

# Emplastro com resíduo de caulim como alternativa à realidade amazônica na salvaguarda dos bens culturais

*A plaster with kaolin residue as an alternative to the Amazonian reality in the safeguarding of cultural assets*

Angelina Lobato Gonçalves 

Ana Áurea Barreto Maia 

Thais Alessandra Bastos Caminha Sanjad 

Alexandre Maximo Silva Loureiro 

Marcondes Lima da Costa 

## Resumo

A conservação de bens culturais necessita estar alinhada com a política de sustentabilidade da atualidade. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia do uso do resíduo do caulim substituindo total ou parcialmente a bentonita, na formulação de Mário Mendonça de Oliveira, para a limpeza de superfícies pétreas. E dessa forma avaliar possíveis alterações no aspecto ou na estrutura do lioz. Para tanto foram avaliadas a influência de algumas variáveis, como tempo de aplicação do emplastro e a concentração dos argilominerais utilizados. A metodologia experimental consistiu em: secagem e pulverização do resíduo; quantificação e pesagem dos reagentes; limpeza úmida da rocha; síntese, aplicação e remoção do emplastro. Ao longo da pesquisa foram empregadas técnicas de análise, para caracterizar os materiais de partida, os produtos formados e as alterações produzidas na superfície da rocha. Após a limpeza por via úmida houve uma tendência de elevação de brilho em todas as faixas estudadas; e um aumento do mesmo em todas as faixas em que foi aplicado o emplastro de 100% caulim, para os tempos de 7 e 14 dias.

**Palavras-chave:** Caulim. Bentonita. Lioz. Emplastro.

## Abstract

*The conservation of cultural heritage needs to be aligned with current sustainability policies. Therefore, this work aimed to assess the effectiveness of using kaolin residue, either totally or partially replacing bentonite, in Mário Mendonça de Oliveira's formulation for cleaning stone surfaces, in order to measure possible changes in the appearance or structure of Lioz stone. The influence of some variables, such as the application time of the plaster and the concentration of the clay minerals used, was evaluated. The experimental methodology consisted of drying and pulverizing the residue; quantifying and weighing the reagents; wet cleaning the rock; synthesis, application, and removal of the plaster. Throughout the research, analysis techniques were employed to characterize the starting materials, the products formed, and the alterations produced on the rock surface. After the wet cleaning process, there was a trend for increased brightness in all studied ranges, and an increase in brightness in all ranges where 100% kaolin plaster was applied during 7 and 14 days.*

**Keywords:** Kaolin. Bentonite. Lioz Stone. Plaster.

<sup>1</sup>Angelina Lobato Gonçalves  
<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará  
Belém - PA - Brasil

<sup>2</sup>Ana Áurea Barreto Maia  
<sup>2</sup>Universidade Federal do Pará  
Belém - PA - Brasil

<sup>3</sup>Thais Alessandra Bastos  
Caminha Sanjad  
<sup>3</sup>Universidade Federal do Pará  
Belém - PA - Brasil

<sup>4</sup>Alexandre Maximo Silva  
Loureiro  
<sup>4</sup>Universidade Federal do Pará  
Belém - PA - Brasil

<sup>5</sup>Marcondes Lima da Costa  
<sup>5</sup>Universidade Federal do Pará  
Belém - PA - Brasil

Recebido em 24/05/23  
Aceito em 21/01/24

## Introdução

A pedra é um importante material geológico da civilização humana, que chegou até a denominar um período da história da humanidade: a Idade da Pedra. Desta resultaram grandes construções que hoje fazem parte do rol dos monumentos que possuem valor simbólico e cultural para diferentes sociedades. No Brasil, a arte da cantaria iniciou ainda no século XVI, contudo atingiu o seu auge apenas dois séculos depois (Del Lama, 2016), o que resultou no importante conjunto de bens edificados com o uso da pedra trabalhada. Atualmente, esses monumentos pétreos apresentam processos de alteração, que podem ser gerados por fatores internos e/ou externos, naturais ou antrópicos, envolvendo aspectos físicos, químicos e biológicos, que por sua vez podem colocar o bem cultural em risco de desaparecer.

O intemperismo que ocorre para formação das rochas é consideravelmente essencial para a manutenção da vida na terra. Contudo os processos de deterioração que atuam em artefatos históricos podem gerar danos irreparáveis ao patrimônio cultural (Warscheid; Braams, 2000). Dentre os agentes intempéricos pode-se destacar a luz do sol, o relevo, o vento, a chuva e a neve (Keller, 1957).

Para intervir sobre um bem cultural é necessário conhecer o monumento, seus componentes e os agentes que atuam sobre o mesmo (IPPAR, 2002). Em se tratando de deterioração causada por agentes, químicos, físicos e biológicos, é imprescindível conhecer como cada fator atua sobre o material, para não provocar danos maiores. Daí se explica a necessidade de estudar sobre a deterioração pétreo. Conforme o glossário ilustrado do ICOMOS (2008) as principais formas de deterioração da pedra são: fenda e deformação, destacamento em área, formas devidas à perda de material, alteração cromática e depósito e colonização biológica.

Silva (2014) destaca que os processos de restauração e conservação de superfícies pétreas visam utilizar metodologias menos invasivas, por meio do aprimoramento do uso de técnicas mais eficazes, que tem por objetivo o prolongamento da vida útil dos materiais e a manutenção da rocha por meio da mínima intervenção. Os principais tratamentos aplicados em superfícies pétreas são: limpeza, reconstituição, consolidação e proteção. Dentre os quais se enfatiza nesta pesquisa a limpeza, que consiste em uma técnica de tratamento que objetiva a preservação da superfície do objeto visando a sua manutenção e valorização da epifania da imagem (Del Lama, 2016), não deixando de considerar o aspecto da obra de arte e evitando modificações indesejáveis no material (Brandi, 2005). A limpeza da pedra é uma das técnicas mais utilizadas na conservação-restauração da mesma e teve constantes modificações ao longo das últimas décadas.

A técnica de limpeza também busca remover da superfície da pedra toda e qualquer alteração que cause a deterioração, como: sais solúveis, incrustações, processos de intervenções más sucedidas, sujeiras, detritos e vegetação, isso ponderando a textura e as cores originais (Almeida, 2000).

A limpeza química ocorre por meio da utilização de pastas aquosas ou emplastros. Os primeiros estudos envolvendo a aplicação de emplastros na limpeza de bens culturais foram desenvolvidos por Mora e colaboradores, ainda no século XX. Eles descrevem três principais materiais constituintes dos emplastros: o gesso, a cal e as argilas. Estes materiais foram formulados para serem aplicados na limpeza seletiva de pinturas murais. Os emplastros a base de argilas apresentam como principais componentes os óxidos de silício ou sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e óxidos de alumínio ou propriamente a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (Mora; Mora; Philippot, 1999).

Nos emplastros de argilas também pode se adicionar uma quantidade variável de água, ferro e metais alcalinos. E a estrutura cristalina da pasta formada apresenta granulometria muito fina, entre 2 e  $4\mu\text{m}$ , esses cristais são compostos pela sobreposição de centenas de lâminas, as quais por sua vez, são compostas por duas ou três camadas de sílica ou alumina e incluem grupos de hidroxilas(OH) e ânions, podendo apresentar cátions, vide Figura 1 (Mora; Mora; Philippot, 1999).

Torraca (2005) também descreveu a técnica do emplastro como sendo um material formado por pacotes de argilas altamente absorventes, sendo o principal constituinte as argilas atapulgita ou sepiolita. Esse material consegue se aderir facilmente às camadas de sujeira e a técnica é largamente utilizada na remoção de sais solúveis das pedras.

As duas vantagens principais de utilizar emplastros de argilas na limpeza de pedra, são: o aumento do tempo de contato entre a superfície da pedra e ao mesmo tempo redução da quantidade de substâncias que são absorvidas pelos poros da cantaria. Os principais componentes do emplastro são as argilas absorventes (sepiolita ou bentonita), polpa de papel, polpa de algodão, sílica gel, entre outras. O tempo de aplicação dos métodos de limpeza química deve ser determinado por meio de testes “in situ” ou a partir de teste em laboratório (Almeida, 2000).

Atualmente já são desenvolvidas algumas pastas que contém EDTA (ácido etilendiamina tetra-acético), isso ocorre por meio de uma adaptação da fórmula desenvolvida pelos Mora (Del Lama, 2016), como a realizada

por Oliveira (2011) no Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração (NTPR) na Universidade Federal da Bahia, que desenvolveu uma formulação adaptada do emplastro de bentonita (Figura 2). No Brasil, as argilas mais utilizadas são as sepiolitas, atapulgitas e bentonitas, sendo esta última constituída essencialmente pelo argilomineral montmorilonita (Silva, 2014).

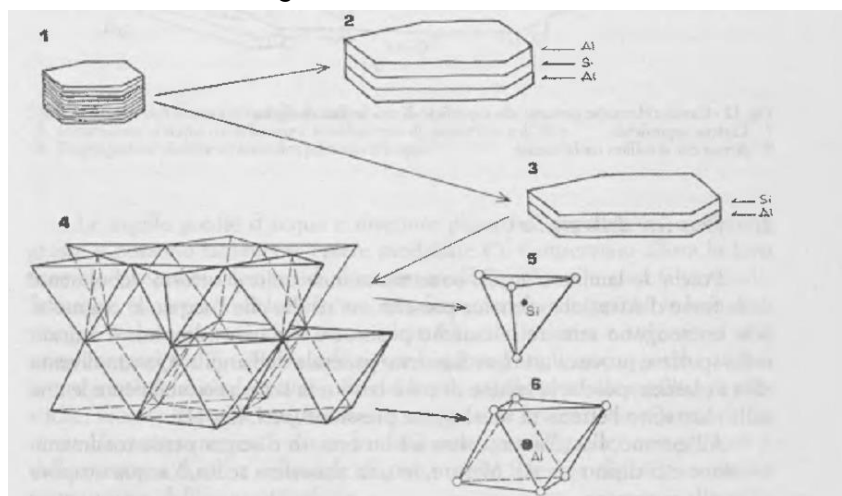
No estudo de Oliveira (2011), o autor indica que o emplastro de bentonita pode ser aplicado na limpeza de diversos materiais cerâmicos, no controle da eflorescência em superfícies que sofrem com o efeito da umidade, na limpeza de manchas orgânicas presentes em pedras, entre outros.

Bessa, Sanjad e Gester (2020), utilizaram o emplastro de bentonita para efetuar a limpeza química de ladrilhos de marmorite, que são constituídos por argamassas pigmentadas compostas de agregado mineral moído, o próprio cimento comum e areia quartzosa. A técnica apresentou resultados satisfatórios não provocando alterações significativas no brilho em pelo menos dois terços das amostras, indicando ser uma técnica menos invasiva.

Silva (2014) aplicou o emplastro de bentonita na limpeza química de superfícies pétreas pertencentes aos túmulos do cemitério de Nossa Senhora da Soledade em Belém/PA. Os métodos utilizados foram os descritos por Oliveira (2011), tanto na formulação quanto na aplicação do emplastro. Os resultados obtidos foram satisfatórios, mostrando a eficácia da técnica na limpeza de superfícies pétreas.

A Amazônia possui diversos depósitos de argila ao longo de seu território. No estado do Pará, estão situadas empresas produtoras de caulim para a cobertura de papel, nomeadamente a Imerys Rio Capim – IRCC e Pará Pigmentos - PPSA e Amapá, Caulim da Amazônia - CADAM (IBRAM, 2020). No beneficiamento ocorre a formação de dois principais resíduos, constituídos por: quartzo (cerca de 10% da produção) e caulim (cerca de 26% da produção). O caulim classificado como resíduo recebe esta nomenclatura por apresentar granulometria ( $< 2 \mu\text{m}$ ) inadequada para produção de papel (Maia, 2011; Maia *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2013).

Figura 1 - Esquema da estrutura dos argilominerais



Fonte: Mora, Mora e Philippot (1999).

Figura 2 - Formulação do emplastro de bentonita

BENTONITA + EDTA + NaHCO <sub>3</sub> + CH <sub>3</sub> COOH (5mL)	
Bentonita -----	123,91 g
NaHCO <sub>3</sub> -----	10,00 g
CH <sub>3</sub> COOH-----	5,0 mL
EDTA -----	12,50 g
pH = 7,47	

Fonte: Oliveira (2011).

Muitos estudos têm sido realizados na Universidade Federal do Pará, relacionados ao aproveitamento do resíduo do caulim em diferentes aplicações (Maia *et al.*, 2007, 2015; Paz; Angélica; Neves, 2010; Maia; Angélica; Neves, 2011; Lima; Angélica; Neves, 2014; Barata; Angélica, 2012; Loureiro *et al.*, 2020).

Este trabalho tem por objetivo avaliar a eficácia do uso do resíduo do caulim substituindo total ou parcialmente a bentonita, na formulação de Oliveira (2011), para a limpeza de superfícies pétreas.

## Materiais e métodos

### Materiais

Os materiais desta pesquisa correspondem ao utilizados na formulação de emplastro de Oliveira (2011), como bentonita, etilenodiamina tetra-acético (EDTA) ( $C_{10}H_{16}N_2O_8$ ), bicarbonato de sódio ( $NaHCO_3$ ), ácido acético ( $CH_3COOH$ ) e água de ionizada mais o resíduo de caulim. O caulim (Figura 3) foi utilizado com o objetivo de substituir a bentonita, a depender das concentrações dos reagentes, este substitui totalmente ou parcialmente o material argiloso da fórmula de Oliveira (2011), assim foram preparadas 11 amostras do emplastro (Tabela 1).

A nomenclatura das amostras foi definida considerando:

- EBC = Emplastro de Bentonita e Caulim;
- a letra A das quatro primeiras amostras indica a primeira série de produção do emplastro;
- a letra B indica a duplicata das amostras; e
- as três últimas amostras são diferenciadas pela numeração 05.

As numerações de 01 a 05 diferenciam as combinações dos componentes utilizados em cada amostra, sendo que a numeração 01 indicam as amostras brancas, ou seja, sintetizadas sem material argiloso, com a finalidade de verificar a influência dos demais reagentes no processo de limpeza.

Optou-se por modificar gradualmente a porcentagem de caulim que seria utilizada no emplastro (Tabela 1), a fim de verificar a eficiência do mesmo conforme a proporção de resíduo utilizado. Também, devido à pouca disponibilidade de reagentes, foram realizados cálculos a fim de sintetizar o proporcional a  $\frac{1}{4}$  de amostra, logo a quantidade de reagente utilizado em cada amostra corresponde a  $\frac{1}{4}$  da fórmula original. Outrossim, às amostras brancas foi necessário adicionar mais reagentes e reduzir a água, para que fosse possível obter uma pasta no final.

De posse dos reagentes já medidos, a próxima etapa foi misturá-los (Figura 4) conforme a metodologia descrita por (Oliveira, 2011). Primeiramente foram misturados os materiais medidos em grama, depois adicionou-se aos poucos o  $H_2O$ , com o auxílio do bastão de vidro. Por seguinte procedeu-se a verificação de pH das amostras, em três momentos distintos (Tabela 2).

Depois de verificado o pH (primeiro momento) das 11 amostras, foi adicionado o ácido acético à mistura e medido novamente os valores de pH (segundo momento). Posteriormente, as amostras ficaram em repouso (Figura 5) um período de 24 horas e verificado novamente o pH (terceiro momento).

Figura 3 - Resíduo de caulim da Amazônia



Tabela 1 - Quantidade dos reagentes utilizados na formulação do emplastro de caulim adaptado a partir de Oliveira (2011)

Amostra	Caulim (g)	Bentonita (g)	% de Caulim	% de Bentonita	EDTA (g)	NaHCO <sub>3</sub> (g)	CH <sub>3</sub> COOH (mL)	H <sub>2</sub> O (mL)
EBC01-A	0	0	0	0	187,5	150	5	100
EBC02-A	0	31	0	100	3,125	2,5	1,25	250
EBC03-A	31	0	100	0	3,125	2,5	1,25	250
EBC04-A	31	31	100	100	3,125	2,5	1,25	250
EBC01-B	0	0	0	0	187,5	150	5	100
EBC02-B	0	31	0	100	3,125	2,5	1,25	250
EBC03-B	31	0	100	0	3,125	2,5	1,25	250
EBC04-B	31	31	100	100	3,125	2,5	1,25	250
EBC05-A	15,5	15,5	50	50	3,125	2,5	1,25	250
EBC05-B	15,5	15,5	50	50	3,125	2,5	1,25	250
EBC05-C	15,5	15,5	50	50	3,125	2,5	1,25	250

Figura 4 - Mistura dos reagentes caulim, bentonita, EDTA, NaHCO<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O

Tabela 2 - Medida de pH em três momentos distintos da síntese do emplastro

Amostra/ pH	Antes da adição de CH <sub>3</sub> COOH	Após a adição de CH <sub>3</sub> COOH	Após 24 horas de repouso
1	7	8	8
2	6	7	7
3	6	7	7
4	6	7	7
5	7	8	8
6	6	7	7
7	6	7	7
8	6	7	7
9	6	7	7
10	6	7	7
11	6	7	7

Figura 5 - As 11 amostras em descanso por 24 horas



Após o período de 24 horas o material não apresentou consistência de pasta, dessa maneira foram adicionados (Tabela 3) mais caulim e bentonita às misturas com argila e EDTA e  $\text{NaHCO}_3$  à amostra branca, a fim de se obter a consistência de pasta (Figura 6).

## Métodos

A metodologia experimental está resumida no fluxograma (Figura 7). Primeiramente, o resíduo de caulim passou por tratamento térmico a  $100\text{ }^\circ\text{C}/4\text{h}$ . Após retirado da estufa, o resíduo foi colocado no Gral de Ágata (Figura 8) para que a sua granulometria fosse reduzida e aumentada a superfície de contato do material, tornando-o mais reativo para ser aplicado formulação do emplastro de caulim.

Foi realizada a caracterização mineralógica e química dos materiais de partida por meio da Difractometria de Raios X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), realizadas no Laboratório de Mineralogia e Geoquímica Aplicada (LAMIGA) dos Institutos de Geociências, da Universidade Federal do Pará. O Difractômetro de Raios-X é da Marca Bruker, modelo D2 PHASER, com tubo de anodo de  $\text{Cu K}\alpha 1=1,54184\text{ [Å]}$ , detector Lynxeye, operando a  $30\text{ kV}$  e  $10\text{ mA}$  ( $300\text{ W}$ ), entre  $5^\circ$  e  $75^\circ$  ( $2\theta$ ), com incremento de  $0,02$  ( $2\theta$ ), tempo de passo  $0,2\text{ s}$ , fenda de  $1\text{ mm}$ , via método do pó. O MEV utilizado é da marca Hitachi, modelo TM 3000, com Sistema de Energia Dispersivo (Oxford 3000) operado via software Swift ED, sob um sistema de baixo vácuo, sem metalização, tensão de aceleração de  $15\text{ kV}$ , corrente de emissão de  $32\text{ nA}$  e corrente do filamento de  $1,75\text{ mA}$ .

Para aplicar o emplastro de caulim, primeiramente foi selecionada uma placa de piso empedra de lioz exposta às intempéries (Figura 9a), situada no pátio do prédio dos Mercedários (UFPA), localizado na cidade de Belém do Pará. A pedra tem dimensão de  $90\text{ cm}$  de largura por  $50\text{ cm}$  de comprimento e foi subdividida em 12 partes iguais, sendo cada área de  $15\text{ cm}$  de largura por  $25\text{ cm}$  de comprimento (Figura 9b).

Ao longo dos procedimentos de limpeza as áreas de aplicação foram caracterizadas quanto a cor e brilho. A técnica de medição de brilho foi realizada com o auxílio de medidor de brilho *glossmeter*, que atribuiu uma unidade de brilho (GU) ao ponto da superfície analisada. A escala do *glossmeter* é baseada em um vidro padrão preto altamente polido, com um índice de refração definido tendo a reflexão especular de  $100\text{ GU}$  em um determinado ângulo. A geometria do medidor utilizado nesta pesquisa foi de  $20^\circ/60^\circ/85^\circ$ . A caracterização da cor foi realizada com um colorímetro, da marca CHN spec, modelo CS-210, que mede a luz refletida dos objetos em cada comprimento de onda ou em faixas específicas. Dessa forma, ele recebe as informações e fornece os dados de cor do espaço sRGB em valores numéricos. Os equipamentos pertencem ao Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação da Universidade Federal do Pará (LACORE/UFPA).

A fim de determinar o valor da luminosidade percebida ( $L^*$ ), foram necessárias quatro etapas ou fórmulas (Qastack, 2023; Takatsui, 2011), a seguir:

-Primeiramente os valores de sRGB inteiros foram convertidos em decimais [0;1], Equação 1:

$$\begin{aligned} V_R &= \frac{sR}{255} \\ V_G &= \frac{sG}{255} \\ V_B &= \frac{sB}{255} \end{aligned} \tag{Eq. 1}$$

Tabela 3 - Quantidade de reagentes sólidos adicionados às misturas

Amostra	Caulim (g)	Bentonita (g)	EDTA (g)	NaHCO <sub>3</sub> (g)	CH <sub>3</sub> COOH (mL)	H <sub>2</sub> O (mL)
1	--	--	175	140	--	--
2	--	70	--	--	--	--
3	485	--	--	--	--	--
4	80	80	--	--	--	--
5	--	--	175	140	--	--
6	--	70	--	--	--	--
7	485	--	--	--	--	--
8	80	80	--	--	--	--
9	80	80	--	--	--	--
10	80	80	--	--	--	--
11	80	80	--	--	--	--

Figura 6 - Amostras prontas com consistência de pasta



Figura 7 - Fluxograma do processo de síntese

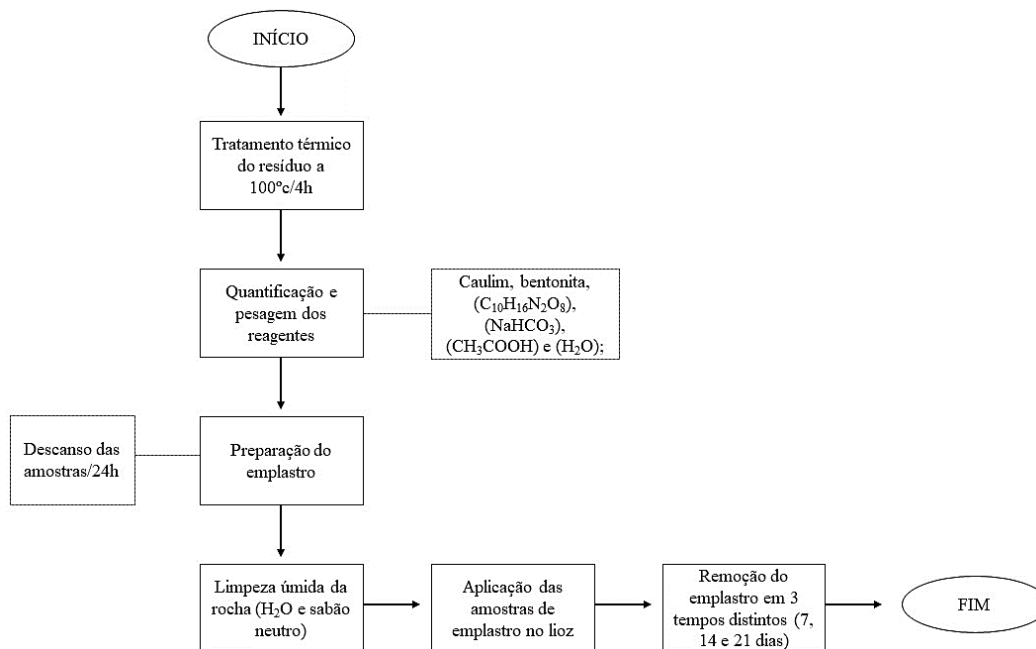


Figura 8 - Resíduo de caulim no Gral de Ágata



Figura 9 - (a) Pedra escolhida para aplicação do emplastro e (b) Subdivisão das áreas de aplicação do emplastro



Depois os valores de sRGB codificados em gama foram convertidos em valores lineares, através da fórmula a seguir (Equação 2):

$$V_{linear} = \begin{cases} \frac{V}{12,92} & V \leq 0,04045 \\ \left(\frac{V+0,055}{1,055}\right)^{2,4} & V > 0,04045 \end{cases} \quad \text{Eq. 2}$$

A terceira etapa consistiu em encontrar a luminância (Y), aplicando os coeficientes padrão para sRGB (Equação 3):

$$Y = R_{linear} * 0,2126 + G_{linear} * 0,7152 + B_{linear} * 0,0722 \quad \text{Eq. 3}$$

De posse dos valores de luminância (Y), foi possível calcular a luminosidade percebida ( $L^*$ ) na pedra, que corresponde ao nível entre escuro e claro variando de preto ( $L^*=0$ ) à branco ( $L=100$ ) (Equação 4) e  $\Delta L$  é definido como a diferença em mais claro e mais escuro (Equação 5):

$$L^* = \begin{cases} Y * 903,3 & Y \leq 0,008856 \\ (Y^{1/3} * 116) - 16 & Y > 0,008856 \end{cases} \quad \text{Eq. 4}$$

$$\Delta L = L^*_2 - L^*_1 \quad \text{Eq. 5}$$

Após as devidas análises, realizou-se a limpeza da pedra com água, sabão neutro e escovinha.

Por conseguinte, foram feitas novamente as análises da pedra, depois o emplastro foi aplicado com o auxílio de uma espátula (Figura 10a), de forma uniforme sobre a superfície de 11 subdivisões da pedra em função do número de amostras. Depois da aplicação, a superfície foi coberta com papel alumínio (Figura 10b), a fim de manter a umidade no local. Também foram utilizados sacos plásticos e fita gomada para isolar a superfície de intempéries e agentes externos.



A remoção do emplastro ocorreu em três tempos distintos, 7, 14 e 21 dias. O objetivo era verificar a influência do tempo no processo de limpeza. Após os 7 primeiros dias foram removidos o plástico, o papel alumínio, e 1/3 do emplastro de cada superfície (Figura 11a). Sendo que na área 12 não foi aplicado emplastro e na área 1 boa parte da amostra acabou escoando devido às irregularidades da superfície e a pouca consistência da amostra, que não continha caulim nem bentonita. Em seguida a pedra foi lavada com água e sabão neutro, para remover os restos de materiais ainda presentes.

## Resultados e discussões

### Caracterização do material argiloso do emplastro

O difratograma do resíduo de caulim (Figura 12), mostra que o material é constituído essencialmente por caulinita, como pode-se observar pelos dois picos principais deste argilomineral, 7 Å e 3,5 Å. O caulim é uma argila que apresenta de 10 a 95% de caulinita em sua composição (Adamis; Fodor; Williams, 2005). A amostra analisada indica elevado grau de ordem estrutural da caulinita cujos picos apresentam-se bem definidos, simétricos e com elevada intensidade (Maia *et al.*, 2017; Sousa *et al.*, 2020; Arruda Junior; Barata, 2022).

Outrossim, é verificada a presença de reflexões de baixa intensidade, de quartzo e anatásio, o que conforme Maia (2007; 2011), Maia *et al.* (2017) e Gonçalves e Maia (2018) estão continuamente presentes nas ocorrências de caulim da região do estado do Pará.

O difratograma da bentonita (Figura 13) mostra reflexões características de montmorilonita, principal argilomineral da argila bentonita, com uma distância interplanar de 14,7 Å ( $6^\circ 2\theta$ ). Os resultados dos DRX também mostraram a presença de quartzo em  $19,9^\circ$ ,  $21,0^\circ$ , e  $26,8^\circ 2\theta$ . Os dados obtidos estão conforme as pesquisas realizadas por outros autores (Adamis; Fodor; Williams, 2005; Aranha *et al.*, 2007; Nascimento, 2018; Santos *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2002; Sousa *et al.*, 2020).

Figura 10 - (a) Emplastro aplicado no lioz e (b) Superfície de aplicação coberta com papel alumínio



Figura 11 - Retirada do emplastro

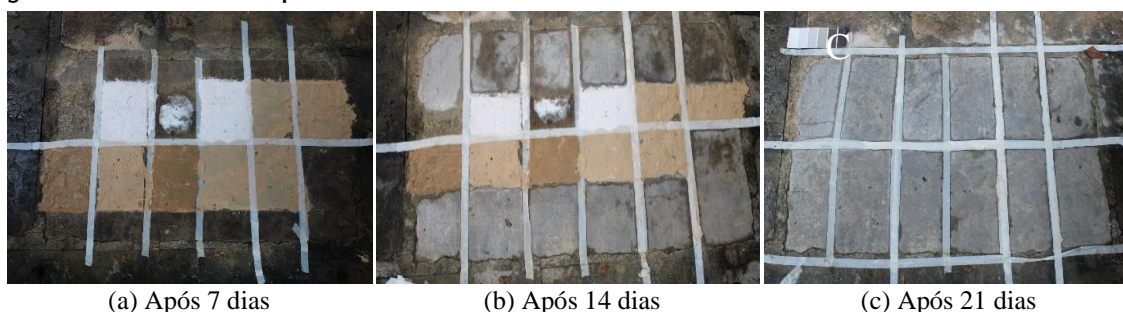


Figura12 - Difratoograma de Raios X do resíduo de caulim

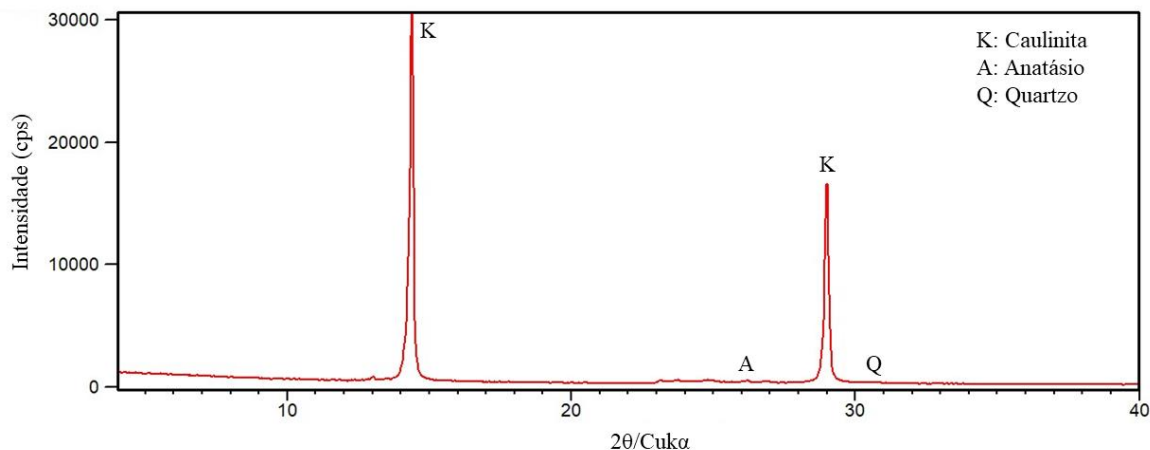
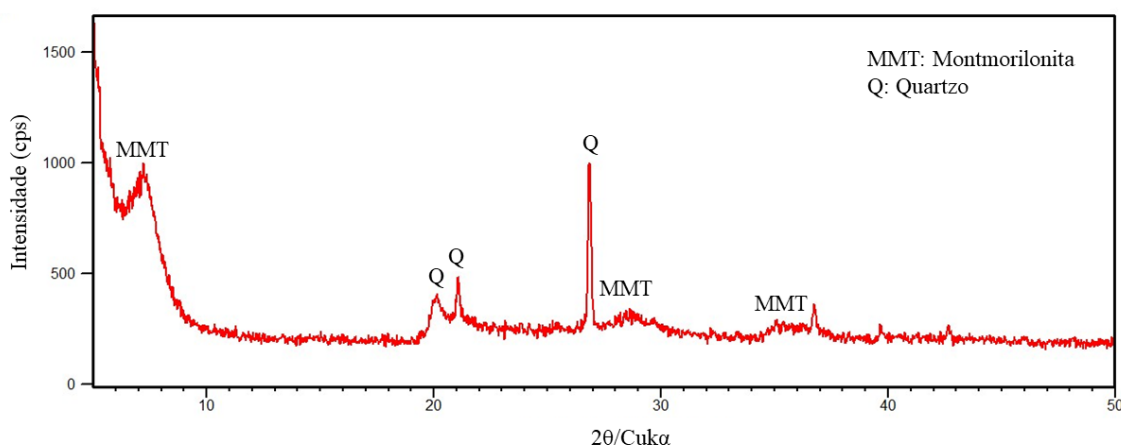


Figura13 - Difratoograma de Raios X da bentonita



Na imagem do MEV do resíduo de caulim (Figura 14) é possível observar que o material é constituído por partículas aglomeradas, com empilhamento do tipo livreto, apresenta cristais com morfologia pseudo-hexagonal, característicos dos cristais de caulinita, que é o principal constituinte do resíduo conforme os dados apresentados na DRX. Os resultados encontrados nas imagens estão conforme os dados apresentados por Sousa *et al.* (2020) e Azerêdo (2012), que também caracterizou o resíduo de caulim utilizando a técnica de MEV.

No resultado da análise micrográfica da argila bentonítica (Figura 15), é possível observar que o material é constituído essencialmente por aglomerados de argilominerais. Os pequenos grãos distribuídos na amostra são característicos da impureza de quartzo, conforme Tonnesen *et al.* (2012), o que ratifica os dados apresentados no gráfico do DRX da bentonita. Outro aspecto da argila é a natureza porosa do sólido e a presença de lamelas irregulares de diferentes tamanhos, bem como partículas agregadas que não são uniformes (Rodrigues; Silva; Silva, 2004).

### Caracterização do brilho e da cor da pedra de aplicação do emplastro

De forma geral, a rocha apresentou um aumento de brilho, após a limpeza por via húmida, em todas as faixas analisadas (Figura 16). E após a limpeza química, o material apresentou um clareamento significativo da superfície (Figura 17). Este clareamento poderia estar diretamente relacionado à cor do caulim, pois este é proveniente de um processo industrial que visa o clareamento da superfície do papel. Contudo, o clareamento deveria desaparecer ao passar dos dias devido à exposição da rocha às intempéries da região, o que não aconteceu (Figura 17) (Loureiro, 2019). Ainda, para avaliar a quantificação de brilho e cor nas 11 superfícies de aplicação, estas foram subdivididas em 33 pontos de aplicação ou superfícies.

Figura 14 - Imagem do MEV do resíduo de caulim

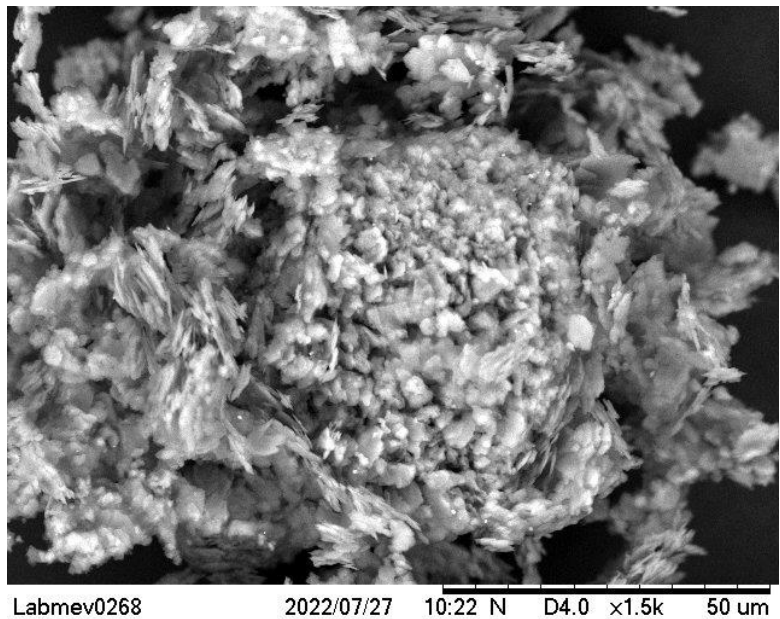


Figura 15 - Imagens do MEV da argila bentonita

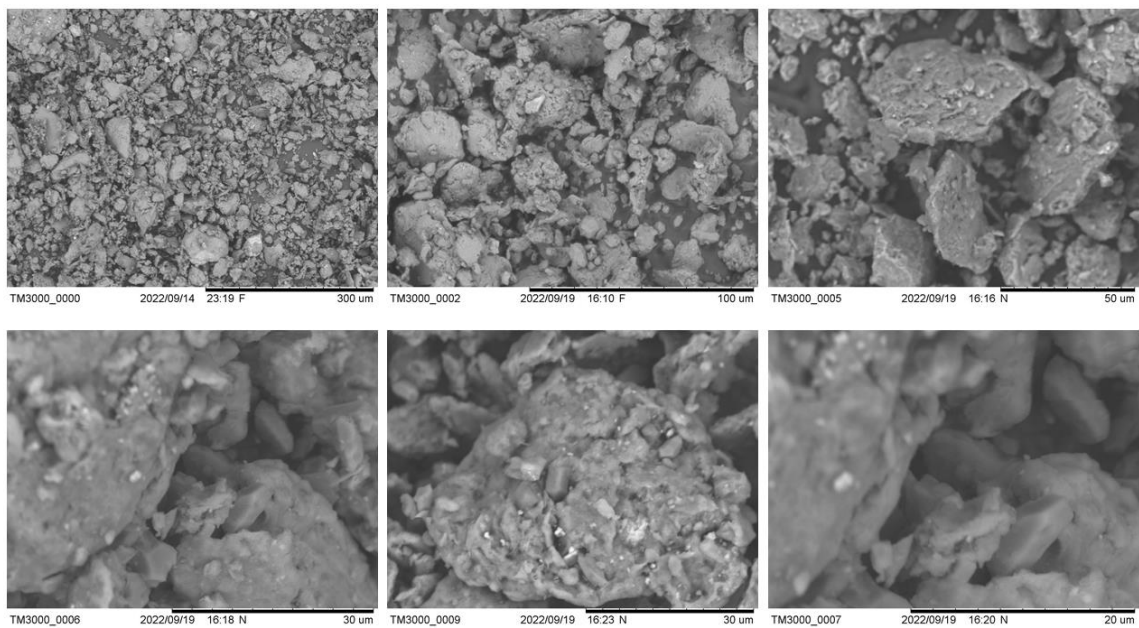


Figura16 - Resultado obtido por meio da limpeza da rocha: estado original, após a limpeza por via úmida, após aplicação do emplastro de bentonita e 180 dias após a aplicação do emplastro

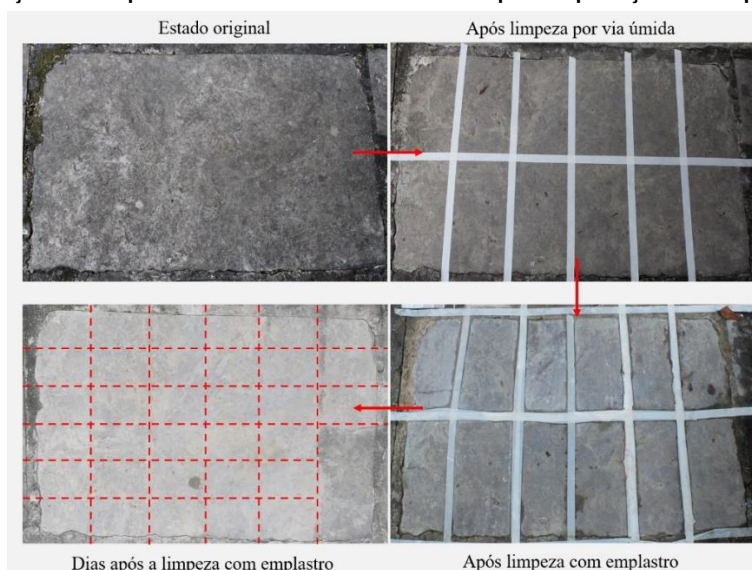
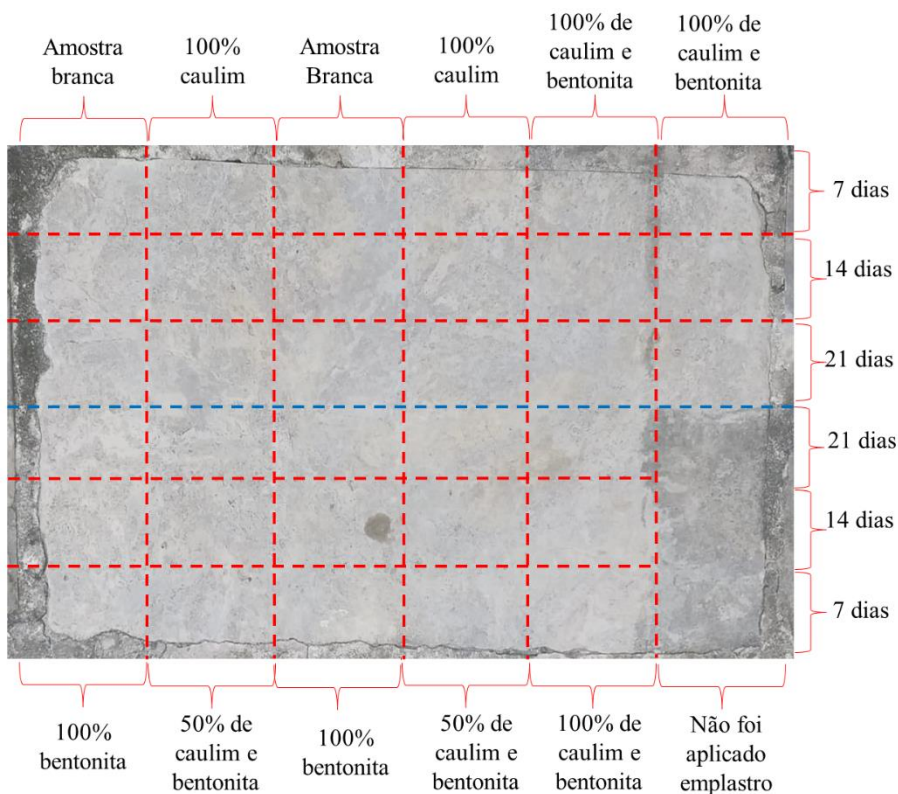


Figura17 - Superfície após procedimentos de limpeza



Os resultados da quantificação de brilho para o ângulo de 60° (Tabela 4), antes da limpeza por via úmida, mostraram que as superfícies apresentaram um comportamento uniforme em relação ao brilho, variando entre 0,33 ub e 0,50 ub (Unidades de Brilho = Gloss Unit). O tratamento estatístico dos dados mostrou que as medidas de tendência central, moda, média e mediana apresentaram o valor de 0,40. E as medidas de dispersão foram de aproximadamente 0,0026 para variância e 0,05 para o desvio padrão. Esses resultados ratificam que o brilho da pedra, antes do início da intervenção, não apresentava muita variação em relação à média das

medidas, pois quanto mais próximas de zero são os valores de dispersão, mais uniformes são os dados da amostra.

O brilho é capacidade que o material possui de refletir ou absorver luz, a pedra em estudo é classificada como uma matéria de médio brilho. Ainda apresenta como propriedades organolépticas:

- (a) em relação à transparência é considerado como opaco, pois apresenta valores de brilho inferiores a 10 ub;
- (b) topografia variável; e
- (c) apresenta uma textura rugosa e áspera (Carmona-Quiroga *et al.*, 2010).

Na medida em que ocorreu a limpeza por via úmida, houve um aumento significativo nos valores de brilho, variando entre 0,63 ub e 1,47 ub, e as medidas de tendência central também mostraram um aumento na média e na mediana da sequência de resultados. Esses dados ressaltam a importância dessa limpeza nas rochas, conforme descrito por Torraca (2005).

As medidas de dispersão mostraram uma maior variação do brilho em cada ponto de análise, com o aumento dos valores da variância e do desvio padrão. Essa variação ao longo dos pontos verificados pode estar diretamente relacionada ao tipo de sujidade presente no material (Bessa; Sanjad; Gester, 2020; Silva; Sanjad, 2016). Antes da limpeza, por via úmida havia uma sujidade superficial na pedra e se estendia ao longo de toda a superfície, logo os valores de brilho eram quase constantes. Após a limpeza com H<sub>2</sub>O, esta película foi removida, restando as sujidades mais profundas, que não puderam ser removidas.

Seguindo com a análise da Tabela 4, na superfície 1 foi aplicado o emplastro que não continha argila (amostra branca), para o ângulo de 60° não houve alteração no valor do brilho. A duplicata da amostra branca foi aplicada na superfície 5 e os resultados mostram um aumento no valor de brilho de 0,84 ub. Mesmo apresentando o maior índice de brilho para o menor tempo de aplicação, a amostra branca não pode ser utilizada em larga escala para realizar a limpeza de bens culturais, pois apresenta maior quantidade de reagentes que podem ocasionar danos aos materiais pétreos.

Nas superfícies 2 e 6 foi aplicado o emplastro que continha apenas a argila bentonita e os demais reagentes químicos. A quantificação de brilho mostra que no geral houve uma redução nos valores de ub.

As amostras que continham 100% do argilomineral caulim foram aplicadas sobre as superfícies 3 e 7, os dados mostraram que houve um aumento nos valores de brilho. A amostra 3 apresentou um acréscimo de 3,75% e a amostra 7, também apresentou um aumento de 26,8%.

Tabela 4 - Quantificação de brilho nas superfícies em que foi aplicado o emplastro por 7 dias

Superfície	Antes da limpeza com H <sub>2</sub> O e sabão	Após a limpeza com H <sub>2</sub> O e sabão	Após a retirada do emplastro - 7 dias
	<b>60°(1)</b>	<b>60°(2)</b>	<b>60°(3)</b>
<b>1</b>	0,40	0,63	0,63
<b>2</b>	0,50	1,00	0,80
<b>3</b>	0,33	0,80	0,83
<b>4</b>	0,43	1,07	1,03
<b>5</b>	0,40	0,93	1,77
<b>6</b>	0,47	1,47	1,20
<b>7</b>	0,33	0,97	1,23
<b>8</b>	0,43	1,17	1,15
<b>9</b>	0,37	0,84	0,83
<b>10</b>	0,37	1,13	1,10
<b>11</b>	0,40	1,33	0,53
<b>Média</b>	~ 0,40	~ 1,03	~ 1,01
<b>Moda</b>	0,40	<u>1</u>	0,83
<b>Mediana</b>	0,40	1	1,03
<b>Amplitude</b>	0,17	0,84	1,24
<b>Variância</b>	~ 0,0026	~ 0,05	~ 0,11
<b>Desvio padrão</b>	~ 0,05	~ 0,22	~ 0,33

As amostras 4 e 8 são compostas por 100% de massa de caulim e bentonita, ou seja, 124g de cada argilomineral. Os resultados mostraram que houve uma redução do desempenho das faixas para essas duas amostras, sendo evidenciado na amostra 4 uma redução de 3,74% e seguindo o mesmo padrão a amostra 8 confirmou uma redução de 1,17% para 60°.

As últimas 3 amostras também formadas por caulim e bentonita, porém na proporção de 50%, do mesmo modo demonstraram uma redução no desempenho do brilho das três áreas em que foram aplicadas, isso para o tempo de aplicação de 7 dias.

Nas superfícies de 12 até 22 foram aplicados os emplastros que foram removidos após 14 dias de aplicação (Tabela 5).

A quantificação de brilho antes da limpeza com água e sabão confirmou que o brilho não variava significativamente ao longo da superfície da pedra, apresentando valores de dispersão de aproximadamente zero. E após a limpeza por via úmida houve um aumento do brilho em 100% das áreas, confirmando os dados obtidos na Tabela 4 para as 11 primeiras superfícies de aplicação.

Para o tempo de 14 dias foi verificado que as superfícies 12 e 16, nas quais foram aplicadas a amostra branca, houve um aumento nos valores de brilho de 85,71% e 45,63% respectivamente. Confirmando que a amostra que não contém argila consegue limpar mais a superfície, contudo, seu custo é significativamente superior às demais e apresenta uma concentração muito elevada de etilenodiamina tetra-acético ( $C_{10}H_{16}N_2O_8$ ), bicarbonato de sódio ( $NaHCO_3$ ), ácido acético ( $CH_3COOH$ ) e pouca água (Tabelas 1 e 2), que pode ocasionar danos aos materiais pétreos.

Nas superfícies 13 e 17 estava o emplastro formado com a argila bentonita, os dados ressaltam um aumento no brilho de 85,71% na superfície 13 e uma constância na superfície 17. O emplastro de caulim foi aplicado nas superfícies 14 e 18 e as duas apresentaram um aumento nos valores de brilho, de 46,58% e 26,21%, respectivamente, confirmando que o emplastro manteve para 14 dias a propriedade de limpeza apresentado para o tempo de 7 dias.

As amostras com proporção de 100% caulim e bentonita foram aplicadas nas superfícies 15 e 19, a superfície 15 apresentou um aumento de brilho de 23%, mas na faixa 19 ocorreu uma redução. Já as amostras com razão de 50% caulim e bentonita, foram analisadas nas faixas 20, 21 e 22, as quais apresentaram uma elevação de brilho em duas superfícies e na faixa 21 o comportamento foi constante.

Tabela 5 - Quantificação de brilho das superfícies em que foi aplicado o emplastro por 14 dias

Superfície	Antes da limpeza com H <sub>2</sub> O e sabão	Após a limpeza com H <sub>2</sub> O e sabão	Após a retirada do emplastro - 14 dias
	60° (1)	60° (2)	60° (3)
12	0,37	0,70	1,30
13	0,30	0,63	1,17
14	0,40	0,73	1,07
15	0,43	1,00	1,23
16	0,40	1,03	1,50
17	0,50	1,13	1,13
18	0,40	1,03	1,30
19	0,47	1,10	0,97
20	0,40	1,07	1,13
21	0,43	1,03	1,03
22	0,30	0,63	1,07
<b>Média</b>	0,40	0,92	~ 1,17
<b>Moda</b>	0,40	1,03	<u>1</u>
<b>Mediana</b>	0,40	1,03	1,13
<b>Amplitude</b>	0,20	0,50	0,53
<b>Variância</b>	~ 0,0034	~ 0,036	~ 0,02
<b>Desvio padrão</b>	~ 0,06	~ 0,19	~ 0,14

Os valores de brilhos nas faixas em que foi aplicado o emplastro durante 21 dias (Tabela 6) revelam que nos pontos em que foi aplicado o emplastro contendo o mineral bentonita, houve redução dos valores de brilho do lioz. A amostra branca provocou um aumento de brilho de 50% na faixa 23 e na 27 o brilho se manteve constante. Já o emplastro de caulim que estava nas superfícies 25 e 29 não representou variação significativa nos valores de brilho da rocha.

Já os resultados dos testes de cor (Tabela 7) revelam que houve clareamento do lioz após a limpeza com água e sabão, com valores de variação de luminosidade percebida ( $\Delta L_1^*$ ) acima de zero (Takatsui, 2011). Contudo, após a aplicação das amostras de emplastro verificou-se que para o tempo de 7 dias (superfícies de 1 a 11), apenas três amostras apresentaram resultados satisfatórios, ou seja, com  $\Delta L_2^*$  positivo. Que foram: amostra branca, amostra de 100% caulim e amostra de 100% caulim e bentonita, todavia esse comportamento não foi verificado nas duplicatas dessas amostras.

Para o tempo de 14 dias (superfícies de 12 a 22) a amostra branca, aplicada na área 12, apresentou valores de  $\Delta L_2^*$  positivo, contudo, sua duplicata (Faixa 16) continuou apresentando resultados negativos. Já a mostra de 100% bentonita mostrou-se satisfatória para o tempo de 14 dias, com valores de  $\Delta L_2^*$  acima de zero na superfície 13 e 17 (duplicata) ratificando estudos que empregaram essa técnica de remoção de sujidades em rochas (Bessa; Sanjad; Gester, 2020; Silva; Sanjad, 2016). O emplastro de continha 50% de caulim e 50% de bentonita também mostrou valores satisfatórios para o tempo de 14 dias, o que pode ser mais aprofundado por estudos posteriores, a fim de incorporar o resíduo de caulim de forma proporcional ao emplastro desenvolvido por Oliveira (2011).

Já para 21 dias apenas duas faixas apresentaram  $\Delta L_2^*$  positivo, a amostra branca e a amostra de bentonita, mas esses resultados não foram confirmados pelas respectivas duplicatas desses emplastros.

## Avaliação de custo do emplastro

É importante ressaltar que o caulim utilizado no emplastro é cedido por empresas de beneficiamento da região, logo o custo de aquisição é nulo. Contudo, para avaliar uma possível alteração nesse cenário, ou seja, caso o caulim deixe de ser adquirido de forma gratuita, buscou-se aferir o valor do emplastro de caulim considerando o valor comercial do caulim atualmente. Assim, foi realizada uma análise de custo do emplastro de caulim e da amostra branca (Tabela 8), conforme pesquisa de mercado realizada em sites de vendas de produtos químicos (Lojas Americanas, 2023; Laderquímica, 2023; Mfrural, 2023). Que revelou a onerosidade do emplastro sem argila. Ressalta-se ainda, que considerando a densidade da água e do EDTA como aproximadamente  $1\text{g/cm}^3$ , a quantidade de material formado é aproximadamente 1024,88g (516g de caulim+256,88g dos demais reagentes) de emplastro de caulim com um custo de R\$ 1,06; e 757,5g da amostra branca (apenas reagentes) por um custo de R\$ 107,01.

Tabela 6 - Quantificação de brilho das superfícies em que foi aplicado o emplastro por 21 dias

Superfície	Antes da limpeza com H <sub>2</sub> O e sabão	Após a limpeza com H <sub>2</sub> O e sabão	Após a retirada do emplastro - 21 dias
	<b>60° (1)</b>	<b>60° (2)</b>	<b>60° (3)</b>
23	0,30	0,60	0,90
24	0,43	1,03	0,90
25	0,40	0,93	0,90
26	0,50	1,00	0,97
27	0,50	1,20	1,20
28	0,40	1,03	0,87
29	0,50	1,00	1,10
30	0,40	1,03	0,70
31	0,50	1,00	0,93
32	0,40	1,03	0,90
33	0,40	0,83	0,87
<b>Média</b>	0,43	0,97	0,93
<b>Moda</b>	0,40	1,03	0,90
<b>Mediana</b>	0,40	1	0,90
<b>Amplitude</b>	0,20	0,60	0,50
<b>Variância</b>	~ 0,0037	~ 0,0207	~ 0,0152
<b>Desvio padrão</b>	~ 0,06	0,14	~ 0,12

Tabela 7 - Valores de luminosidade percebida nos pontos do lioz em que foi aplicado o emplastro

Luminosidade percebida (L*)					
SUP	Antes da limpeza com água e sabão	Após a limpeza com água e sabão	Varição de luminosidade percebida ( $\Delta L_1^*$ )	Após a retirada do emplastro	Varição de luminosidade percebida ( $\Delta L_2^*$ )
1	20,87	59,80	38,93	95,01	35,21
2	33,51	88,40	54,89	63,81	-24,59
3	31,75	70,34	38,59	75,13	4,79
4	30,53	81,14	50,61	65,78	-15,36
5	26,32	89,49	63,17	37,71	-51,79
6	41,21	77,42	36,21	70,20	-7,21
7	20,48	74,35	53,86	94,89	20,55
8	32,26	92,55	60,29	81,52	-11,03
9	28,51	86,19	57,68	74,68	-11,51
10	32,69	80,87	48,18	74,82	-6,06
11	28,55	81,34	52,79	64,37	-16,97
12	22,38	73,93	51,54	80,32	6,39
13	30,25	72,77	42,53	75,19	2,42
14	24,43	74,46	50,03	71,85	-2,61
15	37,28	67,49	30,21	83,27	15,79
16	35,16	89,57	54,41	74,21	-15,35
17	35,44	71,72	36,27	84,78	13,06
18	35,64	81,40	45,76	68,47	-12,93
19	30,08	68,76	38,68	73,12	4,35
20	24,22	79,42	55,20	66,62	-12,79
21	34,23	88,80	54,57	70,44	-18,37
22	27,57	73,93	46,36	65,27	-8,66
23	28,95	36,37	7,42	53,99	17,62
24	29,32	71,19	41,87	92,36	21,17
25	15,41	70,03	54,61	57,56	-12,46
26	43,09	79,77	36,68	71,07	-8,70
27	32,30	82,97	50,67	51,69	-31,28
28	31,27	87,37	56,11	42,42	-44,96
29	26,89	81,01	54,12	66,93	-14,08
30	27,80	87,83	60,02	42,21	-45,61
31	33,87	86,72	52,85	39,40	-47,32
32	30,87	76,15	45,28	43,66	-32,49
33	52,64	77,67	25,02	41,52	-36,15

Tabela 8 - Comparação do custo de aquisição de reagentes do emplastro de caulim e da amostra branca

Descrição	Etilenodiamina tetra-acético (C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )			Bicarbonato de sódio (NaHCO <sub>3</sub> )			Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)			Caulim			Total
	Massa (g)	Valor/100g	Sub total	Massa (g)	Valor/1000g	Sub total	Volume (mL)	Valor/1000 mL	Sub total	Massa (g)	Valor/kg	Sub total	
Emplastro de Caulim (250 mL de H <sub>2</sub> O)	3,125		R\$ 0,84	2,5		R\$ 0,08	1,25		R\$ 0,06	516		R\$ 0,08	R\$ 1,06
		R\$ 26,89			R\$ 32,00			R\$ 49,38			R\$ 0,15		
Amostra Branca (100 mL de H <sub>2</sub> O)	362,5		R\$ 97,48	290		R\$ 9,28	5		R\$ 0,25	0		0	R\$ 107,01

## Conclusões

A utilização do resíduo de caulim substituindo total ou parcialmente a bentonita na produção de emplastro para a limpeza de materiais pétreos se mostrou eficaz com resultados que demonstram melhora na cor e brilho do material.



Para os três tempos de aplicação verificou-se que o emplastro proposto na pesquisa aumentou os valores de brilho do lioz em dois tempos distintos de análise, 7 e 14 dias, não se verificando este comportamento para 21 dias. No entanto, os dados relativos à cor demonstram que o resultado mais satisfatório foi do emplastro que continha 100% bentonita e do qual continha 50% de caulim e 50% de bentonita, isso para o tempo de 14 dias.

Para complementar a avaliação da eficácia dos resultados desta pesquisa, é importante observar a composição química dos emplastros antes e após a aplicação, de modo a compreender melhor o tipo de sujidade removida, assim como identificar se o processo de limpeza é feito por dissolução de componentes aderidos e/ou por troca catiônica na estrutura do argilomineral. Desta forma, é possível avaliar se os emplastros podem ter outras aplicações de conservação-restauração do patrimônio cultural pétreo.

## Referências

- ADAMIS, Z.; FODOR, J.; WILLIAMS, R. B. Bentonite, kaolin, and selected clay minerals. **World Health Organization**. Geneva, 2005. Disponível em: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43102/WHO\\_EHC\\_231.pdf;sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43102/WHO_EHC_231.pdf;sequence=1). Acesso em: 23 maio 2023.
- ALMEIDA, F. **Manual de conservação de cantarias**. Brasília: IPHAN, 2000.
- ARANHA, I. B. *et al.* Caracterização mineralógica de uma bentonitada mina bravo. **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v. 65, n. 2, p. 225-234, abr./jun. 2007.
- ARRUDA JUNIOR, E. S.; BARATA, M. S. Cimento de baixo impacto ambiental a partir dos resíduos caulínicos da Amazônia. **Revista Matéria**, v. 27, n. 1, 2022.
- AZERÊDO, A. F. N. D. **Estudo do resíduo de caulim em argamassas base de cal quanto às suas propriedades frescas, endurecidas e microestruturais**. Recife, 2012. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- BARATA, M. S.; ANGÉLICA, R. S. Caracterização dos resíduos caulínicos das indústrias de mineração de caulim da Amazônia como matéria-prima para produção de pozolanas de alta reatividade. **Cerâmica**, v. 58, p. 36-42, 2012.
- BESSA, B. T.; SANJAD, T. A. B. C.; GESTER, C. de S. L. M. Procedimentos de limpeza aplicados na conservação de ladrilhos de marmorite do início do século XX. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 313-324, jan./mar. 2020.
- BRANDI, C. **Teoria da restauração**. 2. ed. Cotia, SP: Ateliê Editorial, 2005.
- CARMONA-QUIROGA, P. M. *et al.* Surface water repellent-mediated change in lime mortar colour and gloss. **Construction and Building Materials**, p. 2188-21931, 2010.
- DEL LAMA, E. A. **Estudos de conservação em pedra**. São Paulo, 2016. Tese (Livre-Docência em Geoconservação) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.
- GONÇALVES, A. L.; MAIA, A. A. B. Síntese de sodalita a partir de rejeito de Caulim da Amazônia através de extrusão da mistura reacional seguido por processo Hidrotermal. **BOMGEAM**, Belém, v. 5, n. 2, p. 1-16, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Infográfico mineração em números 3º trimestre**. 2020. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Infografico-Mineracao-em-Numero-3oTRI2020-reduzido.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2023
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO PATRIMÓNIO ARQUITECTÓNICO. **Património estudos**. Lisboa, 2002. Disponível em: [https://www.ncrestauro.pt/images/site/downloads/bibliografia/Estudos\\_3.pdf](https://www.ncrestauro.pt/images/site/downloads/bibliografia/Estudos_3.pdf). Acesso em: 19 jan. 2022.
- INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES. **Glossário Ilustrado de Formas de Deterioração da Pedra**. 2008. Versão Inglês-Português. Disponível em: [https://icomos.pt/images/pdfs/Glossario\\_Pedra\\_Icomos.pdf](https://icomos.pt/images/pdfs/Glossario_Pedra_Icomos.pdf). Acesso em: 1 jan. 2023.
- KELLER, W. D. **Principles of chemical weathering**. Columbia: Lucas Brothers Publishers, 1957.
- LADERQUÍMICA. Especializada na distribuição de produtos para laboratórios de controle de qualidade. 2023. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/busca/caulim>. Acesso em: 5 jan. 2023.

LIMA, P. E. A.; ANGÉLICA, R. S.; NEVES, R. F. Dissolution kinetics of metakaolin in sulfuric acid: comparison between heterogeneous and homogeneous reaction methods. **Applied Clay Science**, v. 88/89, p. 159–162, 2014.

LOJAS AMERICANAS. **Ácido acético**. Disponível em: <https://www.americanas.com.br/busca/acido-acetico?rc=Acido+ac%C3%A9tico>. Acesso em: 5 jan. 2023.

LOUREIRO, A. M. S. **Argamassas históricas de Belém do Pará**. Belém, 2019. 131 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

LOUREIRO, A. M. S. *et al.* Assessment of compatibility between historic mortars and lime-metakaolin restoration mortars made from Amazon industrial waste. **Applied Clay Science**, v. 198, p. 1-16, 2020.

MAIA, A. A. B. **Desenvolvimento do processo de síntese da Zeólita A e da Sodalita a partir de rejeitos de Caulim da Amazônia com aplicações de adsorção**. Belém, 2011. 149 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

MAIA, A. A. B. *et al.* Efeito do envelhecimento da mistura reacional constituída por resíduo de Caulim da Amazônia na síntese da Zeólita Faujasita. **Cerâmica**, São Paulo, v. 63, p. 485-489, out./dez. 2017.

MAIA, A. A. B. *et al.* Use of <sup>29</sup>Si and <sup>27</sup>Al MAS NMR to study thermal activation of kaolinites from Brazilian Amazon kaolin wastes. **Applied Clay Science**, v. 87, 189, 2014.

MAIA, A. A. B. *et al.* Utilização de rejeito de caulim da Amazônia na síntese da zeólita A. **Cerâmica**, v. 53, p. 319-324, 2007.

MAIA, A. A. B. **Síntese da zeólita a utilizando como precursor um rejeito de beneficiamento de caulim da Amazônia: aplicação como adsorvente**. Belém, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

MAIA, A. *et al.* Synthesis, optimisation and characterisation of the zeolite NaA using kaolin waste from the Amazon Region: production of Zeolites KA, MgA and CaA. **Applied Clay Science**, v. 108, p. 55–60, 2015.

MAIA, A.; ANGÉLICA, R.; NEVES, R. Use of industrial kaolin waste from the Brazilian Amazon region for synthesis of zeolite A. **Clay Minerals**, v. 46, p. 127–136, 2011.

MFRURAL. **O agronegócio passa por aqui**. Disponível em: <https://www.laderquimica.com.br/buscar?q=Bicarbonato+de+s%C3%B3dio+>. Acesso em: 5 jan. 2023.

MORA, P.; MORA, L.; PHILIPPOT, P. **La conservazione delle pitture murali**. Bologna: Editrice Compositori, 1999.

NASCIMENTO, I. M. **Oxidossinorgânicos à base de ni<sup>2+</sup> e zn<sup>2+</sup> suportados em bentonita para produção de biodiesel**. Campina Grande, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Licenciatura em Química) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

OLIVEIRA, M. M. **Tecnologia da conservação e da restauração: materiais e estruturas: um roteiro de estudos**. 4. ed. Salvador: EDUFBA, 2011.

PAZ, S.; ANGÉLICA, R.; NEVES, R. Hydrothermal synthesis of basic sodalite from a thermally activated kaolin waste. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, p. 579–583, 2010.

QASTACK. **Fórmula para determinar o brilho da cor RGB**. Disponível em: <https://qastack.com.br/programming/596216/formula-to-determine-brightness-of-rgb-color#>. Acesso em: 30 jan. 2023.

RODRIGUES, M. G. F.; SILVA, M. L. P.; SILVA, M. G. C. D. Caracterização da argila bentonítica para utilização na remoção de chumbo de efluentes sintéticos. **Cerâmica**, São Paulo, v. 50, p. 190-196, 2004.

SANTOS, C. P. F. *et al.* Caracterização e usos de argilas bentonitas e vermiculitas para adsorção de cobre (II) em solução. **Cerâmica**, São Paulo, v. 48, p. 178-182, out./dez. 2002.

SANTOS, S. C. A. *et al.* Caulins amazônicos: possíveis materiais de referência. **Revista Cerâmica**, v. 59, p. 431-4, 2013.

SILVA, M. L. P. *et al.* Bentonite clay (65-100 #) characterization for lead removal, using FRX and DRX. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Natal, 2002. **Anais [...]** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2002.

SILVA, P. A. B. V. **Deterioração das Pedras da arquitetura mortuária do cemitério Nossa Senhora da Soledade**. Belém, 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

SILVA, P. A. B. V.; SANJAD, T. A. B. C. Evolução de limpeza química em túmulo de Lioz do Cemitério da Soledade. **BOMGEAM**, Belém, v. 4, p. 2, 2016.

SOUSA, B. *et al.* Síntese e caracterização de zeólita tipo sodalita obtida a partir de resíduo de caulim. **Cerâmica**, V. 66, P. 404-412, 2020.

TAKATSUI, F. **Sistema Cie Lab**: análise computacional de fotografias. Araraquara, 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Odontológicas) - Faculdade de Odontologia de Araraquara, Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Universidade Estadual Paulista, Araraquara. 2011.

TONNESEN, D. A. *et al.* Caracterização mineralógica e beneficiamento das bentonitas daregião de Cubati e pedra lavrada - PB. **Holos**, v. 28, v. 1, p. 2-14, mar. 2012.

TORRACA, G. **Porous materials building**: materials science for architectural conservation. 4. ed. Rome: ICCROM, 2005.

WARSCHEID, T.; BRAAMS, B. J. Biodeterioration of stone: areview. **International Biodeterioration**, v. 46, p. 343-368, out. 2000.

#### **Angelina Lobato Gonçalves**

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Administração do projeto, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural | Universidade Federal do Pará | Boulevard Castilhos França, s/n, Campina, Mercedários UFPA | Belém - PA - Brasil | CEP 66010-020 | Tel.: (91) 3201-7026 | E-mail: angelina02goncalves@gmail.com

#### **Ana Áurea Barreto Maia**

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Administração do projeto, Supervisão, Validação de dados e experimentos, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural | Universidade Federal do Pará | E-mail: anabmaia@ufpa.br

#### **Thais Alessandra Bastos Caminha Sanjad**

Conceitualização, Pesquisa, Metodologia, Disponibilização de ferramentas, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural | Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação | Universidade Federal do Pará | E-mail: thais@ufpa.br

#### **Alexandre Maximo Silva Loureiro**

Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Disponibilização de ferramentas, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural | Laboratório de Conservação, Restauração e Reabilitação | Universidade Federal do Pará | E-mail: loureiro1@ufpa.br

#### **Marcondes Lima da Costa**

Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Disponibilização de ferramentas, Validação de dados e experimentos.

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências; Programa de Pós-Graduação em Ciências do Patrimônio Cultural, Instituto de Tecnologia | Universidade Federal do Pará | Rua Augusto Correa, 1, Guamá | Belém - PA - Brasil | CEP 66075-900 | Tel.: (91) 98469-2275 | E-mail: marcondeslc@gmail.com

Editor: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros**

### **Ambiente Construído**

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.