

EFEITOS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA DEGRADAÇÃO DAS CÚPULAS DO MUSEU NACIONAL DE BELAS ARTES

EFFECTS OF POLLUTANTS ON THE DEGRADATION OF THE DOMES OF THE NATIONAL MUSEUM OF FINE ARTS

Caroline Martins de Souza

Aluna de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária
10º período Universidade Estácio de Sá
Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: julho de 2021 a julho de 2022
carolinemartins.ambiental@gmail.com

Roberto Carlos Ribeiro

Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.
rcarlos@cetem.gov.br

RESUMO

O prédio do Museu Nacional de Belas Artes no Rio de Janeiro, projetado em 1908, é uma das construções brasileiras mais importantes dedicada à conservação e divulgação de obras representativas da produção artística e foi sede da Escola Nacional de Belas Artes até 1975. Suas fachadas são revestidas por rochas e argamassa e no seu topo há três imponentes cúpulas construídas em argamassa. Ao longo do tempo, o entorno do prédio passou por diversas alterações urbanas, o que juntamente ao aumento da circulação de veículos e a ação de intempéries, intensificou a formação de ilhas de calor e dos processos de degradação e decomposição das cúpulas. Este trabalho tem como objetivo compreender como a ação dos poluentes atmosféricos afetou o processo de degradação das cúpulas do Museu. Para tal, realizou-se um levantamento bibliográfico, climatológico e de cartas sinóticas. Foram coletadas ainda amostras de águas de lavagem das cúpulas que foram submetidas à análise química por ICP-plasma para determinação dos íons sódio, cálcio, cloreto e sulfato, além da determinação de dureza, utilizando o aparelho portátil *Equotip 550* da marca *Proceq*. A partir dos resultados obtidos pôde-se concluir que todas as cúpulas apresentam acelerado processo de degradação em decorrência do acúmulo de cloreto de sódio proveniente do oceano, sendo que as cúpulas sul e central são as mais atingidas, devido à ação das correntes de ventos do sul e sudeste, observou-se que os teores desse sal ultrapassam 1.000 mg.L^{-1} , ocasionando oxidação das ferragens de sustentação e perda de resistência mecânica, visto que a dureza das argamassas chega a 125 HLD. Observaram-se também acúmulos de enxofre (em torno de 500 mg.L^{-1}) nas três cúpulas oriundo da emissão dos veículos que circulavam na frente do prédio até o ano de 2013. Tal elemento associou-se ao cálcio presente nas argamassas, formando gipsita em vários pontos das cúpulas, criando-se pontos de fragilidade e de degradação das mesmas.

Palavras-chave: Museu Nacional de Belas Artes, poluentes atmosféricos, deterioração.

ABSTRACT

The building of the National Museum of Belas Arts, designed in 1908, is one of the most important constructions in Brazil, dedicated to the conservation, dissemination and acquisition of representative works of Brazilian artistic production and was the headquarters of the National School of Fine Arts until 1975. By rocks and mortar and at the top are three imposing domes built in mortar. However, its surroundings underwent several urban changes over time, intensifying the formation of heat islands, the intense circulation of vehicles and the action of the weather, intensifying the processes of degradation and decomposition of the domes. This work aims to understand how the action of atmospheric pollutants affected the degradation of the domes of the Museum. To this end, the methodology was based on a bibliographic, climatological and synoptic chart survey. Washing water from the domes was collected and

evaluated by ICP-plasma for determination of sodium, calcium, chloride and sulfate ions, in addition to determination of hardness, using the portable device Equotip 550, brand Proceq. It can be concluded that the domes of the National Museum of Fine Arts show an accelerated degradation process caused by the accumulation of sodium chloride from the ocean, with the southern and central domes being the most affected due to the action of the south and southeast winds, observing levels of this salt that exceed $1,000 \text{ mg.L}^{-1}$, causing oxidation of the supporting hardware and loss of mechanical strength, since the hardness of the mortars reaches 125 HLD. There are also accumulations of sulfur in the three domes from the vehicular emanation that circulated in front of the building until 2013. This element was associated with the calcium present in the mortars, forming gypsum in several regions of the domes, creating points of fragility.

Keywords: National Museum of Belas Arts, air pollutants, deterioration.

1. INTRODUÇÃO

O Museu Nacional de Belas Artes (MNBA) (Figura 1A) está situado no centro da Cidade do Rio de Janeiro, na antiga Avenida Central, atual Avenida Rio Branco e foi projetado em 1908 durante as modernizações urbanas ocorridas na gestão do então prefeito Pereira Passos, para ser a sede da antiga Escola Nacional de Belas Artes.

O edifício ocupa toda uma quadra (Figura 1B) por meio de quatro fachadas: fachada principal (Oeste), voltada para a Av. Rio Branco, fachadas laterais (Sul e Norte), voltadas para as Ruas Araújo Porto Alegre e Heitor de Melo, respectivamente e a fachada posterior (Leste), voltada para a Rua México. Elas estão distribuídas em torno de um pátio central e apresenta embasamento em gnaiss facoidal. O prédio é uma das construções mais importantes do país dedicada à conservação e divulgação de obras representativas da produção artística brasileira (Figura 1C) (Arquivo Geral RJ, 2022).

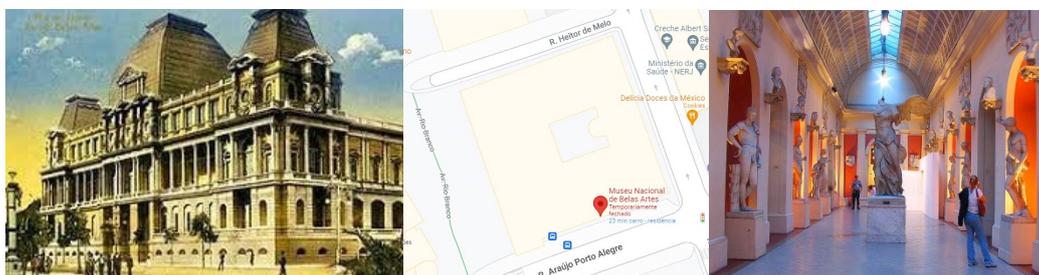


Figura 1: (A) Fachada principal, (B) Mapa de localização, (C) Interior do museu.

Ao longo dos anos, o entorno do prédio passou por diversas alterações urbanas, além do aumento da circulação de veículos, o que intensificou a formação de ilhas de calor e dos processos de degradação e decomposição das cúpulas, devido ao crescimento urbano acelerado. O prédio vem sendo submetido à ação de gases como NO_x , CO_x e SO_x oriundo das emissões veiculares, além do *spray* salino devido à proximidade com o mar, a uma quantidade média-baixa de chuvas, às variações bruscas de temperaturas e a insolação, fatores que intensificam os processos de degradação e decomposição das cúpulas e fachadas (Puccioni, 2009).

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo compreender como a ação dos poluentes atmosféricos influenciou na deterioração das cúpulas do MNBA utilizando-se a avaliação química das sujidades depositadas nas cúpulas e determinação de dureza, associando tais resultados com o levantamento climatológico da região.

3. METODOLOGIA

A metodologia consistiu em um levantamento bibliográfico, climatológico e de cartas sinóticas fornecidas pela estação meteorológica do Aeroporto Santos Dumont, localizado próximo ao museu. A trajetória solar foi avaliada por meio dos programas *Sketchup* e do site *Sun-Path*. As cúpulas foram lavadas com água destilada e escovas de cerdas macias sendo posteriormente, avaliadas por ICP-plasma para determinação dos íons sódio, cálcio, cloreto e sulfato, além da determinação de dureza nos mesmos pontos da lavagem, utilizando o aparelho portátil *Equotip 550* da marca *Proceq*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Principais Danos

Os principais danos observados nas cúpulas são eflorescências em estágio acelerado de degradação das argamassas e ferragens de sustentação, perdas de massa, manchamentos, oxidação das ferragens e crostas negras, como apresentado na Figura 2.

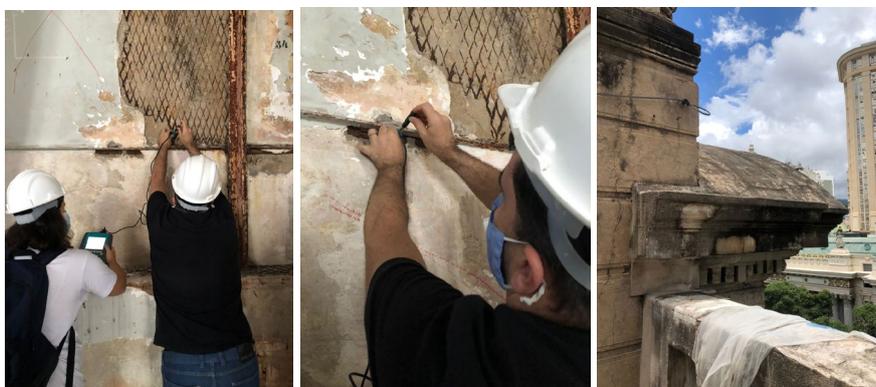


Figura 2: Principais danos nas cúpulas (oxidação, perda de massa e crosta negra).

4.2. Evolução Urbana no Entorno

A área do entorno do MNBA passou por diversas mudanças ao longo do tempo como pode ser observado na Figura 3. Nota-se que no início do século XX ocorreram importantes remodelações urbanas, com o desmonte do Morro do Castelo, a elaboração do Plano Agache e a abertura da Avenida Central. Pode-se verificar a esplanada criada com o desmonte do Morro do Castelo. Ressalta-se que na Figura 3 a localização do MNBA está representada pela cor vermelha, as ruas estão representadas com linhas em branco, as partes edificadas na cor cinza escuro e as manchas verdes, representam parques e jardins. É possível observar ainda que no período entre 1940 e 1980 ocorreram grandes modificações na estrutura urbana da região do Centro do Rio de Janeiro, o crescimento vertical da região do Centro e o grande fluxo de veículos diários, contribuíram para o acúmulo de poluentes atmosféricos nessa região.

Com o Projeto “Porto Maravilha” no ano de 2013, ocorreu à demolição da Via da Perimetral e posteriormente a inserção do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) tendo por consequência na finalização de circulação de veículos na Av. Rio Branco (Figura 4), que era a principal via a cortar o centro da cidade do Rio de Janeiro, com trânsito intenso e caótico de veículos e mais de 80 linhas de ônibus que a percorriam [Instituto do Meio Ambiente (INEA)] como apresentado na Figura 5.

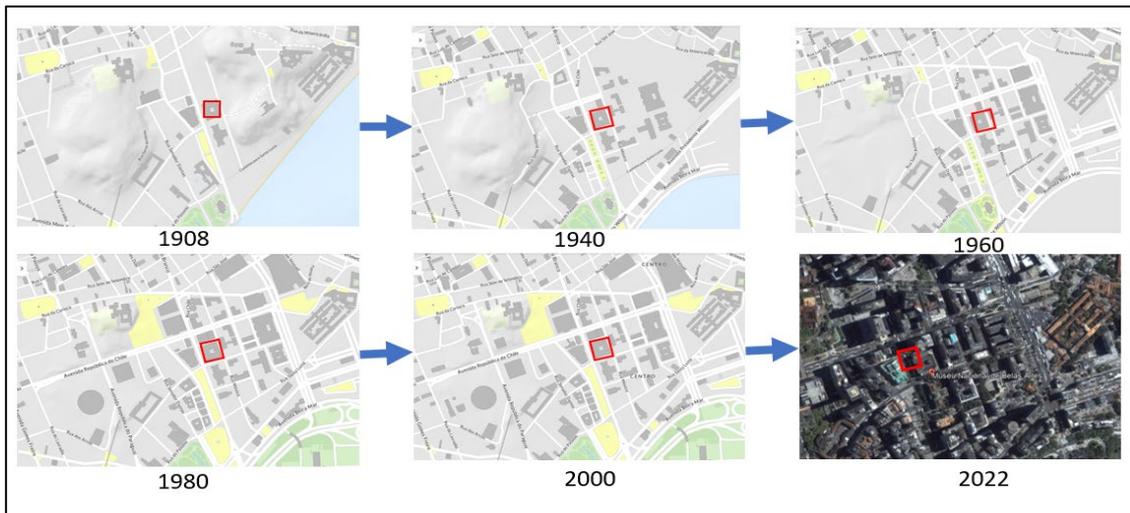
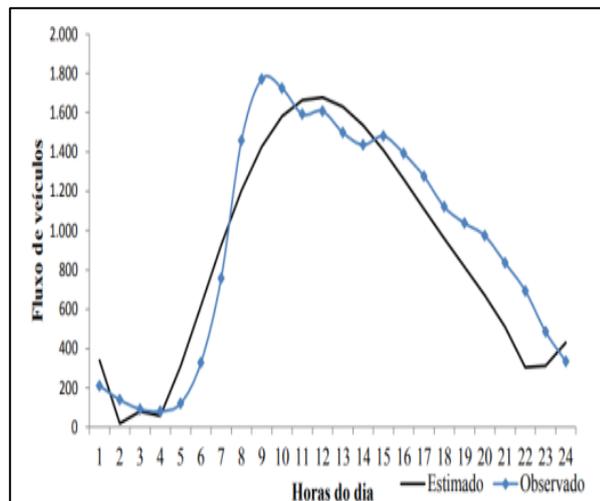


Figura 3: Mapa de evolução urbana na área do entorno de 1908 a 2000.



Fonte: GoogleMaps.

Figura 4: (A) Av. Rio Branco antes da Inserção do VLT. (B) Trecho com VLT.



Fonte: <http://www.inea.rj.gov.br/2013>.

Figura 5: Função horária de tráfego da Av. Rio Branco.

4.3. Avaliações Climatológicas

A Figura 6 apresenta as médias das variações termopluiométricas anuais na região do centro da cidade do Rio de Janeiro no ano 2021 onde se verifica maior precipitação nos primeiros meses do ano (verão), com máximas de 171 mm e com mínima de 45 mm no mês de agosto (inverno) (Dereczynski *et al.*, 2009). Pode-se verificar que as chuvas não são constantes e extremamente baixas na região do museu, indicando a falta de limpeza natural das cúpulas e fachadas, intensificando o acúmulo de poluentes.

Na Figura 7 observa-se que a direção predominante dos ventos (representada pela seta de cor azul) é de SSE entre o sul (S) e o sudeste (SE), com ocorrências de outras direções NNE entre o norte (N) e o Nordeste (NE). Foi possível observar que devido aos grandes edifícios no entorno do museu, os ventos oriundos de NNE e SSE sofrem um desvio (representado pela seta de cor vermelha), não atingindo diretamente a fachada do prédio nessas direções. A direção frequente do sul (S) é devido a uma forte influência da circulação da brisa marítima e da direção norte (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.

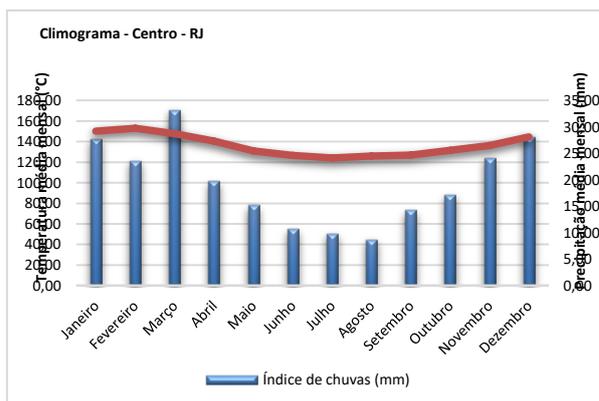
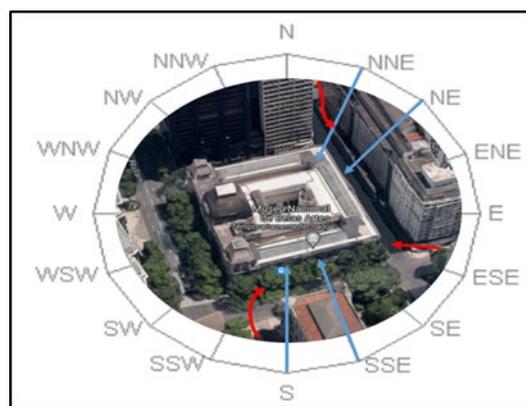


Figura 6: Climograma do Centro do RJ (Estação Meteorológica do Aeroporto Santos Dumont).



Fonte: Disponibilização de Informações Climatológicas.

Figura 7: Direção de Predominância dos ventos.

Por meio da Figura 8 é possível verificar que nos meses de verão a incidência solar ocorre na maior parte do dia na fachada voltada para o Leste e as cúpulas centrais têm incidência direta do sol apenas no horário de 12h, podendo resultar na evaporação intensa da umidade local, interferindo na resistência mecânica das argamassas. Nos meses de inverno, devido aos altos edifícios adjacentes ao Museu, até às 12h a fachada Leste quase não tem incidência direta do sol (Figura 9).

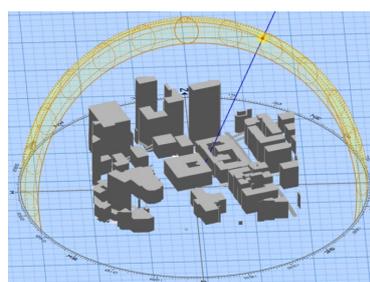
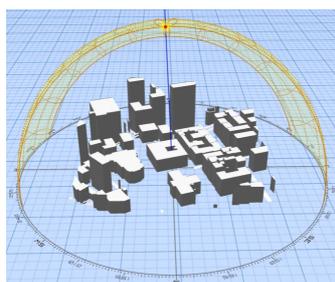


Figura 8: Simulação insolação verão (12h). **Figura 9:** Simulação insolação Inverno (10h).

4.4. Avaliação de Poluentes Atmosféricos e Dureza das Cúpulas

Como pode ser observado na Figura 10, a cúpula sul (em vermelho) apresenta teores de íons sódio na ordem de 1.200 mg.L^{-1} e cloreto na ordem de 1.400 mg.L^{-1} , devido à maior ação das correntes de vento de sul e sudeste oriundas do oceano, ocasionando maior depósito salino nessa cúpula, acarretando acelerada eflorescência, oxidação das ferragens de amarração e perda de resistência mecânica, haja visto o valor de dureza nessa região ser de 125 HLD. Vale ressaltar que a dureza em regiões não afetadas pela ação salina encontra-se na faixa de 700 HLD.

No que tange a cúpula central (em verde), que recebe também forte influência das correntes de vento do Sul e Sudeste, os teores de Na^+ e Cl^- chegam a 850 e 890 mg.L^{-1} , respectivamente na região vizinha à cúpula sul e encontram-se em torno de 400 mg.L^{-1} na região vizinha à cúpula Norte. Nessa cúpula, os valores de dureza encontram-se em torno de 300 HLD, indicando também acelerado processo de degradação.

Em relação à cúpula Norte (em amarelo), os teores de Na^+ e Cl^- chegam a 250 e 265 mg.L^{-1} , respectivamente, pois há menor influência das correntes do Sul e Sudeste oriundas do oceano e os valores de dureza encontram-se na ordem de 500 HLD, indicando maior coesão das argamassas dessa cúpula. Porém, o acúmulo de cloreto de sódio, mesmo em menor proporção ocasionará degradação da referida cúpula.

Em termos de íons cálcio e sulfato, verificam-se teores em torno de 500 mg.L^{-1} em todas as três cúpulas, principalmente devido à ação de emissões veiculares de SO_x , que se depositou na superfície das cúpulas e ao longo do tempo reagiu com o cálcio presente nas argamassas gerando sulfato de cálcio em boa parte das cúpulas indicando acelerados pontos de degradação.

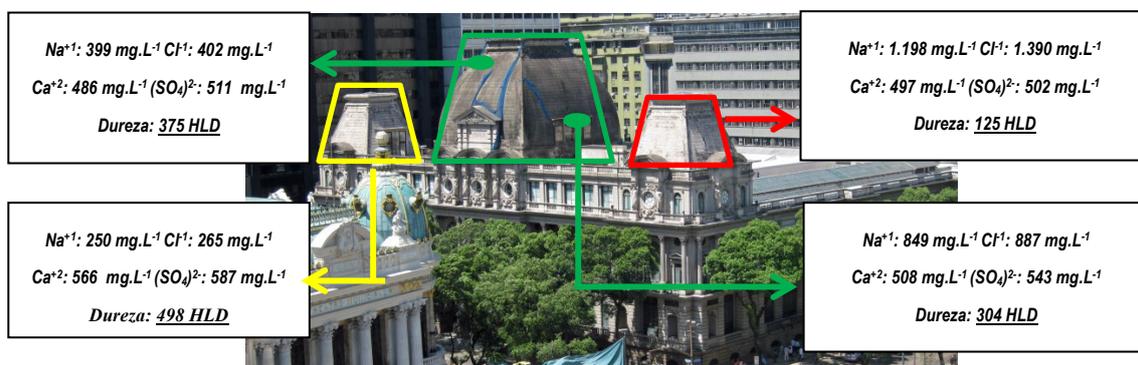


Figura 10: Resultados de poluentes e dureza em cada cúpula.

5. CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que as cúpulas do Museu Nacional de Belas Artes apresentam acelerado processo de degradação causado pelo acúmulo de cloreto de sódio oriundo do oceano, sendo as cúpulas sul e central as mais atingidas devido a ação das correntes de ventos do sul e sudeste, observando-se teores desse sal que ultrapassam 1.000 mg.L^{-1} , ocasionando oxidação das ferragens de sustentação e perda de resistência mecânica, visto que a dureza das argamassas chega a 125 HLD, onde deveria apresentar resultados na faixa de 700 HLD. Observam-se também acúmulos de enxofre nas três cúpulas oriundo da emissão veicular que circulava na frente do prédio até o ano de 2013. Tal elemento se associou ao cálcio presente nas argamassas, formando gipsita em várias regiões das cúpulas, criando-se pontos de fragilidade.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa, ao Cetem e ao Museu Nacional de Belas Artes pela infraestrutura, aos colegas do LACON e ao Iphan.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARQUIVO GERAL DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. www.rio.rj.gov.br/arquivo/acervos.html acesso em 07 jul. 2022.

EMISSIONES DE FONTES VEICULARES – REGIÃO METROPOLITANA- INEA. Disponível: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Invent%C3%A1rio-de-Emiss%C3%B5es-de-Fontes-Veiculares.pdf> acesso em 11 de julho de 2022.

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

PUCCIONI, S., (2009) Restaurando as Cúpulas de Bernardelli, Anuário do Museu Nacional de Belas Artes, Nova Fase, v. 1.