

**135**

# SÉRIE Tecnologia Ambiental

## **Estudo das telhas do Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro**

**Marcelle Lemos Amorim de Cerqueda  
Giovanna Oliveira Consoli Louro  
Roberto Carlos da Conceição Ribeiro  
Nuria Fernández Castro**



# **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**Estudo das telhas do Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro**

## **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Luiz Inácio Lula da Silva**

Presidente

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

**Luciana Santos**

Ministra de Estado

**Luis Manuel Rebelo Fernandes**

Secretário Executivo

**Isa Assef dos Santos**

Subsecretária de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

## **CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Silvia Cristina Alves França**

Diretora

**Maurício Moutinho da Silva**

Coordenador 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

**Marisa Nascimento**

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

**Leonardo Luiz Lyrio da Silveira**

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

**Arnaldo Alcover Neto**

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

# SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

STA - 135

## **Estudo das telhas do Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro**

**Marcelle Lemos Amorim de Cerqueda**

Geóloga, D.Sc., Bolsista PCI do CETEM/MCTI

**Giovanna Oliveira Consoli Louro**

Estagiária do CETEM/MCTI

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Engenheiro Químico, D.Sc., Pesquisador do CETEM/MCTI

**Nuria Fernández Castro**

Engenheira de Minas, D.Sc., Tecnologista do CETEM/MCTI

**CETEM/MCTI**

2024

# SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

**Editor:** Luis Gonzaga Santos Sobral

**Subeditor:** Andréa Camardella de Lima Rizzo

**CONSELHO EDITORIAL:** Saulo Rodrigues P. Filho (UNB), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánchez (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG), Luís Alberto Dantas Barbosa (UFBA), Ricardo Melamed (UNB), Marcello F. Veiga (University of British Columbia-Canadá), Bruce Marshall (University of British Columbia-Canadá).

Não existe uma definição única que se enquadre na ampla diversidade que o tema “Tecnologias Ambientais” abrange. Em primeiro lugar, o campo das Tecnologias Ambientais é caracterizado por um alto grau de diversidade e heterogeneidade. Em geral, o termo é usado para incluir tecnologias e aplicações que supostamente ajudam a reduzir o impacto negativo da atividade industrial e dos serviços, de usuários privados ou públicos, no meio ambiente. O conceito se refere, normalmente, a tecnologias “no final do processo” (end-of-pipe) integradas a tecnologias limpas e de recuperação de áreas contaminadas. No entanto, também pode abranger questões de sentido mais amplo, como monitoramento, medição, mudança de produtos ou gerenciamento de sistemas ambientais. As tecnologias ambientais são, portanto, de natureza interdisciplinar e podem ser aplicadas em qualquer etapa da cadeia produção-consumo. Tendo isso em mente, a *Série de Tecnologia Ambiental* tem por objetivo congrega especialistas, tais como: pesquisadores, tecnologistas, professores etc., do CETEM em particular, para que divulguem suas pesquisas em áreas tão diversas para servirem como estímulo para os novos e futuros pesquisadores.

There is no single definition that fits the wide diversity that the theme “Environmental Technologies” covers. First, the field of Environmental Technologies is characterized by a high degree of diversity and heterogeneity. In general, the term is used to include technologies and applications that are supposed to help reduce the negative impact of industrial activities and services, by private or public users, on the environment. The concept usually refers to technologies “at the end of the process” (end-of-pipe) integrated with clean technologies and recovery of contaminated areas. However, it can also cover broader issues such as monitoring, measuring, changing products or managing environmental systems. Environmental technologies are, therefore, of an interdisciplinary nature and can be applied at any stage of the production-consumption chain. Bearing this in mind, the “Environmental Technology Series” aims at bringing together specialists, such as: researchers, technologists, professors etc., from CETEM in particular, to disseminate their research in such diverse areas to serve as a stimulus for new and future researchers.

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

Copyright © 2024 CETEM/MCTI

Todos os direitos reservados.  
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação de copyright (Lei 5.988)

Valéria Cristina de Souza  
Diagramação e Editoração Eletrônica

André Luiz Costa Alves  
Projeto Gráfico

Informações:  
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Av. Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ  
Homepage: [www.cetem.gov.br](http://www.cetem.gov.br)

CIP – Catalogação na Publicação

E82

Estudo das telhas do Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro/Marcelle  
Lemos Amorim de Cerqueda [et al.] – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI,  
2024.

53 p. - (Série Tecnologia Ambiental; 135).

ISBN 978-65-5919-078-2.

1. Caracterização Tecnológica. 2. Telhas. 3. Mosteiro de São Bento, RJ.  
I. Cerqueda, Marcelle Lemos Amorim de. II. Louro, Giovanna Oliveira  
Consoli. III. Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição. IV. Castro, Nuria  
Fernández. V. Centro de Tecnologia Mineral. VI. Série.

CDD 622.35

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

# SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1   INTRODUÇÃO	11
2   OBJETIVOS	15
3   MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1   Análise Macroscópica	17
3.2   Análise Microscópica	17
3.3   Caracterização Mineralógica por Difractometria de Raios-X	18
3.4   Caracterização Química por Fluorescência de Raios-X	19
3.5   Microscopia Eletrônica de Varredura	20
3.6   Determinação da Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção D'água	20
3.7   Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	21
3.8   Determinação da Dureza Superficial	22
3.9   Determinação da Cor e do Brilho	23
3.10   Coleta de Sais e Sujidades	23
3.11   Ensaio por Ataque de Névoa Salina	24
3.12   Ensaio por Ataque de (SO <sub>2</sub> )	25
3.13   Ensaio por Ataque de Raios Ultravioleta (UV)	27

4   RESULTADOS E DISCUSSÕES _____	28
4.1   Análise Macroscópica _____	28
4.2   Análise Microscópica _____	29
4.3   Caracterização Mineralógica por Difractometria de Raios X _____	32
4.4   Caracterização Química por Fluorescência de Raios-X _____	33
4.5   Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) ____	33
4.6   Determinação da Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção D'água _____	34
4.7   Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) _____	35
4.8   Determinação da Dureza Superficial _____	36
4.9   Determinação da Cor e do Brilho _____	36
4.10   Coleta de Sais e Sujidades _____	38
4.11   Ensaio por Ataque de Névoa Salina _____	39
4.12   Ensaio por Ataque de SO <sub>2</sub> _____	40
4.13   Ensaio por Ataque de Raios Ultravioleta (UV) _	42
5   CONCLUSÕES _____	43
6   AGRADECIMENTOS _____	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	48



## RESUMO

O Mosteiro de São Bento é uma edificação histórica do Rio de Janeiro. O presente trabalho efetuou a caracterização das suas telhas, original a fundação e de restauro, através da análise macroscópica, análise microscópica, difratometria de Raios-X (DRX), fluorescência de raios-X (FRX), microscopia eletrônica de varredura e energia dispersiva (MEV-EDS), densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água (DPAA), Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Dureza Superficial, Coleta de sais e sujidades e ensaios de alteração por: névoa salina, de SO<sub>2</sub> e de raios ultravioleta. As análises microscópica e macroscópica para a telha original apresentaram uma camada externa alaranjada e uma interna preta contendo quartzo e feldspato. O DRX da telha original identificou a microclina, mulita, hematita e gipsita. Já a telha de reposição possui quartzo, microclina, albita e muscovita. O FRX para as telhas originais e de reposição são correlacionáveis ao DRX. O MEV-EDS da telha original possui os elementos encontrados no DRX e FRX. A DPAA mostraram um valor de 15% de porosidade e 8% de absorção de água para telha original. O FTIR para a telha original identificou os picos associados aos argilominerais e a queima da argila. A dureza da telha original está em torno de 500 HDL, para a telha de reposição em 400 HDL para a parte sem tratamento e 500 HDL para a parte tratada. A telha original apresenta maior acúmulo de poluentes na parte de baixo. A névoa salina para as telhas original e de reposição apresentou um clareamento da cor inicial. O ataque de SO<sub>2</sub> para as telhas originais e de reposição mostrou perdas de massa e o escurecimento de ambas. O ataque dos raios-UV mostrou um clareamento da cor inicial das telhas. A caracterização tecnológica permitiu identificar a composição das telhas visando auxiliar em medidas de restauração e/ou conservação.

### Palavras-chave

Telhas; Mosteiro de São Bento, Caracterização Tecnológica.

## **ABSTRACT**

The São Bento Monastery is a historic building in Rio de Janeiro. The present work characterized its roof tiles samples, original foundation and restoration, through macroscopic analysis, microscopic analysis, X-ray diffractometry (XRD), X-ray fluorescence (XRF), scanning electron microscopy and energy dispersive (SEM-EDS), apparent density, porosity and water absorption (ADPWA), Fourier Transform Infrared (FTIR), Surface Hardness, Collet of salts and soiling samples and alteration tests by: salt sprays, SO<sub>2</sub> and ultraviolet rays. Microscopic and macroscopic analyzes for the original roof tile sample showed an orange outer layer and a black inner layer containing quartz and feldspar. The XRD of the original roof tile sample identified microcline, mullite, hematite and gypsum. The replacement roof tile has quartz, microcline, albite and muscovite. The XRF for the original and replacement roof tile sample is correlatable to the XRD. The SEM-EDS of the original roof tile has the elements found in XRD and XRF. ADPWA showed a value of 15% porosity and 8% water absorption for original roof tile sample. FTIR for the original roof tile identified peaks associated with clay minerals and clay burning. The hardness of the original roof tile sample is around 500 HDL, for the replacement roof tile sample at 400 HDL for the untreated part and 500 HDL for the treated part. The original roof tile sample has a greater accumulation of pollutants on the underside. The salt spray for the original and replacement roof tiles samples showed a lightening of the initial color. The SO<sub>2</sub> spray on the original and replacement roof tiles samples showed mass losses and darkening of both. The analysis poor UV rays showed a lightening of the initial color of the tiles. The technological characterization made it possible to identify the composition of the roof tiles in order to assist in restoration and/or conservation measures.

### **Keywords**

Roof Tiles, São Bento Monastery, Technological Characterization.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Mosteiro de São Bento é uma edificação secular, histórica e religiosa. A igreja e o prédio são obras de quatro monges do século XVII: Frei Leandro de São Bento e Frei Bernardo de São Bento Corrêa de Souza, arquitetos, Frei Domingos da Conceição da Silva, escultor e Frei Ricardo do Pilar, pintor. Merece ser mencionado, ainda, o Mestre Inácio Ferreira Pinto, grande entalhador e escultor da capela-mor na segunda metade do século XVIII (Oliveira e Justiniano 2008; Mosteiro de São Bento 2024).

O Mosteiro de São Bento é uma instituição ligada à igreja católica e foi a segunda Ordem religiosa a estabelecer casa no Rio de Janeiro, sendo os beneditinos antecédidos apenas pelos jesuítas. Pertence à Congregação Beneditina do Brasil, que compreende, hoje, sete mosteiros masculinos e dezesseis femininos (MOSTEIRO DE SÃO BENTO, 2024).

O Mosteiro de São Bento possui representações artísticas relacionadas ao Maneirismo, ao Barroco e ao Rococó, Figura 1, um verdadeiro exemplo das diversas fases da talha luso-brasileira. (OLIVEIRA e JUSTINIANO, 2008).



**Figura 1:** Mosteiro de São Bento no Rio de Janeiro.

A Igreja Abacial, Figura 2, é uma das mais belas igrejas do Rio de Janeiro e um dos principais monumentos do barroco luso-brasileiro. A construção da igreja começou em 1633 e durou mais de cem anos, tendo as obras concluídas em 1798, pequenas alterações ocorreram posteriormente. A fachada da igreja é muito simples, contrastando com a riqueza do interior. O trabalho da talha de madeira dourada foi realizado entre 1694 e 1734. A Igreja Abacial compreende especialmente uma nave central, na frente da qual está a capela-mor, integrada pelo altar-mor, o coro (local onde ficam os monges nos seus momentos de oração) e o trono onde, no último degrau, está a imagem da padroeira do Mosteiro, Nossa Senhora de Monserrate (MOSTEIRO DE SÃO BENTO, 2024).



Fonte: Mosteiro de São Bento (2024).

**Figura 2:** Interior da Igreja Abacial.

O Mosteiro foi representado nas produções artísticas do famoso pintor francês Jean-Baptiste Debret, conforme mostra a Figura 3. Nesta obra, Debret retratou o desembarque solene de Sua Alteza Leopoldina Carolina Josefa no Brasil, no início do século XIX, tendo o Mosteiro de São Bento ao fundo (BAPTISTA, 2015).



**Figura 3:** Pintura realizada por Jean-Baptiste Debret.

O Brasil Colonial é marcado pela construção de diversos edifícios religiosos, relacionados ao padrão construtivo e arquitetônico de Portugal, utilizando predominantemente a mão de obra de africanos escravizados. A “Missão Artística Francesa” entre eles, Jean-Baptiste Debret, Figura 4, contratado como “pintor de história” cujas diversas obras retratam o cotidiano do Brasil colonial, a escravização dos africanos, a fauna e a flora desse período (FREITAS, 2009).



**Figura 4:** Pintura realizada por Jean-Baptiste Debret.

O Mosteiro de São Bento, no Rio de Janeiro, faz parte deste contexto do Brasil colonial, sendo um dos mais belos complexos arquitetônicos inteiramente preservados do Brasil. Construído lentamente, ao longo de um século, o que torna difícil afirmar com precisão a origem dos materiais que compõem as telhas; é considerado o melhor projeto arquitetônico realizado na cidade do Rio de Janeiro no século XVII. A estrutura do mosteiro inclui a Abadia de Monserrate, a tradicional Escola de São Bento e a Universidade de São Bento (ARRUDA, 2007).

O Mosteiro de São Bento tem grande importância cultural e histórica para o Brasil, por isso é fundamental a preservação desse patrimônio.

Edificações localizadas em áreas abertas são vulneráveis às intempéries físicas, químicas, mecânicas e biológicas que contribuem para a alteração de suas propriedades estruturais. Assim, as pedras, azulejos e outros materiais que compõem a construção do Mosteiro apresentam alguma deterioração (ÖZTÜRK, 1992).

## **2 | OBJETIVOS**

A pesquisa teve como objetivo a caracterização tecnológica das telhas do Mosteiro de São Bento, a fim de compreender a sua composição, bem como as possíveis causas das alterações observadas, fornecendo suporte tecnológico para ações de conservação e restauro.

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada por meio da avaliação de duas telhas fornecidas pela empresa Terreng, a telha original (Figura 5 A, B e C) e a de reposição (Figura 6).



**Figura 5:** Telhas Originais do Mosteiro de São Bento. (A: Parte interna da telha e B: Parte externa da telha e C: Parte lateral da telha).



**Figura 6:** Telha de reposição. (A): Parte externa (convexa) da telha e (B): Parte interna (côncava) da telha.

As telhas originais e as do restauro foram cortadas para a confecção dos corpos de prova, com representatividade de pelo menos três alíquotas para cada ensaio de caracterização tecnológica e mineralógica.

### 3.1 | Análise Macroscópica

A análise macroscópica foi realizada através da observação visual e com o auxílio de uma lupa binocular de mesa ZEN 3.1 BLUE CL 1500 ECO Stereo da Carl Zeiss Microscopia GmbH. Propiciando-se verificar possíveis alterações intempéricas, face a mudança de cor e/ou manchamentos na telha, superfícies de quebra devido ao uso, dentre outras alterações (ICOMOS, 2008).

### 3.2 | Análise Microscópica

A análise microscópica foi realizada em conformidade aos minerais comuns em materiais e cerâmicos e telhas históricas (ABNT NBR 12.768/92; COSTA et al., 2005).

Para tal, efetuou-se a confecção de uma lâmina delgada, Figura 7, que foi analisada, posteriormente, em um microscópio petrográfico, com luz branca polarizada e refletida, com objetivas com aumento de 2,5 a 60 vezes da marca Carl Zeiss. A análise modal semiquantitativa foi realizada em objetivas de 2,5 e 10 vezes de aumento. As aquisições das fotomicrografias foram realizadas com a objetiva de 2,5 vezes de aumento.



**Figura 7:** Confeção da lâmina delgada a partir do corpo de prova.

### 3.3 | Caracterização Mineralógica por Difratoimetria de Raios-X

As amostras analisadas por Difratoimetria de raios-X (DRX) foram preparadas através do peneiramento do material em peneira de 106  $\mu\text{m}$ , a fração retida foi pulverizada em gral e pistilo de ágata, conforme definido por Luz et al., 2004.

As amostras obtidas após o peneiramento foram acondicionadas em um amostrador, com auxílio de um gabarito e submetidas ao equipamento Bruker-D4 Endeavor, com a obtenção dos difratogramas através do método do pó, nas seguintes condições

de operação: radiação  $\text{CoK}\alpha$  (40 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de  $0,02^\circ$  ( $2\theta$ ) por passo, com tempo de contagem de 0,5 segundos por passo e coletados de  $4$  a  $80^\circ$  ( $2\theta$ ), com detector sensível à posição LynxEye. As interpretações qualitativas dos espectros obtidos foram realizadas utilizando o banco de dados PDF02 (ICDD, 2006) em software Bruker DiffracPlus.

### 3.4 | Caracterização Química por Fluorescência de Raios-X

A caracterização química por fluorescência de raios X (FRX) é um método qualitativo e quantitativo multielementar baseado na medida das intensidades dos raios X (números de raios X detectados por unidade de tempo) emitidos pelos elementos que constituem a amostra, quando excitada por partículas como elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas.

Os resultados são expressos em porcentagem de massa de óxidos normalizados em 100% e também obtém-se a perda por calcinação (PPC) (JÚNIOR, 2007).

Para a realização dos ensaios, foram retiradas alíquotas das telhas originais e de reposição que foram preparadas em conformidade com as etapas definidas por Luz et al., 2004.

Inicialmente as amostras foram submetidas a perda por calcinação (PPC) com pesagem de, aproximadamente 0,2000 g da amostra em um cadinho e posteriormente submetidas ao forno mufla com temperatura de  $1000^\circ\text{C}$  por 16 h.

As amostras obtidas foram preparadas para a análise química por FRX, pesou-se aproximadamente 5 g de cada amostra em um pesa filtro, sendo submetidas à estufa a  $105^\circ\text{C}$ . Após o esfriamento

efetuou-se a desagregação utilizando gral e pistilo de ágata e preparação das pastilhas na proporção 1:0,3 de amostra e de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) (MERCK/P.A.) como aglomerante, submetidas à prensagem em uma prensa automática (Modelo VANEON) nas condições de molde de 20 mm, com pressão de 20 toneladas durante 30 segundos e submetidas ao espectrômetro por fluorescência de raios X, (WDS-1), modelo AXIOS MAX (Panalytical). Os teores apresentados, expressos em percentuais, é a média das três leituras sendo determinados por análise semiquantitativa (standardless).

### **3.5 | Microscopia Eletrônica de Varredura**

A espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS), acoplada ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), é uma análise semi-quantitativa que permite identificar os elementos químicos presentes na amostra (DUARTE et al., 2003).

A camada interna da telha foi avaliada utilizando o microscópio eletrônico de varredura Hitachi TM 3030Plus. O instrumento foi equipado com um espectrômetro de raios X dispersivo de energia Bruker X-Flash com detector MIN SVE e gerador de varredura conectado.

### **3.6 | Determinação da Densidade Aparente, Porosidade Aparente e absorção D'água.**

A análise foi realizada utilizando-se alíquotas obtidas das telhas originais e de reposição. Inicialmente efetuou-se a saturação utilizando-se água destilada preenchendo-se 1/3, 2/3 e 3/3 da amostra, em intervalos de 4 horas. Após as 48 horas de saturação, efetuou-se a pesagem do peso saturado e submerso, obtendo-se,

respectivamente, três pesos consecutivos. Posteriormente, efetuou-se a secagem na estufa, por um período de 24 h a  $\pm 70^{\circ}\text{C}$ , com a aquisição do peso seco até a massa constante (inferior 0,1%), em conformidade a norma ABNT NBR 15845/2010.

### **3.7 | Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)**

A espectroscopia vibracional no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica que utiliza a radiação eletromagnética para a análise da estrutura química dos compostos inorgânicos ou grupos funcionais de uma substância orgânica; a leitura é efetuada por meio de da transmissão, adsorção ou reflexão de energia radiante que incide na amostra (SOUZA et al., 2014).

Foram avaliados dois pontos específicos da telha original, parte vermelha e parte preta, como indicado na Figura 8. Cada amostra foi misturada com brometo de potássio e foram prensadas, com o auxílio de uma prensa hidráulica, em pressão de 20 toneladas no formato de pastilhas translúcidas. Para melhor leitura dos picos, foi utilizada a diluição de 2% de amostra em brometo de potássio. Foi prensada também uma pastilha apenas de brometo de potássio, utilizada como amostra controle (background), para garantir que estamos fazendo a leitura apenas das amostras coletadas.



**Figura 8:** Vista lateral da telha com enfoque para os pontos de FTIR analisados.

Ao longo da faixa de comprimento ( $2000$  a  $400\text{ cm}^{-1}$ ), com a resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ , foram realizadas sucessivas incidências do feixe de radiação infravermelha e a energia que sobrou após a amostra absorver parte dessa radiação foi refletida de volta ao detector e registrada. Posteriormente, com os dados obtidos, elaborou-se o gráfico.

### 3.8 | Determinação da Dureza Superficial

A dureza superficial Leeb é um ensaio dinâmico, cujos resultados obtidos dependem das propriedades plásticas e elásticas dos materiais. A dureza do material é obtido por meio da relação entre a velocidade de rebote e a velocidade de impacto, quando o corpo de impacto está a aproximadamente  $1\text{ mm}$  de distância da superfície testada. Para tal, utilizou-se o Equotip, da marca Proceq, sonda tipo D adaptando o método de Wilhelm et al. (2016) e a norma ASTM A956-12.

### 3.9 | Determinação da Cor e do Brilho

A determinação da cor e do brilho é uma análise efetuada cujos resultados são expressos na referência tridimensional do espaço de cores CIELAB, onde o eixo  $L^*$  representa a luminosidade de uma cor, do preto mais escuro ( $L^* = 0$ ) ao branco mais claro ( $L^* = 100$ ); o eixo  $a^*$  denota o verde/vermelho de uma cor, com  $a^* < 0$  representando verde, enquanto  $a^* > 0$  denota vermelho; e o eixo  $b^*$  expressa as cores opostas azul/amarelo, com valores  $b^*$  negativos para azul e valores  $b^*$  positivos para amarelo. Consequentemente, quando os valores de  $a^*$  e  $b^*$  são iguais a zero, o verdadeiro cinza neutro é expresso (NAZDARINK TECHNOLOGIES, 2016).

A avaliação colorimétrica das telhas foram realizadas utilizando o espectrofotômetro portátil BYK (Spectro-Guide Sphere Gloss).

### 3.10 | Coleta de Sais e Sujidades

A coleta de sais e sujidades é uma técnica utilizada para se verificar as influências ambientais naturais, como a ação do intemperismo químico e salinidade e também intervenções antrópicas como, por exemplo, o aumento de enxofre devido a emissão de gases produzidos pela queima de combustíveis nos veículos automotores (GHETTI, 2004).

As telhas foram submetidas a lavagem utilizando-se um pissete com água destiladas com o auxílio de uma escova de cerdas macias. Posteriormente, a água resultante das lavagem foi acondicionada em potes de polipropileno estéreis sendo analisados por meio da absorção atômica de chama e cromatografia iônica identificando-se os analitos presentes nas amostras.

### 3.11 | Ensaio por Ataque de Névoa Salina

O ensaio por ataque de Névoa Salina é uma análise que procura simular a atmosfera marítima, por meio da névoa contínua de solução de cloreto de sódio, por meio de ensaio cíclico, em que é possível ajustar a quantidade de horas em névoa salina e o modo secagem natural (ASSIS, 2000; AGUENA, 2017).

Primeiramente, os corpos de prova foram lavados com água destilada para a remoção de resíduos. A secagem foi realizada em torno de  $70 \pm 5^\circ \text{C}$ , até que se obtivesse uma massa constante, isto é alcançado quando a diferença entre as duas últimas pesagens, no intervalo de 24 h, não exceda 0,1%.

Após a retirada dos corpos de prova da estufa os mesmo foram colocados na câmara de salinidade, Figura 9, sendo submetidos a 30 ciclos. Durante os ciclos a temperatura da câmara foi mantida em  $(40 \pm 5)^\circ \text{C}$ . O ensaio consistiu de 30 ciclos (perfazendo 540 horas).

A cada 15 ciclos, os corpos de prova foram retirados da câmara para um exame visual verificando observar se ocorreram alterações colorimétricas. Ao término do ensaio, os corpos de prova foram imersos em água deionizada para a remoção dos sais que podem ter sido depositados.

A remoção foi considerada completa após uma semana da imersão, ou quando a condutividade da solução em contato com os corpos de prova, durante pelo menos 12 h, não excedeu duas vezes o valor da água original (destilada).

Após as lavagens sucessivas, os corpos de prova foram secados em estufa em temperatura de aproximadamente  $70 \pm 5^\circ \text{C}$  por 24 h. Após a secagem, foram esfriados em dessecador, para evitar a absorção de umidade e, finalmente, pesados para obtenção do

peso final. Realizou-se uma inspeção visual e determinação das condições colorimétricas. Para realização deste ensaio utilizou-se a norma ABNT NBR 8094/83.



**Figura 9:** Colocação dos corpos de prova em câmara de névoa salina.

### 3.12 | Ensaio por Ataque de ( $\text{SO}_2$ )

O ensaio por ataque de  $\text{SO}_2$  é uma análise utilizada para avaliar a degradação dos materiais quando submetidos a poluição atmosférica, ocasionada pela intervenção antrópica por meio da emissão de gases, como o  $\text{SO}_2$ , produzido pela combustão e combustíveis utilizados nos veículos automotores e que podem ocasionar a chuva ácida (FRASCÁ, 2003).

Inicialmente procedeu-se a lavagem e secagem dos corpos de prova em estufa por 24 h a  $70^\circ\text{C}$ , mediram-se os valores iniciais de brilho e cor e realizou-se a pesagem dos mesmos.

Os corpos de prova foram acondicionados na câmara (Figura 10), suspensos e atrelados aos suportes por meio de fios de nylon, ajustou-se a temperatura para 40°C e adicionou-se o SO<sub>2</sub>. A presença da água na câmara, formou um ambiente ácido, que atacou o material e simulou o efeito da chuva ácida. As amostras ficaram em exposição nesse ambiente durante o período de 8 h. Posteriormente, desligou-se o aparelho, abriu-se a câmara para ventilação do seu interior, permanecendo, assim, por 16 horas o que caracterizou a conclusão de 1 ciclo.

Realizou-se um total de 30 ciclos, perfazendo 720 horas de ensaio. Por fim, os corpos de prova foram lavados, secados e determinadas as condições de brilho, cor e determinação da massa. O ensaio por exposição ao SO<sub>2</sub> baseou-se na norma ABNT/ NBR 8096/83.



**Figura 10:** Colocação dos corpos de prova em câmara de SO<sub>2</sub>.

### 3.13 | Ensaio por Ataque de Raios Ultravioleta (UV)

O ensaio por incidência de raios ultravioleta tem por objetivo simular a deterioração que ocorre no material quando submetido a exposição da luz solar e pela água da chuva e/ou orvalho (FRASCÁ, 2003).

Primeiramente, mediu-se a cor, o brilho e determinou-se a massa dos corpos de prova, após terem sido secados em estufa por 24 h a 70°C. Posteriormente, os corpos de prova foram inseridos na câmara para submetê-los ao contato de raios ultra violeta, Figura 11. Ao final de 50 ciclos retiraram-se os corpos de prova e realizou-se o mesmo procedimento de secagem feito anteriormente. Por fim, mediu-se a cor, o brilho e realizou-se a pesagem final.

Os procedimentos para a exposição das amostras ao intemperismo artificial seguem as diretrizes do método ASTM /G 53-96; porém, utiliza-se um número maior de horas de exposição, ou seja, 400 h (50 ciclos).

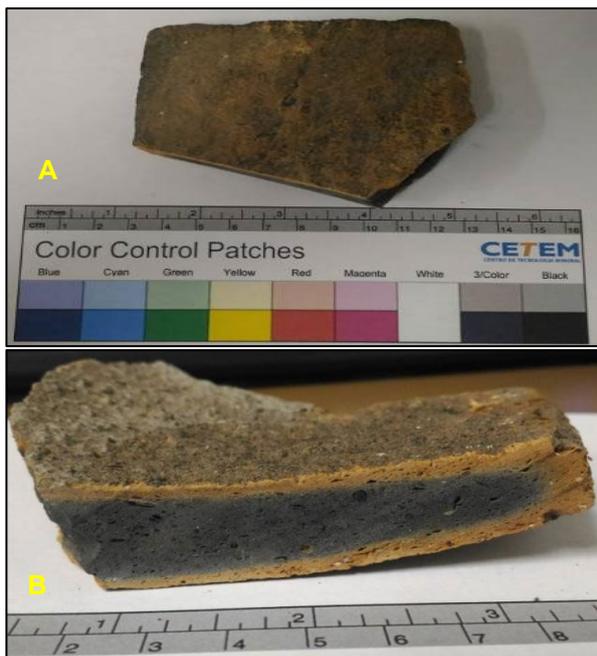


**Figura 11:** Colocação de corpos de prova na Câmara de UV.

## 4. | RESULTADOS E DISCURSÕES

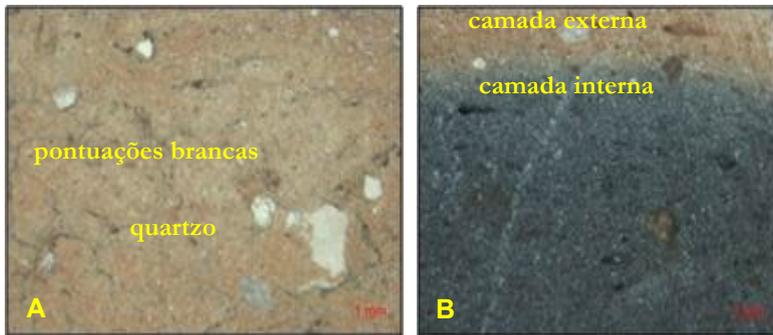
### 4.1 | Análise Macroscópica

A amostra da telha original é composta, basicamente, de material na fração granulométrica em argila, de coloração laranja gradando a marrom (devido ao acúmulo de sujidades) na sua face externa, apresentando espessura média de 0,4 cm, chegando a 1,5 cm na parte mais grossa conforme especificados na Figura 12 A e B. A parte interna da telha possui uma cor preta, com espessuras variando de 0,7 cm a 1,4 cm.



**Figura 12:** Corpo de prova proveniente da telha original.: (A): Parte externa (convexa) da telha e (B): Parte lateral da telha.

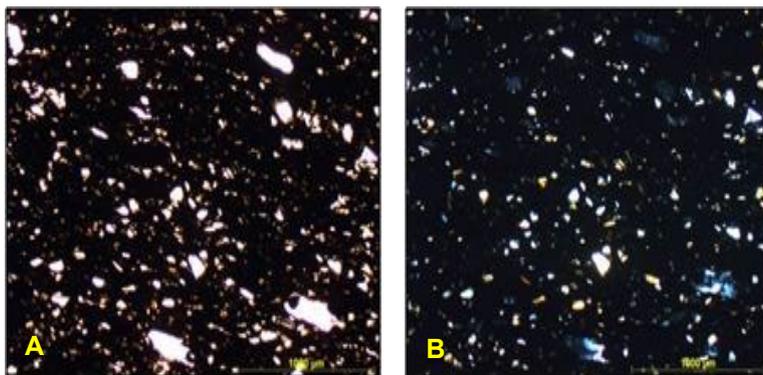
A análise por meio da lupa binocular, Figura 13, mostrou, nitidamente, a diferença de cor da camada externa (laranja) e da camada interna (preta) da telha original. A camada externa possui alguns minerais submilimétricos de quartzo e pontuações esbranquiçadas que podem estar associadas ao acúmulo de sais e/ou a presença de argilominerais por se tratar de um material cerâmico. Já a camada interna, verificou-se esparsos grãos de quartzo.



**Figura 13:** Imagens adquiridas por lupa binocular com aumento 1,25 vezes. (A): Parte externa da telha e (B): Parte lateral da telha.

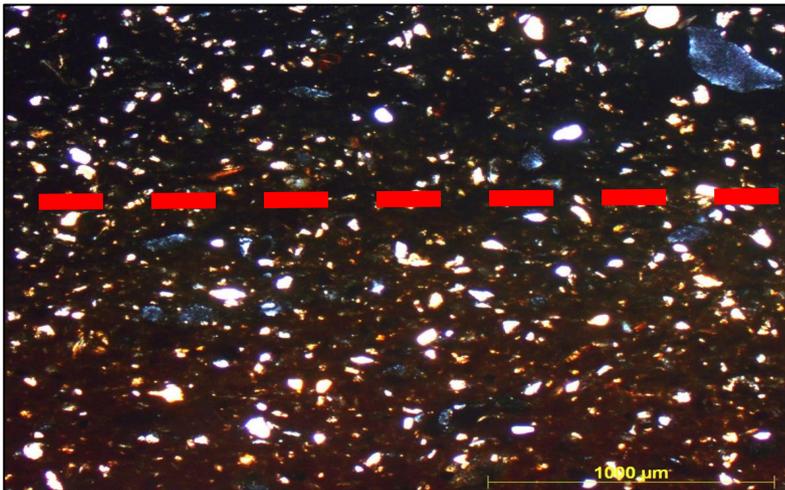
## 4.2 | Análise Microscópica

Os resultados obtidos utilizando um microscópio petrográfico mostraram que a telha original apresenta uma matriz muito fina conforme mostrado na Figura 14.



**Figura 14:** Fotomicrografias obtidas da telha original. (A) Fotomicrografia da amostra da telha original, objetiva de 2,5X, polarizadores paralelos e (B) Fotomicrografia da amostra da telha original, objetiva de 2,5X, polarizadores cruzados.

A camada alaranjada à avermelhada e a camada preta da telha também são distinguíveis por meio da microscopia, conforme delimitado pela linha tracejada da Figura 15, sendo na seção delgada identificadas por uma camada escurecida (predominantemente de cor preta) e uma camada amarelada conforme delimitado pela linha tracejada.



**Figura 15:** Fotomicrografia da telha original com enfoque para a camada preta e a amarelada, objetiva de 2,5X, polarizadores cruzados.

A camada escurecida (parte superior da linha tracejada) é composta por uma matriz muito fina, escura, na qual estão dispersos diversos grãos angulosos submilimétricos (localmente milimétricos), principalmente de quartzo e de feldspato.

A camada amarelada (parte inferior da linha tracejada) também é constituída por uma matriz muito fina, de coloração ocre, com cristais submilimétricos e angulosos de quartzos e eventualmente de feldspatos.

A composição mineralógica identificada na análise macroscópica e microscópica da telha original e de reposição associam-se a materiais cerâmicos e possíveis interferências ambientais como a alteração intempérica da telha, salinidade, intervenção antrópica relacionada ao tráfego de veículos automotores (FRASCÁ, 2003; ARMITAGE et al., 2006).

### 4.3 | Caracterização Mineralógica por Difratoimetria de Raios-X

A caracterização mineralógica por meio da difratometria de raios-X efetuada para a telha original e de reposição mostraram que a primeira apresenta uma composição mineralógica caracterizada por quartzo, K-feldspato (microclina), gipsita, mulita e hematita (Figura 16). A mulita, microclina e o quartzo associam-se à parte laranja da amostra sendo comuns em materiais confeccionados por argilas, como as telhas, em conformidade aos resultados encontrados em pesquisas disponíveis na literatura (VIEIRA et al., 2003; COSTA, 2005; LIU et. al., 2020).

A hematita relaciona-se à parte interna, de cor preta da telha e a presença da gipsita associa-se à presença de enxofre na atmosfera, formando-se a gipsita, um sulfato de cálcio hidratado (FELIX et al., 2021).

A telha de reposição apresenta apenas quartzo, microclínio, albita e muscovita, minerais típicos da cerâmica.

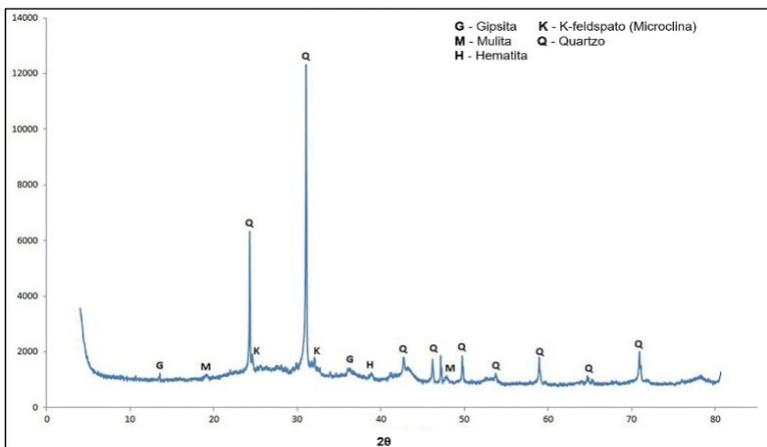


Figura 16: Difratograma obtido para a telha original.

#### 4.4 | Caracterização Química por Fluorescência de Raios - X

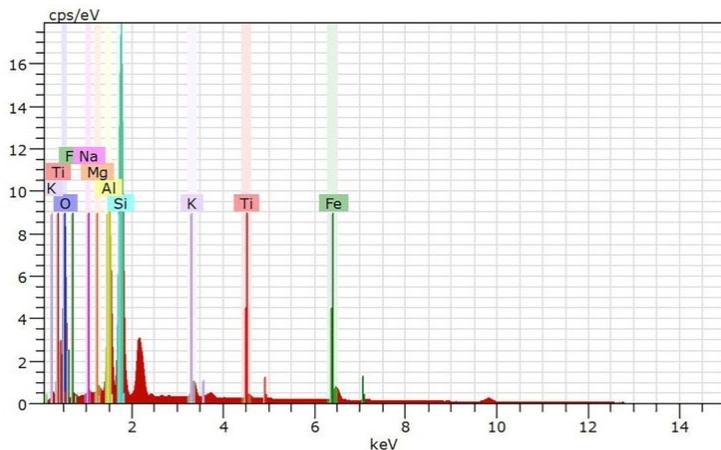
Os resultados obtidos por meio da fluorescência de Raios-X, Tabela 1, corroboram os resultados da caracterização mineralógica. A telha original apresenta um teor ligeiramente menor em sílica, cerca de 60%; apresenta um teor maior de cálcio, cerca de 1%, e apresenta enxofre, também em torno de 1%, ambos, possivelmente, relacionados com a formação de gipsita. O maior teor de ferro na telha original está relacionado à presença de hematita. O teor de ferro observado na telha de reposição está relacionado à muscovita. Os óxidos encontrados são comuns nas telhas cerâmicas e também associados à alteração intempérica (LIU et al. 2020; FRASCÁ, 2003).

**Tabela 1:** Composição química (%) das telhas.

Telhas	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPC
Orig	0,77	1,40	26,10	58,70	0,12	0,71	2,10	0,87	1,30	5,70	--
Rep	0,39	1,10	25,0	64,30	--	--	1,70	0,23	0,85	4,30	1,80

#### 4.5 | Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os resultados adquiridos na parte interna da telha original, utilizando a energia dispersiva da microscopia eletrônica de varredura são representados na Figura 17, indicando uma composição representada por oxigênio, silício, alumínio, ferro, titânio, potássio, magnésio e sódio. Os elementos identificados são os mesmos encontrados na análise química por fluorescência de raios-X e são comuns aos materiais cerâmicos (LIU et al., 2020).



**Figura 17:** Microscopia eletrônica de varredura com energia dispersiva da parte interna da amostra original.

#### 4.6 | Determinação da Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção D'água

Os resultados obtidos por meio da determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água para a telha original e de reposição são especificados na Tabela 2. Verifica-se um valor de 15% de porosidade e 8% de absorção de água para telha original. O limite máximo admissível é 20% segundo a ABNT NBR 15845-2.

**Tabela 2:** Determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água da telha original.

	Telha original	Telha de reposição
Porosidade (%)	15,32 +/- 0,2	14,44 +/- 0,1
Absorção de água (%)	8,90 +/- 0,1	6,77 +/- 0,1

#### 4.7 | Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os resultados adquiridos por meio da espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier, Figura 18, mostram os espectros de dois pontos específicos da telha original, a parte vermelha e a parte preta, e pode-se observar que são materiais muito semelhantes, no caso dos minerais de argila, dada à presença de estiramento do Si-O-Si associado a picos em 1080, 780 e 459  $\text{cm}^{-1}$  associados a argilominerais, conforme observações de Medina-Dzul et al., 2015.

No entanto, há uma diferença mais significativa na parte preta em 1390  $\text{cm}^{-1}$ , relacionada ao alongamento da ligação C-O, ou seja, a parte preta está relacionada ao processo de queima da argila e corresponde ao CO não encontrado na telha de reposição.

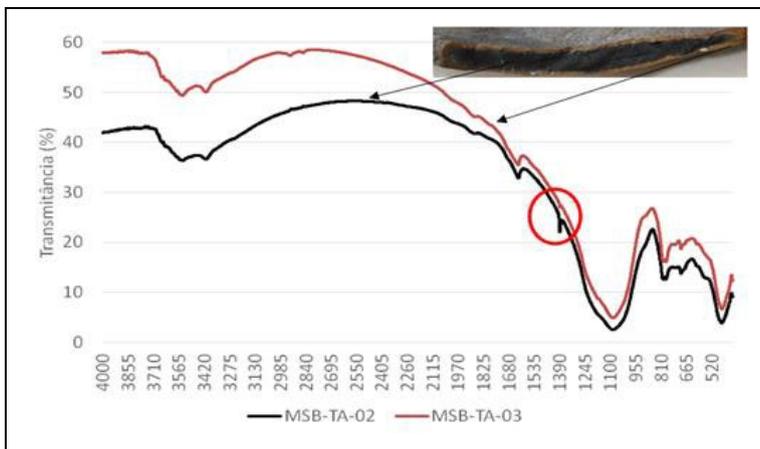


Figura 18: Espectro de infravermelho da telha original.

## 4.8 | Determinação da Dureza Superficial

Os resultados gerados para a dureza superficial das telhas são apresentados na Tabela 3 abaixo. Verificou-se que a telha original apresenta um valor de dureza em torno de 500 HDL e que a telha de reposição apresenta um valor de dureza um pouco menor, sendo cerca de 400 HDL na parte não tratada. No entanto, a face protegida da telha nova apresenta maior dureza, chegando-se a cerca de 500 HDL, similar ao valor encontrado na telha original.

**Tabela 3:** Avaliação da dureza superficial das telhas

Local de avaliação	Dureza (HDL)	Desvio padrão
Telha original	540,02	4,55
Telha de reposição lado sem proteção	416,75	7,68
Telha de reposição lado com proteção	480,33	16,20

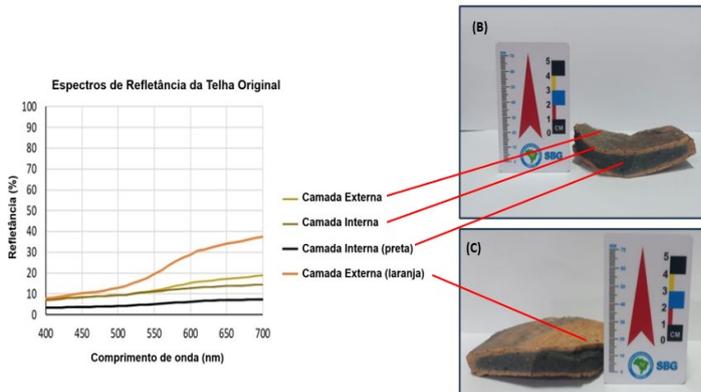
## 4.9 | Determinação da Cor e do Brilho

A avaliação colorimétrica foi realizada nas camadas internas e externas da alíquota obtida da amostra original da telha, conforme especificado na Tabela 4.

**Tabela 4:** Avaliação colorimétrica da telha original.

Amostra da telha original	L*	a*	b*	G (°)
Camada externa	41,55	6,90	11,01	0,30
Camada interna	39,76	3,40	8,57	0,00
Camada interna (preto)	27,39	4,21	7,81	0,10
Camada externa (laranja)	52,60	13,15	24,37	0,40

A Figura 19 especifica os espectros obtidos a partir do gráfico acima bem como aponta os locais onde foram realizadas as medições. A camada externa da amostra de telha tendeu ao marrom alaranjado, enquanto a camada interna tendeu ao cinza escuro. Além disso, ambas as camadas apresentaram valores próximos a zero para brilho, indicando que os materiais das telhas são opacos.



**Figura 19:** Refletância obtida da telha original.

Os valores  $L^*$ ,  $a^*$ , e  $b^*$  obtidos para as telhas relacionam-se à coloração comum a materiais cerâmicos, caracterizados por uma coloração alaranjada, avermelhada típica do material cerâmico. A ação da exposição às intempéries, tenderá a escurecer a telha, gradando para colorações amarronzadas à cinza (DI GIUSEPPE et al., 2018).

A parte interna da telha, cuja cor é predominantemente preta, associa-se à colocação de um material rico em óxido de ferro, durante a confecção da telha, para aumentar a sua resistência.

#### 4.10 | Coleta de Sais e Sujidades

As análises obtidas por meio da coleta de sais e sujidades da telha original, na parte de cima e de baixo, encontram-se representados na Tabela 5.

O maior acúmulo de poluentes encontra-se na parte de baixo, com teores de sulfeto em torno de  $8 \text{ mg.L}^{-1}$  e sulfato de  $1,3 \text{ mg.L}^{-1}$ . Observa-se a presença de cálcio, possivelmente associado ao sulfato formando a gipista. Os teores de sódio e potássio, associados ao cloreto podem ser oriundos do spray salino. Não foram detectados teores de nitrato, geralmente relacionado com fezes de animais. O valor do pH das águas de lavagem foi de 6,0, ligeiramente ácido, possivelmente devido à presença de sulfeto e sulfato.

**Tabela 5:** Análise química (concentração em  $\text{mg.L}^{-1}$ ) dos elementos).

Elementos ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Na}^{+}$	$\text{K}^{+}$	$\text{S}^{2-}$	$\text{Cl}^{-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^{-}$
Parte de cima	3,7	6,3	1,1	1,9	0,23	<0,06	--
Parte de baixo	10,1	4,3	0,92	7,8	0,17	1,3	--

Os analitos encontrados associam-se à salinidade e à poluição ambiental associada à combustão de combustíveis dos veículos automotres no entorno da edificação (SARDELLA et al., 2021; FELIX, et al., 2022; VARAS-MURIEL et al., 2015).

#### 4.11 | Ensaio por Ataque de Névoa Salina

A alteração intempérica por meio da exposição à salinidade mostraria-se com um clareamento da coloração original da telha bem com possíveis transformações dos minerais em argilominerais ocasionando perdas mássicas (ICOMOS, 2008; RICARDO, 2017).

A Tabale 6 mostra os resultados das massas de três alíquotas retiradas da telha, original e de reposição, antes e após a ação da atmosfera de névoa salina (simulação da ação da maresia). Os valores especificam que não foram observadas variações/perdas significativas nas massas de ambas as telhas.

**Tabela 6:** Massa das telhas antes e após ataque de névoa salina.

Identificação da amostra	Massa (g) antes	Massa (g) após	Perda de massa
Original 1	289,00	289,00	0,00
Original 2	303,08	303,00	0,08
Original 3	289,44	289,41	0,03
Reposição 1	306,12	306,10	0,02
Reposição 2	310,09	310,00	0,09
Reposição 3	299,87	299,88	0,00

A Tabela 7 mostra os resultados dos padrões cromáticos de três alíquotas obtidas da telha original e de reposição, antes e após a ação da atmosfera de névoa salina (simulação da ação da maresia). Os valores não apresentam alterações significativas nos padrões colorimétricos, somente um ligeiro clareamento devido ao aumento no valor de  $L^*$  e maior intensidade na cor vermelha, refletida no aumento de  $a^*$ .

**Tabela 7:** Padrão cromático das telhas antes e após ataque de névoa salina.

Amostra	Antes			Após		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Original 1	46,41	7,73	12,69	49,12	14,88	11,90
Original 2	39,99	9,33	6,92	40,11	16,89	9,89
Original 3	44,44	8,90	11,99	45,89	12,90	9,99
Reposição 1	54,31	49,19	15,27	54,55	50,01	16,77
Reposição 2	52,90	47,44	14,25	53,22	52,00	15,65
Reposição 3	56,76	49,99	14,40	57,45	48,99	15,32

#### 4.12 | Ensaio por Ataque de SO<sub>2</sub>

O ensaio simula as condições do SO<sub>2</sub> na atmosfera podendo-se formar a chuva ácida, a intervenção desse fenômeno pode ocasionar perdas mássicas bem como o escurecimento do material exposto. A seleção de tal análise, foi considerada face às alterações urbanísticas que ocorreram no entorno do Mosteiro de São Bento.

Na área próxima ao Mosteiro existia um viaduto cuja circulação de carros era muito intensa e a emissão de gases dos veículos, caminhões e ônibus contribuía para a deposição de enxofre nas peças. Com o adicional da chuva, que já é ácida pela poluição na cidade do Rio de Janeiro, agravava-se a situação no que tange a acidificação local pela formação de ácidos sulfúrico, sulfuroso e sulfídrico. O viaduto foi demolido durante as obras de restauração do centro histórico para as Olimpíadas de 2016 (FELIX et al., 2021).

A Tabela 8 mostra as massas das três alíquotas obtidas da telha original e de reposição, antes e após a ação da atmosfera de  $\text{SO}_2$ , que simula o ataque da chuva ácida. Verifica-se que as telhas antigas apresentam perdas de massa em torno de 2 g, no pior caso, que representa cerca de 1% de perda em massa e as telhas antigas não apresentaram variações significativas de perdas de massa.

**Tabela 8:** Massa das telhas antes e após ataque de  $\text{SO}_2$ .

	Massa (g) antes	Massa (g) após	Perda de massa
Original 1	288,99	287,21	1,78
Original 2	329,06	326,87	2,19
Original 3	289,36	287,94	1,42
Reposição 1	306,72	306,20	0,52
Reposição 2	320,90	320,50	0,40
Reposição 3	294,42	293,39	0,03

A Tabela 9 mostra os padrões cromáticos, das três alíquotas obtidas da telha original e de reposição. Verificou-se que os valores de  $L^*$  ficaram menores, ou seja, as telhas ficaram mais escuras devido a deposição de enxofre em suas superfícies.

**Tabela 9:** Padrão cromático das telhas antes e após ataque de  $\text{SO}_2$ .

Amostras	Antes			Após		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Original 1	46,41	7,73	12,69	36,87	7,34	14,50
Original 2	39,99	9,33	6,92	39,23	9,11	14,88
Original 3	44,44	8,90	11,99	34,87	8,98	19,98
Reposição 1	54,31	49,19	15,27	34,60	43,23	20,32
Reposição 2	52,90	47,44	14,25	36,50	43,68	19,57
Reposição 3	56,76	49,99	14,40	32,80	44,61	18,87

### 4.13 | Ensaio por Ataque de Raios Ultravioleta (UV)

A exposição contínua aos raios solares (ultravioleta) pode ocasionar alterações cromáticas, tornando o ensaio uma ferramenta investigativa de tal intervenção, principalmente por se tratar de telhas (ICOMOS, 2008; RICARDO et al., 2017).

A Tabela 10 mostra os resultados dos padrões colorimétricos, antes e após a ação dos raios-UV, para as três alíquotas obtidas das telhas originais e de reposição. Pode-se verificar que tanto a telha original como a de reposição apresentam alterações substanciais no eixo L\*, indicando que a ação dos raios-UV é capaz de clarear as telhas. Os padrões a\* e b\* não apresentam alterações importantes.

**Tabela 10:** Padrão cromático das telhas antes e após ataque de raios-UV.

Amostras	Antes			Após		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Original 1	46,41	7,73	12,69	59,88	11,23	7,80
Original 2	39,99	9,33	6,92	51,02	12,76	7,93
Original 3	44,44	8,90	11,99	57,88	11,56	11,34
Reposição 1	54,31	49,19	15,27	67,88	50,01	15,40
Reposição 2	52,90	47,44	14,25	67,29	52,00	15,33
Reposição 3	56,76	49,99	14,40	68,93	48,99	15,00

## 5 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por meio da análise macroscópica visual a olho nu e com o auxílio da lupa binocular, nas amostras das telhas originais e de reposição, mostraram uma coloração predominantemente alaranjada à avermelhada, típica de materiais cerâmicos. A telha original, devido ao maior tempo de exposição em comparação com a telha de reposição, apresenta na camada externa, em algumas seções, uma coloração amarronzada gradando para a cor preta que pode estar relacionada ao acúmulo de sujidades. A telha original possui, também, na parte interna, uma cor preta que se relaciona ao material, rico em óxido de ferro, que foi utilizado no momento da confecção desta, como adição ao material cerâmico. Na camada alaranjada-avermelhada da telha original, verificou-se alguns grãos de quartzo e pontuações esbranquiçadas que podem ser alterações intempéricas dos minerais que compõem a telha para argilominerais e/ou acúmulo de sais.

A análise microscópica da telha original mostrou uma distinção nítida entre a camada alaranjada e a escurecida (predominantemente de cor preta), conforme observado macroscopicamente, sendo nesta análise identificada por uma cor preta e uma coloração amarelada, respectivamente. A matriz é predominantemente muito fina, sendo a camada escurecida apresentando dispersos e diversos grãos angulosos submilimétricos (localmente milimétricos), principalmente de quartzo e de feldspato. Já a camada amarelada também é constituída por uma matriz muito fina, de coloração ocre, com cristais submilimétricos e angulosos de quartzos e eventualmente de feldspatos.

Os resultados obtidos por meio da difratometria de raios-X da telha original identificaram o quartzo, que foi identificado na análise macroscópica e também os minerais microclina (K-feldspato), mulita, hematita e gipsita. A mulita, microclina e o quartzo associam-se à parte laranja da amostra, típicos de materiais cerâmicos e a hematita relaciona-se a parte interna, de cor preta da telha. A gipsita, um sulfato de cálcio hidratado, identificado no difratograma, tem sua gênese relacionada à combinação do cálcio na amostra e do enxofre presente na atmosfera. A telha de reposição possui minerais comuns à cerâmica como o quartzo, microclina, albita e muscovita.

Os percentuais de óxidos, obtidos por fluorescência de raios-X, para a telha original e de reposição, corroboram os resultados obtidos por DRX. A telha original apresenta um teor ligeiramente menor de sílica, cerca de 60%, possui um teor maior de cálcio, cerca de 1% e apresenta enxofre, também em torno de 1%. O maior teor de ferro da telha original está relacionado com a presença de hematita. O teor de ferro observado na telha de reposição está relacionado com a muscovita.

A análise utilizando a energia dispersiva na microscopia eletrônica de varredura, para a parte interna da telha original, identificou uma composição contendo oxigênio, silício, alumínio, ferro, titânio, potássio, magnésio e sódio. Os elementos são comuns aos minerais encontrados nas análises macroscópica, microscópica, por DRX e FRX.

Os resultados obtidos por meio da determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção d'água para a telha original e de reposição mostraram um valor de 15% de porosidade e 8% de absorção de água para telha original. O limite máximo admissível é 20%.

Os resultados adquiridos por meio da espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier para a telha original mostraram o estiramento do Si-O-Si associado a picos em 1080, 780 e 459  $\text{cm}^{-1}$  que se relacionam aos argilominerais em conformidade com os resultados obtidos por DRX. Verificou-se, também, uma diferença mais significativa na parte preta em 1390  $\text{cm}^{-1}$ , relacionada ao alongamento da ligação C-O, ou seja, a parte preta está ligada ao processo de queima da argila e corresponde ao CO não encontrado na telha de reposição.

Os resultados gerados para a dureza superficial mostraram que a telha original apresenta um valor de dureza em torno de 500 HDL e que a telha de reposição apresenta um valor de dureza um pouco menor, sendo cerca de 400 HDL na parte não tratada. No entanto, a face protegida da telha nova apresenta maior dureza, chegando-se a cerca de 500 HDL, similar ao valor encontrado na telha original.

A avaliação colorimétrica para a telha original mostrou que a camada externa da amostra de telha tendeu ao marrom alaranjado, enquanto a camada interna tendeu ao cinza escuro. Além disso, ambas as camadas apresentaram valores próximos ao zero para brilho, indicando que os materiais das telhas são opacos. A parte interna da telha, cuja cor é predominantemente preta, associa-se à colocação de um material rico em óxido de ferro, durante a confecção da telha, para aumentar a sua resistência.

Os resultados obtidos por meio da coleta de sais e sujidades da telha original mostraram que o maior acúmulo de poluentes encontra-se na parte de baixo, com teores de sulfeto em torno de 8  $\text{mg.L}^{-1}$  e sulfato de 1,3  $\text{mg.L}^{-1}$ . Observa-se a presença de cálcio, possivelmente associado ao sulfato formando a gipista. Os teores de sódio e potássio, associados ao cloreto, podem ser oriundos do

spray salino. Não foram detectados teores de nitrato, geralmente relacionado com fezes de animais. O valor do pH das águas de lavagem foi de 6,0, ligeiramente ácido, possivelmente devido à presença de sulfeto e sulfato.

As massas obtidas por meio do ensaio por ataque de névoa salina, das telhas originais e de reposição, não mostraram variações significativas. Os resultados obtidos por colorimetria apresentaram somente um ligeiro clareamento devido ao aumento no valor de  $L^*$  e maior intensidade na cor vermelha, refletida no aumento de  $a^*$ .

Os resultados obtidos por meio do ensaio por ataque de  $SO_2$ , para as telhas originais e de reposição, mostraram perdas de massa em torno de 2 g, no pior caso, que representa cerca de 1% de perda em massa e as telhas antigas não apresentaram variações significativas de perdas de massa. Os padrões cromáticos obtidos para essa análise, mostraram que os valores de  $L^*$  ficaram menores, ou seja, as telhas escureceram devido a deposição de enxofre em suas superfícies.

Os padrões colorimétricos obtidos para a telha original de reposição, antes e após o ensaio por exposição aos raios ultravioleta (UV), mostraram que ambas possuem alterações substanciais no eixo  $L^*$ , indicando que a exposição aos raios-UV é capaz de clarear as telhas. Os padrões  $a^*$  e  $b^*$  não apresentam alterações significativas.

## **6 | AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CETEM pela infraestrutura, ao Mosteiro de São Bento, ao Iphan, à empresa Terreng pelo fornecimento das amostras e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUENA, T.Y. Desenvolvimento e análise de suporte para melhoria em ensaio de névoa salina. 2017. Monografia. Universidade Federal do Paraná. 36 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAS ASTM – G 53-96. Practice for Operating Light-and-Water- ExposureApparatus (Fluorescent UV-CondensationType) for Exposure of Nonmetallic Materials. 1996.4p.

\_\_\_\_\_. A956-12, Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products. 2017. 12 p.

ARMITAGE, R.A.; MIC, L.; HILL, D.V.; HURRY, S.D. Characterization of bricks and tiles from the 17th-century brick Chapel St. Mary's City, Maryland. 2006. Journal of Archaeological Science. v.33. 615-627 p.

ARRUDA, V. 'Tradição e Renovação: A arquitetura dos mosteiros beneditinos contemporâneos no Brasil', Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo.2007. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16133/tde-14052010-103415/pt-br.php>>. Acesso em: 01 mar.2023.

ASSIS, S.L. Estudo comparativo de ensaios acelerados para simulação da corrosão atmosférica. 2000. Dissertação de Mestrado (Mestre em Ciências). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. 98 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 12.768/92: rochas para revestimento, análise petrográfica, Rio de Janeiro. Análise Petrográfica. 1992. 2 p.

\_\_\_\_\_.NBR 15845-2. Rochas para Revestimento Parte: Determinação da Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água. Rio de Janeiro.2010. 4 p.

\_\_\_\_\_.NBR 15310 Componentes cerâmicos – Telhas-Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. 2009. 47 p.

\_\_\_\_\_.NBR 8094. Material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina. 1983. 3 p.

\_\_\_\_\_.NBR 15310.Ceramic components: Ceramic roof tiles: Terminology, requirements and testing methods. 2005. 53 p.

COSTA, C.A.S. Materiais Construtivos do Sítio da Primeira Catedral do Brasil: modelos de estudo para telhas, tijolos, cravos e azulejos aplicados aos materiais do sítio da antiga igreja da Sé, Salvador, Bahia. 2005. *Clio Arqueológica*, nº19, v.2, 43-78 p.

DEDAVID, B.A.; GOMES, C.I.; MACHADO, G. Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Centro de Microscopia e Microanálises do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento. IDEA. PUCRS. 2007. Porto Alegre. 60 p.

DI GIUSEPPE, E.; SABBATINI,S.; COZZOLINO, N.; STIPA, P.; D’ORAZIO, M. Optical properties of traditional clay tiles for ventilated roofs and implication on roof thermal performance. 2018. *Journal of Building Physics*. 1-22 p.

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. 281 p.

FELIX, C.C.; MANSUR, K.L.; RIBEIRO, R.C.C. Study of salt-induced changes in the Leptinito Gneiss of a column from the Mosteiro de São Bento in Rio de Janeiro, Brazil. 2002. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. v.94. 13 p.

FELIX, C.C.; MANSUR, K.L.; RIBEIRO, R.C.C. Estudo da alteração intempérica atuante em escultura de Jesus Cristo do século XIX e seu suporte, pertencentes ao Mosteiro de São Bento, Rio de Janeiro, RJ. 2021. Revista do Instituto de Geociências. USP. v.21., n. 4, DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v21-178458>.

International Council on Monuments and Sites (ICOMOS). 2008. Illustrated glossary on stone deterioration patterns. Champigny/Marne, França: Icomos. Disponível em: [https://www.icomos.org/publications/monuments\\_and\\_sites/15/pdf/Monuments\\_and\\_Sites\\_15\\_ISCS\\_Glossary\\_Stone.pdf](https://www.icomos.org/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdf). Acesso em: 20 mai. 2023.

JÚNIOR, A.S. Análise Quantitativa do Material Particulado na Região de Campinas Por meio de das Técnicas de Microfluorescência de Raios X e Reflexão Total Usando Radiação Síncroton. Tese. Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP. Pós-Graduação – Área de Concentração: Recursos Hídricos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 2007. 283 p.

LIU, S.; WANG, R.; YU, J.; PENG, X.; CAI, Y.; TU, B. Effectiveness of the anti-erosion of an MICP coating on the surfaces of ancient clay roof tiles. 2020. Construction and Building Materials. v. 243. 118202. 10 p.

LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; ALMEIDA, S.L.M. Tratamento de Minérios. 4ª ed. rev. app. CETEM-MCTI. Rio de Janeiro. 2004. 867 p.

MEDINA-DZUL, K., CARRERA-FIGUEIRAS, C., PÉREZ-PADILLA, Y., VILCHIS-NESTOR; R.A., LÓPEZ-TÉLLEZ, G., SÁNCHEZ, M., MUÑOZ-RODRÍGUEZ, D. SiO<sub>2</sub>/polyvinylimidazo lehybridpolymer as a sorbent for extraction by matrix solid-phase dispersion (MSPD): synthesis, characterization, and evaluation. 2015. Journal of Polymer Research.v. 22, nº. 45, 2-9 p. <http://dx.doi.org/10.1007/s10965-015-0677-7>

NAZDARINK TECHNOLOGIES. Enter the L\*a\*b\* oratory: Making Color Spatial. 2016. Disponível em: <https://www.nazdar.com/en-us/News-events/ArtMID/4165/ArticleID/224>. Acesso em: 01 jun. 2023.

VARAS-MURIEL, M.J.; PÉREZ-MONSERRAT, E.M.; VÁZQUES-CALVO, C. FORT, R. Effect of conservation treatments on heritage stone. Characterization of decay processes in a case study. 2015. *Construction and Building Materials*. v. 95. 611-622 p.

VIEIRA, C.M.F.; SOARES, T.M.; MONTEIRO, S.N. Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de queima. *Ceramic*. v.49. 2003. 245-250 p.

ÖZTÜRK, I.1992. 'Alcoy silanes Consolidation of Stone and Earth en Building Materials'. Graduate Program in Historic Preservation. PhD Thesis, University of Pennsylvania. 215 p.

RICARDO, A.M.; MANSUR, K.L.; RIBEIRO, R.C.C. Mapeamento das morfologias de alteração das rochas do Paço Imperial, Rio de Janeiro. 2017. Instituto de Geociências. USP. V.17. n. 2. 45-58 p.

SARDELLA, A.; CANEVAROLO, S.; MARROCHINO, E.; TITTARELI, F.; BONAZZA, A. Investigation of Building Materials Belonging to the Ruins of the Tsogt Palace in Mongolia. 2021. *Heritage*. v. 4. 2494-2514 p.

SOUZA, A.K.R. LIMA, D.M.V.; OLIVEIRA, S.L.A. Técnica FTIR e suas aplicações em amostras orgânicas. Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão, 8º ENEPE. UFGD. 5º EPEX UEMS. 2014. 5 p.

WILHELM, K., VILES, H. & BURKE, Ó. Low impact surface hardness testing on porous surfaces - advances in methodology with implications for rock weathering and stone deterioration research. 2016. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 41. nº8, 1027-1038.

## 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 2023, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 380 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED). 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 <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/repositorio-mineralis-e-biblioteca>.

### Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-134 - **Geoturismo urbano: conhecendo as rochas das igrejas dos bairros do Catumbi, Estácio e Rio Comprido, no Rio de Janeiro.** Ana Rafaela Soalheiro Varella Pitta Ribeiro, Rosana Elisa Coppedê da Silva e Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, 2024.

STA-133 - **Nanociência e Nanotecnologia: Considerações gerais para o setor mineral.** Cristina Lúcia Silveira Sisino, Josino Costa Moreira, Florian Part, Jiří Barek, Andréa Camardella de Lima Rizzo e Cláudia Duarte da Cunha, 2024.

STA-132 - **Avaliação da alteração da rocha utilizada na escultura “Mulher”, de Adriana Janacópulos do Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro.** Hamanda Monteiro das Neves Kuntz, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Katia Leite Mansur, Nuria Fernández Castro e Cláudia Regina Nunes, 2024.

## **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](mailto: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 e Inovação - MCTI, 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 Universitário, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m<sup>2</sup> de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 46 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.