

O ensino e a pesquisa em **QU** **MICA**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

3


Atena
Editora
Ano 2021

O ensino e a pesquisa em **QU** **MICA**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

3


Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



O ensino e a pesquisa em química 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E59 O ensino e a pesquisa em química 3 / Organizador
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa -
PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-761-8
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.618210612>

1. Química - Estudo e ensino. I. Paniagua, Cleiseano
Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 540.7

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2021

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

O e-book: “O ensino e a pesquisa em química 3” é constituído por quinze capítulos que foram organizados em três grandes áreas temáticas, a saber: *i)* ensino de química: processos formativos e a importância de atividades experimentais contextualizadas; *ii)* preparo de materiais metálicos e síntese aplicada ao desenvolvimento de materiais, substâncias com propriedades biológicas e bicomustíveis e; *iii)* avaliação e monitoramento da qualidade dos recursos hídricos.

O primeiro tema é composto por sete capítulos de livro que procuraram investigar a importância do aprendizado de conceitos técnico-científicos e de atividades experimentais para o melhor aprendizado do estudante do ensino médio na área de química. O desenvolvimento de atividades de extensão voltado para o contexto social possibilitou um maior aprendizado da química por intermédio da interdisciplinaridade com outras áreas da ciência e o desenvolvimento de uma consciência ambiental, a princípio, dentro do contexto escolar e que poderá ser disseminado por toda a sociedade a fim de se atingir uma maior conscientização coletiva, proporcionando a mudança em ações e atitudes que levam a consequências negativas para o meio ambiente e retorna a espécie humana com inúmeras consequências negativas.

A segunda temática é composta por cinco capítulos que apresentaram estudos voltados para o preparo de barras utilizando a técnica de Extração por sorção em barra de agitação (SBSE), visando aumentar a inércia química e, conseqüentemente, reduzir o processo de corrosão metálica e aumentando a vida útil deste material. Os outros quatro capítulos apresentaram processos de reação de síntese com o intuito de produzir nanomateriais enriquecidos com biomassa de origem vegetal; produção de quinolina para combater a Leishmaniose que é uma doença parasitária muito presente em países tropicais como o Brasil; a síntese da 2-metilariquinonas com elevada propriedades biológicas que podem vir a ser utilizadas na química medicinal. Por fim a reação de síntese e avaliação de um eletrocatalisador com um enorme potencial para ser utilizado em células de combustíveis para aplicação na produção de bioetanol.

O terceiro e último tema é composto por três capítulos de livro com estudos que procuraram avaliar a degradação de biodiesel utilizando processos em condições anaeróbicas; a distribuição de gás metano presente no sedimento da superfície do Lago Paranoá em Brasília. Por último, um estudo realizado e coordenado por pesquisadores da Universidade de Brasília, que objetiva a possibilidade de monitorar o uso de drogas ilícitas por meio da excreção de usuários na rede de esgoto domiciliar.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando com o intuito de estimular e incentivar os pesquisadores brasileiros e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros e capítulos de livros que são disponibilizados no site da Editora e em outras plataformas digitais com acesso gratuito.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

APRESENTAÇÃO DOS CONCEITOS DE ÁCIDOS E BASES DE ARRHENIUS POR MEIO DA INVESTIGAÇÃO DAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO EM INSTITUIÇÕES PÚBLICAS DE ENSINO NOS ESTADOS DO ACRE E AMAZONAS

Leandro Junior Machado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6182106121>

CAPÍTULO 2..... 12

A QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO: VIDEOAULAS EXPERIMENTAIS COMO FERRAMENTAS NO ENSINO REMOTO

Oswaldo Pacheco Freitas

Ludimila Barbosa dos Santos

Jéssica Del Nero

Deise Ane Oliveira Silva

Mírian da Silva Costa Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6182106122>

CAPÍTULO 3..... 26

A INFLUÊNCIA DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO CONTEÚDO DE OXIRREDUÇÃO PARA O 2º ANO DO ENSINO MÉDIO

Fernanda Meneses Amaral

Maria Sorileide Costa Teixeira

Rothchild Sousa de Moraes Carvalho Filho

Antônia Flávia Silva Magalhães

Maria Tamires Cordeiro Pereira

Maria Fabiana Araujo da Silva

Ana Kerly Oliveira de Brito

Patrícia Teixeira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6182106123>

CAPÍTULO 4..... 42

FABRICAÇÃO DE SABÃO ECOLÓGICO E ARTESANAL NO ALTO SERTÃO PARAIBANO: CONSCIÊNCIA AMBIENTAL ALIADA AO ENSINO DE QUÍMICA

José Manuel Amancio da Silva

Francisco Ferreira Batista

Lucas Ferreira Batista

Maíre Gomes de Meneses

José Iran Filho

Éricka Anulina Cunha de Oliveira

Pedro Nogueira da Silva Neto

Polyana de Brito Januário

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6182106124>

CAPÍTULO 5.....53

RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UM COLÉGIO DA REDE ESTADUAL NA CIDADE DE PEDRO II- PIAUÍ: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA

Fernanda Meneses Amaral
Maria Sorileide Costa Teixeira
Rothchild Sousa de Moraes Carvalho Filho
Renata da Silva Carneiro
João Breno Barros da Silva
Larissa Viana Souza
Ana Karina Borges Costa
Hisley Feitosa Meneses
Aline Maria da Silva Duarte
Heloisa de Sousa Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6182106125>

CAPÍTULO 6.....61

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PIGMENTOS RUPESTRES DE SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS DE INHUMA (PIAUÍ) POR MEIO DA ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X PORTÁTIL ALIADA A TRATAMENTO QUIMIOMÉTRICO

Jacira Izidório de Moura
Maria Conceição S. M. Lage
Benedito Batista Farias Filho
Wilkins Oliveira de Barros
Anna Luiza Bizerra de Brito
Luanne Miranda Lustosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6182106126>

CAPÍTULO 7.....78

A IMPORTÂNCIA DA ALFABETIZAÇÃO/LETRAMENTO CIENTÍFICO EM QUÍMICA PARA ESTUDANTES DA EDUCAÇÃO BÁSICA, CURSOS DE LICENCIATURA E PROFESSORES EM FORMAÇÃO CONTINUADA

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Anelise dos Santos Mendonça Soares
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6182106127>

CAPÍTULO 8.....91

PREPARO DE BARRAS PARA SBSE SOBRE SUBSTRATO METÁLICO MAGNETIZÁVEL DE ALTA INÉRCIA

José Carlos Rodrigues
Fernanda Maria Rodriguez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6182106128>

CAPÍTULO 9.....107

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE OURO REDUZIDAS COM CASCA DE ROMÃ (*Punica granatum* L.)

Rafaela Spessemille Valotto

Wanderson Juvencio Keijok
Marco Cesar Cunegundes Guimarães

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6182106129>

CAPÍTULO 10..... 117

SÍNTESES DE ANALOGOS QUINOLÍNICOS CON ACTIVIDAD LEISHMANICIDA *IN VITRO*
SOBRE *Leishmania (Viannia) panamensis*

Gilmar Gabriel Santafé Patiño

Fernis José Marin Severiche

Sara María Robledo Restrepo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61821061210>

CAPÍTULO 11 132

SÍNTESE DE 2-METOXIARIL ALQUINONAS E AVALIAÇÃO DE SUA REATIVIDADE EM
REAÇÃO DE CICLIZAÇÃO ELETROFÍLICA

Angélica Ribeiro Claus

Daniela Aline Barancelli

Estela dos Reis Crespan

Letícia Ledo Marciniuk

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61821061211>

CAPÍTULO 12..... 143

SÍNTESES Y EVALUACIÓN DEL ELECTROCATALIZADOR $Pt/Al_2O_3/C$ PARA SU FUTURA
APLICACIÓN EN CELDAS DE COMBUSTIBLE DE BIO-ETANOL DIRECTO

Nallely Téllez Méndez

Sergio Alberto Gamboa Sánchez

Laura Alicia Paniagua Solar

José Fermi Guerrero Castellanos

Enrique de la Fuente Morales

Beatriz Eugenia Graniel García

Jorge Cotzomi Paleta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61821061212>

CAPÍTULO 13..... 154

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE BIODIESEL EM PROCESSO ANAERÓBIO

Marina Sayuri Kashiwabara

Patrícia Angélica Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61821061213>

CAPÍTULO 14..... 167

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE METANO NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DO LAGO
PARANOÁ, BRASÍLIA-DF

Valéria Regina Bellotto

Fernanda Vasconcelos de Almeida

Nickolas Valcarcel da Silva

Thiago Bezerra Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61821061214>

CAPÍTULO 15..... 178

EPIDEMIOLOGIA BASEADA NO ESGOTO PARA ESTIMAR O USO DE DROGAS:
CONTRIBUIÇÕES DA QUÍMICA ANALÍTICA PARA A SOCIEDADE

Fernando Fabriz Sodré

Rafael Silva Feitosa

Alex de Sene Corado Guedes

Adriano Otávio Maldaner

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.61821061215>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 201

ÍNDICE REMISSIVO..... 202

CAPÍTULO 6

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PIGMENTOS RUPESTRES DE SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS DE INHUMA (PIAUI) POR MEIO DA ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X PORTÁTIL ALIADA A TRATAMENTO QUIMIOMÉTRICO

Data de aceite: 01/12/2021

Data de submissão: 17/10/2021

Luanne Miranda Lustosa

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Química
Teresina – PI

<http://lattes.cnpq.br/5930261104096994>

Jacira Izidório de Moura

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão – *Campus Timon*
Timon-MA

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Química
Teresina – PI

<http://lattes.cnpq.br/1047202634194584>

Maria Conceição S. M. Lage

Universidade Federal do Piauí, Curso de Arqueologia
Teresina – PI

<http://lattes.cnpq.br/6916640146084317>

Benedito Batista Farias Filho

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Química
Teresina – PI

<http://lattes.cnpq.br/1026260648517314>

Wilkins Oliveira de Barros

Universidade Federal do Piauí, Departamento de Química
Teresina – PI

<http://lattes.cnpq.br/8613547338144234>

Anna Luiza Bizerra de Brito

Universidade de Coimbra, Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra
Coimbra – Portugal

<http://lattes.cnpq.br/4898050151879388>

RESUMO: Este trabalho apresenta os estudos de caracterização químico-elementar e de comparação do grau de similaridade entre pigmentos pré-históricos pertencentes aos sítios arqueológicos de arte rupestre Furna dos Índios, Ema, Torres e Apertados, localizados no município de Inhuma-PI. Para tanto, as análises foram realizadas por meio da técnica não invasiva espectrometria de fluorescência de raios X portátil (ρ -ED-XRF), e os dados obtidos foram comparados pela ferramenta quimiométrica Análise de Componente Principal (PCA). Os resultados da análise elementar (qualitativa), revelaram que as camadas pictóricas apresentaram ferro, potássio, cálcio, alumínio, silício, fósforo, cloro e enxofre, e que alguns deles podem, ainda, ser indicativos de eflorescências salinas. Essa identificação elementar somada aos resultados obtidos pela estatística multivariada aplicada e às diferenças estilísticas e de cores (branco, preto, vermelho e amarelo) que haviam sido, previamente, observadas, permitiram que ao menos duas hipóteses fossem inferidas: houve a utilização de argilas distintas no preparo e fabricação das tintas pré-históricas ou foram adicionados compostos que melhoram as propriedades pictóricas das tintas.

PALAVRAS-CHAVE: Arte Rupestre. Análise elementar. XRF portátil. Análise de Componente

Principal.

COMPARATIVE STUDY AMONG RUPESTRIAN PIGMENTS OF ARCHAEOLOGICAL SITES FROM INHUMA-PI BY THE PORTABLE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY ALLIED TO CHEMOMETRIC TREATMENT

ABSTRACT: This work presents the studies of chemical-elemental characterization and the comparison of degree of similarity among prehistoric pigments that belong to the rupestrian art sites of Furna dos Índios, Ema, Torres and Apertados located in the municipality of Inhuma-PI. For that, the analyses were performed by the non-invasive technique of portable X-ray fluorescence spectrometry (*p*-ED-XRF) and the resulting data were compared by the chemometric tool Principal Component Analysis (PCA). The results of elemental analysis (qualitative) revealed that pictorial layers showed iron, potassium, calcium, aluminum, silicon, phosphorus, chlorine and sulfur, and some of them can be indication of saline fluorescence. This elemental identification together with the results obtained by the applied Multivariate Analysis and differences of style and color (white, black, red and yellow) the there were be, previously observed, allowed two hypotheses be inferred: firstly, different types of clay were used in the preparation and fabrication of prehistoric paints or, then, there were addition of compounds the improved the pictorial properties of paints.

KEYWORDS: Rupestrian Art. Elementary Analysis. Portable XRF. Principal Component Analysis.

1 | INTRODUÇÃO

Os sítios de arte rupestre são considerados obras de arte expostas ao tempo (BRUNET, VIDAL e VOUVE, 1985), cujas marcas esteticamente delineadas, de natureza gráfica – pintada ou gravada, estão presentes em paredes e blocos rochosos, tetos de grutas, matacões, lajedos a céu aberto e costões de pedras, e são vestígios que indicam a passagem ou a estada de diferentes grupos humanos num lugar, longínquo no tempo (ALVES et al., 2011; CAVALCANTE, 2012).

Além de ornamentarem as paredes rochosas, as pinturas rupestres são vistas como um importante sistema de comunicação social, em que o conteúdo, considerado simbólico (PESSIS, 2003), pode apresentar a percepção que os autores têm do meio, indicar locais importantes, expor desejos íntimos, expressar condutas ligadas às práticas religiosas, mostrar os acontecimentos cotidianos, dentre outros (ALVES et al., 2011). Essas obras pré-históricas trazem, ainda, o sentimento de pertencimento a um grupo, pela identificação individual e coletiva com este (PESSIS, 2003).

A arte rupestre apresenta uma ampla distribuição geográfica em todos os continentes. Nas Américas, por exemplo, ela pode ser encontrada do Canadá à Patagônia (FONTES, 2010) e pode trazer destaque mundial para sítios onde estão presentes, como é o caso dos sítios encontrados na região do Parque Nacional Serra da Capivara, localizado no sul do Piauí, que se destaca devido à beleza, numerosidade, paleta de cores e ao estilo das pinturas rupestres – apresentando-se nas diferentes classificações quanto à sua tradição

(agreste, nordeste e geométrica) (GUIDON, 1985) juntamente com uma variedade de outros vestígios encontrados.

Os primeiros estudos arqueológicos realizados no Estado do Piauí iniciaram-se na década de 1970, quando do início de estudos multidisciplinares na região da Serra da Capivara, coordenados pela arqueóloga Niède Guidon (GUIDON, 1985). No entanto, a construção do mapa arqueológico do Estado só começou na década de 1980, após pesquisadores do Núcleo de Antropologia Pré-Histórica – NAP, da Universidade Federal do Piauí – UFPI, desenvolverem um projeto com este propósito. Hoje, o Piauí possui cerca de 2000 sítios arqueológicos cadastrados junto ao Cadastro Nacional de Sítios Arqueológicos - CNSA do IPHAN, distribuídos em cerca de 100 municípios, de norte a sul do Estado. E as pesquisas realizadas – muitas vezes, em caráter de colaboração entre arqueólogos e químicos –, nos sítios de arte rupestre, levam em consideração fatores culturais/históricos, antropológicos e físico-químicos, e buscam extrair importantes informações sobre a materialidade das pinturas rupestres, tais como: formas, cores, composição química dos pigmentos, técnicas empregadas no preparo e na aplicação das tintas e conservação das pinturas. Os estudos acerca de pigmentos rupestres, ajudam, por exemplo, a conhecer quais eram as matérias-primas utilizadas no desenvolvimento dessa arte e sua proveniência, esclarecendo questões ligadas ao autor e ao contexto social em que vivia (GONÇALVES, 2015), ou ainda, norteiam o pesquisador sobre a necessidade de medidas de intervenção que visam preservar ao máximo a integridade do material arqueológico.

As tintas empregadas na arte rupestre utilizavam pigmentos (substâncias coloridas) de precursores naturais, orgânicos ou inorgânicos, tais como: ocre, carvão vegetal, ossos queimados, óxido de manganês (MnO_2), dentre outros (RAMPAZZI et al., 2007; FILCOFF et al., 2007; AROCENA, HALL e MEIKLEJOHN, 2008; LAGE et al., 2016). Aqueles de origem orgânica apresentam-se com baixo poder de conservação, degradando-se facilmente ao longo do tempo, o que torna sua identificação limitada (LAGE, 2007). Já os pigmentos inorgânicos, em sua maioria ocre – mistura de argila, sílica e óxidos de ferro-, são mais abundantes na natureza e possuem melhor estabilidade química e térmica, o que explica o fato de muitos grafismos estarem conservados, ainda. A esses pigmentos, eram adicionados, muitas vezes, fixadores e aglutinantes, cujas funções eram, respectivamente, conferir uma melhor aderência da tinta no suporte rochoso e dar plasticidade à mistura. Alguns exemplos destes compostos são: ovos, gordura animal, cola de peixe, extrato vegetal, sangue, dentre outros (FARIA et al., 2011; VÁZQUEZ et al., 2008).

Os óxidos de ferro são os responsáveis pelas variações das cores dos ocre, cujo potencial colorante não exige mais do que 1,0-1,5% ($m\ m^{-1}$) deste elemento. A presença de óxidos como: hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$) e magnetita (Fe_3O_4) são os responsáveis pelas cores: vermelha, amarela e preta, respectivamente. A limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) – uma mistura de goetita e hematita amorfa – apresenta colorações que vão do amarelo ao marron (LAGE, 1997; OZEL e TURAN, 2003, FARIA, 2011). Há, ainda, pinturas

de coloração branca, em que os pigmentos responsáveis pelas cores podem ser: calcita (CaCO_3), caulinita $(\text{Al,Mg,Fe})_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ ou gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e de coloração preta, por conter óxido de manganês (MnO_2) ou carvão de origem vegetal ou animal. Apesar da cor vermelha ser frequentemente relatada em trabalhos sobre pesquisas realizadas em sítios de arte rupestre do Piauí, e, as vezes, até apontada como predominante, todas as outras cores citadas já foram observadas em alguns sítios do Estado (LAGE, 1997; GUIDON, 1985). A presença de outras cores ou nuances pode ser decorrente de uma manipulação proposital – por meio de misturas de pigmentos, substâncias adicionais ou aquecimento – para atingir tal objetivo ou, ainda, em decorrência de intemperismos.

Como já foi dito, o Piauí apresenta um mapa arqueológico com uma numerosa quantidade de sítios registrados ou, de alguma forma, conhecidos. No entanto, ainda há aqueles que até bem pouco tempo não faziam ou, até o momento, não fazem parte dos sítios arqueológicos cadastrados junto CNSA do IPHAN. A cidade de Inhumas-PI, localizada à cerca de 238 km da capital Teresina (AGUIAR e GOMES, 2004), por exemplo, está iniciando a procura por este rico Patrimônio Cultural e, até o momento, dos sítios descobertos, apenas Furna dos Índios e Ema, passaram a fazer parte, há pouco tempo, do CNSA. Embora não cadastrados, ainda, outros sítios estão sendo descobertos nesta cidade, a exemplo dos sítios Apertados e Torres, denominados assim por nossa equipe (para fins de trabalho), devido a populares da região os conhecerem por estes nomes. Os citados sítios arqueológicos apresentam sua localização apresentada na Figura 1.

Ainda não há trabalhos na literatura que tenham sido realizados nestes sítios a fim de se verificar, por exemplo, a composição químico-elementar de pigmentos rupestres ou de eflorescências salinas (sais que, quando recobrem as pinturas, podem danificá-las) ou a comparação estilística/composicional da arte rupestre. Estes estudos se fazem necessários, uma vez que ajudam a compreender os processos de ocupação por grupos humanos pré-históricos, além de contribuir para com o processo de conservação das pinturas rupestres, posto que fazem um diagnóstico das alterações ou degradações provocadas por exposições ao tempo, fatores naturais ou antrópicos. Para tanto, recomenda-se, de acordo com o ICOMOS (Conselho Internacional dos Monumentos e Sítios), que as caracterizações da composição química das tintas pré-históricas, sejam feitas por técnicas analíticas não invasivas e não-destrutivas a fim de preservar ao máximo a integridade do material arqueológico. Assim, a técnica espectrometria de fluorescência de raios-X (XRF), com uso de equipamento portátil, pode surgir como uma importante ferramenta para o estudo da composição químico-elementar da arte rupestre, uma vez que permite que as que as recomendações do ICOMOS sejam atendidas.

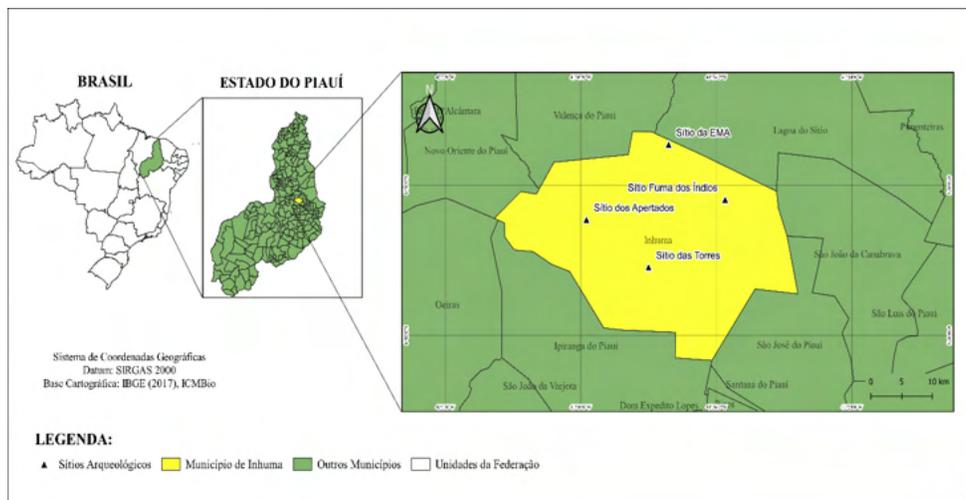


Figura 1. Localização dos sítios arqueológicos Apertados, Ema, Furna dos Índios e Torres, Inhumas, Piauí, Brasil

Este trabalho objetiva, portanto, comparar as pinturas rupestres dos sítios arqueológicos Ema, Furna dos Índios, Apertados e Torres quanto a aspectos visuais como estilos e cores, bem como verificar o grau de similaridade entre elas (em relação a proveniência dos pigmentos e tecnologia empregada na produção das tintas) por meio de análise químico-elementar por p -ED-XRF e aplicação da ferramenta quimiométrica Análise de Componente Principal (PCA).

2 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A metodologia abordada seguiu as normas e recomendações do ICOMOS (Conselho Internacional dos Monumentos e Sítios) e das cartas patrimoniais da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), a exemplo da carta de Burra, que primam pelo respeito à estética original da arte rupestre, bem como por ações que possam ser reversíveis, para que seja mantido, assim, o bom estado de conservação do patrimônio cultural (CHOAY, 2006).

2.1 Descrição dos sítios arqueológicos e das amostras

Os sítios arqueológicos Apertados, Torres, Ema e Furna dos Índios estão situados, respectivamente, nas localidades Alegrete, Atrás da Boa Esperança, Ema e Jabuti, todas pertencentes ao município de Inhumas-PI. Apenas o sítio da Ema trata-se de bloco rochoso, enquanto os demais são abrigo sob rocha. Estes sítios possuem uma distância máxima de 22,5 Km, entre si, e apresentam, em comum, formação rochosa arenítica e problemas de conservação de origem natural (eflorescência salina, galerias de térmitas e dejetos de animais). Quanto a problemas relacionados a deslocamentos, estes só não foram

observados no Sítio Furna dos Índios. Todos os problemas citados, somados à ausência de estudos sobre a composição químico-elementar de seus pigmentos, foram motivadores para a realização deste trabalho.

A arte rupestre pertencente a esses quatro sítios estudados possuem diferenças, facilmente, notáveis quanto à diversidade das pinturas encontradas – cores e estilo/formato. Por exemplo, as pinturas rupestres do sítio Furna dos Índios apresentam-se, nas cores vermelha e amarela, e em formato não-figurativo, ou seja, não permitem uma interpretação sobre qual era a intenção da representação gráfica (GUIDON, 1985). Já, aquelas presentes nos sítios da Ema, Apertados e Torres apresentam-se na forma não-figurativa e figurativa. Esta permite ao observador sugerir uma interpretação da representação gráfica.

Para o sítio dos Apertados, as pinturas rupestres apresentam-se nas cores vermelha e preta, e as formas figurativas são de zoomorfos e antropomorfos. O sítio Torres, por sua vez, apresenta sua arte nas cores vermelha e amarela e, em sua quase totalidade, no formato figurativo (zoomorfos). Por fim, a arte rupestre do sítio da Ema se apresenta nas cores branco, preto e vermelho, tendo sido possível identificar as formas carimbo de mão, zoomorfos, antropomorfos e estrela. Este sítio, quando comparado aos demais, chamou a atenção da equipe, não apenas por apresentar uma paleta em maior número de cores, mas, principalmente, por suas pinturas com traços mais elaborados e pelo uso da técnica do contorno com preenchimento em algumas representações gráficas. Para que fossem mostradas estas diferenças, foram escolhidas algumas representações gráficas, que estão expostas na Figura 2.

Foi observado que, em todos os sítios, a tinta pré-histórica aplicada era predominantemente vermelha (em diferentes nuances) e, também, há sobreposição de pinturas rupestres em todos eles, o que pode ser um indicativo de aplicações em épocas ou grupos diferentes.

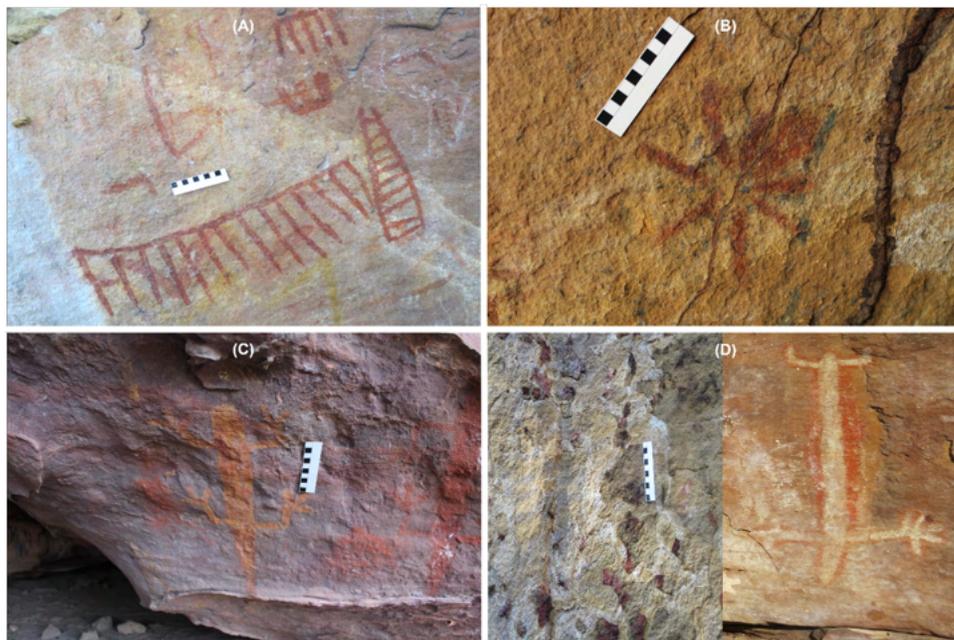


Figura 2. Representações gráficas/pinturas rupestres presentes nos sítios: A – Furna dos Índios, B – Sítio Apertados, C – Sítio Torres e D – Sítio da Ema

2.2 Caracterização elemental por p -ED-XRF

Utilizou-se um espectrômetro de fluorescência de raios X portátil por dispersão de energia, p -ED-XRF (Thermo Fischer, Scientific Niton XL3t ultra) para realizar a análise elemental, *in situ*, das camadas pictóricas. O aparelho possui um tubo de raios-X (com anodo de prata), detector de deriva de silício (SDD), voltagem máxima de 50 kV, corrente de 200 μ A, potência de 2 W, e, uma câmera de CCD acoplada – cuja função é visualizar e registrar a área exata onde a medida será realizada. O equipamento dispõe, ainda, de quatro filtros denominados: *main*, *low*, *high* e *light*. Cada um deles opera de forma sensível para um conjunto de elementos químicos, como mostrado na Tabela 1.

Conjunto de elementos químicos analisados	Filtro usado
Sb, Sn, Cd, Ag, Mo, Nb, Th, Zr, Y, Sr, U, Rb, Bi, Au, Se, As, Pb, W, Zn, Cu, Ni, Co	Main
Fe, Mn, Cr, V, Ti	Low
Cr, V, Ti, Ca, K, Nd, Pr, Ce, La, Ba, Sb, Sn, Cd, Ag	High
Al, P, Si, Cl, S, Mg	Light

Tabela 1. Conjunto de elementos químicos analisados em cada filtro do p -ED-XRF

Foram analisadas, em duplicata, 31 amostras de pinturas rupestres – sendo 7 para

os sítios Furna dos Índios e Apertados, 9 para o sítio da Ema e 8 para o sítio Torres. Todas elas estão representadas por códigos – para uma melhor organização das informações coletadas *in situ* e dos resultados obtidos, na Tabela 2, com colorações de acordo com a notação Munsell.

As medidas foram realizadas diretamente sobre as pinturas rupestres, em diferentes pontos e em duplicata, no modo de calibração Mineração Cu/Zn, utilizando-se os quatro filtros, com tempo de análise de 120 segundos (30 segundos para cada filtro) e área de irradiação de 7 mm². Utilizando-se estes mesmos nos parâmetros instrumentais, foram realizadas medidas espectrométricas no suporte rochoso – sem pintura rupestre, o qual foi tomado como branco analítico, em todos os sítios trabalhados.

Sítio Arqueológico	Amostra	Código Munsell	Cor observada
Furna dos Índios	SFI1901	2.5YR 6/8	Vermelho claro
	SFI1902	10YR 7/8	Amarelo
	SFI1903	10R 3/6	Vermelho escuro
	SFI1904	10R 5/8	Vermelho
	SFI1905	2.5YR 6/8	Vermelho claro
	SFI1906	10R 4/8	Vermelho
	SFI1907	10R 5/8	Vermelho
Ema	SE1901	2.5YR 5/6	Vermelho
	SE1902	10YR 8/1	Branco
	SE1903	10YR 2/1	Preto
	SE2104	10R 4/8	Vermelho
	SE2105	10R 4/8	Vermelho
	SE2106	10R 5/8	Vermelho
	SE2107	10R 5/8	Vermelho
	SE2108	10R 4/8	Vermelho
	SE2109	10R 5/8	Vermelho
Apertados	SAP2101	2.5YR 6/8	Vermelho claro
	SAP2102	10R 3/6	Vermelho escuro
	SAP2103	10R 4/8	Vermelho
	SAP2104	10R 3/6	Vermelho escuro
	SAP2105	10R 4/8	Vermelho
	SAP2106	2.5YR 6/8	Vermelho claro
	SAP2107	10YR 2/1	Preto
	SAP2108	10R 4/8	Vermelho
Torres	ST2101	5Y 7/8	Amarelo
	ST2102	10R 5/8	Vermelho
	ST2103	10R 4/8	Vermelho
	ST2104	10R 3/6	Vermelho escuro

ST2105	10R 5/8	Vermelho
ST2106	5Y 7/8	Amarelo
ST2107	5Y 8/8	Amarelo

Tabela 2. Códigos das pinturas rupestres estudadas e as notações em Munsell das cores delas

2.3 Aplicação da Estatística multivariada

O procedimento de análise exploratória de dados espectrais foi realizado utilizando o software Unscrambler® X.1 (CAMO S.A., Noruega). Para o estudo comparativo, fez-se uso da Análise por Componente Principal (PCA), ferramenta quimiométrica que reduz a dimensionalidade dos dados a fim de observar tendências ou similaridades de amostras por meio de variáveis denominadas de componentes principais (PC's). Os modelos quimiométricos foram construídos utilizando os espectros elementares obtidos por meio da espectrometria de fluorescência de raios X portátil. A matriz de dados montada contém 4000 variáveis para os quatro filtros instrumentais utilizados (faixa espectral de 0 a 32 keV) e um total de 62 espectros/dados. Nenhum pré-tratamento espectral foi realizado, apenas atribuiu-se peso igual para todas as variáveis.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição química elementar obtida por *p*-ED-XRF

A Figura 3 apresenta a composição química elementar, por *p*-ED-XRF, de nove amostras de pigmentos rupestres e do suporte rochoso, pertencentes aos quatro sítios arqueológicos estudados, a saber: Sítio Furna dos Índios – SFI, Sítio dos Apertados – SAP, Sítio Torres – ST e Sítio da Ema – SE. Apesar de terem sido analisadas um total de 31 amostras, o quantitativo escolhido para representar cada sítio, justifica-se pela semelhança químico-elementar observada entre as amostras de mesma cor, independente da tonalidade. Ou seja, utilizou-se apenas 1 espectro para cada cor observada na arte rupestre de cada sítio.

A presença de elementos químicos como silício (Si), alumínio (Al), enxofre (S), potássio (K) e fósforo (P), percebida em todos os espectros da Figura 3, pode ser atribuída a minerais silicatados – integrantes do suporte rochoso arenítico. O fósforo (P), pode ser, também, de origem orgânica (ex.: excrementos de insetos construtores de pequeno porte) (ALVES et al., 2011) ou oriundo de problemas de conservação, decorrentes da presença de sais de eflorescência salina presentes nas paredes rochosas, assim como o enxofre (S), o potássio (K), o cloro (Cl) e o Alumínio (Al) (CAVALCANTE, FABRIS e LAGE, 2015).

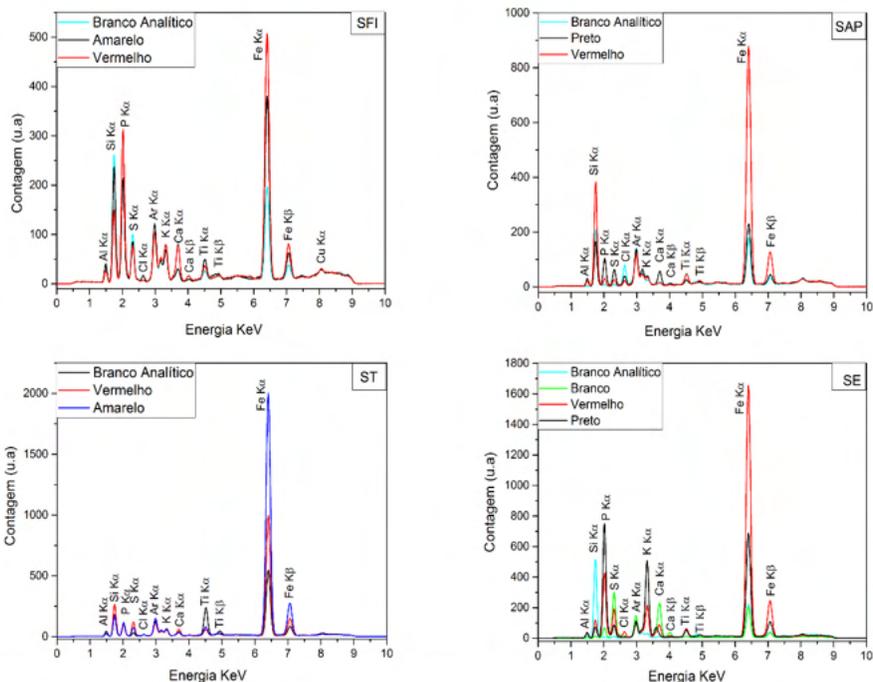


Figura 3. Espectros elementares, obtidos por *p*-ED-XRF, de pigmentos rupestres e do branco analítico (suporte rochoso) pertencentes aos sítios arqueológicos: SFI – pigmentos amarelo e vermelho; SAP – pigmentos vermelho e preto; ST – pigmentos amarelo e vermelho e SE – pigmentos branco, vermelho e preto

O elemento cálcio, percebido em todos os espectros, pode ser atribuído à presença de eflorescência salina sobre os pigmentos ou ao uso de aditivo químico – componente utilizado para melhorar as propriedades da tinta, a exemplo dos fixadores. Entretanto, observou-se que para o SE, a intensidade de sinal analítico do pigmento branco foi bem superior ao do branco analítico (suporte rochoso), o que pode indicar, também, que seja decorrente da matéria-prima utilizada na confecção da tinta pré-histórica (LAGE et al., 2020).

O elemento ferro (Fe) apresentou sinais analíticos mais intensos para as pinturas rupestres nas cores vermelha e amarela, presentes nos sítios SAP, ST ou SE. Isso se justifica em virtude de esse elemento ser o cromóforo responsável pelas citadas cores. No entanto, as intensidades analíticas do ferro (Fe) presente nas amostras do sítio SFI, com estas mesmas cores, apresentaram-se baixas, quando comparada às dos outros três sítios. Uma das hipóteses é a de que tenham sido aplicadas em um período anterior ao das amostras dos demais sítios e, por isso, as tintas sofreram mais desgastes ao longo do tempo. Também não se pode deixar de considerar fatores como a espessura da camada de tinta utilizada e o modo de preparo desta, que pode contribuir para um baixo teor de ferro.

A baixa intensidade desse elemento nos pigmentos preto ou branco, presentes no SAP e no SE, já era esperada, posto que sua presença – que não tem como finalidade a obtenção da cor desejada – se justifica, apenas, devido a uma possível mistura de matéria-prima durante a elaboração das tintas.

A ausência do manganês nos espectros dos pigmentos pretos, pertencentes aos sítios SAP e SE, sugere que o agente pigmentante pode ter como matéria prima um componente de origem orgânica, como o carvão de origem vegetal ou animal, descartando, assim, o uso do óxido de manganês (MnO_2) na elaboração da tinta. Já a presença de cobre (Cu), no espectro do SFI (ainda que em baixa intensidade de sinal analítico), pode ser um indicativo de marcador químico, proveniente de uma matéria-prima diferente daquelas utilizadas no preparo das tintas pré-históricas dos outros sítios.

As intensidades de sinais analíticos do titânio (Ti), presente nas duas amostras do sítio SFI, foram superiores ao sinal do branco analítico, o que nos leva a acreditar que aditivos contendo esse elemento – como fixadores ou diluentes – tenham sido adicionados durante o preparo das tintas. Por fim, o pico observado para o argônio pode ser explicado pela presença desse elemento no ar ambiente, em razão de as análises terem sido realizadas sob atmosfera.

3.2 Resultados da análise estatística multivariada aplicada

Os resultados da análise estatística multivariada, obtidos por meio da ferramenta PCA, são bastante importantes dentro do contexto arqueológico, uma vez que permitem auxiliar na classificação sistemática da matéria-prima utilizada na confecção das tintas pré-históricas e, com isso, obter informações sobre temporalidade de grupos, trocas de tecnologias aplicadas ou uso compartilhado de fontes naturais.

Assim, a fim de realizar uma investigação sobre as diversas pinturas rupestres de quatro sítios arqueológicos, submeteu-se espectros químicos elementares, obtidos por *p*-ED-XRF a tratamento quimiométrico mediante análise de componente principal (PCA). Neste estudo, foram construídos quatro modelos quimiométricos não-supervisionados empregando os dados elementares dos 4 filtros (*Main*, *Low*, *High* e *Light*) que o instrumento disponibiliza, os quais possuem sensibilidade para um conjunto de elementos químicos, conforme disposto na Tabela 1. Para cada filtro, foi construída uma matriz de dados contendo 62 espectros obtidos (dos quatro sítios) *versus* 4000 variáveis, que se referem às energias associadas com as intensidades de sinais analíticos. A Figura 4 apresenta os dados espectrais elementares obtidos por *p*-ED-XRF para as amostras de cada sítio, analisadas em todos os filtros (A - *Main*, B - *Low*, C - *High* e D - *Light*).

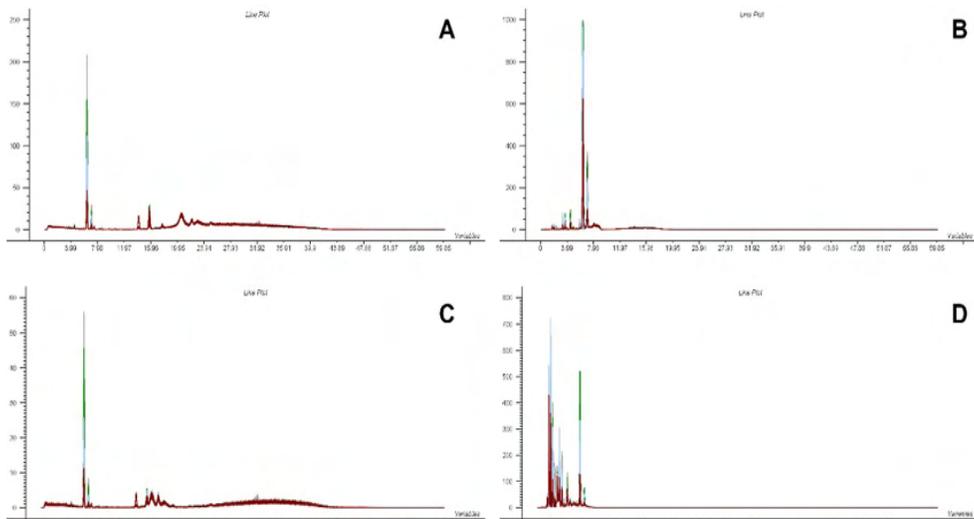


Figura 4. Espectros elementares das amostras, obtidos por *p*-ED- XRF, para os quatro filtros utilizados – A (*Main*), B (*Low*), C (*High*) e D (*Light*), sendo: SFI (marrom), ST (cinza), SAP (verde) e SE (azul claro)

Conforme se observa na Figura 4, diferentes perfis espectrais foram testados para este estudo quimiométrico, considerando que cada filtro instrumental contém informações elementares diferentes, que podem ser responsáveis pela discriminação das amostras analisadas. Por exemplo, na Figura 4A (filtro *Main*), observa-se uma alta contribuição da variável presente em 6,4 keV, referente ao elemento químico ferro; ao passo que, na Figura 4D (filtro *Light*), observa-se a detecção de diversas linhas espectrais, atribuídas aos elementos químicos traço presentes nas amostras e que podem ter influência direta sobre a classificação quimiométrica.

Todos os dados espectrais adquiridos (Figura 4) foram tratados considerando os mesmos pesos para todas as variáveis, e os modelos quimiométricos construídos têm por base a PCA para os quatro filtros, conforme mostra a Figura 5.

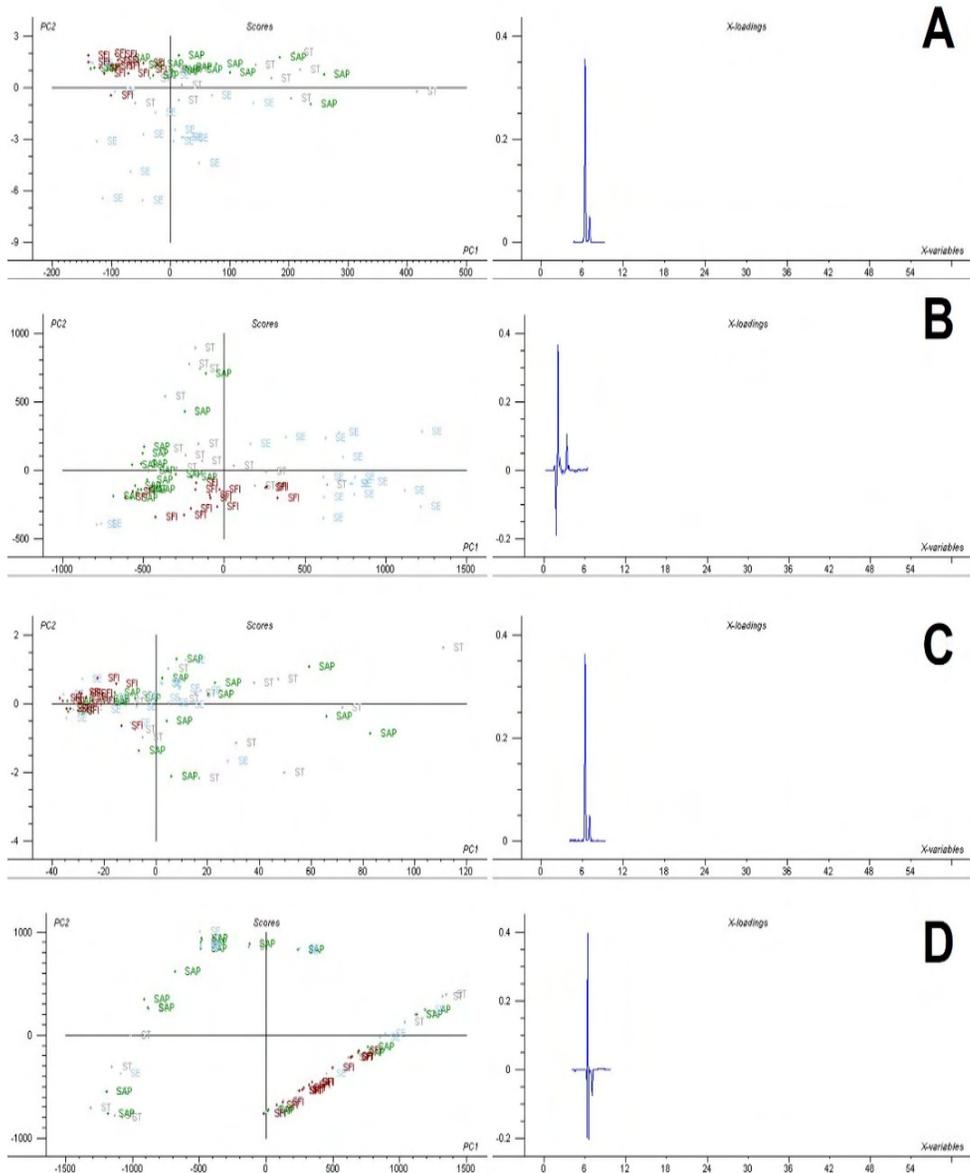


Figura 5. Gráfico de scores e de *loading* de PC1 e PC2 para os espectros *p*-ED-XRF referente aos quatro filtros instrumentais (A - *Main*, B - *Light*, C - *High* e D - *Low*)

Observa-se que, para cada filtro instrumental utilizado, os modelos quimiométricos baseados na PCA se comportaram de forma distinta. De fato, o uso do filtro correto na construção dos modelos quimiométricos é um fator que deve ser levando em conta, pois informações espectrais podem ser equivocadamente descartadas e, com isso, a tendência de discriminação pode não ser possível. Este estudo revela que, inicialmente, os filtros

Main e *Light* foram os que apresentaram tendências de agrupamento das amostras dos quatro sítios estudados, enquanto os filtros *Low* e *High* não revelaram um reconhecimento de padrão. Portanto, não foram utilizados para discriminar as amostras estudadas.

A Figura 5A se refere ao modelo PCA para o filtro *Main*, que explicou 100% da variância total dos dados. Na análise do *score*, é possível observar uma alta similaridade entre as amostras do sítio arqueológico Furna dos Índios (doravante SFI), quando comparadas às demais amostras, fato que contribuiu para deixar essas amostras discriminadas dos demais grupos. Por meio do gráfico de *loading* (Figura 5A), entende-se que a variável em 6,40 keV (correspondente ao elemento ferro) foi a responsável pela separação dos grupos, com contribuições negativas na PC1 para o sítio SFI, em que as amostras desse sítio apresentaram um baixo teor desse elemento, quando comparadas aos demais sítios. Desse modo, acredita-se que essa discriminação, em relação às outras amostras, pode ser atribuída a aspectos, tais como: temporal/conservação e tecnológico.

Em se tratando da temporalidade/conservação, o baixo teor de ferro pode estar relacionado a um período longínquo de aplicação dos pigmentos no suporte rochoso, e, portanto, ao inevitável desgaste físico que diminui a concentração do citado elemento na amostra, principalmente, devido a fatores climáticos como a água da chuva, que dilui o material pictórico. No entanto, caso se trate de pinturas rupestres mais “recentes”, pode-se considerar o aspecto tecnológico, posto que o modo de preparo das tintas pode ter passado por um processo em que o pigmento foi mais diluído na matriz pictórica, ocasionando um baixo teor de ferro.

A Figura 5B se refere ao modelo PCA para o filtro *Light*, responsável por explicar 85% da variância total, em que a primeira componente principal (PC1) apresenta 67% da variância observada, e a segunda componente principal (PC2) apresenta 18%. Observou-se, ainda, pela avaliação dos *scores*, uma formação de agrupamentos bem mais definidos para as amostras dos quatro sítios arqueológicos estudados. De fato, o filtro *Light* é o responsável pela detecção de elementos químicos leves (Al, Si, S, P, Cl e Mg), que integram a argila utilizada no preparo das tintas pré-históricas e, pode ter influência direta na discriminação das amostras. A presença desses elementos na composição das tintas pré-históricas pode ser atribuída à adição de materiais que melhoram as propriedades pictóricas ou ao uso de argila de diferentes fontes (proveniências distintas), que podem conter marcadores químicos diferenciados. Os elementos fósforo (P) e potássio (K), com variáveis nas linhas de emissão K α em 1,75 e 3,31 keV, exerceram a maior influência no *loading* positivo da PC1, no qual agrupa com distinção as amostras do sítio arqueológico da Ema (SE), conforme se observa no quadrante positivo do gráfico de *scores* (Figura 5B). Tais elementos, quando na forma de sais, podem ser utilizados para melhorar a aderência das tintas no suporte rochoso. Provavelmente, para este sítio, o aspecto tecnológico de produção da tinta era bem distinto em relação ao dos sítios Apertados, Torres e Furna dos Índios, que apresentaram o *loading* negativo na PC1 (Figura 5B), apontando, assim,

para similaridades tecnológicas. Vale a pena destacar que os dois pontos SE, presentes neste *loading*, correspondem a duplicata da amostra SE1903 (pigmento preto), e não foram agrupados juntamente com as demais amostras do sítio da Ema, principalmente, por se tratar de uma matéria prima diferente, provavelmente material carbonizado. Por fim, o gráfico de *Scores* da Figura 5B apresenta, de forma distinta, as amostras do sítio arqueológico Furna dos Índios (SFI), em que o *loading* da PC2 é negativo. A variável em 1,75 keV, referente ao elemento silício é a responsável por tal separação. Observa-se que mais uma vez as amostras Furna dos Índios se agrupam e revelam ser distintos em relação aos demais, corroborando com os dados PCA do filtro Main. Uma associação entre os dois PCA's dos dois filtros (*Main* e *Light*) revela que se trata de uma tinta bastante diluída na matriz rochosa, que é composta predominantemente de silicatos.

Assim, o estudo da arte rupestre analisada por *p*-ED-XRF nos quatro sítios arqueológicos (Ema, Furna dos Índios, Torres e Apertados), com posterior análise por tratamento quimiométrico (com base em PCA), forneceu evidências temporais, tecnológicas, de conservação e de proveniência distinta. Sem dúvida, o sítio Furna dos Índios é o que mais se diferencia em relação aos demais, principalmente, no que diz respeito a forma de produção da tinta pré-histórica pelos grupos humanos que as elaboraram.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego da espectrometria de fluorescência de raios X portátil possibilitou determinar, *in situ*, a composição química elementar das pinturas rupestres dos sítios arqueológicos Furna dos Índios, Apertados, Torres e Ema – pertencentes ao município de Inhumas-PI, de modo a preservar a integridade desse importante material arqueológico.

A partir dos resultados das análises qualitativas elementares foi possível inferir, por exemplo, que os pigmentos de cor preta analisados não possuíam o óxido de manganês como agente pigmentante, mas sim matéria prima de origem orgânica, como o carvão de origem vegetal ou animal. Os sinais analíticos do ferro (Fe), presente nas pinturas rupestres vermelha e amarela, possibilitaram, também, sugerir que a arte rupestre do sítio arqueológico Furna dos Índios tenha sido aplicada num tempo mais longínquo ou utilizou-se de um modo diferente de preparo das tintas pré-históricas, quando comparado aos demais sítios. Além disso, a presença do elemento cobre (Cu), nos pigmentos desse sítio, pode apontar a utilização de uma matriz de proveniência diferente.

A Análise de Componente Principal (PCA), das amostras em estudo, permitiu detectar pelo menos três agrupamentos entre os pigmentos rupestres presentes dos quatro sítios arqueológicos estudados. Os resultados multivariados revelam que as diferenças entre os estilos e cores observadas não são os únicos fatores que devem ser levados em conta para comparação entre amostras de sítios de arte rupestres, mas, sobretudo, as características elementares.

A utilização da estatística multivariada, como uma ferramenta essencial à proposta do trabalho, sugeriu pelo menos duas hipóteses para os agrupamentos observados, sendo elas: utilização de argilas distintas no preparo e fabricação das tintas pré-históricas e preparo da tinta com adição de compostos para melhoria de suas propriedades pictóricas. Deve-se considerar, ainda, que em alguns casos o fator estado de conservação da arte rupestre pode alterar, significativamente, a composição química das tintas principalmente considerando que se trata de uma amostra preparada e exposta ao tempo por longo período.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de Iniciação Científica a Wilkins O. de Barros e de Produtividade em Pesquisa à Maria Conceição S. Meneses Lage (Processo 304915/2014-9). Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) pelo apoio dado à autora Jacira I. Moura, para que pudesse se dedicar integralmente ao desenvolvimento dessa pesquisa, à Universidade Federal do Piauí (UFPI) e ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. B.; GOMES, J. R. C (org). **Projeto: Cadastro de fontes de bastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Inhumá**. Fortaleza-CE. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16011/1/Rel_Inhumá.pdf. Acesso em 02.10.2021.

ALVES, T. L. *et al.* **Pigmentos de pinturas rupestres pré-históricas do Sítio Letreiro do Quinto, Pedro II, Piauí, Brasil**. *Quim. Nova*. v. 34 (2), p.181-185, 2011.

AROCENA, J.M.; HALL, K.; MEIKLEJOHN, I. **Minerals provide tints and possible binder/extender in pigments in San Rock paintings (South Africa)**. *Geoarchaeology*, v. 23 (2), p. 293–304, 2008.

BRUNET, J.; VIDAL, P.; VOUVE, J. **Conservation de l'art rupestre: deux études, glossaire illustré**, UNESCO, Paris, 1985.

CAVALCANTE, L. C. D., **Caracterização Arqueométrica de Pinturas Rupestres Pré- Históricas, Pigmentos Minerais Naturais e Eflorescências Salinas de Sítios Arqueológicos**. Tese (Doutorado em Química). UFMG. Belo Horizonte-MG, 2012.

CAVALCANTE, L.C.D.; FABRIS, J.D.; LAGE, M.C.S.M. **Eflorescências salinas do sítio de arte rupestre Pedra do Castelo, Piauí, Brasil**. *Clio Arqueológica*, 30 (1), p. 120–142, 2015.

CHOAY, F. **A alegoria do patrimônio**. Tradução: Luciano Vieira Machado. 3. ed. São Paulo: Estação Liberdade: UNESP, 2006.

FARIA, D. L. A. *et al.* **Análise de pinturas rupestres do abrigo do Janelão (Minas Gerais) por microscopia Raman**. *Quim. Nova*, Vol. 34 (8), p. 1358-1364, 2011.

FARIAS FILHO, B. B.; LAGE, M. C. S. M.; LIMA, R. A. M. **Estudo químico de eflorescências salinas do sítio arqueológico Toca Exú do Jurubeba do Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil.** Quim. Nova, v. 40, p. 983-988, 2017.

FILCOFF, R.S.P. *et al.* **Trace element characterization of ochre from geological sources.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 272 (1), p.17–27, 2007.

FONTES, M. L. **Caracterização espectroscópica de ocre, pinturas rupestres e depósitos salinos de sítios arqueológicos pernambucanos.** Dissertação (Mestrado em Química). UFPI. Teresina-PI, 2010.

GONÇALVES, A. S. **Arqueologia no Quintal e os desafios da Conservação de Sítios Arqueológicos no Município de São José do Piauí.** Dissertação (Mestrado em Arqueologia). UFPI. Teresina-PI, 2015.

GUIDON, N. **A arte pré-histórica de São Raimundo Nonato: síntese de dez anos de pesquisa.** Clio, série Arqueológica, v.2, p. 3-90, 1985.

LAGE, M. C. S. M. **A conservação de sítios de arte rupestre.** Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. v. 33, p. 95-107, 2007.

LAGE, M. C. S. M. **Análise química de pigmentos de arte rupestre do Sudoeste do Piauí.** Revista do Museu de arqueologia e Etnologia da USP, v. 2, p. 89-101, 1997.

LAGE, M.C.S.M. *et al.* **In-situ ⁵⁷Fe Mössbauer characterization of iron oxides in pigments of a rupestrian painting from the Serra da Capivara National Park, in Brazil, with the backscattering Mössbauer spectrometer MIMOS II.** Hyperfine Interact, 237 (1), p. 1–7, 2016.

LAGE, M. *et al.* **Estudo químico de pinturas rupestres do sítio arqueológico Toca da Baixa do Cajueiro por FRX portátil e suas implicações para a conservação.** In: NARDELI, Jéssica. A diversidade de debates na pesquisa em química 2. Ponta Grossa-PR: Atena Editora, p. 269, 2020.

OZEL, E.; TURAN, S. **Production and characterisation of iron-chromium pigments and their interactions with transparent glazes.** Journal of the European Ceramic Society, v. 23, p. 2097–2104, 2003.

PESSIS, A.-M. **Imagens da pré-história. Parque Nacional Serra da Capivara.** São Raimundo Nonato/PI: FUMDHAM. Petrobras. 2003.

RAMPAZZI, L. *et al.* **Prehistoric wall paintings: the case of the Domus de Janas Necropolis (Sardinia, Italy).** Archaeometry, v. 49 (3), p. 559–569, 2007.

VÁZQUEZ, C. *et al.* **Combining TXRF, FT-IR and GC-MS information for identification of inorganic and organic components in black pigments of rock art.** Anal Bioanal Chem, v. 391, p. 1381–1387, 2008.

ÍNDICE REMISSIVO

A

- Actividade leishmanicida 117
- Adsorção 92, 94, 144
- Agente tamponante 154, 156, 162, 164
- Alfabetização científica 81, 88, 89, 90
- Amostragem 103, 167, 171, 180, 183, 184, 188
- Análise de Componente Principal - PCA 61, 65, 71, 75
- Análise elementar 61, 67
- Antioxidante 107, 108, 130
- Arrhenius 1, 6, 8, 9
- Atividades experimentais 13, 14, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 34, 39, 44
- Avaliação diagnóstica 26, 31, 34, 35, 39, 40

B

- Bactérias metanogênicas 154, 156
- Biodiesel 145, 154, 155, 156, 157, 158, 161, 162, 163, 164, 165, 166
- Bioetanol 143, 144, 145
- Biomassa 144

C

- Células de combustível 143
- Ciências da natureza 2, 24, 83, 90
- Citometria de fluxo 117
- Citotoxicidade 108, 117
- Cocaína 178, 179, 180, 181, 182, 189, 190, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199
- Conhecimento científico 1, 3, 46, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 89
- Contaminantes de interesse emergente 178, 179, 180, 201
- Crack 180, 181, 189, 197, 198, 199
- Cromatografia gasosa 158, 159, 167, 172
- Cromonas 132, 133, 134, 135

D

- Docência 78, 80, 87, 201

E

Educação ambiental 46, 52, 54, 55, 58, 59, 60, 78, 89, 201

Efeito estufa 167, 168, 169, 176, 177

Efluente 154, 155, 156, 163, 165, 169

Eletrodeposição 91, 96, 97, 98, 105

Energia renovável 144

Ensino de ciências 20, 24, 25, 38, 52, 54, 55, 59, 60, 78, 82, 83, 88, 89, 90, 201

Ensino de química 1, 2, 10, 14, 25, 26, 27, 32, 33, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 47, 50, 51, 52, 81, 84, 85, 89, 90, 201

Enzima 122

Espectrofotômetro UV-Vis 107, 111

Espectrometria de fluorescência de raios x 61, 69, 75

Espectroscopia na região do infravermelho 107, 110, 113

Extração por Sorção em Barra de Agitação - SBSE 91, 92, 102, 106

H

Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - HPAs 91, 92

Hidrólise 98, 180, 181, 191

I

Intervenção pedagógica 1, 3, 10

L

Lago Paranoá 167, 169, 173, 174, 175

Lei de Diretrizes e Base da Educação - LDB 2

Letramento científico 78, 80, 81, 83, 87, 88, 89, 90, 201

Licenciatura em química 42, 51, 52, 78, 80, 85, 86, 88

Lixo 46, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 60

M

Meio ambiente 45, 46, 47, 48, 50, 53, 55, 59, 60, 98, 155

Metabólitos 133, 180, 181, 183, 199

Microscopia Eletrônica de Transmissão - MET 107, 110, 112

Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV 144

N

Nanomateriais 114

Nanotecnologia 107

O

Óleo de cozinha 42, 46, 47, 48, 50, 51

Oxirredução 26, 28, 38, 98, 107, 108

P

Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN 2, 14, 27, 38, 51, 81

Pigmentos rupestres 61, 63, 64, 69, 70, 75

Poluição ambiental 53, 55

Potencial farmacológico 132

Potencial zeta 107, 110, 114

Processo anaeróbio 154, 157, 160, 164

Processo de aprendizagem 9, 14, 43, 50, 78, 84, 87

Produtos de metabolização 178, 183

R

Reação de ciclização eletrofílica 132, 138, 141

Reação de condensação do tipo Perkin 117

Reação de oxidação 30, 36, 144

Reciclagem 42, 45, 46, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 105

Recursos audiovisuais 6, 13, 14, 15

Rede federal de ensino 78, 88

Resíduos de drogas de abuso 178

Resíduos sólidos 45, 46, 52, 53, 54, 55, 56, 60

S

Sabão ecológico e artesanal 42

Sedimentos finos 167, 174, 175

Síntese verde 107, 108

Sítios arqueológicos 61, 63, 64, 65, 69, 70, 71, 74, 75, 76, 77

Solventes tóxicos 132

Substrato metálico 91, 94, 98, 105

T

Técnica de *headspace* 167

Teor carbono orgânico 167

Tratamento biológico 154, 156

V

Voltametria cíclica 144

O ensino e a pesquisa em **QU** **MICA**

3

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Editora
Ano 2021

O ensino e a pesquisa em **QU** **MICA**

3

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Editora
Ano 2021