.

Para que os recorrentes restauros no monumento possam ser feitos de forma mais precisa, é necessário um suporte tecnológico para caracterização de rochas e argamassas e as causas de suas alterações para que as atividades dos restauradores possam ser realizadas de forma mais efetiva e maior segurança da preservação correta do bem tombado.

Com os dados obtidos será possível atuar de maneira mais eficaz na futura geoconservação desses sítios de geodiversidade (BRILHA, 2015), levando em consideração as características e especificidades das rochas e das alterações atuantes. Esta contribuição para o meio científico e a geoconservação são fundamentais para que haja uma disseminação deste ramo da Geociência e para que ocorra um acompanhamento e catalogação das formas de intemperismo e alteração dos patrimônios afetados nos bairros da cidade do Rio de Janeiro.

A degradação ocorre em função da propensão variável das rochas para se alterarem em função de fatores intrínsecos, como composição mineralógica, características permo-porosas e propriedades hidromecânicas, além de fatores extrínsecos relacionados ao ambiente em que a alteração se processa, incluindo temperatura, presença de água, pH, Eh (*i.e.*, potencial redox) e de poluentes atmosféricos, entre outros. Desse modo, o resultado dos processos de degradação das rochas deve ser corretamente identificado, pois se reflete sob a forma de morfologias de alteração.

O mapeamento destas formas de alteração na fachada das edificações constitui-se em um primeiro passo para verificação do grau de comprometimento dos materiais pétreos na construção (BARROSO & DEL LAMA, 2007). O estudo das alterações das rochas em monumentos é multidisciplinar, necessitando a avaliação de geólogos, químicos, biólogos, arquitetos, engenheiros ambientais, dentre outros, para que as causas dos problemas possam ser identificadas e os problemas sanados e os meios de restauração e conservação possam ser realizados com maior embasamento tecnológico possível.

A avaliação tecnológica dos monumentos pétreos e argamassas históricas é muito importante porque permite a caracterização dos materiais, e determina as causas das alterações e métodos de ação para conter a degradação do monumento. Vários lugares do mundo realizam caracterização tecnológica para realização de restaurações com embasamento tecnológico, inclusive em obras do período bizantino dos séculos VI ao X (BAKOLAS et al., 1998).

Muitas técnicas foram aplicadas com sucesso na caracterização de monumentos, incluindo a difração de raios-X, a observação macroscópica, a petrografia, a análise física, a espectroscopia na região do infravermelho, a análise química, a análise termogravimétrica (TG-DTG), testes mecânicos e a granulometria (MARTÍNEZ et al., 2013; LEZZERINI et al., 2014 e MOROPOULOU et al., 2000), contribuindo, assim, para o maior conhecimento técnico e realização de restaurações mais seguras.

2 | OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo compreender como as alterações paisagísticas ao redor do Paço Imperial do Rio de Janeiro influenciaram no processo de alteração das rochas das fachadas da Rua Primeiro de Março e da Praça XV de Novembro do Paço Imperial, por avaliação química por ICP Plasma das sujidades dessas fachadas, lavadas com água destilada nos anos de 2013, 2019 e 2020.

3 | EXPERIMENTAL

As atividades iniciaram com levantamentos bibliográficos e climatológicos da região, coleta de material, utilizando-se água destilada nas fachadas, e posterior análise em laboratório. Com tal análise quantitativa realizada em 2019, buscou-se avaliar as mudanças ocorridas no intervalo de tempo entre 2013 e 2019, observar as tendências e buscar explicações para as possíveis causas dos valores obtidos nas análises químicas, comparando-os com os resultados obtidos por Ricardo (2015). Além disso, realizou-se uma coleta específica no ano de 2020 durante a pandemia do Covid-19.

Na Figura 4A, está disposta a imagem aérea do Paço Imperial em 2005 antes da implosão do Elevado da Perimetral (em vermelho), comparando com a imagem aérea de 2019, após a retirada da via expressa Perimetral (Figura 4B).

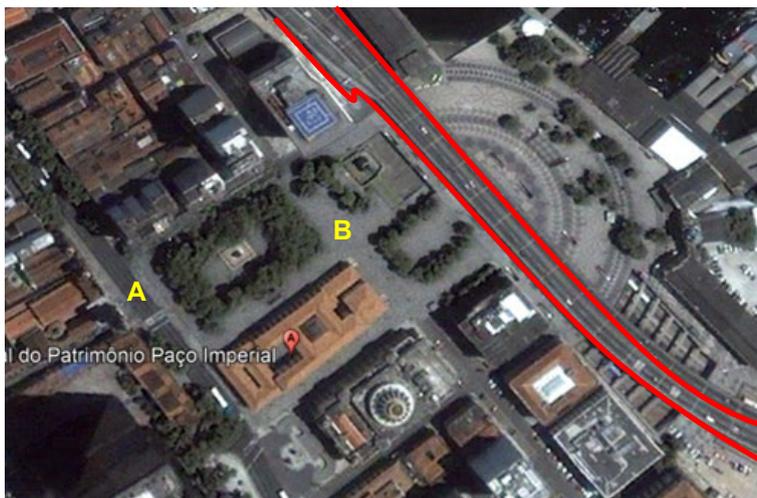


Figura 4A. Vista aérea do Paço Imperial (google Earth 2005).
A: Rua Primeiro de Março e B: Praça XV de Novembro.

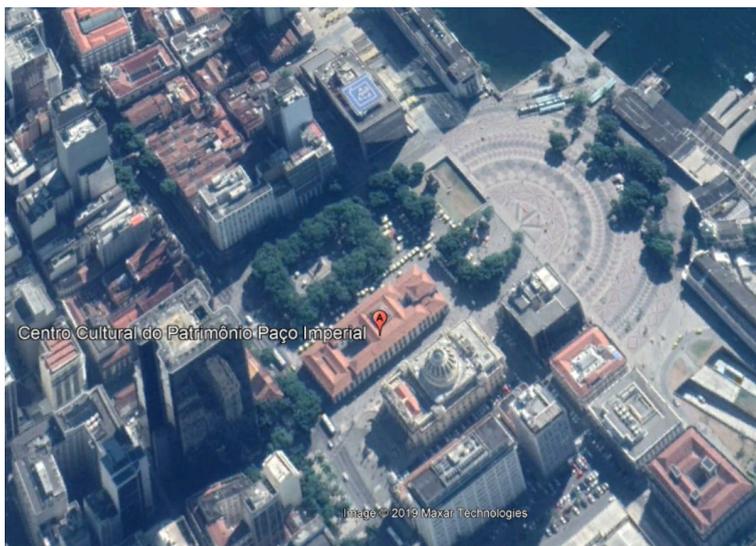


Figura 4B. Vista aérea do Paço Imperial (google Earth 2019).

3.1 | Avaliação dos Danos

Foram realizadas inspeções e registros fotográficos no prédio a fim de se verificar as principais alterações nas rochas, utilizando-se como padrão de referência as determinações preconizadas no glossário ICOMOS (*i.e.*, *International Council on Monuments and Sites*).

3.2 | Pesquisa Urbanística

Foram realizadas pesquisas históricas sobre o monumento do Paço Imperial e de seu entorno, nos acervos do Arquivo Geral da cidade do Rio de Janeiro, na dissertação de mestrado de

Amanda Ricardo defendida em 2015, a fim de se verificar as alterações urbanísticas ao redor do monumento.

3.3 | Avaliação Climatológica

Foram realizadas buscas de históricos de dados meteorológicos e de cartas sinóticas fornecidos pelas estações meteorológicas do Rio de Janeiro e Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas, respectivamente no entorno do Paço Imperial.

3.4 | Trabalho em Campo

3.4.1 | Coleta de Águas de Lavagem

As coletas foram realizadas nas fachadas do monumento, utilizando recipientes de plásticos estéreis com tampas à prova de vazamento e com o auxílio de um pissete contendo água destilada. A água foi aspergida em pequenas partes de aproximadamente 10 x10 cm nos portais e colunas das fachadas do prédio. O líquido coletado em campo foi armazenado nos recipientes, com a identificação referente à localização das coletas para posterior análise química pela COAM – Coordenação de Análises Minerais do CETEM. As coletas foram realizadas em 2013 (RICARDO, 2015), em 2019 e em 2020 nas fachadas principais na Rua Primeiro de Março e na Praça XV de Novembro.

3.4.2 | Análises Laboratoriais

As amostras coletadas foram avaliadas por meio de espectrometria de emissão ótica por absorção atômica com plasma induzido e o resultado foi demonstrado em miligramas por litro. Esse método permitiu observar as concentrações dos elementos depositados nas rochas das fachadas dos monumentos, especificamente Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- e $(\text{SO}_4)^{2-}$.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Avaliação dos Danos

As Figuras 5 a 13 apresentam os principais danos encontrados nas rochas das fachadas em estudo, verificando-se principalmente, perdas de massa (Figura 5, 7 e 8), formação de crostas negras (Figuras 8 e 9), manchamento (Figura 10), descamação (Figura 11 e 12) e eflorescência (Figura 13). Tais alterações estão ligadas, principalmente, à ação do intemperismo local, especificamente ação de salinidade e do enxofre emanados pelos veículos que circulavam próximos ao monumento.



Figura 5. Perda de massa.

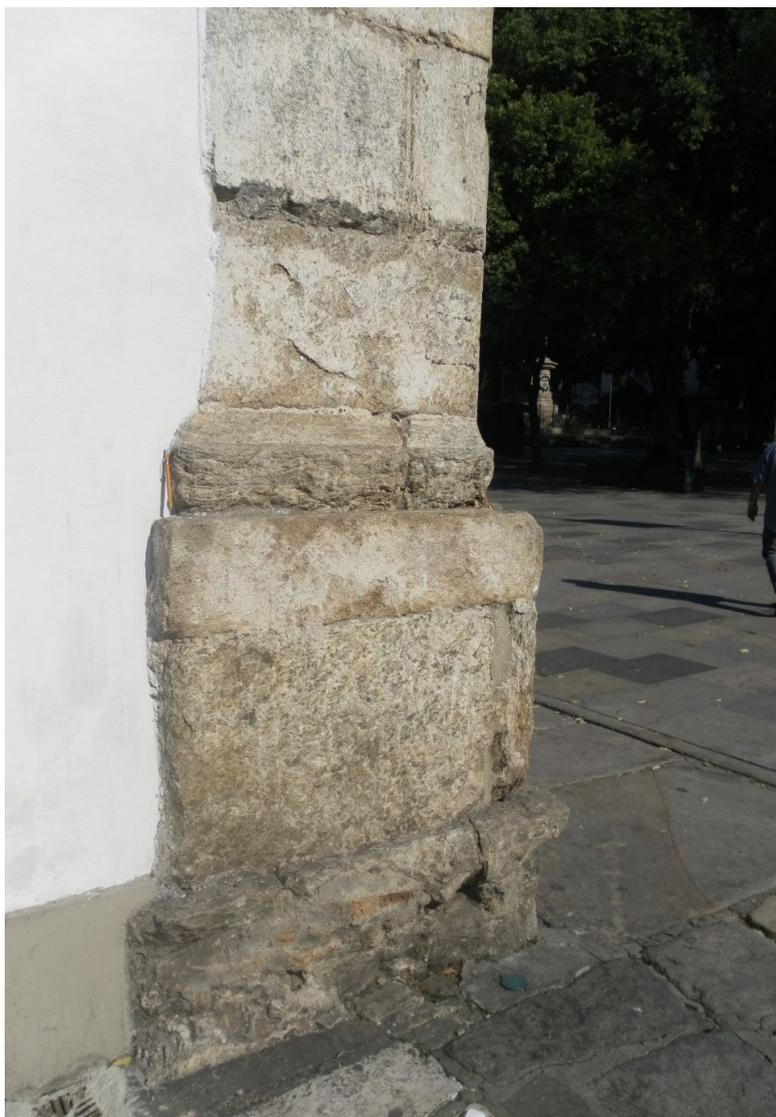


Figura 6. Perda de massa.



Figura 7. Perda de massa.



Figura 8. Crosta negra.



Figura 9. Formação de crostas negras.



Figura 10. Manchamento.



Figura 11. Descamação.



Figura 12. Descamação.



Figura 13. Eflorescência.

4.2 | Avaliação Urbanística

As alterações encontradas nas rochas das fachadas tem relação direta com as mudanças urbanísticas que ocorreram ao longo do tempo no entorno do Paço Imperial, principalmente com a sua última modificação em 2014 com a implosão da Av. Perimetral, que era responsável pela circulação diária de cerca de 76.000 veículos emanando SO_x , CO, dentre outros poluente, a poucos metros da fachada da Praça XV de Novembro, favorecendo o acúmulo de poluentes nessa fachada, além de dificultar a circulação dos ventos. Além disso, nesse mesmo ano, a Rua São José (destacada em vermelho na Figura 14) teve seu sentido invertido, permitindo a diminuição da circulação de veículos na Rua Primeiro de Março.

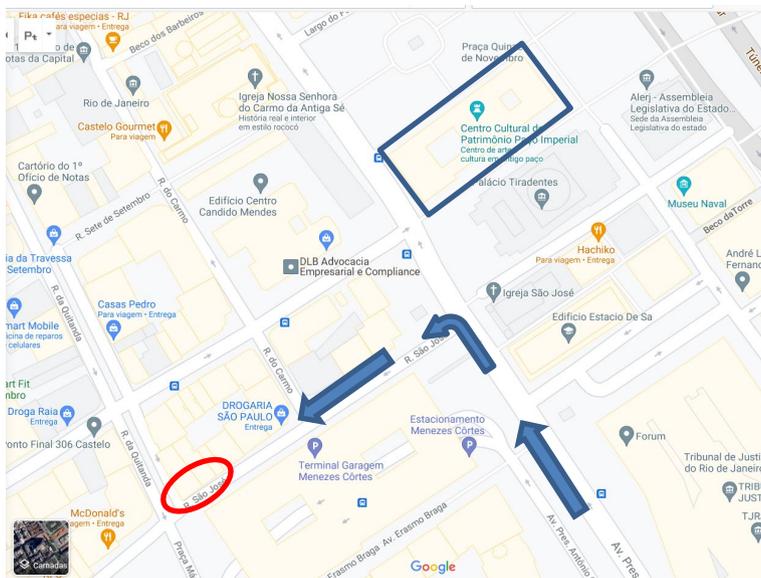


Figura 14. Detalhe de inversão de sentido da Rua São José. GoogleEarth, 2020.

4.3 | Avaliação Climatológica

Em termos de situação climatológica da região, verifica-se na Figura 15 que a percentagem de poluentes atmosféricos entre os anos de 2010 e 2020 apresenta material particulado respondendo por 48% e o ozônio por 44%. Já o monóxido de carbono representa 1% e o dióxido de enxofre 7%.

Os baixos teores de CO e SO₂ estão relacionados com as alterações urbanísticas da região, uma vez que ocorreu uma diminuição substancial da circulação de veículos no entorno do prédio a partir de 2024.

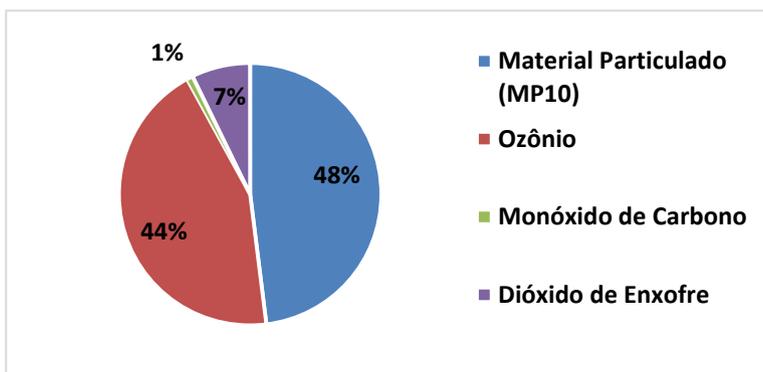


Figura 15. Percentagem de poluentes atmosféricos, tendo como base o mês de junho entre os anos 2010 e 2020 na região do Centro do Rio de Janeiro. (Banco de Dados <http://jeap.rio.rj.gov.br/>)

A Figura 16 apresenta os índices de precipitação total na cidade do Rio de Janeiro desde o ano de 2003 até o ano 2019 onde se verifica um aumento do índice de precipitação a partir de 2014, época da retirada da Via Perimetral, permitindo maior ação da chuva na fachada da Praça XV de Novembro, devido a retirada da “barreira de concreto” exercida pela Via.

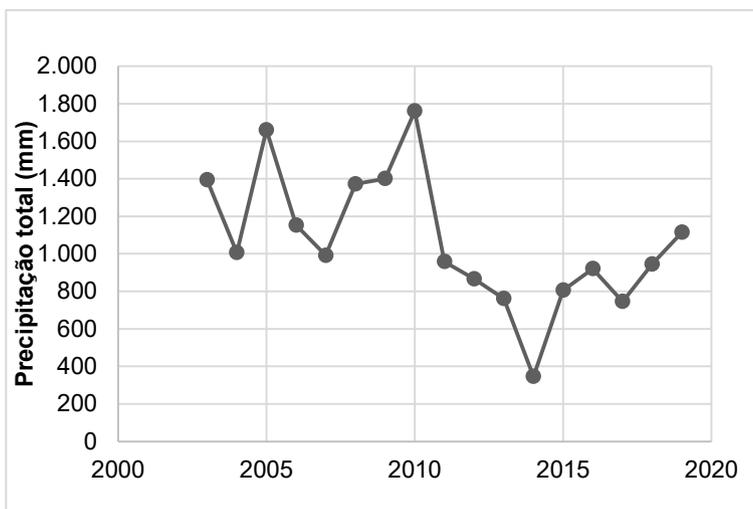


Figura 16. Precipitação total anual entre os anos 2003 a 2019 (Bancos de dados climatológicos <http://clima.icea.gov.br/>).

Além da precipitação, outro fator que influencia na concentração de poluentes atmosféricos locais são a direção e o fluxo dos ventos, que propiciam o transporte e a dispersão dos poluentes, e que em estagnação produz um acúmulo, podendo influenciar na maior concentração de partículas no ar.

Na área da Baía de Guanabara observa-se que a direção predominante dos ventos é de Sul (S) e Nordeste (NE), com ocorrências de outras direções Leste (E) e Sudeste (SE). A direção frequente de S é devido a uma forte influência da circulação da brisa marítima e da direção N correspondente a ventos de brisa terrestre, devido à maior proximidade desta com o Oceano Atlântico de acordo com os dados da Estação meteorológica do aeroporto Santos Dumont (Figura 17 e 18).

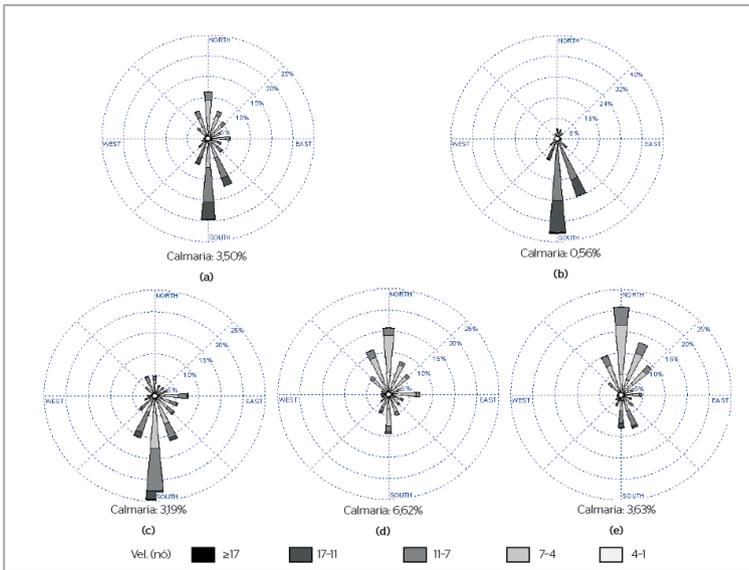


Figura 17. Distribuição de frequência dos ventos para a estação Santos Dumont anual, referentes a: (a) composição total e períodos (b) tarde, (c) noite, (d) madrugada, (e) manhã. (DERECZYNSKI, C.P., 2019).

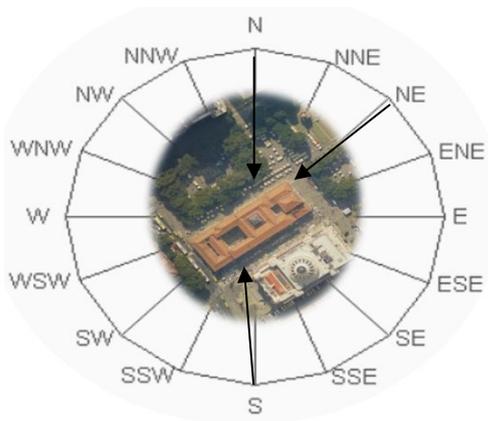


Figura 18. Imagem adaptada do Google Earth (2019).

Avaliando-se a velocidade dos ventos desde 2014 a 2019 (Figura 19) na fachada da Praça XV de Novembro, observa-se que após a retirada da Av. Perimetral, o fluxo de ventos aumentou significativamente, acarretando o aumento do transporte de aerossóis da brisa marítima em direção a esta fechada.

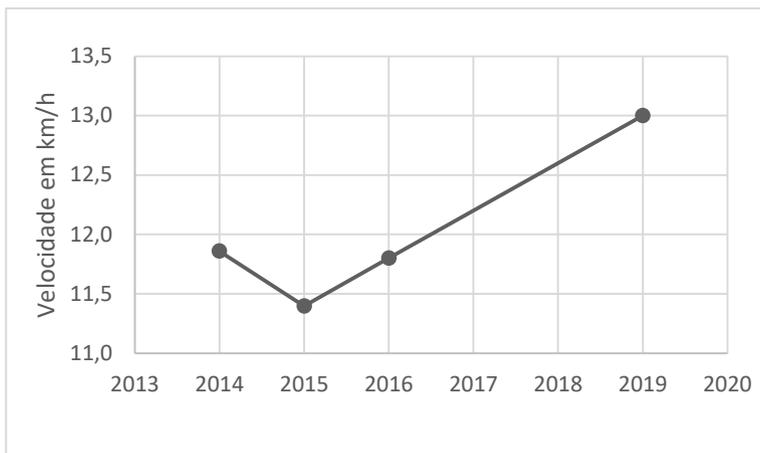


Figura 19. Velocidade dos ventos na região do Centro, próxima a Baía de Guanabara (<http://clima.icea.decea.mil.br/>).

4.4 | Análise Laboratorial

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados da análise química da água de lavagem do ano de 2014 realizadas por Ricardo (2015) e os resultados das análises das coletas realizadas em 2019 e 2020, tendo como ênfase as fachadas voltadas para a Rua Primeiro de Março e Praça XV de Novembro.

Pode-se verificar que os teores de enxofre encontravam-se em torno de 300 mg/L em 2013 em ambas as fachadas, enxofre esse oriundo da queima de combustíveis emanado pelos veículos que circulavam, em grande quantidade, pela Via Perimetral e pela Rua Primeiro de Março.

Após a retirada da Via Perimetral e alteração do sentido da Rua São José, o fluxo de veículos diminuiu, substancialmente, ao redor do prédio, observando-se teores de enxofre não chegando a 20 mg/L na Rua Primeiro de Março e de 1,5 mg/L na Praça XV de Novembro em 2019, indicando menor efeito de poluição no monumento. Já em 2020, em plena pandemia do Covid-19, os teores de enxofre não ultrapassaram 0,5 mg/L em ambas as fachadas devido à circulação inexpressiva de veículos.

A diminuição significativa da concentração de enxofre está relacionada à redução da circulação de veículos na região, mas também devido às novas tecnologias para redução de emissões de poluentes atmosféricos e novas legislações como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), que a partir de 2014 reduziu o teor máximo de enxofre para 50mg/kg.

Os teores de cálcio, que em 2013 encontravam-se em torno de 100 mg/L, reduziram-se para valores em torno de 11 mg/L, tanto em 2019 quanto em 2020. O cálcio, presente nas rochas ou até mesmo nas argamassas, associa-se ao enxofre emanado pelos veículos formando crostas negras nas fachadas, identificadas como gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

No entanto, com a redução das emissões de enxofre, no entorno do prédio, reduz-se a formação desse sal e a manutenção predial, aliada com a chuva que auxilia na remoção das crostas que se encontravam no prédio.

Em termos de íons sódio e cloreto as concentrações são baixas na Rua Primeiro de Março, variando entre 2 e 7 mg/L, entre os anos de 2013 e 2020. Já na fachada da Praça XV de Novembro, os teores de íon sódio aumentaram de 5,3 para 17,0 mg/L e os teores de cloreto aumentaram de 8,6 para 17,0 mg/L visto que a retirada da Via Perimetral, que funcionava como barreira para o *spray* salino, permitiu que a força dos ventos transportasse esses íons que se depositam na referida fachada, ocasionando a formação de eflorescências. Dessa forma, remonda-se a limpeza constante com água destilada.

Tabela 1. Comparativo das Análises químicas (mg.L⁻¹) dos íons encontrados na água de lavagem nos anos de 2013 – 2020.

Íons (mg. L ⁻¹)	Fachada para 1º Março			Fachada para Praça XV		
	2013	2019	2020	2013	2019	2020
Na ⁺	7,3	2,3	2,3	5,3	17,2	17,0
Cl ⁻	6,5	4,8	3,3	8,6	16,8	17,0
Ca ²⁺	100,2	10,9	11,2	104,8	10,9	10,7
(SO ₄) ²⁻	300,1	19,1	0,5	330,0	1,5	0,3

5 | CONCLUSÕES

As rochas usadas na construção das cidades são parte de sua memória cultural e isto não é diferente quando tratamos do Centro Cultural Paço Imperial da cidade do Rio de Janeiro; por isso, as construções históricas, nos ambientes urbanos, constituídas por rochas, merecem um estudo detalhado acerca das causas e possíveis consequências dos danos a elas causados.

A degradação das rochas ocorre globalmente e a ela podem ser atribuídas muitas causas; porém, durante os últimos dois séculos houve um aumento significativo na deterioração de estruturas, devido à poluição que tem experimentado mudanças ao longo de um vasto período de tempo geológico, durante vários intervalos de tempo.

Foi possível observar que as rochas ornamentais do Paço Imperial, que compõem as portas e colunas das fachadas, são de gnaiss facoidal (*augen gnaiss*) e apresentam costa negra, que normalmente está relacionada à presença de concentrações de enxofre emanados pelos veículos e associados com o cálcio presente nas rochas, formando gipsita.

Verificou-se que a demolição da Via Perimetral foi benéfica para o Paço, bem como a alteração no sentido da Rua São José, pois diminui substancialmente a circulação de veículos próxima ao prédio, diminuindo, assim, o teor de enxofre depositado nas suas fachadas, com conseqüente formação de gipsita.

Observou-se que a intensidade do *spray* salino, especificamente NaCl, não se alterou ao longo do tempo na fachada da Rua Primeiro de Março, mas na fachada da Praça XV de Novembro a intensificação da presença de íons sódio e cloreto mais que triplicaram após a retirada da Via Perimetral, que funcionava como barreira para o vento que carregava tais íons.

Durante a pandemia do Covid-19 os teores de sódio e cloreto na estrutura predial não foram alterados e os teores de sulfato foram quase zerados, uma vez que a circulação de veículos, ao redor do prédio, foi insignificante nesse ano de 2020.

6 | AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro para realização desse trabalho, ao CETEM pela infraestrutura, aos funcionários do Paço Imperial e a todos do LACON.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S.; PORTO JÚNIOR, R., (2012). Cantarias e pedreiras históricas do Rio de Janeiro: instrumentos potenciais de divulgação das Ciências Geológicas: Historic quarries in RJ as a stimulus to the study of Geological Sciences. Terra e Didática, v. 8, n. 1, p. 3-23.

Arquivo Geral da Cidade do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www0.rio.rj.gov.br/arquivo/acervos.html>> acesso em 07 jul. 2020.

BARROSO, E.V.; DEL LAMA, E.A. (2007). O papel da geologia na preservação do patrimônio cultural brasileiro. Simpósio de Geologia do Sudeste (10, p. 211). Diamantina: SBG/NSP-NRJ-NMG.

BAKOLAS, A.; BISCONTIN, G.; MOROPOULOU, A.; ZENDRI, E. (1998). Characterization of structural byzantine mortars by thermogravimetric analysis. Thermochim. 321, 151-160, doi:10.1016/S0040-6031(98)00454-7.

BRILHA, J. (2005). Patrimônio Geológico e Geoconservação: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica. 1. ed. Braga: Palimage Editores, 190 p.

Programa de monitoramento da qualidade do ar. Boletim de qualidade do ar. Disponível em: < <http://jeap.rio.rj.gov.br/je-metinfosmac/boletim>> acesso em 07 jul. 2020.

CRISTOFARO, R. (2016). Trabalhos em rocha e ofício da cantaria em Juiz de Fora e região / Ricardo Cristofaro – Juiz de Fora, MG: Funalfa, 192p.

DERECZYNSKI, C.P., OLIVEIRA, J.S.; MACHADO, C.O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.1, 24-38, 2009.

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, Recife, Brasil. p. 1-7, 2002.

LEZZERINI, M.; LEGNAIOLI, S.; LORENZETTI, G.; PALLESCI, V.; TAMPONI, M. (2014). Characterization of historical mortars from the bell tower of St. Nicholas Church (Pisa, Italy). *Constr. Build. Mater.*, 69, 203-212, doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.07.051.

MANSUR, K.L., CARVALHO, I.S., DELPHIM, C.F.M.; BARROSO, E.V., (2008). O gnaiss facoidal: a mais carioca das rochas, *Anuário de Geologia – UFRJ*, v. 31, n. 2.

MARIANI, A.W., LEITE, A.L.D., COUTINHO, C., PAIVA, C.S.M., COEFI, V.L.M., ANDRADE, M.L.V.; CONTURS, F.B. (2004). *Paço Imperial: roteiro para visita histórica*. 4. ed. 80p. Rio de Janeiro: Paço Imperial.

MARTÍNEZ, I.; CASTILLO, A.; MARTÍNEZ, E.; CASTELLOTE, M. (2013). Physico-chemical material characterization of historic unreinforced masonry buildings: The first step for a suitable intervention. *Constr. Build. Mater.* 40, 352-360, doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.09.091.

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; BISBIKOU, K. (2000). Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage* 1, 45-58. doi:10.1016/S1296-2074(99)00118-1.

RICARDO, A.M., MANSUR, K.L., BARROSO, E.V., SENRA, F., AVELLAR, G.; RIBEIRO, R.C.C., (2017). Mapeamento das morfologias de alteração das rochas do Paço Imperial, Rio de Janeiro, *Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 45-58, DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v17-305.

RICARDO, A.M., (2015). Uma Rocha e um palácio: características e alterabilidade do gnaiss facoidal no Paço Imperial do Rio de Janeiro; 15/10/2015. 194 p. *Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro – RJ, 2015.

Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas. <<http://clima.icea.gov.br/clima/precqntTotalAS.php>> acesso em 07 jul. 2020.

TERASSI, P.M.B.; GALVANI, E., (2017) O efeito orográfico da Serra do Mar e o potencial erosivo das chuvas nas bacias hidrográficas do Ribeira e Litorânea – Paraná, Revista Brasileira de Climatologia- ISSN: 2237-8642 (Eletrônica). Ano 13; v. 21.

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 2020, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 360 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 Tecnologia Ambiental

- STA-116 - **Fertilização e correção de solos utilizando resíduos de rochas ornamentais - Estado da Arte.** Maiccon Martins Barros, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, 2021.
- STA-115 - **Rochas aglomeradas: Uma alternativa tecnológica e ambiental para a utilização dos resíduos de rochas ornamentais.** Mônica Castoldi Borlini Gadioli, Mariane Costalonga de Aguiar, Ana Júlia Nali Giori, Abiliane de Andrade Pazeto, Maria Carolyna Sopeletti Fernandes, 2021.
- STA-114 - **Geração de revestimentos poliméricos contendo resíduos de pegmatitos com características de isolamento térmico.** Gabriella Neto Chagas, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, 2020.

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
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 43 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.