



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

HUGO ANTONIO CAVALCANTI E SILVA

CORROSÃO DO COBRE, AS CORES DA PÁTINA
Um estudo integrador entre os materiais e a arte no processo de
ensino-aprendizagem de ciência

Recife
2024

HUGO ANTONIO CAVALCANTI E SILVA

CORROSÃO DO COBRE, AS CORES DA PÁTINA

**Um estudo integrador entre os materiais e a arte no processo de
ensino-aprendizagem de ciência**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Materiais da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Materiais.

Orientador (a): Prof.^a Dr.^a Magda Rosângela Santos Vieira

Coorientador (a): MSc. Eng.^a Maria Isabel Collasius Malta

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Hugo Antonio Cavalcanti e.

Corrosão do cobre, as cores da pátina: Um estudo integrador entre os materiais e a arte no processo de ensino-aprendizagem de ciência / Hugo Antonio Cavalcanti e Silva. - Recife, 2024.

179 p. : il., tab.

Orientador(a): Magda Rosângela Santos Vieira

Coorientador(a): Maria Isabel Collasius Malta

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Materiais - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Pátina. 2. Cobre. 3. Arte. 4. Materiais. 5. Educação. I. Vieira Rosângela Santos. (Orientação). II. Malta, Maria Isabel Collasius. (Coorientação). IV. Título

500 CDD (22.ed.)

HUGO ANTONIO CAVALCANTI E SILVA

CORROSÃO DO COBRE, AS CORES DA PÁTINA

Um estudo integrador entre os materiais e a arte no processo de ensino-aprendizagem de ciência

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em: 25/03/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Magda Rosângela Santos Vieira (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Eng.^a MSc. Maria Isabel Collasius Malta (Coorientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edval Gonçalves de Araújo
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ricardo Pereira
Universidade Federal de Pernambuco

Este trabalho é advindo de todos que em algum momento me ensinaram, incentivaram e acreditaram em mim. Dedico-o aos meus professores, em especial a minha mãe, que me mostrou desde cedo a importância da educação.

AGRADECIMENTOS

Ao longo da minha trajetória acadêmica fui apoiado e incentivado por algumas pessoas, dentre elas a minha mãe, Betania Cavalcanti de Mendonça, e irmã, Maria Jullyanne Cavalcanti de Brito, que são a minha família, e a elas sou eternamente grato.

Fazer um curso de engenharia é algo transformador, mas que demanda muita dedicação. Se consegui chegar até aqui foi pelo apoio dos meus amigos, que também trilharam esta trajetória comigo, em especial Thaís Angelo de Farias e Mycael de Moura Dias. A eles, agradeço o companheirismo e apoio, agora estamos prontos para seguir por novos desafios.

À Prof.^a Dr.^a Magda Rosângela Santos Vieira e à Eng.^a MSc. Maria Isabel Collasius Malta, minhas orientadoras, agradeço terem aceitado me acompanhar neste trabalho, pelas longas conversas, correções e apoio durante as atividades desta pesquisa, não tenho como retribuir toda a contribuição de vocês para o meu crescimento.

Ao José Anderson dos Santos Paixão agradeço o apoio, os momentos de distração e pelo incentivo na continuidade deste trabalho. E ao Luiz Eduardo Gomes Freire Farias Filho, agradeço o companheirismo, apoio e confiança de sempre.

Agradeço ao i-LITPEG e INTM por permitirem utilizar as suas dependências para realizar os experimentos e caracterizações necessárias. Agradeço também a toda equipe do CompoLab-LBC e INTM, pela ajuda e apoio nas atividades que foram desenvolvidas. Em especial aos técnicos Walter Leandro Cordeiro da Silva Filho, Janaína André Cirino e Ivaldo Dantas de França, pelo apoio, esclarecimentos e disponibilidade.

Ao Projeto M.ARTE, agradeço por terem acreditado neste trabalho e aceitado a sua integração ao curso “O Fantástico Universo da Corrosão”.

Um agradecimento em especial ao Prof. Dr. Edval Gonçalves de Araújo, pela correção atenta deste texto e incentivo de sempre. Aos professores, Dr. Bráulio Silva Barros, Dr.^a Carolina Lipparelli Morelli e Dr. Armando Hideki Shinohara, agradeço às orientações e apoio ao meu desenvolvimento técnico-científico ao longo do curso.

Ao Eng. Deividi Goularte Colvara, agradeço a confiança, apoio e compreensão ao longo da execução deste trabalho.

A todos os demais professores, técnicos e pesquisadores, agradeço todo o apoio e trocas ao longo destes anos.

“Arte é uma coisa imprevisível, é descoberta, é uma invenção da vida. [...] A arte existe porque a vida não basta.”

Ferreira Gullar¹

“Aprendi que os meus horizontes são circulares / que as minhas perguntas são placas de sinalização / escancarando os meus processos / de auto-co-criação.”

Maju Cavalcanti²

¹ (Trigo, 2010)

² (Cavalcanti, 2023)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo utilizar a síntese de pátinas artificiais como ferramenta motivadora para o ensino-aprendizagem de ciência, associando os materiais e a arte. Realizou-se um estudo abrangente da relação dos homens com os materiais, detalhando a sua aplicação e importância para a sociedade ao longo da história, incluindo uma análise da utilização dos materiais como suporte artístico por diversos artistas ao longo dos anos. Para aplicação deste conteúdo nas salas de aula, foi proposto uma sequência didática contando com atividades práticas e teóricas, abrangendo conteúdo da ciência dos materiais e da arte. Para fundamentar as atividades práticas propostas foi produzido um conjunto de pátinas por meio de métodos de aquecimento a seco, aplicação direta, vaporização e imersão eletrolítica. As pátinas desenvolvidas foram de baixo custo e de fácil execução, para que possam ser aplicadas em sala de aula, tanto para o ensino médio, quanto superior. Para a caracterização das pátinas foram realizados: ensaios gravimétricos, para avaliar a variação de massa advinda do processo de patinização das amostras; difração de raios X, visando identificar os compostos obtidos nas pátinas formadas; microscopia eletrônica de varredura, para caracterização morfológica e análise de composição química elementar, por meio da técnica de espectroscopia de energia dispersiva. As pátinas produzidas apresentaram diversos aspectos macroscópicos e composições, tais como: Cuprita; Hidroxinitrito de cobre; Schwertmannita; Rouaita; Paratacamita e Covelita. Conseqüentemente, foi possível obter pátinas pretas, azuis, verdes e vermelhas. O trabalho trouxe uma abordagem multidisciplinar e inovadora, integrando conceitos técnicos da Ciência e Engenharia de Materiais e as Artes Plásticas, que podem ser utilizados para práticas pedagógicas tanto no ensino fundamental quanto no ensino superior. A validação desta proposta pedagógica foi feita por meio da aplicação desta metodologia em um curso de extensão, sendo este bem-sucedido e apoiado pelos participantes.

Palavras-chaves: Pátina; Cobre; Arte; Materiais; Educação.

ABSTRACT

The aim of this work was to use the synthesis of artificial patinas as a motivational tool for teaching and learning science, combining materials and art. A comprehensive study of the relationship between humans and materials was carried out, detailing their application and importance to society throughout history, including an analysis of the use of materials as artistic support by various artists over the years. To apply this content in the classroom, a didactic sequence was proposed with practical and theoretical activities, covering content from materials science and art. To support the practical activities proposed, a set of patinas was produced using dry heating, direct application, vaporization and electrolytic immersion methods. The patinas developed were low-cost and easy to execute, so that they can be applied in the classroom, both for secondary and higher education. In order to characterize the patinas, the following tests were carried out: gravimetric tests, to evaluate the mass variation resulting from the patination process of the samples; X-ray diffraction, to identify the compounds obtained in the patinas formed; scanning electron microscopy, for morphological characterization and elemental chemical composition analysis, using the energy dispersive spectroscopy technique. The patinas produced had different macroscopic aspects and compositions, such as Cuprite; Copper hydroxynitrite; Schwertmannite; Rouaite; Paratacamite and Covellite. As a result, it was possible to obtain black, blue, green and red patinas. The work brought a multidisciplinary and innovative approach, integrating technical concepts from Materials Science and Engineering and Visual arts, which can be used for pedagogical practices in both primary and higher education. This pedagogical proposal was validated through the application of this methodology in an extension course, which was successful and supported by the participants.

Keywords: Patina; Copper; Art; Materials; Education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Classificação dos materiais	23
Figura 02 – Classes dos elementos na tabela periódica	27
Figura 03 – Metais de transição	27
Figura 04 – Metais alcalinos.....	28
Figura 05 – Metais alcalinos terrosos.....	28
Figura 06 – Outros metais.....	29
Figura 07 – Representação da ligação metálica	30
Figura 08 – As redes de Bravais	30
Figura 09 – Classificação dos materiais metálicos.....	31
Figura 10 – Energia de formação dos óxidos à 0 °C em oxigênio (O ₂)	32
Figura 11 – Fluxograma da extração dos metais	34
Figura 12 – Coloração do cobre comercialmente puro.....	36
Figura 13 – Influência do zinco na coloração das ligas de cobre	37
Figura 14 – Principais formas minerais do cobre	38
Figura 15 – Compostos formados pelo cobre.....	39
Figura 16 – Desenvolvimento dos materiais ao longo do tempo	40
Figura 17 – Era dos Homens.....	43
Figura 18 – Sistema das três idades	46
Figura 19 – Artefatos produzidos pelos homens ao longo das eras.....	48
Figura 20 – Arte pré-histórica	50
Figura 21 – Períodos aproximados de grande utilização do cobre nos tempos antigos	51
Figura 22 – Difusão da metalurgia e presença de minérios na Europa e Anatólia.....	52
Figura 23 – Espelho de Cariátide, c. 1540–1296 a.C.....	52
Figura 24 – Espada Tachi, “Okadagiri” Yoshifusa	54
Figura 25 – Unidade orgânica da arte	57
Figura 26 – Xiloteca de espécies brasileiras	69
Figura 27 – Natureza das pátinas	80
Figura 28 – Cores nas pátinas artificiais.....	81
Figura 29 – Artefatos com pátina produzidos pela Tiffany & Co.....	82
Figura 30 – Curvas do comportamento da oxidação	83

Figura 31 – Obtenção da taxa de oxidação.....	84
Figura 32 – Micromecanismos possíveis na oxidação parabólica.....	85
Figura 33 – Evolução da formação da pátina e conseqüente variação de cor na estátua da liberdade	88
Figura 34 – Formação do filme passivador	88
Figura 35 – Seleção de artistas e povos que utilizaram o bronze em suas obras.....	93
Figura 36 – Detalhe da pátina na superfície das esculturas.....	95
Figura 37 – Funcionamento da seqüência didática	97
Figura 38 – Corpo de prova padrão	100
Figura 39 – Obtenção da pátina por aquecimento a seco.....	101
Figura 40 – Acessórios utilizados para obtenção de pátinas por aplicação direta	101
Figura 41 – Reator para as reações de pátina por vaporização.....	103
Figura 42 – Célula eletrolítica para a formação de pátinas	104
Figura 43 – Fonte para a célula eletrolítica	105
Figura 44 – Micrografia do cobre.....	107
Figura 45 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da amostra do cobre.....	108
Figura 46 – Difratoograma da amostra do cobre.....	108
Figura 47 – Pátinas obtidas por aquecimento a seco.....	109
Figura 48 – Micrografias da pátina por aquecimento a seco	109
Figura 49 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina por aquecimento a seco.....	110
Figura 50 – Pátinas obtidas por aplicação direta.....	110
Figura 51 – Micrografias da pátina preta.....	111
Figura 52 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina preta.....	112
Figura 53 – Micrografias da pátina ciano 30.....	112
Figura 54 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina ciano 30	113
Figura 55 – Difratoograma da pátina ciano 30	113
Figura 56 – Pátinas obtidas por empilhamento de camadas com aplicação direta	114

Figura 57 – Micrografias da pátina azul glacial	115
Figura 58 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina azul glacial	115
Figura 59 – Difratoograma da pátina azul glacial	116
Figura 60 – Micrografias da pátina verde florestal.....	116
Figura 61 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina verde florestal.....	117
Figura 62 – Difratoograma da pátina verde florestal	117
Figura 63 – Micrografias da pátina dourada.....	118
Figura 64 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina dourada.....	118
Figura 65 – Pátinas obtidas por vaporização	119
Figura 66 – Variações nas rotas por vaporização	120
Figura 67 – Micrografias da pátina azul real.....	121
Figura 68 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina azul real.....	121
Figura 69 – Difratoograma da pátina azul real	122
Figura 70 – Micrografias da pátina Verde-escuro.....	122
Figura 71 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina Verde-escuro.....	123
Figura 72 – Difratoograma da pátina Verde-escuro	123
Figura 73 – Pátinas obtidas por imersão eletrolítica.....	124
Figura 74 – Micrografias da pátina Verde-claro.....	125
Figura 75 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina Verde-claro.....	125
Figura 76 – Difratoograma da pátina Verde-claro	126
Figura 77 – Micrografias da pátina preta arroxeadada	126
Figura 78 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina preta arroxeadada.....	127
Figura 79 – Difratoograma da pátina preta arroxeadada.....	127
Figura 80 – Resumo das pátinas obtidas	128
Figura 81 – Variações de massa obtidas com os procedimentos realizados	128
Figura 82 – Subprodutos formados durante os processos de obtenção das pátinas por rotas IE.....	129

Figura 83 – Registros fotográficos de diferentes momentos da participação no curso “O Fantástico Universo da Corrosão”	131
Figura 84 – Móviles do Alexander Calder	139
Figura 85 – Bichos da Lygia Clark.....	140
Figura 86 – Exemplos de obras feitas com arames	141
Figura 87 – Exemplos de obras feitas com capas de cobre	142
Figura 88 – Quadro feito com moedas	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Abundância relativa (em % peso) de alguns elementos químicos na crosta terrestre.....	33
Tabela 02 – Classes de propriedades dos materiais	34
Tabela 03 – Ficha técnica do Cobre	35
Tabela 04 – Classificação das ligas de Cobre	37
Tabela 05 – Demonstrativo de esculturas feitas com materiais cerâmicos.....	60
Tabela 06 – Demonstrativo de esculturas feitas com materiais polimérico.....	66
Tabela 07 – Demonstrativo de esculturas feitas com materiais compósitos.....	70
Tabela 08 – Demonstrativo de esculturas feitas com materiais metálicos	73
Tabela 09 – Rotas de patinização	90
Tabela 10 – Reagentes utilizados para obtenção das pátinas	100
Tabela 11 – Sumário de soluções para rotas por aplicação direta.....	102
Tabela 12 – Sumário de soluções para pátinas por camadas em rotas por aplicação direta.....	102
Tabela 13 – Sumário de soluções para rotas por vaporização.....	104
Tabela 14 – Sumário de soluções para rotas por imersão eletrolítica.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três dimensões
a.C.	Antes de Cristo
ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
AD	Aplicação direta
AS	Aquecimento a seco
ASTM	American Society for Testing and Materials
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CCC	Cúbico de corpo centrado
CDA	Copper Development Association
CECINE	Coordenadoria do Ensino de Ciências do Nordeste
CFC	Cúbico de face centrada
COD	Crystallography Open Database
DRX	Difratometria de raios-X
EDS	Espectroscopia de energia dispersiva
IE	Imersão eletrolítica
i-LITPEG	Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia
INTM	Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
M.ARTE	Projeto de extensão Materiais, Ciência e Arte
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
PA	Pureza analítica
PLA	Poliácido láctico
ppm	Partes por milhão
SD	Sequência didática
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
VP	Vaporização

LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta\Phi$	Diferença de potencial
Å	Angstrom
A	Área
b	Espessura da camada
c	Concentração de íons
D	Coeficiente de difusão
d	Massa específica do metal
E	Massa específica do óxido
E°	Potencial padrão
F	carga elétrica de um mol de elétrons
J	Fluxo difusional
kL	Constante cinética
kp	Constante cinética
M	Massa molecular
n	Número de átomo
Ql	Constante cinética
Qp	Constante cinética
R	Constante universal dos gases
T	Temperatura em escala absoluta
t	Tempo
T	Temperatura
V	Volume
ΔG	Variação da energia livre de Gibbs
ΔH	Variação da entalpia
ΔS	Variação da entropia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS.....	21
1.1.1	Objetivo geral	21
1.1.2	Objetivos específicos	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	OS MATERIAIS	24
2.1.1	Cerâmicos	24
2.1.2	Polímeros	25
2.1.3	Metais	26
2.1.3.1	Disponibilidade natural dos metais e rotas de extração.....	31
2.1.3.2	Propriedades dos materiais metálicos	34
2.1.3.3	O cobre e suas ligas.....	35
2.1.4	Compósitos	39
2.2	A EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS	40
2.3	UM OLHAR HISTÓRICO NA EVOLUÇÃO DA HUMANIDADE	41
2.3.1	Era dos homens: O uso dos materiais na mitologia grega	42
2.3.2	O pensamento romano	45
2.3.3	A era moderna	46
2.4	O SISTEMA DAS TRÊS IDADES	48
2.4.1	Idade da pedra	48
2.4.2	Idade do bronze	51
2.4.3	Idade do ferro	53
2.5	MATERIAIS: O VEÍCULO DA ARTE	54
2.6	ARTE: CONCEPÇÃO, FUNÇÃO, OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA.....	57
2.7	OS MATERIAIS DAS ESCULTURAS	59
2.7.1	Cerâmicas	59
2.7.2	Poliméricas	65
2.7.3	Compositicas	69
2.7.4	Metálicas	73
2.8	PÁTINA.....	80
2.8.1	Formação de películas sobre os metais	82
2.8.2	Pátina do cobre	87

2.8.3	Técnicas para a obtenção de pátinas artificiais	90
2.8.3.1	Aplicação direta	91
2.8.3.2	Vaporização.....	91
2.8.3.3	Imersão.....	91
2.8.3.4	Meio úmido	92
2.8.3.5	Aquecimento a seco	92
2.8.4	A pátina nas artes	92
2.9	A ARTE-EDUCAÇÃO DA CIÊNCIA DOS MATERIAIS	95
3	METODOLOGIA	99
3.1	MATERIAIS E ROTAS DE PATINIZAÇÃO	99
3.1.1	Rotas por Aquecimento a seco (AS)	100
3.1.2	Rotas por Aplicação direta (AD)	101
3.1.3	Rotas por Vaporização (VP)	103
3.1.4	Rotas por Imersão eletrolítica (IE)	104
3.2	CARACTERIZAÇÕES	105
3.2.1	Análise gravimétrica	105
3.2.2	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	106
3.2.3	Espectroscopia de energia dispersiva (EDS)	106
3.2.4	Difratometria de raios-X (DRX)	106
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	107
4.1	AQUECIMENTO A SECO.....	108
4.2	APLICAÇÃO DIRETA	110
4.3	APLICAÇÃO DIRETA EM CAMADAS	114
4.4	VAPORIZAÇÃO	119
4.5	IMERSÃO ELETROLÍTICA.....	124
4.6	RESULTADOS GRAVIMÉTRICOS	128
4.7	PARCERIA COM O PROJETO M.ARTE	129
4.8	SEQUENCIA DIDÁTICA	131
4.8.1	Móbiles inspirados pela obra do Alexander Calder	138
4.8.2	Esculturas abstratas inspiradas pela obra da Lygia Clark	139
4.8.3	Esculturas de arames	140
4.8.4	Quadro com chapas	141
4.8.5	Quadro com moedas	142
5	CONCLUSÕES	145

6	PERSPECTIVAS FUTURAS	147
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
	APÊNCICE A – SLIDES, EM AGRUPAMENTO, UTILIZADOS NO PRIMEIRO ENCONTRO DO MINICURSO “O FANTÁSTICO UNIVERSO DA CORROSÃO”	164
	APÊNCICE B – SLIDES, EM AGRUPAMENTO, UTILIZADOS NO SEGUNDO ENCONTRO DO MINICURSO “O FANTÁSTICO UNIVERSO DA CORROSÃO”	173

1 INTRODUÇÃO

A presença de diferentes materiais é bastante evidente e entrelaçada à história da humanidade, de modo a possuir grandes valores estéticos, históricos e culturais (Rich, 1988; Miodownik, 2015). Com isso, seus impactos são possíveis de serem percebidos em uma vasta gama de aspectos, inclusive nas expressões culturais.

Os materiais são utilizados como forma de externalizar ideias, concepções e inspirações dos artistas nas mais diferentes formas de arte, dentre elas a escultura. Este tipo de arte se apropria de todas as classes de materiais para ser construída, sendo o bronze, uma das ligas de cobre, o material mais utilizado, desde a antiguidade, para a construção de esculturas (Hurst, 2005; Zahner, 2020). Alguns exemplos de esculturas realizadas com o bronze podem ser vistos nas obras da Maria Martins e do Giacometti, dois grandes artistas que utilizaram deste material para compor grande parte do seu trabalho artístico (Rjeille, 2021; Wiesinger, 2012).

Um outro exemplo bastante significativo é a Estátua da Liberdade, produzida por Frédéric Auguste Bartholdi e inaugurada em 1886 em Nova Iorque nos Estados Unidos, é feita de cobre e passou por mudanças significativas de coloração devido a evolução da pátina (Kuntzleman *et al.*, 2020). Essas mudanças visíveis de coloração ocorrem após exposição a ambientes corrosivos. Nessas condições, o cobre e suas ligas tendem a formar um filme aderente e passivador de óxidos e outros produtos de corrosão, a pátina. Este filme pode ser funcionalizado para conferir diferentes aspectos visuais e táteis aos mais diversos tipos de esculturas (Harvey, Gallagher e Grady, 2022; Hughes e Rowe, 1983; Richard Hughes, 1993; Young, 1994).

Para além do uso prático dos materiais nos processos de criação artística, há uma inter-relação entre arte e ciência muito significativa. A arte se apresenta como uma ferramenta facilitadora importante para a compreensão dos fenômenos durante o método científico. Darby e Caterral (1994) realizaram estudos neurocientíficos e provaram, em sua pesquisa, que a arte desenvolve a capacidade de raciocinar sobre questões científicas, contribuindo na cognição do aprendiz. A ciência, por sua vez, permite conhecer as diferentes etapas da criação da arte. O encontro da arte com a ciência permite explicar de forma técnica a escolha de materiais e processos para produção de artefatos artísticos, fundamentando o processo de significação da arte, em detrimento de um processo de construção puramente empírico.

Paulo Freire (1996), patrono da educação brasileira, relata que: “Educar é impregnar de sentido o que fazemos a cada instante”, esse pensamento vai ao encontro do que se pode definir de método científico, o debater; descobrir; fazer; discutir; considerar e concluir. Um olhar mais atento revelará que há ciência em tudo, circundando e permeando a vida, e na arte não seria diferente.

A própria ciência dos materiais proporciona uma abordagem a partir de uma perspectiva diferente, que entrelaça o humano e o científico com a sua própria natureza material (Silva, Vélez e Colorado, 2017). Com isso, torna-se possível compreender as propriedades dos materiais, sua durabilidade, instabilidade química e suas possíveis aplicações na arte.

Um exemplo claro é o cobre e suas ligas, cujo processo de corrosão vem sendo utilizado para obtenção de diferentes cores e texturas, que podem ser aplicadas com cunho artístico, mas que, associado ao domínio técnico, permitem elucidar princípios físicos e químicos fundamentais, possibilitando a justificativa de propriedades específicas e consequente utilização de um material (SENAI-SP, 2012; Zahner, 2020). Desta forma, é possível compreender o que influencia na formação dessas cores ou até mesmo as diferenças entre cada liga metálica, e a importância de cada elemento de liga em sua composição, como o estanho para a formação do bronze (que irá atuar com um “lubrificante” em processos de fundição, trazendo a possibilidade de maior detalhamento em esculturas), entre outros (Callister e Rethwisch, 2016).

Entretanto, mesmo com tamanha importância da ciência, uma pesquisa global realizada pela Galloup em 2018, intitulada de “*Wellcome Global Monitor*” revelou que cerca de 35% dos brasileiros desconfiam da ciência e 25% acreditam que a produção científica não contribui com o país, ficando em 111^a entre os 144 países entrevistados (Borges, 2019). Uma mudança de cenário só é possível através de investimento em educação e ações de divulgação científica, duas fortes armas na luta contra a desinformação, negacionismo e pseudociências.

A difusão do conhecimento técnico-científico para fora dos muros da universidade deve ser um dever de todos os estudantes, em especial aos de ciência e tecnologia. Até mesmo dentro da universidade, entre cursos de áreas distintas, o compartilhamento de saberes possibilita a vivência de novas experiências e fornece perspectivas que, de outra maneira, não seriam desenvolvidas.

Tendo em vista os aspectos apresentados, a presente proposta visa desenvolver e sistematizar procedimentos de patinização do cobre através de uma abordagem multidisciplinar, que integre a ciência e engenharia de materiais com a arte. Este estudo tem como foco criar e desenvolver uma abordagem de ensino lúdica e contextualizada que possibilite, mediante a aplicação de transposição didática, compartilhar e construir novos conhecimentos sobre pátina junto a estudantes da educação básica, e do ensino superior, assim como apoiar a divulgação científica, em especial da ciência e engenharia dos materiais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver e sistematizar procedimentos de patinização, visando a sua aplicação como ferramenta de ensino-aprendizagem na educação básica e superior, por meio de uma abordagem contextualizada, multidisciplinar e integradora entre a Engenharia de Materiais e as Artes Plásticas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Promover a integração dos materiais com a arte, como forma de contextualização e alternativa motivadora para ensino interdisciplinar de ciência e engenharia de materiais nos ensinos médio e superior;
- Desenvolver e sistematizar métodos de patinização em cobre via rotas químicas e eletrolíticas, com base na literatura, visando a aplicação como metodologia em práticas experimentais de ensino;
- Analisar a cinética de formação das pátinas a partir de ensaios gravimétricos, microscópicos e composicionais;
- Avaliar e comparar as propriedades morfológicas, composicionais e colorimétricas das diferentes pátinas investigadas por meio de técnicas de Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) e Difração de Raios-X (DRX).

- Propor uma sequência didática (SD), para ensino de ciência utilizando a arte e a síntese de pátinas como ferramenta motivadora.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

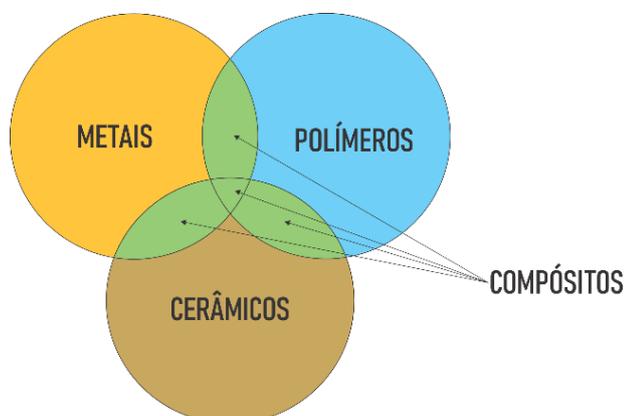
O domínio dos homens sobre os materiais teve um papel decisivo para a consolidação da vida como é conhecida hoje, servindo de suporte para a construção de ferramentas; utensílios; vestimentas; no avanço da tecnologia e para a expressão artística. A utilização dos materiais se dá através de algum tipo de processamento, sendo sua aplicação limitada pelas suas propriedades, sejam elas de disponibilidade; preço; facilidade de obtenção; mecânicas; térmicas; óticas; elétricas; magnéticas; entre outras.

Atualmente, estima-se que existam mais de 160 mil tipos de materiais diferentes (Ashby; Shercliff; Cebon, 2019). Bradley Fahlman os define como sendo:

Qualquer substância em estado sólido que possa ser usada para atender alguma necessidade social atual ou futura. [...] No entanto, substâncias líquidas, como petróleo bruto, ou compostos gasosos, como o propano, são mais apropriadamente consideradas como precursores de materiais (Fahlman, 2018, p. 1, tradução livre).

É possível classificar esses mais de 160 mil materiais de diversas maneiras. Existem classificações específicas e abrangentes, podendo partir de características como a natureza das ligações interatômicas; de alguma propriedade, como a condutividade; de sua estrutura, macro, micro ou nanométrica; e até mesmo de suas aplicações. Uma classificação abrangente bastante comum dos materiais é a disposta na Figura 1, segregando-os em metais, polímeros, cerâmicas e compósitos.

Figura 1 – Classificação dos materiais.



Fonte: O autor (2024).

Famílias adicionais, tais como: carbonáceos; semicondutores; biomateriais; nanomateriais; vidros; elastômeros; naturais e espumas, também são consideradas por outros autores e aparecem em classificações mais específicas. As famílias dos metais, polímeros e cerâmicas agrupam os materiais a partir da ligação interatômicas, enquanto os compósitos agrupam por sua estrutura (Callister e Rethwisch, 2016).

2.1 OS MATERIAIS

As descrições das características, ligações químicas, estruturas e propriedades gerais das famílias dos materiais, apresentadas anteriormente, serão tratadas nas próximas subseções.

2.1.1 Cerâmicos

O termo cerâmica tem sua origem em duas palavras gregas: *κεραμικός* (*keramikos*), que significa "de/para olaria"; e *κέραμος* (*keramos*), que significa "terra de oleiro, barro de oleiro" (Liddell e Scott, 1940). As cerâmicas possuem uma classificação mais complexa, em comparação com os metais e polímeros. Michel Barsoum (2020), professor da *Central Michigan University*, as define como sendo "Compostos sólidos que são formados pela aplicação de calor, e às vezes calor e pressão, compreendendo pelo menos dois elementos, desde que um deles seja um não metal ou um semimetal". Dentre o que se pode classificar como cerâmicas, estão todos os óxidos, nitretos, boretos, carbonetos e silicatos de todos os metais e metaloides.

A manipulação de cerâmicas pelo homem é muito antiga, datando desde o paleolítico, onde as pedras eram lascadas para serem moldadas, enquanto as primeiras peças de cerâmica conformadas datam o final do período neolítico. A demanda de manipulação foi aumentando à medida que os homens se estabeleciam em locais e necessitavam armazenar água. Com o barro à disposição e descobrindo a plasticidade que ele adquire ao estar hidratado, logo passou a ser utilizado como recipiente. Não se sabe dizer quando descobriram que o fogo endurece as peças de barro, entretanto este fato marca o início do processamento cerâmico pelos homens (Setz; Silva, 2019).

Os materiais cerâmicos possuem majoritariamente ligações iônicas, entretanto, devido à grande complexidade de sua estrutura também há a presença de ligações mistas, uma combinação de covalentes, iônicas e até mesmo metálicas. O arranjo atômico conta com a presença de átomos interconectados, não havendo a presença de moléculas discretas e a estrutura cristalina é influenciada por dois fatores: a magnitude da carga elétrica e o tamanho relativo dos cátions e ânions.

Quanto as suas características, de modo geral, as cerâmicas são duras; resistentes ao desgaste; não usináveis; frágeis, propensas a choques térmicos, refratárias, isolantes, não magnéticas; quimicamente estáveis e resistentes à oxidação (Barsoum, 2020; Carter e Norton, 2013; Pampuch, 2013).

2.1.2 Polímeros

São materiais compostos por macromoléculas, cadeias muito longas, formadas a partir de um bloco de construção, os monômeros. O prefixo “poli” vem do grego *πολύς* (*polus*, que significa muitos) e *μέρος* (*meros*, que significa parte). Os monômeros, na maioria dos casos, são ligados por meio de ligações covalentes, fortes e direcionais, formando uma única cadeia, constituída de unidades de repetição covalentemente ligadas (Callister e Rethwisch, 2016; Canevarolo Jr., 2006). A quantidade desses blocos de construção é chamada de grau de polimerização, e não há definição exata de sua magnitude. É necessário que seu valor seja suficientemente alto para que, com a adição de mais uma unidade de repetição, as propriedades físico-químicas não sejam significativamente alteradas (Koltzenburg, Maskos e Nuyken, 2017).

A ligação entre as cadeias é geralmente fraca e determina muitas de suas propriedades, como pontos de fusão mais baixos, maiores coeficientes de expansão térmica e uma menor rigidez do que a maioria dos metais e cerâmicas. Grande parte dos polímeros são baseados em carbono, podendo também estar ligados a outros elementos não metálicos, como o hidrogênio, nitrogênio, cloro e flúor.

Os polímeros possuem uma importância muito grande atualmente, alguns autores chegam a intitular a era atual como “era dos polímeros”, devido a abrangência do uso desse tipo de material, que se tornou no cotidiano e suporta uma grande quantidade de avanços recentes na ciência e tecnologia (Carraher Jr., 2017).

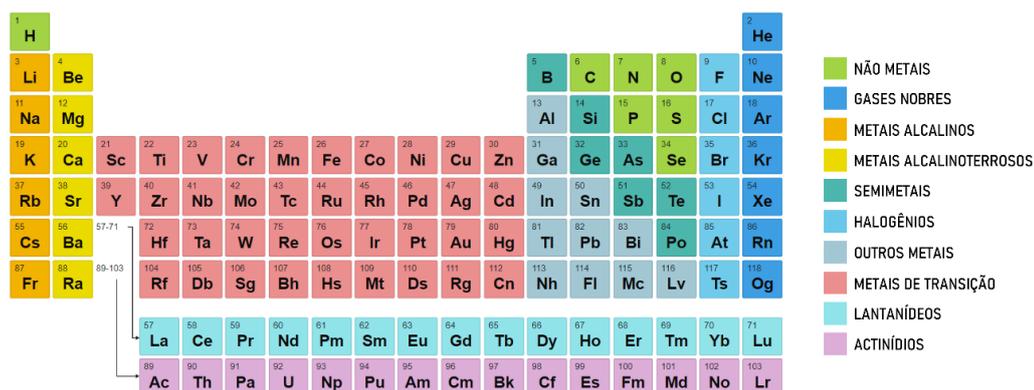
Apesar do contexto atual, os materiais poliméricos eram utilizados desde a antiguidade, pelos egípcios e romanos, ao carimbar e colar documentos com o uso de resinas e graxas extraídas de plantas. Já no século XVI, os espanhóis e portugueses tiveram contato com a resina da seringueira, que após coagulação e secagem, ganhava alta elasticidade e flexibilidade. Em 1839 Charles Goodyear descobriu o processo de vulcanização e ao aplicá-lo no látex removeu a pegajosidade e garantiu as características de elasticidade e durabilidade que é conhecida hoje nos produtos feitos à base de látex. Desde então, diversos cientistas contribuíram para a sintetização de polímeros, conferindo uma gama de propriedades e aumento de sua aplicação no cotidiano (Canevarolo Jr., 2006).

2.1.3 Metais

Os materiais metálicos podem se apresentar na forma pura, contendo um elemento metálico, ou na forma de ligas metálicas, na qual haverá uma combinação de elementos metálicos ou combinação de elementos metálicos com não metálicos. O aço, por exemplo, é uma liga metálica composta principalmente de Ferro (Fe) e Carbono (C), contando com a presença de outros metais como: cobalto, nióbio, cromo, molibdênio, manganês, cobre, dentre outros, e em muitos casos por pequenas porções de outros materiais não metálicos como o enxofre, fósforo, silício, nitrogênio e de intermetálico, como a cementita (Fe_3C). A presença desses elementos e carbonetos visam trazer propriedades adicionais ao aço, como aumentar a resistência ao desgaste, fadiga, corrosão, fluência (Silva e Mei, 2021).

O conjunto de elementos metálicos engloba os grupos da tabela periódica classificados como: a) metais de transição; b) metais alcalinos; c) metais alcalinoterrosos e d) outros metais. A Figura 2 mostra a tabela periódica com a marcação das classes de todos os elementos.

Figura 2 – Classes dos elementos na tabela periódica.



Fonte: Modificado de Batista (2022).

Cada classe possui características distintas. Uma breve descrição delas é apresentada em seguida:

- a) **Metais de transição:** O termo “transição” tem ligação com a organização dos elementos na tabela periódica, indicando que são os elementos entre a transição do grupo 2 ao 13. A IUPAC (2014) define os metais de transição como sendo os elementos cujo os átomos possuem um subnível d incompleto ou que possam vir a formar cátions com um subnível d incompleto. A Figura 3 apresenta uma seleção de imagens de alguns dos metais de transição.

Figura 3 – Metais de transição.



Fonte: Compilação do autor (2022)³.

- b) **Metais alcalinos:** São metais de baixa dureza e de coloração majoritariamente cinza-prateada, são extremamente reativos. Em contato com a água formam

³ Montada a partir de imagens dos elementos químicos coletadas no site periodictable.com.

hidróxidos, que são substâncias básicas ou alcalinas, por isso seu nome. Por oxidarem muito rapidamente, não são encontrados em natureza no estado livre (Atkins, Jones e Laverman, 2018). A Figura 4 ilustra os seis metais alcalinos existentes.

Figura 4 – Metais alcalinos.



Fonte: Compilação do autor (2022)⁴.

- c) Metais alcalinoterrosos: possuem esse nome porque seus óxidos, substância que eram chamadas pelos químicos do século XIX como “terra”, ao serem solubilizados em água formam soluções básicas. Não ocorrem livres naturalmente por serem muito reativos (Atkins; Jones; Laverman, 2018). Os metais alcalinoterrosos estão representados na Figura 5 abaixo.

Figura 5 – Metais alcalinoterrosos.



Fonte: Compilação do autor (2022)⁵.

- d) Outros metais (metais pós-transição): Estão entre os metais de transição e os semimetais. São metais dúcteis, de baixa resistência mecânica e baixo ponto de fusão. Possuem estrutura cristalina mais complexa e as ligações químicas são, em diversos níveis, tendenciosamente covalentes. Formam espécies aniônicas, como aluminatos, estanatos e bismutos (Contakes, 2022). Seis dos onze outros metais estão dispostos na Figura 6.

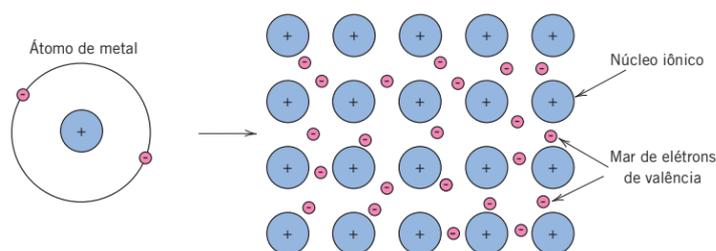
⁴ Montadas a partir de imagens dos elementos químicos coletadas nos sites periodictable.com e wikipedia.org.

⁵ Montadas a partir de imagens dos elementos químicos coletadas nos sites periodictable.com e wikipedia.org.

Figura 6 – Outros metais.

Fonte: Compilação do autor (2022)⁶.

As ligações químicas entre os átomos metálicos são chamadas de ligações metálicas, Figura 7. Nesse tipo de ligação, os elétrons de valência interagem fracamente com o núcleo dos átomos, gerando o que é chamado de elétrons deslocalizados ou mar de elétrons, onde eles se movem em todas as direções e são compartilhados pelos cátions com a mesma probabilidade. Nessa condição, os elétrons superam a repulsão mútua entre os núcleos, promovendo a junção através da atração eletrostática.

Figura 7 – Representação da ligação metálica.

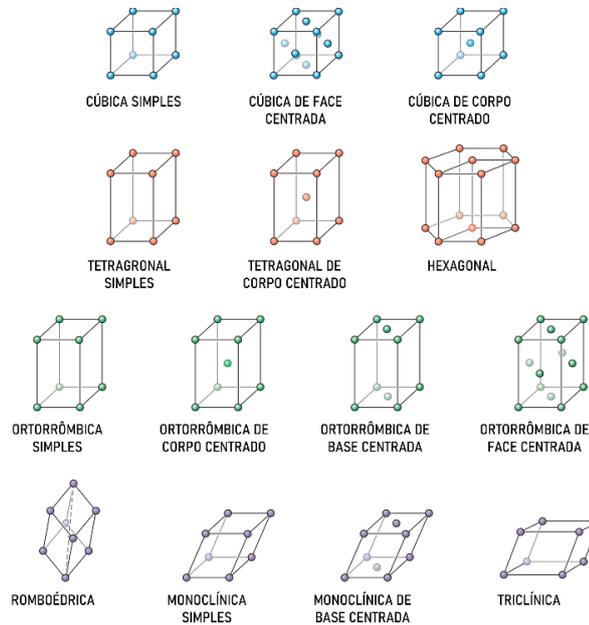
Fonte: Callister; Rethwisch (2016).

Os metais possuem estrutura cristalina, ou seja, os átomos apresentam ordenação de longo alcance (Callister e Rethwisch, 2016). O cristalógrafo francês Auguste Bravais classificou as quatorze maneiras possíveis dos átomos se organizarem tridimensionalmente, tornando-as conhecidas como redes de Bravais, Figura 8. Essas redes são teoricamente infinitas, sendo representadas a menor fração possível que ainda mantenha as características da estrutura, que é chamada de célula unitária. As quatorze redes de Bravais são agrupadas em sete sistemas cristalinos: a) cúbicos; b) tetragonais; c) ortorrômbicos; d) romboédricos; e) hexagonal, f) monoclinico e g) triclínico (Askeland; Wright, 2016). A maior parte dos elementos

⁶ Montadas a partir de imagens dos elementos químicos coletadas nos sites periodictable.com e wikipedia.org.

metálicos apresentam estrutura cristalina do tipo cúbica de face centrada, cúbica de corpo centrado ou hexagonal compacta.

Figura 8 – As redes de Bravais.

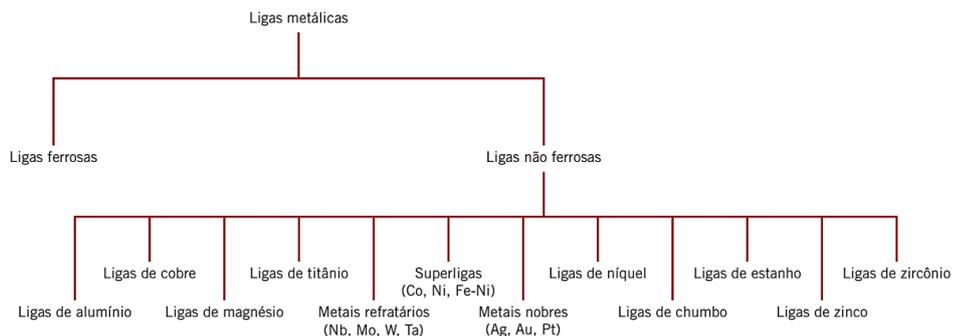


Fonte: Modificado de Askeland; Wright (2016).

Diversas propriedades desses materiais são consequência das ligações metálicas e/ou de sua estrutura atômica, como a condutividade elétrica e térmica, a aparência brilhante da superfície e opacidade à luz visível (Atkins, Jones e Laverman, 2018; Callister e Rethwisch, 2016).

Tradicionalmente, os materiais metálicos são classificados em ferrosos e não ferrosos. Devido à magnitude da importância econômica dos metais baseados no ferro, as ligas de ferro são usadas em quantidades superiores a todos outros metais combinados. Essa classificação é detalhada na Figura 9.

Figura 9 - Classificação dos materiais metálicos.



Fonte: Callister; Rethwisch (2016).

Comparado ao início da história metalúrgica, onde os países eram dependentes do que se tinha disponível em seus territórios ou nos vizinhos, atualmente, há uma grande facilidade na compra dos materiais de base para a metalurgia dessas diversas ligas. Esse tema será abordado mais profundamente no próximo tópico.

2.1.3.1 Disponibilidade natural dos metais e rotas de extração

Para um material ou composto ser estável, exposto em algum meio, ele deve possuir uma energia de formação dos produtos (entalpia) positiva. Estando o material exposto à atmosfera, que é rica em oxigênio, ela irá favorecer a formação de óxidos, oxidando-o, em materiais e compostos que possuem uma energia de formação negativa.

A espontaneidade da reação de formação é ditada pela energia livre de Gibbs, que é dependente da entalpia (ΔH), temperatura (T) e entropia (ΔS), como pode ser visto na Equação 1.

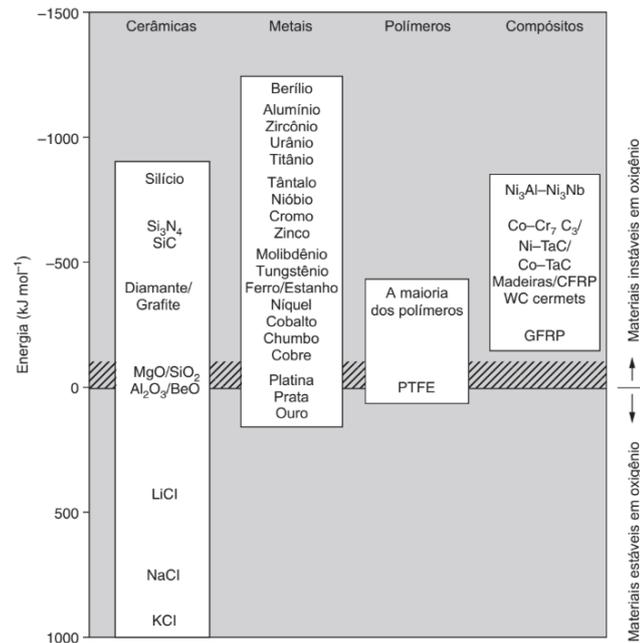
$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (01)$$

Supondo um sistema estável, tem-se duas possibilidades:

- Ele possui a entropia positiva, o que faz com que ele seja espontâneo apenas em altas temperaturas;
- Possui entropia negativa, indicando que a reação nunca será espontânea. Sendo assim, um material será estável, em um determinado meio, se ele tiver uma entalpia menor do que a do seu óxido (ou outro composto que seja possível ter a sua formação como produto de uma reação com o meio que está exposto), o que normalmente não ocorre.

A Figura 10 traz diversos materiais e suas respectivas energias de formação em oxigênio à 0° C. Dessa maneira, a maioria dos metais tenderão a reagir espontaneamente com líquidos e gases do ambiente em que estão inseridos, pois o conteúdo energético dos produtos dessas reações (óxidos, sulfetos...) é inferior ao do seu estado elementar. Esse fenômeno que ocorre nos metais é chamado de oxirredução.

Figura 10 – Energia de formação dos óxidos à 0 °C em oxigênio (O₂).

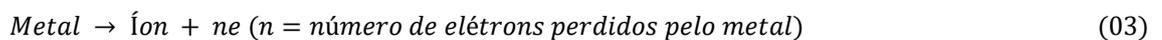


Fonte: Modificado de Jones; Ashby (2019)

A oxidação de um metal acaba se mostrando um processo inverso ao metalúrgico, fazendo com que o metal puro retorne ao seu minério de origem ou a alguma outra forma estável semelhante (Gentil e Carvalho, 2022), conforme Equação 2.



A oxidação de um metal implica um ganho de oxigênio, ou perda de elétrons, pela espécie química e sua equação geral pode ser descrita como:



A alteração do número de elétrons gera uma modificação das propriedades, no caso dos metais, uma perda do caráter metálico.

A disponibilidade dos metais, nativos e seus compostos originários, não é homogênea, já que a história natural do planeta terra favoreceu uma distribuição não uniforme dos elementos químicos na crosta, oceano e atmosfera, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Abundância relativa (em % peso) de alguns elementos químicos na crosta terrestre.

CROSTA		OCEANO		ATMOSFERA	
Elemento	Peso (%)	Elemento	Peso (%)	Elemento	Peso (%)
Oxigênio	47	Oxigênio	85	Nitrogênio	79
Silício	27	Hidrogênio	10	Oxigênio	19
Alumínio	8	Cloro	2	Argônio	2
Ferro	5	Sódio	1	Carbono (CO ₂)	0,04
Cálcio	4	Magnésio	0,1		
Sódio	3	Enxofre	0,1		
Potássio	3	Cálcio	0,04		
Magnésio	2	Potássio	0,04		
Titânio	0,4	Bromo	0,007		
Hidrogênio	0,1	Carbono	0,002		
Fosforo	0,1				
Manganês	0,1				
Flúor	0,06				
Bário	0,04				
Estrôncio	0,04				
Enxofre	0,03				
Carbono	0,02				

Fonte: Jones; Ashby (2019).

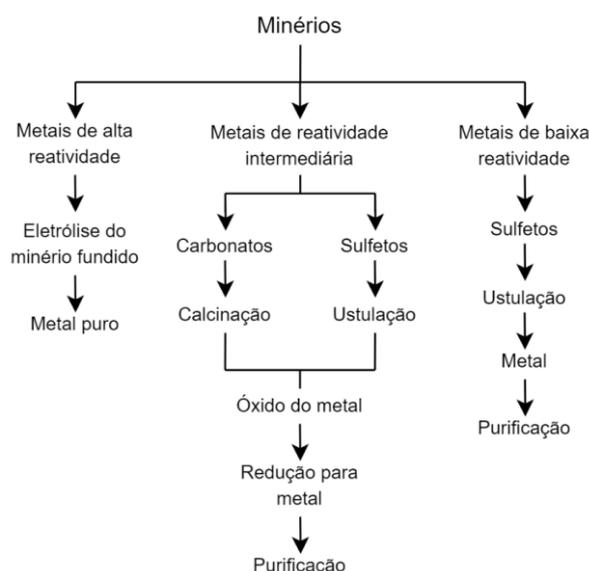
Os elementos mais abundantes na crosta terrestre são os formadores de rochas (silicatos, alumino-silicatos...), tais como: oxigênio; silício; alumínio; ferro; cálcio e sódio. É importante destacar que esta porcentagem é em peso, e não em volume. Sendo assim, o oxigênio, por exemplo está presente em 47% da crosta terrestre, mas como ele possui um átomo muito grande, ele ocupa 96% do volume da crosta. Os elementos metálicos muitas vezes se apresentam disponíveis na natureza na forma de minérios, tais como:

- **Minérios de Óxido:** os metais estão presentes de forma oxidada. É de relativa fácil extração. Ex.: minério de hematita (ferro) e minério de bauxita (alumínio);
- **Minérios de Sulfeto:** contém a presença de metais na forma de sulfetos. Apresenta uma extração mais difícil, sendo economicamente mais viável a transformação dos sulfetos em óxidos, como etapa adicional do processo. Ex.: Esfrelia (zinco) e Galena (chumbo);
- **Minérios de Carbonato:** íons carbonato estão presentes. De difícil extração, são convertidos em óxidos. Ex.: Calamina (zinco);
- **Minérios de Sulfato:** contém a presença de íons de enxofre e são encontrados geralmente no subsolo. Ex.: Anglesita (chumbo);

A extração dos metais de seus minérios se torna financeiramente viável devido as suas propriedades, que garantem aplicação em diversos segmentos, tais como:

indústria automobilística; construção de dispositivos eletrônicos; construção civil, fármacos, entre outras. O processo de extração dos metais de depósitos minerais naturais faz parte da metalurgia extrativa, e seu fluxo básico está disponível na Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma da extração dos metais.



Fonte: O autor (2022).

2.1.3.2 Propriedades dos materiais metálicos

A seleção dos materiais adequados para determinada aplicação é realizada baseando-se em suas propriedades, que podem ser agrupadas em classes. Uma classificação comum das propriedades dos metais está disponível na Tabela 2 abaixo. Muitas dessas propriedades podem ser modificadas pelos processos de fabricação ou através de tratamentos térmicos.

Tabela 2 - Classes de propriedades dos materiais.

CLASSE	PROPRIEDADE
Econômicas e ambientais	Preço e disponibilidade
	Reciclabilidade
	Pegada de carbono
Físicas e mecânicas	Densidade
	Módulo de elasticidade
	Dureza
	Tenacidade à fratura
	Resistência à fadiga
	Resistência à fluência

Térmicas	Condutividade térmica Calor específico Coeficiente de expansão térmica
Elétricas e magnéticas	Resistividade Constante dielétrica Permeabilidade magnética
Interação com o ambiente	Oxidação Corrosão Desgaste
Produção	Facilidade de produção União Acabamento
Estéticas	Cor Textura

Fonte: Jones; Ashby (2019).

2.1.3.3 O cobre e suas ligas

O cobre possui número atômico 29 (29 prótons e 29 elétrons) e massa atômica 63,54 u. Sólido à temperatura ambiente, bastante dúctil e maleável, tem a sua nomenclatura originária do latim *cuprum*, que significa ilha de Chipre (Cardarelli, 2018). Mais características do cobre estão disponíveis na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Ficha técnica do Cobre.

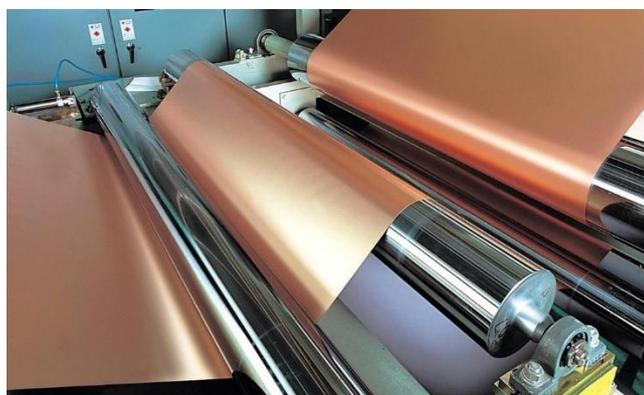
CARACTERÍSTICA	COBRE
Número atômico	29
Estrutura cristalina	Cúbica de face centrada
Principal fonte mineral	Calcopirita e Calcocita
Cor	Salmão avermelhado
Óxidos	Marrons e pretos
Densidade	8960 kg/m ³
Densidade relativa	8.8
Ponto de fusão	1083 °C
Condutividade térmica	401 W/m °C
Coeficiente de expansão linear	16 x 10 ⁻⁶ °C
Condutividade elétrica	100% IACS
Módulo de elasticidade	110 GPA
Acabamentos	<i>Mill specular e nonspecular Polished satin e mirror Glass bead</i>
Pátinas artificiais	Verdes, marrons, amarelos, vermelhos, pretos e suas combinações são possíveis em cobre e ligas de cobre; o desenvolvimento de pátinas químicas

	na superfície das ligas de cobre é mais efetivo do que em qualquer outro metal
Brilho metálico	O cobre absorve e reflete a extremidade vermelha do espectro visível; as ligas alteram essa reflexão emitindo comprimentos de onda amarelos junto com a extremidade vermelha do espectro visível
Reflectância do ultravioleta	Muito bom
do infravermelho	Pobre. O cobre absorve comprimentos de onda infravermelhos
Custo Relativo	Médio
Fortalecimento	O trabalho a frio é o principal método usado para endurecer o cobre e suas ligas
Reciclagem	Muito fácil de reciclar; cobre reciclado e ligas de cobre conservam um valor alto
Soldagem e união	Podem ser soldadas e brasadas
Fundição	São frequentemente fundidas em todas as técnicas de fundição
Chapeamento	Pode ser eletrodepositado
Decapagem e moagem	Pode ser decapado e moído

Fonte: Zahner (2020).

Uma distinção importante dele para os outros metais é a sua coloração, bastante avermelhada, Figura 12, e elevadas condutividades térmica e elétrica. Pode ser combinado com outros elementos, formando ligas como o bronze (Cu-Sn) e latão (Cu-Zn), conferindo propriedades mecânicas mais elevadas, já que o cobre puro é macio e dúctil, tornando-se muito difícil de ser trabalhado por alguns métodos, como a usinagem. Também tem uma importante aplicação como elemento de liga em outros sistemas, como o duralumínio (Al-Cu) e monel (Ni-Cu) (Barbosa, 2014; Callister; Rethwisch, 2016).

Figura 12 – Coloração do cobre comercialmente puro.



Fonte: Kang (2023).

A classificação adotada pela ASTM, advinda da *Copper Development Association* (CDA), divide as ligas de cobre em sete séries (Barbosa, 2014), conforme disposto na Tabela 4.

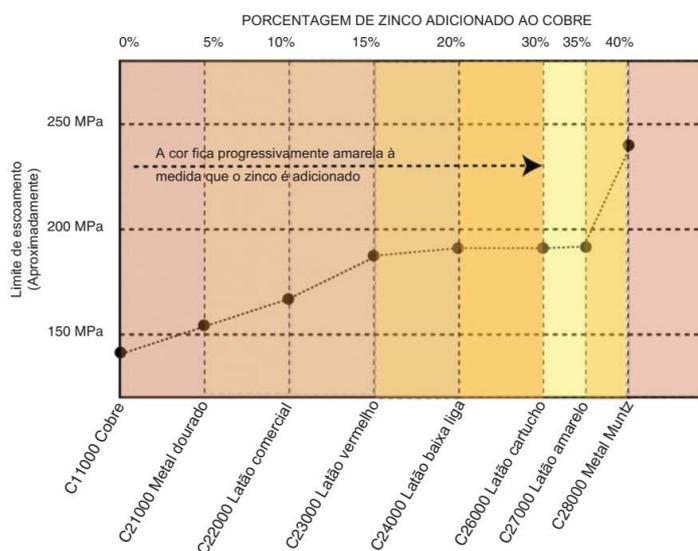
Tabela 4: Classificação das ligas de Cobre.

SÉRIE CDA/ASTM	TIPO DE LIGA
C1XX	Cobre comercialmente puro e cobre ligado
C2XX	Latão binário (cobre-zinco)
C3XX	Latão com chumbo (Cu-Zn-Pb)
C4XX	Latão com estanho (Cu-Zn-Sn)
C5XX	Bronzes (cobre-estanho, com e sem fósforo)
C6XX	Cobre-alumínio, cobre silício
C7XX	Cuproníquel e alpaca

Fonte: O autor (2022).

A adição de elementos de liga começa a influenciar na coloração a partir do momento em que há uma mudança na estrutura cristalina do material. O zinco, quando adicionado ao cobre fundido, se integra e forma uma única estrutura cristalina, ou fase, com o cobre. Até 35% de zinco, a liga resultante vai progressivamente se tornando mais amarelada, conforme a adição de zinco. Ao chegar em 35% de zinco, ocorre uma saturação e uma adição acima dessa porcentagem irá ocasionar uma mudança de fase, o amarelo perde intensidade e volta ao tom primário do latão, como pode ser visto na Figura 13, impedido de receber os átomos de zinco, ocorre o surgimento de duas fases, uma α (CFC) e β (CCC) (Callister e Rethwisch, 2016; Zahner, 2020).

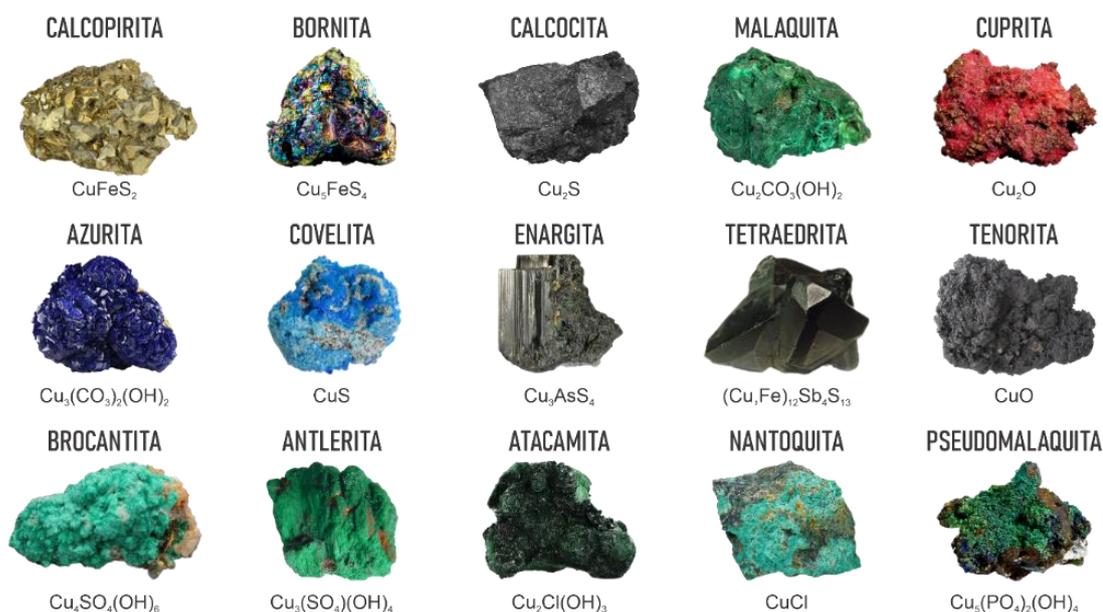
Figura 13 - Influência do zinco na coloração das ligas de cobre.



Fonte: Modificado de Zahner (2020).

O cobre, por não ser muito reativo, pode ser encontrado em estado livre, denominado nativo, na natureza. Entretanto, majoritariamente estará disponível na forma de óxidos, devido à abundância e reatividade do oxigênio, e sulfetos. As principais formas minerais do cobre estão descritas na Figura 14 abaixo. O processo siderúrgico para extração do cobre dos sulfetos é feito por concentração, fundição e refino; enquanto que para extração a partir dos óxidos é lixiviação, extração com solvente e eletroextração (Schlesinger et al., 2011).

Figura 14 – Principais formas minerais do cobre.



Fonte: O autor (2024).⁷

Para além das formas minerais, o cobre possui grande facilidade em formar diversos compostos estáveis, Figura 15, dentre eles, diversos óxidos; nitratos; cloretos; sulfatos; acetatos e citratos. Como explicado pela teoria do campo cristalino, nos compostos de cobre os orbitais d, onde estão localizados os elétrons de valência dos íons de cobre, possuem energias ligeiramente diferentes, o que justifica a grande diferença de cores possíveis para esses compostos (Brown *et al.*, 2016).

⁷ Montada a partir de imagens dos elementos químicos coletadas nos sites www.gemsociety.org, www.mindat.org, e-rocks.com e wikipedia.org.

Figura 15 – Compostos formados pelo cobre.



Fonte: Crystalmik (2021).

2.1.4 Compósitos

Compósitos são materiais formados por dois ou mais constituintes com propriedades físicas ou químicas distintas, os tornando multifásicos, em uma combinação complexa em nível micro, meso ou macro. São obtidos pela combinação de diferentes materiais com o objetivo de alcançar propriedades que os componentes individuais não alcançam. O surgimento desses materiais contribuiu significativamente para os equipamentos modernos, suportando avanços nas ciências e engenharias (Yi; Du; Zhang, 2018).

Dentro da estrutura do compósito há dois componentes, a matriz e o reforço. O reforço se apresenta disperso na fase contínua, que é a matriz, e deve manter as suas características após o processamento e/ou durante o serviço (Balasubramanian, 2014). A matriz é a responsável por distribuir as cargas para o reforço, contribuindo também com a forma; ductibilidade e tenacidade, além de proteger o reforço de eventuais danos químicos e físicos. Já o reforço é responsável por fornecer a maior parte da resistência mecânica do compósito.

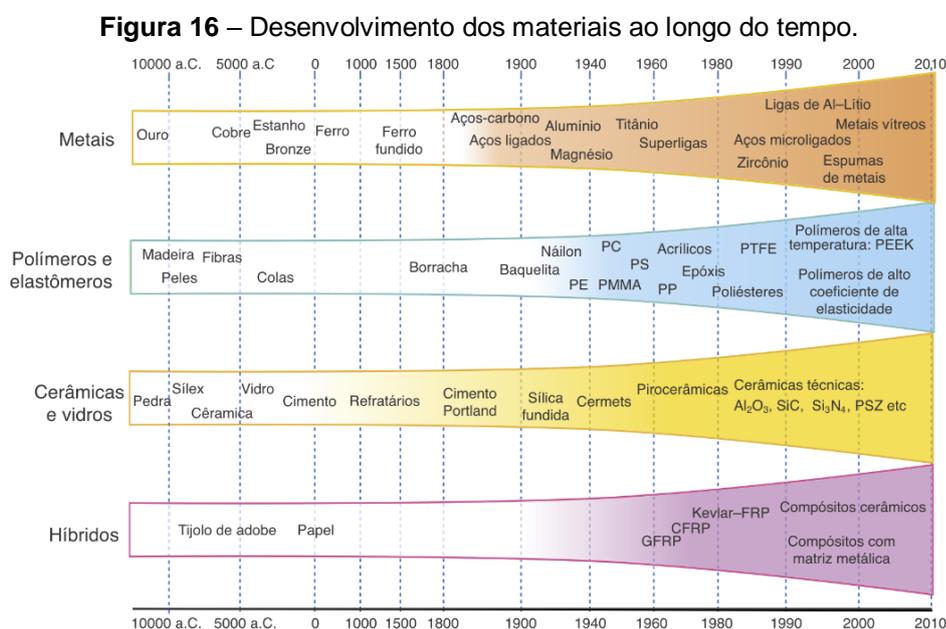
Considerando os compósitos naturais, a história dos compósitos se torna tão antiga quanto a vida na terra. Muitas plantas têm, em sua estrutura, a presença de fibras incorporadas para atender às propriedades necessárias à cada espécie, uma mecânica desenvolvida lentamente pela seleção natural. Pelas mãos humanas, os compósitos surgiram há 9000 anos com os israelenses, ao desenvolverem tijolos com argila e palha. Atualmente, um compósito extremamente presente é o concreto,

material formado pela combinação de cimento (matriz) com areia e cascalho (reforços). Durante a segunda guerra mundial houve o desenvolvimento do processo de fabricação de fibras de vidro, o que impulsionou fortemente o desenvolvimento dos materiais compósitos (Balasubramanian, 2014; Chung, 2010).

2.2 A EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS

No início, apenas os materiais naturais existiam, tais como: pedra, madeira, couro, fibras, ouro e argilominerais. Com o avanço no estudo dos materiais e de áreas como termoquímica, eletroquímica e química de polímeros, tornou-se possível desenvolver materiais sintéticos, feitos pelo homem, e com propriedades otimizadas.

Os materiais possuem um papel importante no desenvolvimento da tecnologia e na evolução da civilização. Com o avanço dessas áreas, a demanda por novas soluções, cada vez mais efetivas vão surgindo. A Figura 16 ilustra o surgimento exponencial dos materiais ao longo dos anos.



Fonte: Modificado de Ashby; Shercliff; Cebon (2019).

Novas tecnologias e aplicações severas requerem cada vez mais materiais avançados: alto desempenho; eficiência; confiabilidade e maximização da razão propriedade mecânica/densidade. De 1990 para os dias atuais, é possível notar o surgimento de diversos novos materiais que suportam tais aplicações: os compósitos de matriz cerâmica; grafeno, nanotubos de carbono; polímeros para altas

temperaturas e metais nanoestruturados. Esses novos materiais estão cada vez mais presentes e demonstram uma excelente combinação de propriedades, e características que permitem o seu uso em ambientes extremos, tais como: com temperaturas extremas; altas pressões e atmosfera corrosiva.

2.3 UM OLHAR HISTÓRICO NA EVOLUÇÃO DA HUMANIDADE

Diversas mentes e povos contribuíram para a noção contemporânea acerca dos materiais, desde a associação da nobreza de metais pelo povo grego até a utilização das classes de materiais para contar uma narrativa na história. A etimologia da palavra “Materiais” nos revela uma dessas contribuições, a do pensamento romano, ela remota a três palavras do latim: “*materialis*”, que significa relativo à matéria; “*materia*”, que é a substância de que algo é composto; e “*mater*”, que é mãe ou geradora (Origem da Palavra, 2022).

Estando presentes muito antes do surgimento dos homens, os materiais moldaram os costumes e a evolução como sociedade. A percepção moderna dessa importância iniciou em 1734, quando Nicolas Mahudel estabeleceu o sistema das três idades: Idade da pedra; bronze e ferro, como sequência cronológica válida da pré-história, se baseando nos avanços tecnológicos em armamentos e ferramentas (Trigger, 2006).

A consolidação deste conceito veio em 1837, com a publicação de um ensaio chamado “Breve perspectiva sobre monumentos e antiguidades do passado nórdico”, em tradução livre⁸, por Christian Jürgensen Thomsen, diretor do Museu Real de Antiguidades Nórdicas de Copenhague. A inspiração de Thomsen para o ensaio veio de sua experiência como curador da Comissão Real para a Preservação de Antiguidades, em 1816, que contava com uma coleção de pedras rúnicas e outros artefatos não classificados. A coleção foi transformada no acervo do Museu Real de Antiguidades Nórdicas, aberto ao público em 1819. A exposição foi organizada por materiais e funções, partindo de ferramentas de pedra de sílex e progredindo para ornamentos de ferro e ouro, contando uma narrativa visual da pré-história nórdica (Hirst, 2019). O ensaio causou forte impacto para a arqueologia e, após Thomsen, o sistema das três idades se tornou uma ferramenta analítica para a arqueologia, surtindo efeito até os dias de hoje (Eskildsen, 2012). Diversas outras pessoas

⁸ *Kortfattet Udsigt over Mindesmærker og Oldsager fra Nordens Fortid.*

colaboram de algum modo para a construção dessa narrativa da pré-história (Heizer, 1962), sendo os supracitados os que tiveram mais impacto em propagá-la.

A ideia de classificar a história antiga por materiais remonta à mitologia grega, onde o tempo dos homens era classificado em cinco eras, sendo elas: Ouro, Prata, Bronze, Heróis e Ferro. Entretanto, a conotação é completamente diferente: o sistema das três idades utiliza os materiais que os homens passaram a utilizar na construção de artefatos, que tiveram grande impacto social; enquanto na mitologia grega se utiliza da nobreza dos metais, de suas características, resistência química e inércia, como uma paródia para a degradação moral da sociedade.

Na condição de narrativa histórica o sistema das três idades é uma divisão extremamente limitante, não considerando outros fatores, tais como: alimentação, religião, linguagem e organização social. Todavia, revela uma evolução no uso dos materiais pelos homens e um olhar mais atento para o mundo que os cercavam com o passar do tempo.

2.3.1 Era dos homens: O uso dos materiais na mitologia grega

O que chegou aos dias atuais sobre as antigas tradições gregas vieram de uma diversidade de fontes, desde poemas a comentários dos sábios. As mais consideráveis das fontes são as eruditas, que compreendem tratados técnicos e obras literárias, como a dos dois principais escritores gregos: Homero e Hesíodo (Grimal, 2014). Na obra “Os Trabalhos e os dias”, em uma de suas histórias, Hesíodo narra sobre o que ele chamou ser a “Era dos homens”, onde conta a história dos homens desde o surgimento do mundo. Nela, ele classifica o tempo dos humanos no mundo a partir de Eras, como ilustrado na Figura 17, (Hesíodo, 1996).

Figura 17 - Era dos Homens.



Fonte: Compilação do autor (2022)⁹.

⁹ As pinturas representativas de cada era são, respectivamente:

CORTONA, Pietro da. [The Golden Age]. 1637. Pintura, Afresco.

ELDER, Lucas Cranach the. [The Silver Age]. 1516. Pintura, Óleo sobre madeira de carvalho.

POUSSIN, Nicolas. [The Abduction of the Sabine Women]. c. 1633. Pintura, Óleo sobre tela.

COYPEL, Charles-Antoine. [Fury of Achilles]. 1737. Pintura, Óleo sobre tela.

LITOVCHENKO, Alexander Dmitrievich. [Charon Carrying Souls Across the River Styx]. c. 1861. Pintura, Óleo sobre tela.

Cada Era possuiu uma dinâmica social distinta e os humanos possuíam raças diferentes para cada uma delas. Uma breve descrição sobre elas é apresentada a seguir (Parada, 1997):

- Era de Ouro: É a única Era sob domínio dos Titãs e durante esse tempo, Cronos governava. Os humanos, criados pelos imortais do Olimpo, viviam em harmonia entre os deuses. A terra fornecia comida em abundância, não havia dor ou envelhecimento para os homens, eles morriam pacificamente, com a aparência jovem, e permaneciam como espíritos na terra vivendo como guardiões. Os humanos viviam em paz;
- Era de Prata: Zeus enfrentou os Titãs e assumiu a liderança do mundo, dando início a Era de prata. Zeus enfatizava que os homens eram inferiores aos deuses, não permitindo mais a convivência dos homens entre eles. Diante disso, os humanos se recusavam a adorar os deuses, especialmente Zeus, que matou todos por represália. Os humanos mantinham as características da infância durante os primeiros cem anos de vida, apoiados por suas mães. Após esse tempo, viviam pouco como adultos, e começavam a lutar e matar uns aos outros. Ao morrerem iam para o submundo, se tornando espíritos abençoados;
- Era de Bronze: Os homens dessa Era foram criados por Zeus com o propósito e paixão pela guerra. O bronze estava presente em suas armaduras, ferramentas e casas. Só se alimentavam de carne e após a luta, continuavam se matando. Quando os homens da Era de bronze morriam, eles afundavam no Hades, os mortos não viviam como espíritos, mas moravam na “casa úmida de Hades”. O dilúvio de Deucalião pôs fim a esta Era;
- Era Heroica: Esta Era é a única que não recebeu o nome de um metal e não seguiu o padrão de degradação humana progressiva. Marcada pela presença de semideuses, os Heróis, foi a única Era a ser melhor do que a anterior. A Guerra de Troia foi travada durante esse período, e quando homens dessa raça morriam, iam para os campos elísios;
- Era de Ferro: Marca a separação entre Homens e Deuses. Os humanos viviam em um mundo de sofrimento, com muito trabalho manual e miséria. Não sentiam vergonha ou indignação com os erros, bebês nasciam com cabelos grisalhos e os deuses abandonaram completamente a humanidade. Nesta Era, os humanos eram motivados inteiramente pelo interesse próprio, contavam mentiras como

verdades, lutavam continuamente uns com os outros. Esta foi a Era contemporânea de Hesíodo e ele acreditava que eventualmente os deuses abandonariam a humanidade e ela se destruiria.

2.3.2 O pensamento romano

A cultura grega exerceu grande influência na produção cultural de diversos povos. Com a chegada do povo nômade ao centro da Itália, em meados do século VIII a.C., se iniciou a formação da religião romana, que teve como base as crenças dos povos itálicos e proto-indo-europeus. Entretanto, a fase final da formação da religião romana veio com o forte impacto da religião grega durante o período helenístico, quando Roma conquistou a Grécia, por volta do século I a.C.. Com isso houve uma ampla inspiração dos artistas das obras gregas e identificação dos deuses romanos com os antigos deuses gregos, fundamentando o pensamento romano. Ambas as mitologias, grega e romana, formam hoje o que chamamos de mitologia clássica (Bullen, 2010; Diana, 2022).

A mitologia grega olhava para a cronologia da pré-história através de uma ótica de degradação, uma metáfora moral através dos metais. O professor de literatura clássica Rowan Beye (1963) comenta sobre o poeta e filósofo romano Titus Lucretius Carus, afirmando que ele forneceu um novo ponto de vista para essa cronologia através do progresso, valorizando o crescimento individual e social dos humanos.

Os romanos acreditavam que os animais, incluso os humanos, foram gerados de forma espontânea a partir dos materiais. Na única obra conhecida do Lucretius, “De rerum natura”, ele demonstra sua visão sobre a formação dos materiais; disponibilidade na crosta terrestre; a possibilidade de processamento deles; a ideia de materiais de alguma forma mais nobres do que outros; surgem também conceitos que hoje conhecemos como dureza e ductibilidade já se mostram presentes de forma prática no entendimento do povo romano:

[...] as chamas ardentes tomaram / com um barulho terrível / as selvas até as raízes / fundas, e os fogos cozinharam a terra, de onde / emanavam por veias até os côncavos locos / rios ferventes que convergiam, de ouro e de prata, / e também de cobre e de chumbo. Depois, sobre a terra / quando sólidos, brilham com claro esplendor de suas cores, / e os homens, tomados por sua beleza brilhante, / os recolhiam e perceberam que tinham as formas / semelhantes às dos invólucros cavos da terra. / E os penetrou a ideia de que, com o calor, poderiam / liquefazê-los na forma que bem entendessem, em seguida / martelando podiam forjá-los em pontas agudas / tão afiadas quanto quisessem, em lâminas finas / [...] Não o faziam antes menos com

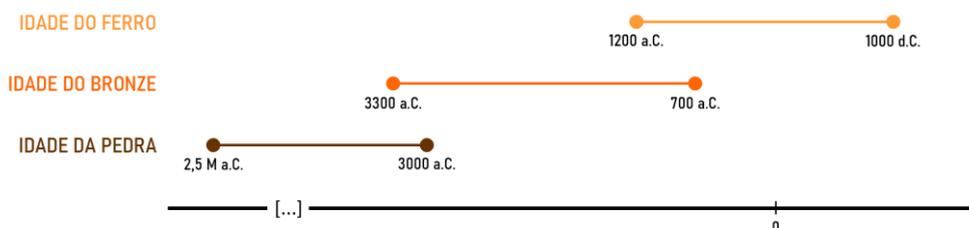
ouro ou com prata / do que com as violentas forças do cobre potente / mas, em vão, uma vez que cedia, vencida, sua força / incapaz de suportar o labor igualmente. / Cobre, então, era mais estimado, e o ouro jazia / desprezado por conta do inútil da lâmina cega. / Ouro é que se honra hoje em dia, e jaz o cobre em desprezo. / Dessa forma a época inverte o auge das coisas: / o que era apreciado se torna de honra nenhuma; / algo então o sucede, deixando o desprezo em que estava, / cada vez mais apetece, e, após divulgado, floresce, / ganha muitos louvores e honra admirável entre os homens. / [...] Posteriormente encontrou-se a força do ferro e do bronze, / o uso do bronze encontrou-se antes do uso do ferro / pois sua natureza é mais fácil e existe em maior abundância (Lucretius, 2021, Livro V.C, 1240-1290).

As diferentes fases do desenvolvimento humano são marcadas pela acumulação de costumes, dentre eles a utilização dos materiais. John Matthews Manly, professor emérito do departamento de clássicos da Universidade de Chicago, em seu livro "*Lucretius and the Modern World*", realiza uma descrição e estudo do poema, em que o classifica como crucial na reinvenção da ciência no século XVII. Matthews destaca a forte e difundida influência do poema no Iluminismo francês, que o fez ser um elemento importante no campo de batalha das guerras entre a religião e ciência na Inglaterra do século XIX (Johnson, 2000).

2.3.3 A era moderna

A percepção moderna da cronologia pré-histórica formou-se após a contribuição de várias mentes. O forte impacto de Thomsen permitiu que, até os dias atuais, a terminologia “sistema de três Idades” continuasse sendo aplicada dentro e fora da arqueologia. A Figura 18 mostra um intervalo sugerido para cada partição da pré-história.

Figura 18 – Sistema das três idades.



Fonte: O autor (2022).

É possível notar na figura acima, que o sistema não apresenta divisões precisas entre as Idades, há uma sobreposição entre elas. Isso é decorrente da ausência de uniformidade na evolução das regiões, cada povo evoluiu em um ritmo diferente,

havendo casos de regiões inteiras que não são representadas pelo sistema. A existência das Idades do bronze e ferro em alguma região prevê a existência da difusão de artefatos metálicos entre os membros da sociedade, o que dependia para além do domínio de técnicas, a disponibilidade dos minérios na crosta terrestre na localização de cada povo. Entretanto, alguns povos conseguiam os metais através de trocas com povos vizinhos.

A sucessão de eventos que narra os acontecimentos em uma civilização, não se aplica, necessariamente, a outra. Como exemplo de região que não se encaixa no sistema tripartido, tem-se algumas localidades do continente africano. O arqueólogo britânico John Desmond Clark afirma que o sistema das três idades não tem nenhuma validade na África fora do vale do Nilo e, em alguns povos, existe a proposta da existência de uma Idade intermediária entre a Idade do bronze e do ferro, a Idade do cobre. É notório que cada sociedade tem um percurso único no seu desenvolvimento.

Desde o século 19, surgiram diversas críticas e contestações sobre o sistema de três Idades. Dentre elas: a) Connah, que descreve o sistema como epocalista, afirmando “Seus apologistas afirmam que eles o mantêm apenas para fornecer um conjunto útil de rótulos para períodos passados, aparentemente esquecendo que nomenclaturas influenciam o modo como pensamos sobre elas” (Connah, 2010); b) Rowlands, que argumenta que o sistema é demasiadamente simplificado, uma divisão das sociedades em épocas, com base na presunção de um único conjunto de mudanças, não é algo realista (Kristiansen; Rowlands, 1998); c) Browman, que afirma que o Modelo das três idades foi projetado se baseando nos dados que se tinham na época sobre a Europa e Ásia ocidental. Mesmo assim, os arqueólogos os usaram deliberadamente para explicar o desenvolvimento humano em outras regiões do mundo, demonstrando uma visão extremamente eurocêntrica (Browman e Williams, 2002).

Ao longo do tempo, os povos pré-históricos desenvolveram a habilidade de produzir armas, ferramentas e objetos diversos com uma gama de materiais. Na Figura 19 são mostrados alguns artefatos produzidos por povos diversos ao longo das eras.

Figura 19 – Artefatos produzidos pelos homens ao longo das eras.



Fonte: Compilação do autor (2022)¹⁰.

Na cronologia tem-se a utilização de pedra para a produção de artefato, inicialmente lascada e posteriormente polida. Em seguida já há a utilização de materiais metálicos, sendo o bronze o inicial e em seguida o ferro.

2.4 O SISTEMA DAS TRÊS IDADES

Apesar das problemáticas associadas ao sistema das três Idades, ele será utilizado no presente trabalho, não para contar uma narrativa de história dos povos antigos, mas sim para demonstrar um olhar mais atento aos materiais que os rodeavam, e a busca por novos processos, cada vez mais complexos, para a construção de ferramentas e artefatos, facilitando futuras discussões.

2.4.1 Idade da pedra

Essa Idade compreende um recorte bastante longo da pré-história, marcada por muita transformação, desde adaptação à natureza até a busca por formas de sustento. Ela costuma ser dividida em dois períodos, Paleolítico e Neolítico.

O Paleolítico marca o primeiro período da pré-história, onde os homens eram nômades, já que tinham uma constante busca por alimento, viviam da caça, pesca e

¹⁰ As figuras da Machadinha de Olduvai, Estatueta dos amantes e do Vaso ritualístico foram obtidas no livro "História do mundo em 100 objetos" (MacGregor, 2013); A lâmina de punhal faz parte do acervo do Metropolitan Museum of Art (2022); O Espeto da tumba é do acervo do British Museum (1999) e o Capacete de uma imagem postada pelo usuário @pressapochista na rede social Flickr (2006).

coleta de frutos. Dois marcos importantes deste período foram o início do domínio sobre o fogo (usado para a defesa contra os animais, cozinhar, iluminação) e o desenvolvimento da cultura, que inclui a produção artística. As ferramentas produzidas no paleolítico eram, em geral, obtidas produzindo uma ponta fina em rochas, através do choque entre as pedras, removendo lascas. A fabricação de artefatos, ferramentas e manifestações artísticas, são o que difere o Homem dos outros animais, suprimindo a necessidade de produzir continuamente sua própria existência, adaptando a natureza a si (Saviani, 2015).

A noção de Cultura é algo complexo e nunca foi unânime, sendo bastante contestado dentro da antropologia contemporânea. Há uma tendência na ligação de cultura com o conceito mais erudito, ligando-a as artes, as manifestações culturais de prestígio, conceituando-a como “supremacia intelectual”, segregando o que seria “primitivo”; “racional” e “irracional”; “alfabetizado” e “analfabeto”, existem diversas definições de cultura, cada uma valorizando um aspecto em específico. Duranti (1997) realizou um sumário de seis teorias do que seria cultura:

- 1ª. Cultura como distinção da natureza: Tudo aquilo que o ser humano aprende e produz. Essas experiências são passadas para os descendentes, muitas vezes na forma de interação face a face e, é claro, por meio da comunicação linguística;
- 2ª. Cultura como conhecimento: Síntese dos conhecimentos compartilhados pela sociedade, certos padrões de pensamento, formas de entender o mundo, fazer inferências e previsões. Conferindo a formação de uma ótica pelo qual os indivíduos olham o mundo;
- 3ª. Cultura como comunicação: É uma maneira de representar o mundo e de entendê-lo, uma forma de dar sentido à realidade objetivando-a em histórias, mitos, descrições, teorias, provérbios, produtos artísticos e performances;
- 4ª. Cultura como sistema de mediação: Mediador entre o ser humano e seus afazeres, objetos que se interpõem entre o usuário e o objeto de seu trabalho;
- 5ª. Cultura como sistema de práticas: Sistema de práticas mediadas pelas relações sociais;
- 6ª. Cultura como sistema de participação: Todas as ações humanas então inseridas no contexto social, qualquer ação no mundo, incluindo a comunicação verbal, tem uma qualidade inerentemente social, coletiva e participativa.

No período neolítico, o Homem começou a sair das cavernas, deixando de ser nômade e iniciando a agricultura. Dessa maneira, foi estabelecido um estilo de vida

baseado em aldeias, cada vez mais habitadas à medida que ocorria a generalização da agricultura. As técnicas e ferramentas desenvolvidas foram aprimoradas, recebendo polimentos e prendendo as pedras em ossos e chifres, melhorando a ergonomia. A produção artística deste período contava com traços mais realísticos, enquanto as do paleolítico contava com traços mais abstratos (Stokstad e Cothren, 2018).

A arte desenvolvida na pré-história é marcada por esculturas e por pinturas em paredes de cavernas, geralmente representando cenas do convívio em sociedade, práticas de caça e rituais religiosos através do uso de diferentes técnicas. Para realizar as pinturas eram utilizados pigmentos vindos de diversas fontes naturais, tais como o carvão; argilas e minerais diversos. Os tons avermelhados eram obtidos com o óxido de ferro, os brancos com o caulim, e o óxido de manganês fornecia os tons pretos. Como veículo para esses pigmentos se presume o uso de sangue, excrementos, gordura animais, ceras, resinas vegetais, ovos e saliva (Mello e Suarez, 2012). A Figura 20 traz algumas das artes produzidas nas paredes das cavernas utilizando esses pigmentos.

Figura 20 – Arte pré-histórica.



a) Parque Nacional Serra da Capivara
Brasil, c. 20000 AP



b) Caverna de Lascaux
França, c. 15000 AP



c) Estepe Maasai do Grande Vale do Rифte
Tanzânia, c. 25000 AP



d) Caverna das mãos
Argentina, c. 9000 AP

Fonte: Compilação do autor (2022)¹¹

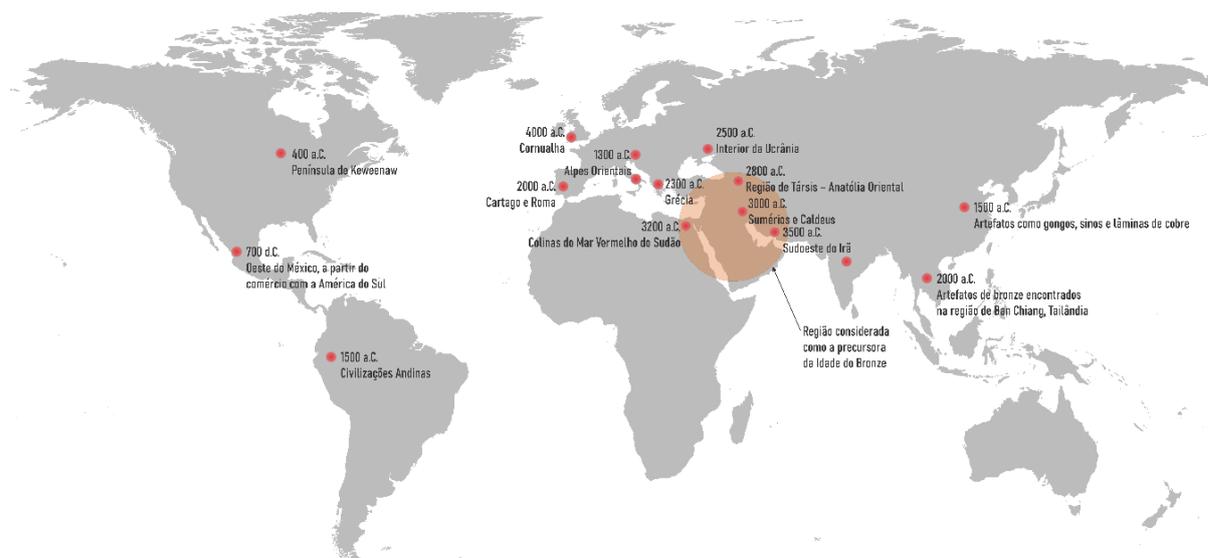
¹¹ As imagens 20.a e 20.b foram obtidas nas respectivas páginas sobre os sítios arqueológicos em pt.wikipedia.org. Enquanto que a 20.c foi obtida em John-davis (2014) e 20.d em Terra Adentro (2015).

O fim da idade de pedra se dá com o domínio dos Homens sobre os metais, com o advento da metalurgia, utilizando-a para a construção de ferramentas, armas e adornos.

2.4.2 Idade do bronze

É a idade subsequente à Idade da pedra. Ela contempla as culturas que desenvolveram a habilidade de fundir seu próprio cobre para a obtenção do bronze, ou que o obtinham através de extensivas trocas com sociedades vizinhas, promovendo as interações comerciais e culturais desse período, a ponto de utilizarem em grandes proporções artefatos feitos com o metal, até mesmo substituindo a pedra em diversas aplicações. Os períodos e localizações de grande utilização do cobre estão demarcados na Figura 21.

Figura 21 – Períodos aproximados de grande utilização do cobre nos tempos antigos.

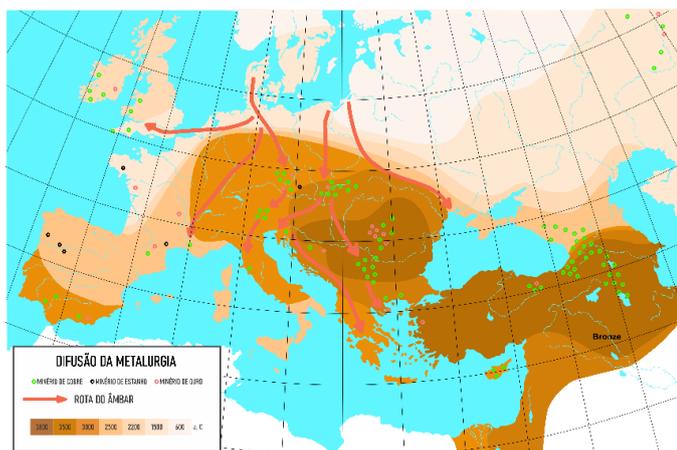


Fonte: Modificado de Zahner (2020).

O bronze é uma liga metálica à base de cobre e para sua produção é necessário adicionar o estanho fundido, metal ainda mais raro do que o cobre, obtido principalmente da cassiterita, ao cobre fundido. Outros elementos de liga, além do estanho, podem ser adicionados, sendo eles: arsênico, alumínio, silício ou fósforo (Radivojević *et al.*, 2013). Um mapa representativo da difusão da metalurgia na Europa e Anatólia pode ser consultado na Figura 22. O estanho é um elemento relativamente raro na crosta terrestre, estando disponível em uma fração de duas

partes por milhão (ppm), comparado ao ferro com 50.000 ppm, cobre com 70 ppm, chumbo com 16 ppm, prata com 0,1 ppm e ouro com 0,005 ppm (Valera e Valera, 2003).

Figura 22 – Difusão da metalurgia e presença de minérios na Europa e Anatólia.



Fonte: Modificado de (Wikimedia Commons, 2015).

As culturas que começaram a utilizar o bronze passaram a aproveitar de grande vantagem tecnológica, pois o bronze era mais duro que os outros metais comumente disponíveis nessa época. A Figura 23 mostra um espelho em bronze utilizado no Egito, sendo possivelmente uma representação da deusa Hathor, a personificação do amor e da beleza. Quando produzido, o espelho foi polido até adquirir o devido brilho, a pátina visível na imagem é o resultado da oxidação após anos enterrado.

Figura 23 – Espelho de Cariátide, c. 1540–1296 a.C.



Fonte: (Cleveland Museum of Art, 2005).

Na idade da pedra os metais eram algo raro, só estava disponível o que se tinha com ocorrência natural, o cobre e ouro. Atualmente, sabe-se que platina e prata também ocorreram naturalmente, mas os outros metais precisariam ser extraídos dos minérios. Apesar disso, o ferro também estava disponível, vindo dos meteoritos, então estava presente em quantidades ainda menores (Tylecote, 1992).

O uso do ferro chegou em algumas localidades, já que é naturalmente abundante na superfície terrestre em forma de minério. Entretanto, a sua utilização apresenta maior grau de dificuldade, o que limitou a propagação do seu uso. Os fornos disponíveis nesse período possuíam uma limitação de temperatura, o que também foi um fator limitante para o uso do ferro, pois sua temperatura de fusão é de 1530°C, enquanto a temperatura de fusão do estanho e cobre 232 °C e 1085°C, respectivamente (Callister; Rethwisch, 2016).

As sociedades que conseguiram dominar os processos de fundição e produção de artefatos com ferro, e em alguns casos, dominarem a produção do aço, conseguiram prosperar, como é o caso do império romano.

2.4.3 Idade do ferro

A idade do ferro se inicia quando a produção de ferro, ocasionalmente o aço, tomou proporções suficientes para substituir o bronze. A produção do aço era envolta de misticismos, o que levava a processos extremamente complexos, passados de pai para filho. Hoje sabe-se que o carbono presente no carvão difunde intersticialmente pela estrutura cristalina do ferro. Quando teores muito altos de carbono penetram, produz-se um aço bastante duro e frágil, o que não acontecia com teores menores de carbono. O controle dessa difusão era feito de forma visual ou sonora, exigindo bastante experiência dos operadores.

No Japão, o ritual de preparação do aço para as espadas dos samurais, como a da Figura 24, durava semanas e envolvia algumas dezenas de pessoas vigiando constantemente o forno. Durante o xogunato Kamakura (1185–1333), eles conseguiram desenvolver um aço que atualmente é conhecido como tamahagane. Antes do advento da metalurgia como ciência, nenhuma outra sociedade conseguia produzir aços de melhor qualidade do que o Japão. Um grande feito atingido por eles foi conseguir distinguir um aço de alto carbono de um de baixo carbono, e utilizar o aço de baixo carbono no núcleo das lâminas de espadas e o aço de alto carbono na

ponta da lâmina. Assim eles conseguiam otimizar as propriedades das espadas, estando sempre afiadas mesmo ao golpear armaduras e absorver golpes de espadas e outras armas sem se quebrar. Essa característica rendeu as espadas dos samurais muitas histórias envolvendo crenças e misticismos (Miodownik, 2015; Nagayama, 1997).

Figura 24 – Espada Tachi, “Okadagiri” Yoshifusa.



Fonte: (Wikimedia Commons, 2020).

A Idade do Ferro é finalizada, também por convenção, com o início do registro historiográfico. Ao longo dessas Eras pode-se constatar o avanço do homem na utilização dos materiais na construção de ferramentas, artefatos e também nas produções artísticas. Até os dias atuais, os artistas seguem na busca de novos suportes e técnicas para suas artes, que possam contribuir com uma nova perspectiva ao seu trabalho.

2.5 MATERIAIS: O VEÍCULO DA ARTE

Uma ideia, sentimento ou perspectiva requer a existência de algum tipo de suporte para a sua transposição para o mundo real, e quando se fala em “existência física”, esse suporte é necessariamente material, ou seja, físico. É possível extrapolar esse pensamento até mesmo quando se fala de uma transposição para o mundo digital, afinal, a produção dessa “existência digital” requer algum equipamento ou acessório que pode limitar, induzir ou facilitar a sua existência. É dessa perspectiva que surge a união entre a arte e os materiais.

Quando um artista faz a escolha do meio (estrutura), mídia (materiais e ferramentas) e técnicas (métodos de uso da mídia), dá-se início ao impacto dos materiais na produção artística. Não diferente da própria evolução do uso dos

materiais pelos homens na construção de artefatos, os artistas, com o passar do tempo, foram utilizando uma gama cada vez maior de materiais, inicialmente quase que em totalidade o uso de bronze, mármore, terracota e madeira para a confecção de esculturas.

O artista, muitas vezes, olha o bruto veículo de sua arte e dali, das características e personalidade do material, enxerga a sua futura obra, retirando o que lhe é excessivo. Um exemplo é o artista italiano Michelangelo, seus biógrafos contam que ele pedia para um de seus ajudantes buscar suas estátuas entre as pedras, revelando essa visão de conseguir enxergar sua obra no material bruto. Esse tipo de visão não é incomum, e se repete com os artistas populares do Brasil. Um exemplo é o Véio (Cícero Alves dos Santos) que afirma sobre os materiais utilizados na confecção das suas obras “A árvore escolhida já se encontra morta [se referindo as madeiras já dispostas pela natureza], sendo sua tarefa como artesão dar-lhe vida” (Santos, 2019, comentário próprio).

Mas o que seria a arte? A arte pode ser definida por uma multiplicidade de argumentos, desde habilidades criativas como arquitetura, desenho, escultura, pintura, escrita, música, dança, teatro e cinema, em suas variadas combinações; aos produtos dessas habilidades, com suas estruturas intencionais (formas físicas), percepção incomum e intuição criativa para expressar emoções e ideias. Por mais que o termo seja extremamente abrangente, é possível fazer uma definição generalista, que pode representar parcialmente a compreensão do que arte, sendo ela uma atividade humana ligada a manifestações de ordem estética ou comunicativa (Oliveira, 2014).

Robert Ocvirk e colaboradores (2013) realizaram um sumário de diversas opiniões sobre os propósitos e qualificações da arte por vários filósofos ao longo dos anos, citados a seguir:

- Cheney: Expressão formal [estruturada] de uma imagem concebida em termos de um determinado meio;
- Longman: a criação de uma forma produzida pela cooperação de todas as faculdades da mente;
- Bell: Forma significativa;
- Burke: Eloquência;
- Fry: Inevitabilidade inesperada de relações formais;

- Mather: Uma multiplicidade unificada que dá prazer;
- Lostowel: Um diagrama ou paradigma com um significado que dá prazer;
- Tomás de Aquino: Aquilo que dá prazer além do desejo;
- Santayana: Prazer objetivado;

Adicionam ainda duas perspectivas: Imitação (reflexo da vida ou outras ideias) e Propaganda (ênfase na comunicação e não na expressão, implicando um esforço para influenciar a conduta).

É notória a frequente presença da palavra “prazer” nas opiniões dos filósofos. A arte está sempre ligada com o despertar de alguma emoção, não necessariamente boa, em quem a está consumindo. Essas emoções estão ligadas ao limiar de cada espectador, das definições, experiências e produtos sociais do que é belo e feio (Suassuna, 2012).

Outra questão associada à definição de Arte é que, ao colocar toda uma produção cultural de milênios sob um termo que sequer se aplica a muitas culturas ou épocas, a concepção e intenção de muitas dessas produções pode não ser representada. As coisas não nascem nomeadas, a nomeação faz parte de um esforço de se encaixar tudo em definições, que são impostas e limitantes. Acerca da visão das sociedades sobre a produção artística Cynthia Freeland fala que:

[...] Os povos tribais antigos e modernos não distinguiam a arte de um artefato ou ritual. Os cristões da Europa medieval não faziam "arte" como tal, mas tentavam emular e celebrar a beleza de Deus. Na estética japonesa clássica, a arte pode incluir coisas inesperadas pelos ocidentais modernos, como um jardim, uma espada, um pergaminho com caligrafia ou uma cerimônia de chá (Freeland, 2019).

Para além de despertar sensações em quem a consome e instigar artistas, a arte tem uma importância social e identidade cultural, que fica explícita ao analisar-se o conjunto de produção artística por região em algum intervalo de tempo. Isso porque a expressão artística é a forma que o Homem encontra para representar o seu meio social, interpretando sua própria natureza, se descobrindo, inventando e figurando (Biesdorf e Wandscheer, 2011).

2.6 ARTE: CONCEPÇÃO, FUNÇÃO, OBJETIVOS E IMPORTÂNCIA

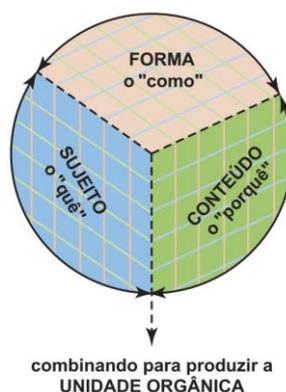
Pode-se interpretar a arte como uma dimensão da vida humana, com forte ligação social e histórica. Toda essa bagagem é o patrimônio que foi elaborado pela própria humanidade (Rossi, 2018). Em uma via de mão dupla, a arte permite acesso a esse patrimônio ao mesmo tempo que possibilita a sua ampliação.

A arte é capaz de reinserir pessoas na sociedade; ampliar horizontes; estimular a percepção; sensibilidade; cognição; expressão e criatividade. Esta é a força da arte e sua função social. A arte também possui uma função ambiental, de alfabetização estética, que permite organizar formas, luzes e cores (Planejativo, 2021). Ambas as funções apresentadas têm o foco no Homem, seja o consumidor ou o artista. Aranha e Martins (1992) abordam sobre a arte enquanto objeto de análise que possibilita uma experiência estética por seus valores intrínsecos, enquadrando-a em funções diferentes, a depender do tipo e interesse, sendo elas:

- Função pragmática: A arte serve como meio para se alcançar um fim não-artístico, não sendo valorizada por si mesma, mas só pela sua finalidade;
- Função naturalista: O interesse está mais voltado para o conteúdo da obra do que para seu modo de apresentação;
- Função formalista: Visa a forma de apresentação da obra, forma essa que contribui decisivamente para o significado da obra de arte.

Dessa maneira, podem ser destacados três componentes indissociáveis da arte: tema; forma e conteúdo. São mutualmente interativos e interrelacionados, como um organismo vivo, uma unidade orgânica, Figura 25.

Figura 25 – Unidade orgânica da arte.



Modificada de: Ocvirk et al. (2013)

Para ilustrar essa relação Robert Ocvirk e colaboradores (2013) trazem o seguinte exemplo:

[...] Qualquer um desses componentes pode ser o ponto de partida para um trabalho. Por exemplo, a inspiração para uma obra pode começar após a observação de um objeto (tema), que pode despertar sentimentos apaixonados no artista (conteúdo) e dar origem à composição em desenvolvimento (forma). Ou pode começar com a manipulação lúdica de um artista de formas e cores em uma tela (forma), que sugere um sentimento ou emoção a ser desenvolvida (conteúdo) e eventualmente se torna uma imagem (sujeito). A tristeza ou paixão pessoal de um artista por uma questão social (conteúdo) também pode ser a ideia inicial que se expressa através de escolhas de cores (forma) e resulta em um padrão de marcas não objetivas (sujeito). Qualquer que seja a evolução, progressão ou ênfase dos componentes – assunto, forma e conteúdo – a unidade orgânica é o fim desejado.

O Brasil possui uma tradição artística gigante, com centros locais de produção espalhados por todo seu território. O maior centro de artes figurativas das Américas fica localizado em Caruaru, no bairro do Alto do Moura, no estado de Pernambuco (Araújo, 2009). Nessa região a produção é voltada para a modelagem da terracota, a argila vermelha, popularmente chamado de barro, que era originalmente retirado do leito do rio Ipojuca.

Grande parte da produção artística local é enquadrada como “Arte popular”, e por vezes de “Artesanato”, termo que implica no conhecimento de materiais e seu manuseio hábil. A definição de arte popular é complexa, e ao redor do mundo há uma extensa alternativa de propostas para denominá-la, tais como: *art brut*, *outsider art*, *arte naïf*, arte virgem, *self-taught art*, arte marginal, arte limiar e design espontâneo (Eid e Monte-Mór, 2018). O que não dá para negar é que a arte popular está nas raízes da cultura nacional. Santos (2013) pontua que o caráter popular da arte está interligado as etapas do processo artístico: “resultado de como, dentro de um processo artístico, se realiza a produção, a distribuição e o consumo, além da participação ou exclusão nesse processo dos distintos segmentos sociais”. O verbete “Arte popular” no Dicionário Manuel Querino de arte na Bahia, consta que:

A arte popular pode ser definida como a arte não acadêmica produzida pela classe de trabalhadores ou por artistas que representam os seus interesses, volta-se para um consumo não mercantil, pois sua produção está subordinada às funções utilitárias e rituais dos objetos que criam, com o objetivo de atender as necessidades coletivas da comunidade da qual esses artistas fazem parte. Os temas geralmente giram em torno da vida cotidiana, como os costumes, as crenças e a religiosidade popular (Freire e Hernandez, 2014).

Os artistas populares produzem uma obra livre das amarras da academia, por vezes abstrata e evocativa (nas obras cruas do José Bezerra); costumeira (pelas representações culturais e cotidianas do Vitalino e seus discípulos, como o Eudócio); surreais e antropozoomorfas (as figuras do universo imaginativo do Mestre Cunha e Ulisses); religiosa (nas ferramentas do Zé Diabo e objetos sagrados do Mestre Didi); Mística (as carrancas do Mestre Guarany); Ancestral (nas obras evocativas da cultura africana do Agnaldo dos Santos) e Reciclada (pelo trabalho do Getúlio e Willi de Carvalho). Dessa maneira, os artistas se apoderam de uma ampla quantidade de materiais que os rodeiam, sejam naturais (barro, madeira) ou sintéticos (metais), podendo ser até recuperados do lixo (como tampas, papelão, tecidos, garradas plásticas e latinhas) (Pontes, 2017). Essa diversidade de produção faz com que o repertório de materiais na arte se expanda ainda mais.

2.7 OS MATERIAIS DAS ESCULTURAS

Com a chegada da arte moderna, os escultores passaram a utilizar outros materiais, como aço, alumínio e gesso (Bruneau; Torelli; Altet, 2006; Duby; Daval, 2006; Read, 2003). Sobre isso, Umberto Eco no ensaio “As cores do ferro” pontua que:

A arte contemporânea descobriu o valor e a fecundidade da matéria. Isso não quer dizer que os artistas de outrora ignorassem o fato de que trabalhavam determinado material e não compreendessem que restrições e sugestões criativas, obstáculos e libertações tinham origem neste material (Eco, 2016, p. 197).

Nas próximas sessões, será apresentada uma breve coletânea de obras utilizando meios; mídias e técnicas distintas, sendo agrupadas por classe de material primariamente utilizado.

2.7.1 Cerâmicas

As cerâmicas tradicionais são largamente utilizadas na arte. O método de produção empregado depende do material e da intenção do artista. Cerâmicas, como o mármore, podem ser esculpidas e lixadas. Enquanto os argilominerais e gessos, que possuem hidratação, podem ser modelados e posteriormente cozidos, podendo

ou não receber acabamento adicionais. A Tabela 5 traz obras de vinte artistas, junto à uma breve descrição de material e técnica empregada.

Tabela 5 – Demonstrativo de esculturas feitas com materiais cerâmicos.

ARTISTA	TÉCNICA	OBRA 1	OBRA 2
Manuel Eudócio	Argila vermelha cozida e policromada com tinta acrílica		
		12	13
Mestre Vitalino	Argila vermelha cozida acromada		
		14	15
Ricardo Brennand	Argila branca cozida, policromada e vitrificada		
		16	17

¹² Batizado – Fonte: <<https://www.miguelsalles.com.br/peca.asp?ID=1060504>>

¹³ Extrema-unção do Mau Marido – Fonte: <<https://xapuribrasil.com.br>>.

¹⁴ Engraxate – Fonte: <<http://joserosarioart.blogspot.com/2016/02/mestre-vitalino.html>>.

¹⁵ Banda - Fonte: <<https://www.catalogodasartes.com.br/obra/PUczzB/>>.

¹⁶ Gnose - Fonte: Bueno (2011).

¹⁷ Halia - Fonte: Bueno (2011).

Ciça Lira
Argila vermelha cozida e policromada



18



19

Antonio Corradini
Mármore esculpido e polido



20



21

Michelangelo
Mármore esculpido e semipolido

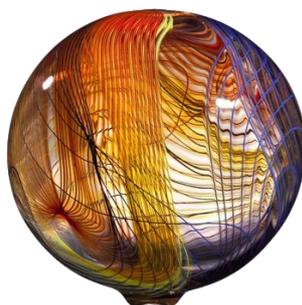


22



23

Lino Tagliapietra
Vidro soprado com fritas



24



25

¹⁸ Máscara – Fonte: <<http://educativopavilhao.blogspot.com/2011/08>>.

¹⁹ Máscara – Fonte: <<https://www.catalogodasartes.com.br/obra/DeGUPDz/>>.

²⁰ Vestalin – Fonte: <<https://www.europeana.eu/pt/collections/person/664-antonio-corradini>>.

²¹ Modesty – Fonte: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Modesty_\(Corradini_sculpture\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Modesty_(Corradini_sculpture))>.

²² The Taddei Tondo - Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Taddei_Tondo.JPG>.

²³ Rondanini Pietà - Fonte:

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Michelangelo_piet%C3%A0_rondanini.jpg>.

²⁴ Poesia - Fonte: <<https://www.artsy.net/artwork/lino-tagliapietra-poesia-1>>.

²⁵ Fenice - Fonte: <<https://www.artsy.net/artwork/lino-tagliapietra-fenice-2046>>.

Aneta Regel

Grés, Porcelana, Rochas
vulcânicas, Esmalte, Slips e
Resina



26



27

Aleijadinho

Pedra sabão polida



28



29

Geng Xue

Porcelana



30



31

Constantin Brancusi

Gesso



32



33

²⁶ Organ - Fonte: <<https://www.artsy.net/artwork/aneta-regel-organ-3>>.

²⁷ Landscape 6 - Fonte: <<https://www.artsy.net/artwork/aneta-regel-landscape-6>>.

²⁸ Profeta Amós - Fonte: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:AmosProfeta.jpg>>.

²⁹ Profeta Abadias - Fonte: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:AbadiasProfeta.jpg>>.

³⁰ Stopping and Contemplation - Fonte: <<http://www.galleryek.com/artists/geng-xue>>.

³¹ Solitary Enlightened One 2 - Fonte: <<http://www.galleryek.com/artists/geng-xue>>.

³² The Kiss - Fonte: <<https://www.nashersculpturecenter.org/art/exhibitions/object/id/3095-462>>.

³³ A Muse - Fonte: <<https://artofdarkness.co/post/147176258150/constantin-brancusi-a-muse-1912-sculpture>>.

Ronit Baranga
Argila branca, Esmalte,
Tinta acrílica e Verniz



34



35

Jimmy Lanza
Argila branca, engobe e
esmalte



36



37

Luciano Polverigiani
Argila branca e engobe



38



39

Daniel Silver
Argila branca cozida,
policromada e envernizada



40



41

³⁴ The Intimate Series #1 - Fonte: <<https://www.artsy.net/artwork/ronit-baranga-the-intimate-series-number-1>>.

³⁵ The Soft Stone #2 - Fonte: <<https://www.artsy.net/artwork/ronit-baranga-the-soft-stone-number-2>>.

³⁶ Visovaso Friend Fly - Fonte: <<https://www.etsy.com/shop/DanieleLanza>>.

³⁷ Caterpillar - Fonte: <<https://www.etsy.com/shop/DanieleLanza>>.

³⁸ Abrazo postergado - Fonte: <<https://www.behance.net/gallery/96661765/abrazo-postergado>>.

³⁹ Navegante de banera - Fonte: <<https://www.behance.net/gallery/130003477/Navegante-de-banera>>.

⁴⁰ Self Portrait, 2023 - Fonte: <<https://www.frithstreetgallery.com/artists/36-daniel-silver/works/17960-daniel-silver-self-portrait-2023/>>.

⁴¹ Mother (green and pink), 2020 - Fonte: <<https://www.frithstreetgallery.com/artists/36-daniel-silver/works/12331-daniel-silver-mother-green-and-pink-2020/>>.

Etnia Waurá

Argila vermelha cozida e pintada

Pigmentação natural urucum (vermelho) e jenipapo (preto)



42



43

Etnia Marajoara

Argila vermelha cozida engobe e pigmentos vegetal (urucum, caulim e jenipapo)



44



45

Ulisses Pereira

Argila vermelha cozida e engobe



46



47

Dona Rita

Argila vermelha cozida acromada



48



49

⁴² Panela - Fonte: <<https://projetoterra.org.br/produtos/panela-yawala-waura-no-02-33-x-17-cm/>>.

⁴³ Tatu - Fonte: <<https://br.pinterest.com/pin/573646071276854695/>>.

⁴⁴ Urna funerária - Fonte: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Marajoaras>>.

⁴⁵ Vaso - Fonte: <<https://xapuribrasil.com.br/produtos/vaso-marajoara-em-ceramica/>>.

⁴⁶ Cabeça - Fonte: <<https://www.levyleiloeiro.com.br/peca.asp?ID=344280>>.

⁴⁷ "Sem título" - Fonte: <<https://www.miguelsalles.com.br/peca.asp?ID=3943933>>.

⁴⁸ Vaso Múltiplas Faces - Fonte: <<https://xapuribrasil.com.br/produtos/vaso-cabecas-em-ceramica-jequitinhonha3/>>.

⁴⁹ Moringa com Rostos - Fonte: <<https://lojavirtual.lojapaiol.com.br/u2kv0sa0h-cachepot-de-4-rosto-dona-rita-mg>>.

Stine Bidstrup
47: Vidro Fundido
48: Vidro Fundido e
esticado



50



51

Rosana Pereira
Argila vermelha cozida e
engobe



52



53

Fonte: Compilação do autor (2022).

2.7.2 Poliméricas

Para além das diversas aplicações cotidianas dos polímeros, eles passaram, a partir do século XX a serem empregados por diversos artistas como veículo de suas obras. Em 1930 a primeira escultura feita com resina poliéster foi criada pelo escultor Saint-Maur. Ao longo da década 30, os artistas construtivistas incorporaram os polímeros sintéticos em suas criações (Duby e Daval, 2006).

Em uma nova aproximação da tecnologia com a arte, a manufatura aditiva possibilitou a impressão de modelos tridimensionais, utilizando filamentos de diversos polímeros, tais como: Acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e o Poliacido láctico (PLA), possibilitando a impressão de esculturas modeladas digitalmente. E recentemente a utilização de impressoras 3D em resinas, na qual a luz ultravioleta realiza a cura, se tornou uma opção economicamente viável também para a produção de esculturas.

Entretanto, a utilização dos polímeros naturais é bastante antiga. E dentro dessa categoria estão inseridos materiais como as resinas, borrachas, papeis, grãos

⁵⁰ Imaginary Crystallisations-Object No. 3 - Fonte: <<https://www.hellergallery.com/stine-bidstrup>>.

⁵¹ Birfurcations (Object 10 - Burgundy) - Fonte: <<https://www.hellergallery.com/stine-bidstrup>>.

⁵² "Sem título" - Fonte: <<https://novosparanos.com.br/post/641323846973161472/>>.

⁵³ "Sem título" - Fonte: <<https://artishockrevista.com/2021/01/26/todo-lo-que-me-das-es-tuyo-prosas-de-mujeres-en-el-arte-popular/>>.

e fibras vegetais (Mano e Mendes, 2013). Na Tabela 6 está disposto exemplos de obras feitas com polímeros naturais e sintéticos.

Tabela 6 – Demonstrativo de esculturas feitas com materiais poliméricos.

ARTISTA	TÉCNICA	OBRA 1	OBRA 2
Toco-oco	Impressão 3D em resina, pintada com tinta acrílica	 54	 55
Jean Dubuffet	Esponja estruturada com arame e base em pedra.	 56	 57
César Baldaccini	Espuma de poliuretano expandido	 58	 59

⁵⁴ Bad Pink Wolf - Fonte: <<https://www.behance.net/gallery/86852331/Bad-Pink-Wolf>>.

⁵⁵ Single Shot - Fonte: <<https://www.behance.net/gallery/120657501/Single-Shot>>.

⁵⁶ Pleurnichon - Fonte: <<https://www.mutualart.com/Artwork/Pleurnichon/0C6EF18136E2D973>>.

⁵⁷ Vent Arrière - Fonte: <<https://www.mutualart.com/Artwork/Vent-Arriere/60BB8E1C3441BD03>>.

⁵⁸ Expansion au cornet de glace - Fonte: <<https://www.mutualart.com/Artwork/EXPANSION-AU-CORNET-DE-GLACE/9798278B53706E58>>.

⁵⁹ Expansion - Fonte: <<https://www.mutualart.com/Artwork/Expansion/D64FAF390EDF530A>>.

Naum Gabo
57: Acetato de celulose
58: Acetato de celulose e
nitrato de celulose



László Moholy-Nagy
Acrílico



Masayoshi Matsumoto
Látex



Jean Dubuffet
Tinta epóxi com poliuretano
sobre resina de poliéster
fundido



⁶⁰ Construction in Space (Crystal) - Fonte: <<https://www.tate.org.uk/art/artworks/gabo-construction-in-space-crystal-t06978>>.

⁶¹ Model for 'Construction in Space 'Two Cones'' - Fonte: <<https://www.tate.org.uk/art/artworks/gabo-model-for-construction-in-space-two-cones-t02169>>.

⁶² Untitled - Fonte: <<https://moholy-nagy.org/art-database-detail/98?prev=gallery>>.

⁶³ Vertical Black, Red, Blue - Fonte: <<https://unframed.lacma.org/2016/07/20/moholy-nagy-121>>.

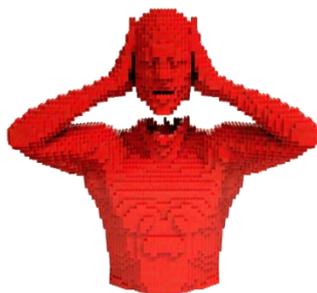
⁶⁴ Jewel scarab - Fonte: <<https://isopresso.tumblr.com/post/182160507255/>>.

⁶⁵ Colossal squid - Fonte: <<https://isopresso.tumblr.com/post/184988981820>>.

⁶⁶ Logogriph of Blades - Fonte: <<https://www.guggenheim-venice.it/en/art/works/logogriph-of-blades/>>.

⁶⁷ Le Pirate - Fonte: <<https://www.mutualart.com/Artwork/LE-PIRATE/71F59CE8C72A9A5E>>.

Nathan Sawaya
Tijolos de LEGO® ABS



68



69

Etnia Macuxi
Látex de balata



70



71

Juão de Fibra
Capim colônia



72



73

Eric Joisel
Origami, papel



74



75

⁶⁸ Red Head - Fonte: <<https://www.artsy.net/artwork/nathan-sawaya-red-head>>.

⁶⁹ Dark Gray Reaching - Fonte: <<https://www.artsy.net/artwork/nathan-sawaya-dark-gray-reaching-2>>.

⁷⁰ Canoa Macuxi - Fonte: <<https://projetoterra.org.br/produtos/canoa-macuxi/>>.

⁷¹ Macaco Macuxi - Fonte: <<https://projetoterra.org.br/produtos/macaco-macuxi/>>.

⁷² Cesta - Fonte: <<https://www.artesol.org.br/juaodefibra>>.

⁷³ Bolsa - Fonte: <<https://www.artesol.org.br/juaodefibra>>.

⁷⁴ Il Capitan - Fonte: <<http://www.ericjoisel.fr/en/gallery/>>.

⁷⁵ Legolas - Fonte: <<http://www.ericjoisel.fr/en/gallery/>>.

Erik Demaine
Origami Curved Crease,
papel



76



77

Etruscos (séc. 5 d.C.)
Âmbar



78



79

Fonte: Compilação do autor (2022).

2.7.3 Compositicas

As madeiras são compostos naturais e se apresentam em uma infinidade de cores, texturas e densidades, como as vistas na Figura 26.

Figura 26 – Xiloteca de espécies brasileiras.



Fonte: Calixto (2015).

⁷⁶ Kentucky Series 0317 - Fonte: <http://erikdemaine.org/curved/Kentucky/thumbs/B0317-040_medium.html>.

⁷⁷ Fuller Craft Series Swim - Fonte: <<http://erikdemaine.org/curved/FullerCraft/>>.

⁷⁸ Pendant: woman carrying a child - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/250585>>.

⁷⁹ Pendant: head of a woman - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/251543>>.

As obras realizadas com madeiras apresentam diversos acabamentos, dentre eles: brutas –preservando o formado natural dos galhos e raízes; talhadas –sendo removido o mínimo necessário para a formação de uma imagem pela visão do artista e polidas –a madeira é lixada para apresentar um acabamento com pouca textura macroscópica. Todas essas condições podem se apresentar policromadas ou não. Esses acabamentos podem ser conferidos no sumário de obras feitas com materiais compósitos disposto na Tabela 7.

Tabela 7 – Demonstrativo de esculturas feitas com materiais compósitos.

ARTISTA	TÉCNICA	OBRA 1	OBRA 2
Véio	Tronco e raiz policromado com tinta acrílica	 80	 81
José Bezerra	Tronco de árvore talhado	 82	 83
Agnaldo dos Santos	Madeira esculpida e polida	 84	 85

⁸⁰ "Sem título" - Fonte: <<https://www.guiadasartes.com.br/veio---cicero-alves-dos-santos>>.

⁸¹ "Sem título" - Fonte: <<https://www.catalogodasartes.com.br/obra/cBAttP/>>.

⁸² Bicudo - Fonte: <<https://www.lojaoca.com/bicudo-01->>.

⁸³ Queixudo - Fonte: <<https://www.lojaoca.com/queixudo-05>>.

⁸⁴ Oxóssi - Fonte: <<https://www.almeidaedale.com.br/pt/exposicoes/agnaldo-manuel-dos-santos-a-conquista-da-modernidade>>.

⁸⁵ Título não identificado - Fonte: <<https://www.almeidaedale.com.br/pt/exposicoes/agnaldo-manuel-dos-santos-a-conquista-da-modernidade>>.

Mestre Guarany
Madeira esculpida, polida e
policromada



86



87

Alexander Rodchenko
Madeira compensada



88



89

Henry Moore
Concreto



90



91

⁸⁶ Carranca - Fonte: <<http://www.galeriaestacao.com.br/pt-br/artista/obra/2505/35>>.

⁸⁷ Carranca - Fonte: <<https://www.casagrimaldi.com.br/peca.asp?Id=14076066>>.

⁸⁸ Hanging Spatial Construction No. 9 - Fonte: <<https://amare-habeo.tumblr.com/post/150225078805/alexander-rodchenko-russian-1891-1956>>.

⁸⁹ Spatial Construction number 12 - Fonte: <<https://www.flickr.com/photos/24364447@N05/48963914926>>.

⁹⁰ Head of a Woman - Fonte: <<https://www.tate.org.uk/art/research-publications/henry-moore/judith-collins-henry-moore-and-concrete-cast-carved-coloured-and-reinforced-r1172059>>.

⁹¹ Suckling Child - Fonte: <<https://www.tate.org.uk/art/research-publications/henry-moore/judith-collins-henry-moore-and-concrete-cast-carved-coloured-and-reinforced-r1172059>>.

Esculturas antigas
Marfim



92



93

Alain Iyerak

91: Chifre com incisão de cor preta e pedra
92: Barco de osso e homem de pedra



94



95

Marta Pan
Resina de poliéster reforçada com fibra de vidro, lã de vidro, lã de alumínio



96



97

Getúlio Maurício
Papel machê



98



99

⁹² Hercules and Achelous - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/207032>>.

⁹³ Reclining woman - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/249180>>.

⁹⁴ Caribou - Fonte: <<https://mcmichael.com/event/ivory-bone-antler-and-horn-masterworks-of-inuit-sculpture/>>.

⁹⁵ Hunter in Kayak - Fonte: <<https://www.inuitartfoundation.org/profiles/artist/Alain-Iyerak>>.

⁹⁶ Sculpture flottante, Otterlo - Fonte: <<https://krollermuller.nl/en/marta-pan-floating-sculpture-otterlo-1>>.

⁹⁷ Floating Sculpture No. 3 - Fonte: <<https://lynden.tours/2020/03/24/marta-pan-floating-sculpture-no-3/>>.

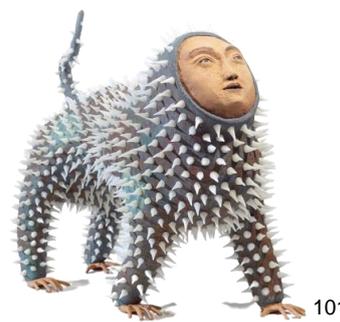
⁹⁸ Bastião - Fonte: <<https://lojalendaria.com.br/produtos/bastiao-getulio-mauricio/>>.

⁹⁹ Cabidela - Fonte: <<https://lojalendaria.com.br/produtos/escultura-getulio-mauricio/>>.

Martina Nickel
97: Papel machê
98: Papel machê e biscuit



100



101

Fonte: Compilação do autor (2022).

2.7.4 Metálicas

Os materiais metálicos aparecem de diversas maneiras na arte, dentre elas: como corpos maciços; chapas; arames e hastes. Estando processadas por etapas de forjamento, laminação, soldagem ou outros processos de fabricação. Quanto a sua superfície, está pode ser trabalhada para obter as características desejadas, através de etapas de pintura, tratamento superficial mecânico ou através de corrosão. Na Tabela 8 há uma coleção de esculturas feitas com materiais metálicos, que utilizam diversas características citadas anteriormente para atribuírem aspectos diferentes nas obras.

Tabela 8 – Demonstrativo de esculturas feitas com materiais metálicos.

ARTISTA	TÉCNICA	OBRA 1	OBRA 2
Alexander Calder	Arame de aço e chapas de alumínio pintadas		
		102	103

¹⁰⁰ AMABE - Fonte: <<https://www.flaviasantosleiloes.com.br/peca.asp?ID=8171128>>.

¹⁰¹ DOMO - Fonte: <<https://www.flaviasantosleiloes.com.br/peca.asp?ID=8171128>>.

¹⁰² Untitled, 1942 - Fonte: <<https://calder.org/works/standing-mobile/untitled-c-1942-3/>>.

¹⁰³ Untitled, 1940 - Fonte: <<https://calder.org/works/sound-making-work/untitled-c-1940-2/>>.

Alexander Calder
Arame de aço e
chapas de alumínio
pintadas



104

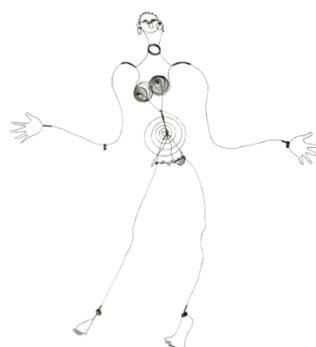


105

Alexander Calder
Arame de aço



106



107

Zé Diabo
Varão e chapas de ferro
soldadas e modeladas



108



109

Nicolas Schöffer
Aço inoxidável



110



111

¹⁰⁴ Untitled 1939 - Fonte: <<https://calder.org/works/standing-mobile/untitled-1939/>>.

¹⁰⁵ Untitled 1936 – Fonte: <<https://calder.org/works/stabile/untitled-1936-2/>>.

¹⁰⁶ Frank Crowninshield - Fonte: <<https://calder.org/works/wire-sculpture/frank-crowninshield-1928/>>.

¹⁰⁷ Josephine Baker IV - Fonte: <<https://calder.org/works/wire-sculpture/josephine-baker-iv-c-1928/>>.

¹⁰⁸ Ferramenta de Oxumarê - Fonte: <<https://alagbede.com.br/>>.

¹⁰⁹ Ferramenta de Oxumarê - Fonte: <<https://alagbede.com.br/>>.

¹¹⁰ Lux 13 - Fonte: <<https://www.rgrart.com/artists/nicolas-schoffer?view=slider#2>>.

¹¹¹ Spatiodynamique 19 - Fonte: <<https://redmodernfurniture.com/product/nicolas-schoffer-polished-steel-spatiodynamique-19-sculpture-1953/>>.

Lygia Clark
Alumínio



112

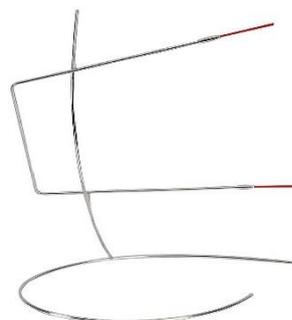


113

Waltercio Caldas
Aço inoxidável polido e
pintado



114



115

Jeff Koons
Aço inoxidável



116

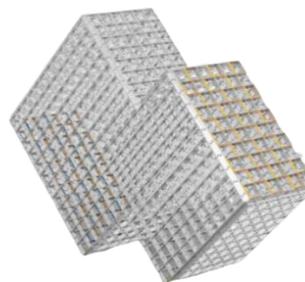


117

Ascanio MMM
Alumínio e parafusos



118



119

¹¹² Parafuso Sem Fim - Fonte: <<https://portal.lygiaclark.org.br/acervo/142/parafuso-sem-fim>>.

¹¹³ Máquina - Fonte: <<https://portal.lygiaclark.org.br/acervo/124/maquina>>.

¹¹⁴ Sem Título 2002 - Fonte: <<https://www.catalogodasartes.com.br/obra/PPezPB/>>.

¹¹⁵ Tao - Fonte: <<https://www.catalogodasartes.com.br/obra/PczGct/>>.

¹¹⁶ Rabbit - Fonte: <<https://www.thebroad.org/art/jeff-koons/rabbit>>.

¹¹⁷ Balloon Dog (Blue) - Fonte: <<https://www.artnews.com/art-news/artists/jeff-koons-michel-bernardaud-interview-porcelain-balloon-dog-1234610045/>>.

¹¹⁸ Quasos 7 - Fonte: <<https://www.ascaniommm.com/quasos7>>.

¹¹⁹ Prisma - Fonte: <<https://algomais.com/amparo-60-traz-exposicao-geometria-oscilante/>>.

Angelo venosa

Aço corten



120



121

Eduardo Chillida

Ferro



122



123

François-Xavier Lalanne

Latão



124



125

Alexander Archipenko

Prata



126



127

¹²⁰ Sem título 1999 - Fonte: <<https://www.catalogodasartesleiloes.com.br/peca.asp?ID=3722808>>.

¹²¹ Sem título 1994 - Fonte: <<https://enciclopedia.itaucultural.org.br/obra24761/sem-titulo>>.

¹²² Fc Dream Anvil X - Fonte: <<https://artedeximena.wordpress.com/arte-contemporaneo/esculturas-s-xx/fc-dream-anvil-x-1962-eduardo-chillida/>>.

¹²³ Modulation of Space I - Fonte: <<https://www.tate.org.uk/art/artworks/chillida-modulation-of-space-i-t00750>>.

¹²⁴ Grand Rhinocéros II, 2002 - Fonte: <<https://www.sothebys.com/en/buy/auction/2022/important-design/grand-rhinoceros-ii-grand-rhinocretaire-ii>>.

¹²⁵ Lapin à vent, 1994 - Fonte: <<https://www.clarkart.edu/exhibition/detail/lalanne>>.

¹²⁶ The Past, 1926 - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/482693>>.

¹²⁷ Standing Woman, 1925 - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/482692>>.

Antigo Egito
Ouro



128



129

Hilal Sami Hilal
Cobre com pátina



130



131

Isabelle Albuquerque
Bronze com pátina prata



132



133

Isabelle Albuquerque
Bronze com pátina térmica / azul



134



135

¹²⁸ Statuette of Amun - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/544874>>.

¹²⁹ Anubis as Defender of Osiris / Dionysus A.D.- Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/547871>>.

¹³⁰ Sem título, série Terceira margem, 2018 - Fonte: <<https://cassiabomeny.com.br/exhibitions/hilal-sami-hilal-fora-da-palavra/>>.

¹³¹ Sem título, série Terceira margem, 2018 - Fonte: <<https://cassiabomeny.com.br/exhibitions/hilal-sami-hilal-fora-da-palavra/>>.

¹³² First Head, 2024 - Fonte: <<https://www.instagram.com/p/C35ZKvQrB8J>>.

¹³³ Reliquary for a Fallen Beast, 2023 - Fonte: <<https://www.instagram.com/p/C2SVctMr1p3>>.

¹³⁴ Suicide Watch, 2023 - Fonte: <<https://www.instagram.com/p/C0Rl0fsLqkv>>.

¹³⁵ Fallen Limb, 2023 - Fonte: <<https://www.instagram.com/p/C0E9vPXrX7>>.

Maria Martins
Bronze



136



137

Alberto Giacometti
Bronze



138



139

Liuba Wolf
Bronze



140



141

Lynn Chadwick
Bronze



142



143

¹³⁶ O implacável [The Implacable], 1947 - Fonte: <<https://masp.org.br/exposicoes/maria-martins>>.

¹³⁷ Glebe-asas [Glebe-ailes], 1944 - Fonte: <<https://masp.org.br/exposicoes/maria-martins>>.

¹³⁸ Femme assise, 1950 - Fonte: <<https://www.christies.com/en/lot/lot-6169472>>.

¹³⁹ Le Chat, 1951 - Fonte: <<https://www.christies.com/en/lot/lot-5313317>>.

¹⁴⁰ Sem título, 1965 - Fonte: <<https://jornaltribuna.com.br/2023/11/galeria-marilia-razuk-leva-a-artista-visual-liuba-wolf-para-a-feira-de-arte-italiana-artissima-em-torino/>>.

¹⁴¹ Sem título, 1970 - Fonte: <<https://jornaltribuna.com.br/2023/11/galeria-marilia-razuk-leva-a-artista-visual-liuba-wolf-para-a-feira-de-arte-italiana-artissima-em-torino/>>.

¹⁴² Dancing Figures, 1956 - Fonte: <<https://www.lynnchadwick.org/bronze-works>>.

¹⁴³ High Wind III, 1990 - Fonte: <<https://www.lynnchadwick.org/bronze-works>>.

Germaine Richier
Bronze



144



145

Barry Flanagan
Bronze



146



147

Fernando Botero
Bronze



148



149

Abelardo da Hora
Bronze



150



151

Fonte: Compilação do autor (2022).

¹⁴⁴ L'Eau - Fonte: <<https://www.artforum.com/print/reviews/201405/germaine-richier-46333>>.

¹⁴⁵ La Fourmi - Fonte: <<https://awarewomenartists.com/en/magazine/germaine-richier-et-la-performance-de-la-subjectivite-et-de-lautonomie-feminines/>>.

¹⁴⁶ Baby Elephant - Fonte: <<https://www.vonbartha.com/artists/barry-flanagan/>>.

¹⁴⁷ Pirate Wheel - Fonte: <<https://www.vonbartha.com/artists/barry-flanagan/>>.

¹⁴⁸ Dancing Couple, 2006 - Fonte: <<https://www.christies.com/en/lot/lot-5897308>>.

¹⁴⁹ Rape of Europa, 2006 - Fonte: <<https://www.christies.com/en/lot/lot-5999057>>.

¹⁵⁰ Mulher com Mãos Entrelaçadas, 2007 - Fonte: <<https://faciendaarte.wordpress.com/tag/abelardo-da-hora-90-anos-de-arte/>>.

¹⁵¹ Menino do Pirulito, 1962 - Fonte: <<https://faciendaarte.wordpress.com/tag/abelardo-da-hora-90-anos-de-arte/>>.

2.8 PÁTINA

A definição de pátina pode ser dada a partir de duas perspectivas diferentes:

- Artística: Acabamento superficial, natural ou sintético, realizado a frio ou sobre a influência do calor, que acrescentam nova aparência ao material original (SENAI-SP, 2012);
- Corrosionística: Camada de filme passivador, aderente e compacto, formado sobre alguns tipos de substratos metálicos durante o processo de corrosão (Marušić *et al.*, 2009; Schweitzer, 2010; Shrivastava *et al.*, 2023).

As superfícies das pátinas conferem ao material características diferentes, tais como textura e coloração, que podem ser parametrizados a fim de se obter as características desejadas (Scott e Schwab, 2019). A composição da pátina inclui óxidos, carbonatos, cloretos, hidroxicloretos, nitratos, sulfetos e sulfatos (González-Parra, Covelo e Hernández, 2022).

Historicamente, a pátina foi utilizada para diversos fins, tais como: embelezamento, proteção, emular aspectos de obras antigas e de processos naturais (Hughes e Rowe, 1983), devido a sua capacidade de incrementar a estética dos objetos artísticos. Elas podem ser formadas de forma natural (Figura 27.a) ou sintética (Figura 27.b), realizadas por métodos frios, aquecidos ou eletrolíticos.

Figura 27 – Natureza das pátinas.



Fonte: Compilação do autor (2022)¹⁵²

¹⁵² Compilação feita com imagem da evolução da camada de pátina em moedas de 1 centavo de dólar (penny) compartilhada na comunidade oddlysatisfying na rede social reddit. Disponível em: <https://www.reddit.com/r/oddlysatisfying/comments/jt6e3c/a_penny_through_the_years/> e imagem das pátinas artificiais obtidas pelo canal TheCrafsMan SteadyCraftin compartilhadas no vídeo "Copper Patinas - How To Patina Copper Metal - Five Recipes - Verdigris, Liver of Sulphur, Vinegar" Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=yI67z6XmNiQ>>.

As pátinas artificiais são desenvolvidas com a aplicação de produtos químicos. Esse método visa acelerar o processo de corrosão, simulando o efeito do tempo, através de uma alteração na camada superficial do material pela reação com produtos corrosivos.

Com a combinação destes produtos e sobreposições de camadas de aplicação, torna-se possível a obtenção de tonalidades que vão de azuis e lilases, pretos a dourados e até mesmo vermelhos intensos, Figura 28. Colorações como branco e rosas também são possíveis de serem obtidas, entretanto, são caras e de difícil obtenção (Langland, 1988; SENAI-SP, 2012).

Figura 28 – Cores nas pátinas artificiais.



Fonte: Escuela de Joyería Contemporánea (2022).

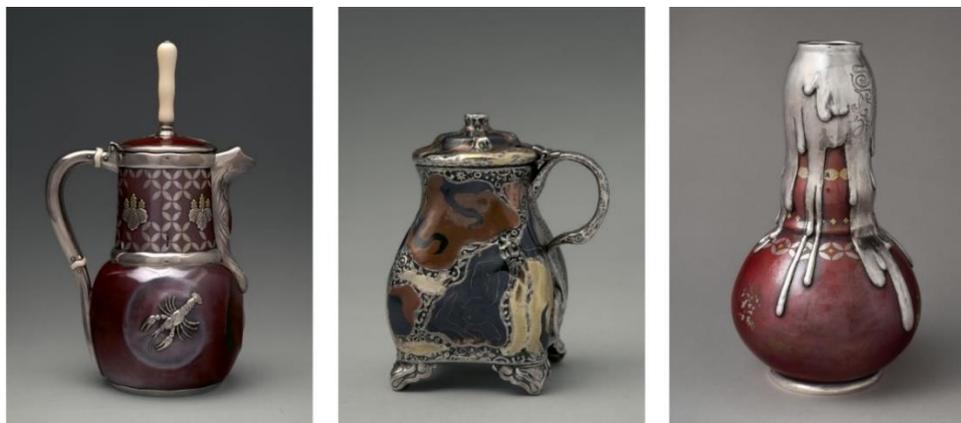
A coloração das pátinas depende dos produtos de corrosão formados, que por sua vez, são consequência da liga que o substrato é feito e do ambiente que foram expostos. Por exemplo, o tom do verde é escurecido pela presença de sulfetos de cobre ou chumbo e clareado quando contém carbonato de chumbo ou óxido de estanho (Marušić *et al.*, 2009).

É possível obter pátinas em diversos metais, tais como: prata; chumbo e zinco. Entretanto, devido a facilidade de trabalho com o cobre e suas ligas, e amplo espectro de cores possíveis de se obter, o foco dos métodos de patinização se voltam frequentemente para o cobre.

Os artistas também utilizam largamente a pátina em combinação com outros metais, funcionalizando a sua cor e aspecto. Os artesãos da Tiffany & Co., por exemplo, incorporaram extensivamente metais patinados em seus trabalhos, Figura

29, possuindo receitas para criar pátina em ferro, prata, cobre, ouro e diversas ligas desses metais (Harvey, Gallagher e Grady, 2022).

Figura 29 – Artefatos com pátina produzidos pela Tiffany & Co..



Fonte: (Harvey, Gallagher e Grady, 2022).

2.8.1 Formação de películas sobre os metais

Estruturas e componentes expostos às ações do meio ambiente estão sujeitos a sofrerem corrosão, um processo espontâneo de transformação dos materiais através de um ataque destrutivo por processos físicos, químicos ou eletrolíticos (Gentil e Carvalho, 2022). Esse processo, geralmente, impacta negativamente a durabilidade e desempenho dos materiais, ocasionando prejuízos financeiros, ambientais e sociais.

Os produtos da corrosão dos metais são comumente óxidos, podendo haver a formação de outros compostos inorgânicos como sulfetos, cloretos e hidróxidos, a depender da interação do material com o meio ao qual está exposto. A possibilidade de formação desses compostos sobre o metal pode ser determinada termodinamicamente pelo cálculo da variação de energia livre do sistema.

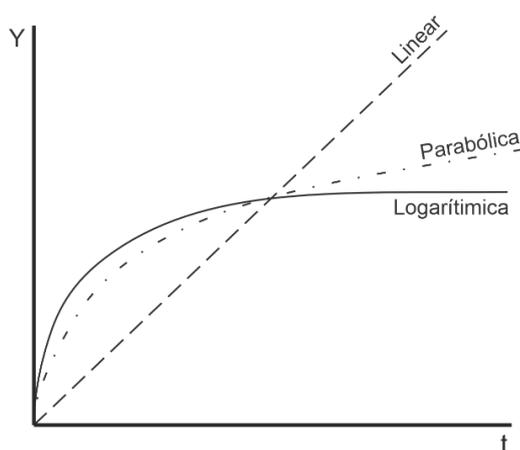
Ao selecionar algum material para determinada aplicação, é de interesse saber as propriedades da película que será formada entre o metal e o meio corrosivo no qual ele atuará. As principais propriedades dessas películas são: volatilidade; resistividade elétrica; transporte catiônico; aderência; plasticidade; solubilidade; porosidade; pressão de vapor e expansão térmica (Gentil e Carvalho, 2022).

Em meios ricos em oxigênio, a formação da película de óxido pode apresentar três cinéticas distintas, indicando o quão rápido esse material oxidará, ou seja, a sua taxa de oxidação. Essa taxa é mais rápida no início do processo de oxidação, já que

o oxigênio se difundirá com mais facilidade. Com o passar do tempo, uma camada de óxidos é formada na superfície do substrato e tem sua espessura aumentada, o que torna gradativamente mais lento o processo difusivo do oxigênio. Esse filme de óxido atua como uma barreira que mantém separados os átomos de oxigênio e os átomos do substrato metálico. A taxa de oxidação pode ser obtida através do monitoramento da variação de massa do substrato, já que há um aumento na massa pela adição de oxigênio.

Em altas temperaturas, três comportamentos são geralmente observados: a oxidação linear, oxidação parabólica e a oxidação logarítmica (Jones e Ashby, 2019), ilustrado no gráfico da Figura 30.

Figura 30 – Curvas do comportamento da oxidação.



Fonte: Gentil; Carvalho (2022).

Contudo, essa proteção nem sempre é eficiente, já que o filme pode ser formado de maneira não uniforme sobre o substrato metálico. As películas porosas aparecem nos metais que são rapidamente oxidados, enquanto as películas não porosas se formam sobre metais que resistem a corrosão. Essa classificação pode ser observada pela relação entre o volume do óxido e o volume do metal oxidado, através da Fórmula 4. Caso a relação seja menor do que um as películas são porosas, e se forem maiores do que um são não porosas.

$$\frac{V_{\text{óxido}}}{V_{\text{metal}}} = \frac{Md}{nmD} \quad (04)$$

Na qual M é a massa molecular do óxido, D é a massa específica do óxido, m é a massa atômica do metal, n é o número de átomos metálicos na fórmula molecular do óxido e d é a massa específica do metal (Gentil e Carvalho, 2022).

A perda de massa (Δm), na oxidação linear, se comporta de acordo com a Fórmula 5, a seguir.

$$\frac{\Delta m}{A} = k_L t \quad (05)$$

Onde A é a área da superfície, k_L é uma constante cinética, geralmente positiva, e t é o tempo de oxidação. Há casos, em alguns materiais, onde a camada de óxido pode evaporar, gerando uma perda de peso e conseqüente k_L negativo. Apesar das camadas de óxido serem, majoritariamente, porosas, isto não impede o processo difusivo ocorrer. A porosidade desses filmes justifica o comportamento das curvas na Figura 27, um processo de oxidação constante ao longo do tempo.

Na oxidação parabólica, a variação de massa irá se comportar de forma quadrática, conforme descrito na Fórmula 6, onde k_p é uma constante cinética e sempre positiva. Essas películas costumam ser protetivas, por serem pouco porosas.

$$\left(\frac{\Delta m}{A}\right)^2 = k_p t \quad (06)$$

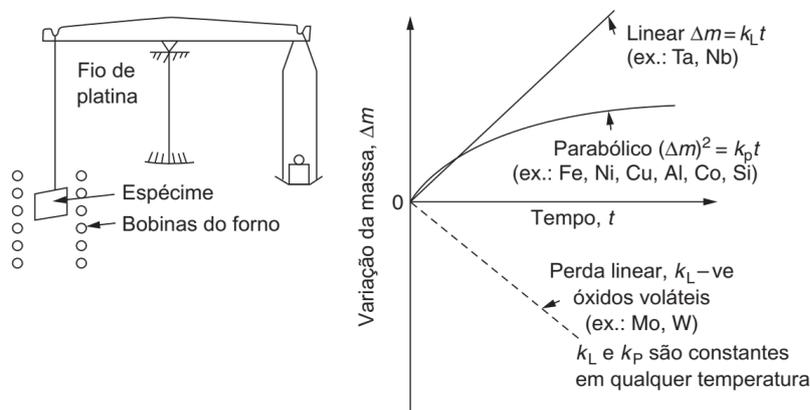
As taxas de oxidação parabólica seguem a lei de Arrhenius, sendo assim, k_L e k_p aumentam exponencialmente com a temperatura. A_L e A_p , Q_L e Q_p são constantes.

$$k_L = A_L e^{-Q_L/RT} \quad (07)$$

$$k_p = A_p e^{-Q_p/RT} \quad (08)$$

O processo corrosivo é termicamente ativado, logo, a taxa de oxidação é proporcional à temperatura. O comportamento da oxidação de alguns metais está descrito na Figura 31 abaixo.

Figura 31 – Obtenção da taxa de oxidação.



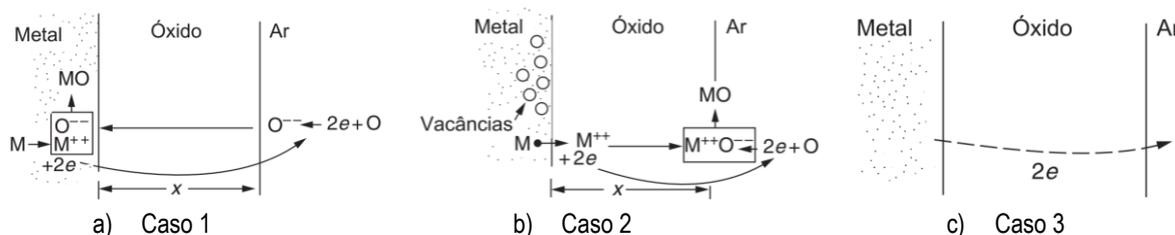
Fonte: Modificado de Jones; Ashby (2019).

O cobre, bem como ferro; níquel; alumínio..., apresenta um comportamento parabólico ou logarítmico na formação da camada de óxidos, a depender da faixa de temperatura. A reação de oxidação (9) ocorre em duas etapas (10) e (11).



Inicialmente haverá a formação dos íons metálicos (10) e liberação de elétrons, em seguida os elétrons são absorvidos pelo oxigênio (11). Essas reações acontecem pela difusão (transporte de matéria por movimento atômico) dos íons metálicos e condução dos elétrons pela camada de óxido. Podendo acontecer em três casos, a depender da espécie metálica envolvida no processo, Figura 32.

Figura 32 – Micromecanismos possíveis na oxidação parabólica.



Fonte: Modificado de (Jones; Ashby, 2019).

No caso 1 (Figura 32.a) os íons M^{++} difunde-se muito lentamente no óxido. O óxido cresce na interface metal-óxido. Exemplos: Ti, Zr, U.

Caso 2 (Figura 32.b). O^{--} difunde-se muito lentamente no óxido. O óxido cresce na interface óxido-ar. As vacâncias se formam entre o metal e o óxido. Exemplos: Cu, Fe, Cr, Co.

Caso 3 (Figura 32.c). Os elétrons se movem muito lentamente. O óxido pode crescer (lentamente) na interface metal-óxido ou interface óxido-ar, dependendo se M^{++} se difunde mais rápido que O^{--} ou não. Exemplo: Al.

A difusão é descrita pelas leis de Fick's. A primeira lei de Fick trata de um processo dependente do tempo, enquanto a segunda lei versa sobre a difusão em regime não estacionário (o fluxo difusional e o gradiente de concentração variam com o tempo).

Em um processo estacionário, o fluxo difusional (J) é definido como massa (número de átomos, M) que se difunde através e perpendicularmente a uma seção

transversal de área unitária do sólido (A), por unidade de tempo (t) (Callister e Rethwisch, 2016), conforme Equação 12.

$$J = M/At \quad (12)$$

Em uma única direção, x, o fluxo é proporcional ao gradiente de concentração dC/dx , conforme equação 13, primeira lei de Fick, na qual D é o coeficiente de difusão. O sinal negativo indica que a direção de difusão é contra o gradiente de concentração.

$$J = -D \left(\frac{dC}{dx} \right), D = D_0 e^{-Q/RT} \quad (13)$$

Em condição não estacionária, deve-se empregar a segunda lei de Fick, que conta da equação diferencial parcial:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\delta}{x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (14)$$

Se o coeficiente de difusão for independente da composição, pode-se realizar a seguinte simplificação:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (15)$$

A taxa de oxidação é proporcional ao fluxo de íons, M^{++} ou O^- , dependendo de qual deles é o íon determinante da velocidade. Sendo assim, em um espaço de tempo δt , o ganho de massa é expresso por:

$$\delta(\Delta m) = AJ\delta t \quad (16)$$

O gradiente de concentração dos íons é dado pela equação 17, na qual c_1 e c_2 são a concentração de íons em cada lado da camada de óxido e b a espessura da camada.

$$\frac{dC}{dx} = \frac{(c_1 - c_2)}{b} \quad (17)$$

Sendo assim, pela primeira lei de Fick (13), (16) e (17) tem-se que:

$$\delta(\Delta m) = AD \left(\frac{c_1 - c_2}{b} \right) \delta t \quad (18)$$

Com o decorrer do processo oxidativo, a espessura da camada de óxido sai de 0 até b, em um tempo t.

Enquanto que para a oxidação logarítmica, no início do processo de oxidação haverá uma rápida oxidação do material seguida por uma desaceleração desse processo, tornando-se lento e a camada mantém-se constante ao longo do tempo (Gentil e Carvalho, 2022), a equação 19 descreve este tipo de comportamento (Cotti *et al.*, 2010).

$$\left(\frac{\Delta m}{A}\right) = A + \frac{1}{k_L} \ln t \quad (19)$$

Os filmes de óxido que apresentam baixo ponto de fusão costumam ser menos protetores do que aqueles que têm alto ponto de fusão, ou seja, baixa difusão. Além disso, esses filmes têm comportamento protetivo, dificultando a passagem de elétrons através deles, por exemplo, o alumínio.

2.8.2 Pátina do Cobre

O cobre e suas ligas produzem uma oxidação limitada à superfície do substrato, o que protege o interior do metal. A corrosão natural desse tipo de material metálico produz cores em uma ampla gama do espectro visível, dependente da porcentagem dos elementos de liga presentes e das condições climáticas. Geralmente, quando primariamente formada, a pátina natural apresentará uma coloração escura que gradualmente se torna verde. O tempo necessário para a formação da pátina é principalmente influenciado pela atmosfera. Em uma atmosfera marinha ou industrial a pátina estará formada em aproximadamente 7 anos, enquanto que em uma atmosfera rural dezenas ou centenas de anos podem ser necessários para formar a pátina (Schweitzer, 2007). Um exemplo é a formação da pátina e consequente variação da coloração da estátua da liberdade, feita de cobre, que pode ser vista na Figura 33.

Figura 33 – Evolução da formação da pátina e consequente variação de cor na estátua da liberdade.

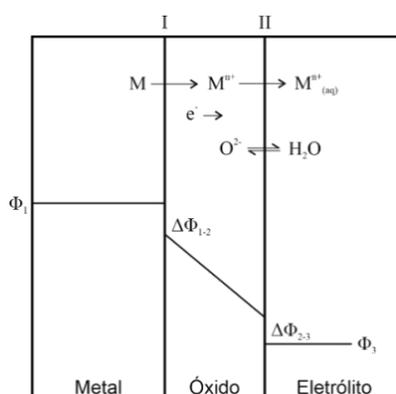


Fonte: JTC Roofing Contractors Ltd (2017).

Hughes (1983) afirma que os principais constituintes dos filmes de pátina natural do cobre e suas ligas são óxidos e sulfetos de cobre e sais de cobre inorgânicos e orgânicos. O composto presente inicialmente é a cuprita (Cu_2O), podendo conter também a calcolita (Cu_2S). No estágio de pátina verde, a presença mais comum é de sulfato de brochantita $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ e o cloreto de atacamita $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$. Também será comum encontrar em pátinas formadas ao ar livre a presença de fuligem, alumina, óxido de ferro e sílica.

O crescimento e a dissolução dos filmes de óxidos dependem das reações de transferência de íons nas interfaces metal/filme e filme/eletrólito, conforme ilustrado na Figura 34. Devido ao forte gradiente de potencial elétrico no filme, os cátions migram em direção à sua superfície externa. Durante o crescimento do filme de óxido também ocorre migração de ânions, porém a migração de cátions é predominante.

Figura 34 – Formação do filme passivador.



Fonte: Gemelli (2014).

Na interface metal/óxido, o metal se oxida (Equação 20).



Enquanto que na interface óxido/eletrólito, há a deposição de ânions (Equação 21) ou dissolução de ânions (Equação 22) e de íons metálicos (Equação 23).



Sendo assim, a formação do óxido ocorre pela oxidação do metal e deposição de O^{2-} , Equação 20 + Equação 21



E a dissolução do óxido ocorre pela dissolução do metal e de O^{2-} , Equação 22 + Equação 23



A velocidade das reações de dissolução e deposição depende da diferença de potencial da interface óxido/eletrólito ($\Delta\Phi_{2-3}$). A Equação de Nest indica o potencial de formação dos óxidos, para uma temperatura de 25°C, tem-se o disposto na Equação 26, na qual E° é o potencial padrão de formação do óxido, R é a constante universal dos gases; T é a temperatura em escala absoluta; F é a carga elétrica de um mol de elétrons e n é o número de mols de elétrons transferidos

$$E_{\text{óxido}} = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln(a_{H^+})^n = E^\circ - 0,058 pH \quad (26)$$

A cinética desse processo é regida pela deposição/dissolução de O_2 :



A corrosão metálica é governada por três tipos de interações: epitaxial, topoaxial ou fractal - A interação fractal é a responsável pela aleatoriedade da

corrosão. Os produtos iniciais da corrosão das ligas de cobre apresentam uma interação epitaxial, o que significa que os produtos de corrosão são depositados em forma de uma película monocristalina (Scott e Schwab, 2019).

2.8.3 Técnicas para a obtenção de pátinas artificiais

O surgimento das técnicas de patinização data por volta do século XIX, quando se buscou reproduzir as cores das esculturas francesas dos séculos XVIII e XIX, e emular a gama de cores obtidas pelos métodos artificiais de pátina desenvolvidos na China e Japão (Hughes e Rowe, 1983).

Houghes e Rowe (1983) listam cinco técnicas principais para a obtenção de pátinas, são elas: aplicação direta; vaporização; imersão; aquecimento a seco e meios úmidos. Essas técnicas, por sua vez, podem utilizar métodos quentes, frios e eletrolíticos para serem executadas, conforme detalhado na Tabela 9.

Tabela 9 – Rotas de patinização.

Técnica de Patinização	Métodos		
	Frios	Quentes	Eletrolíticos
Aplicação Direta	Tamponagem, Lustramento, Pulverização, Pastosa.	Com o maçarico ou soprador térmico, aplicando a solução por tamponagem ou pulverização	-
Vaporização	Câmara fechada	Vapor aquecido	-
Imersão	Temperatura ambiente	Solução quente, solução fervendo	Potenciostático ou galvanostático (Podendo ser anódica ou catódica)
Meio úmido	Impressão do meio úmido	-	Contato úmido
Aquecimento a seco	-	Estufa, Maçarico ou Soprador térmico	-

Fonte: O autor (2024).

Os métodos a frio se aproximam das condições de pátinas naturais, obtendo um efeito mais próximo ao delas. Os métodos a quente, devido à temperatura funcionar como catalisador, possibilitam uma formação de pátina mais rápida, assim como o método eletrolítico, que acelera o processo corrosivo pela passagem de corrente. Há duas possibilidades de se realizar pátinas eletrolíticas, pelo método potenciostático (sob controle do potencial) e galvanostático (sob controle da corrente) (Marušiae *et al.*, 2007).

A seguir serão explicadas as técnicas, como funcionam e a sua associação com os métodos listados na Tabela 9.

2.8.3.1 Aplicação direta

Nesta técnica, os produtos químicos são aplicados diretamente sobre a superfície do metal. Podendo ser utilizados panos umedecidos; pulverização ou pinceis, através da técnica de tamponagem (que consiste em batidas rápidas e regulares com o pincel embebido). Após a aplicação, é necessário que a fina camada de químicos depositada sobre o metal seque completamente, à temperatura ambiente (em espaço ventilado) ou acelerado por secadores. No método a quente, a peça a que se deseja aplicar a pátina é aquecida e em seguida, são aplicadas as soluções de interesse. A quantidade de aplicações dependerá dos resultados esperados e tipos de materiais utilizados.

A aplicação direta a quente é o método mais comum de obtenção de pátinas para as esculturas, sendo largamente estudado e aplicado (Hurst, 2005; Richard Hughes, 1993; Young, 1994; Zahner, 2020).

2.8.3.2 Vaporização

Essa técnica surgiu com a finalidade de simular as condições naturais. Para a formação da pátina, os materiais são expostos a vapores, a temperatura ambiente, em ambiente fechado. Comumente se utiliza uma atmosfera úmida de ácido acético ou amônia. De forma menos comum, também é possível utilizar os vapores aquecidos, o que acelera a formação da pátina (Hughes, 1993; Young, 1994; Zahner, 2020).

2.8.3.3 Imersão

Possibilita a obtenção de colorações uniformes. A peça é submersa integralmente em uma solução química, podendo ser utilizadas soluções à temperatura ambiente, aquecidas e até mesmo ferventes. São comumente utilizadas soluções com agentes oxidantes, sais de cobre e outros sais metálicos, além de ácidos (Hughes, 1993; Young, 1994; Zahner, 2020).

2.8.3.4 Meio úmido

O material a ser patinado deve ser embalado junto a algum meio que retenha umidade, tais como serragem; algodão e panos. O meio deve ser umedecido uniformemente para que ocorra a pátina corretamente. Esse método possibilita uma impressão na superfície do material, dando novas cores e textura para as superfícies (Hughes, 1993; Young, 1994; Zahner, 2020).

2.8.3.5 Aquecimento a seco

É uma técnica que utiliza apenas o calor para obtenção das pátinas. Podendo ser utilizado um forno, onde toda a peça será aquecida ou técnicas mais modernas de aquecimento e resfriamento localizado. Nesse método, os produtos de corrosão mais comuns são a cuprita e a tenorita. Variando a espessura e presença de impurezas, torna-se possível alcançar uma vasta gama de colorações (Hughes, 1993; Young, 1994; Zahner, 2020).

2.8.4 A pátina nas artes

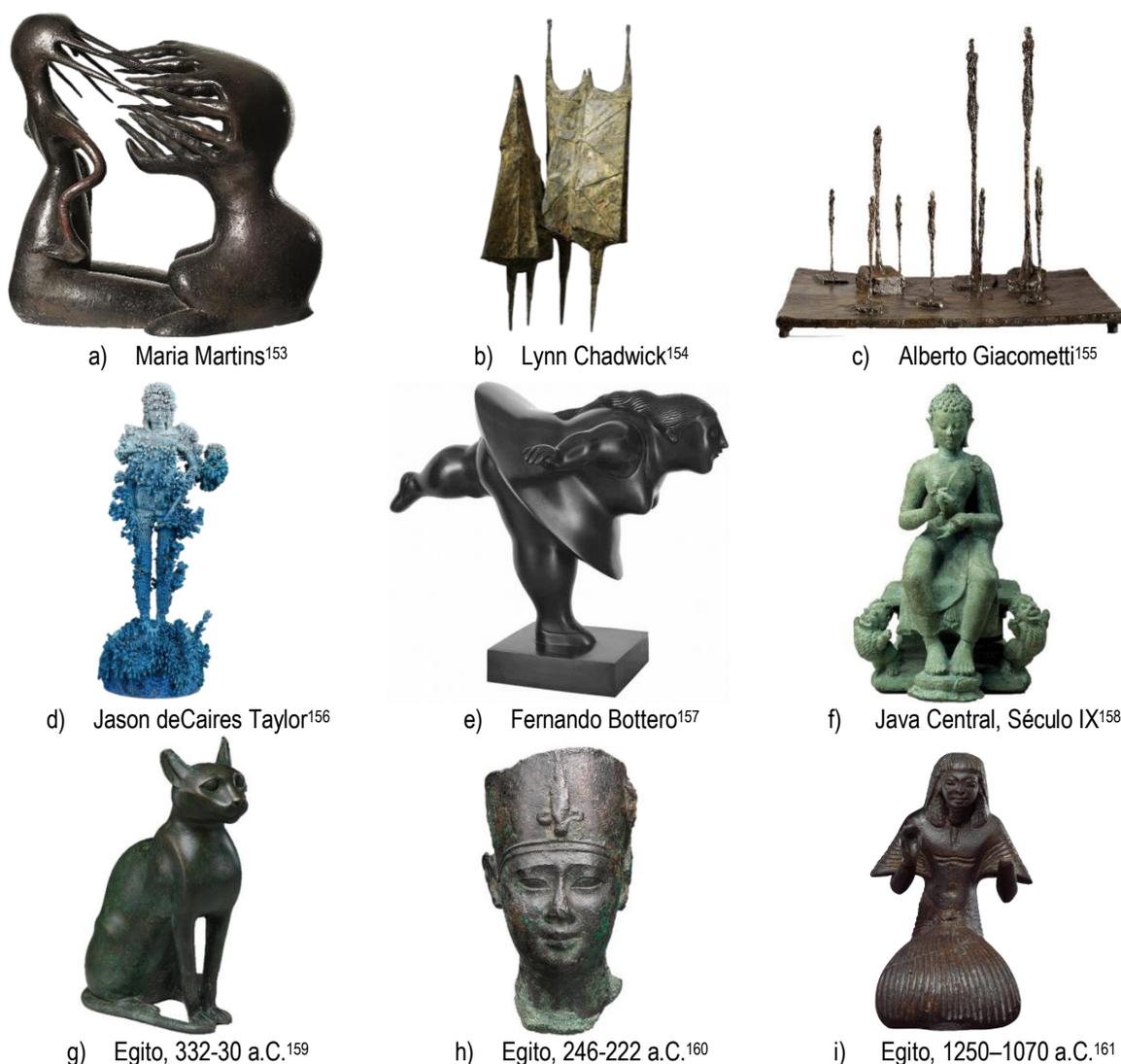
A disponibilidade e acessibilidade das ligas de cobre, como o bronze, fazem com que os artistas tenham a liberdade de utilizar suas obras com relativa facilidade, produzindo obras de pequeno porte até trabalhos de instalação (Sybaris, 2018). O vasto uso do cobre e de suas ligas, e mais especificamente, o bronze, desde a antiguidade, forma um histórico de uso desse material, aplicado a esculturas de deuses e líderes, o que fundamenta a ideia de riqueza e nobreza associada a este material.

Para além das propriedades como dureza, maleabilidade e resistência aos agentes atmosféricos, o bronze, por conter frações de chumbo e/ou zinco, possui a característica de ter uma baixa viscosidade quando fundido, garantindo que ele circule com facilidade dentro das cavidades do molde durante o processo de fundição artística. Essa característica garante a reprodução de detalhes do molde com bastante fidelidade (Bruneau, Torelli e Altet, 2006; Langland, 1988; Rich, 1988)

A patinização costuma ser a etapa final da produção das esculturas feitas com o cobre e suas ligas. Nela, os artistas podem optar pelo acabamento e textura

desejada para a obra elaborada. Há uma extensa lista de possibilidade de patinização desses metais, com variação de reagentes, tempo de processo e concentração das soluções utilizadas. Desse modo, é possível alcançar uma grande variação de tipos de pátinas. Na Figura 35, são apresentadas algumas obras modernas com pátinas artificiais e obras antigas, cujas pátinas naturais foram formadas por exposição à atmosfera ou ao solo úmido, em todos os casos, provocando a corrosão.

Figura 35 – Seleção de artistas e povos que utilizaram o bronze em suas obras.



¹⁵³ O impossível [The Impossible], 1945 - Fonte: <<https://masp.org.br/exposicoes/maria-martins>>.

¹⁵⁴ Teddy Boy and Girl II, 1957 - Fonte: <<https://www.osbornesamuel.com/artists/chadwick-lynn/>>.

¹⁵⁵ The Glade, 1950 - Fonte: <<https://www.fondation-giacometti.fr/en/database/177547/the-glade>>.

¹⁵⁶ Acropora Digitifera 6, 2022 - Fonte: <<https://underwatersculpture.com/product/acropora-digitifera-6/>>.

¹⁵⁷ Bailarina, 2011 - Fonte: <https://www.almeidaedale.com.br/assets/pdfs/publicacoes/Fernando_Botero.pdf>.

¹⁵⁸ The Transcendent Buddha Vairochana, século IX - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/39021>>.

¹⁵⁹ Cat Statuette intended to contain a mummified cat, circa 332-30 a.C. - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/544118>>.

¹⁶⁰ Head of Ptolemy II or III, 246-222 a.C. - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/547773>>.

¹⁶¹ Kneeling official, circa 1250-1070 a.C. - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/547899>>.

j) Egito, Século I a.C.¹⁶²k) Egito, 611-594 a.C.¹⁶³l) Grécia, Século VII a.C.¹⁶⁴m) Grécia, Século IV a.C.¹⁶⁵n) Grécia, Século III a.C.¹⁶⁶o) Grécia, Século III-I a.C.¹⁶⁷p) China, Século XI a.C.¹⁶⁸q) China, Século IV-III a.C.¹⁶⁹r) Itália, Século XIX¹⁷⁰

Fonte: Compilação do autor (2022).

¹⁶² A child god, probably Harpokrates, Século I a.C. Ou mais cedo - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/547905>>.

¹⁶³ Isis nursing Horus, circa 1070–343 a.C. - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/553034>>.

¹⁶⁴ Bronze head of a griffin, terceiro quartel do século VII a.C. - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/255367>>.

¹⁶⁵ Bronze oinochoe (jug), Século IV a.C. - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/255803>>.

¹⁶⁶ Bronze statuette of a rider wearing an elephant skin, Século III a.C.- Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/254825>>.

¹⁶⁷ Bronze jug, Século III-I a.C. - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/248849>>.

¹⁶⁸ Ritual Wine Cup (Zhi), final do século XI a.C. - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/42177>>.

¹⁶⁹ Figure of a charioteer, Séculos IV a III a.C. - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/53959>>.

¹⁷⁰ Standing Hercules, Século XIX - Fonte: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/204505>>.

A pequena amostra de obras contida na Figura 36 revela o quão diversas podem ser as pátinas nas ligas de cobre, variando de tons azuis intensos até preto. A Figura 36 traz em detalhe a superfície da pátina dos exemplos trazidos na Figura anterior.

Figura 36 – Detalhe da pátina na superfície das esculturas.



Fonte: O autor (2022).

2.9 A ARTE-EDUCAÇÃO DA CIÊNCIA DOS MATERIAIS

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) destaca que uma das competências a serem desenvolvidas pelos estudantes do ensino médio é saber analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, pelo viés da matéria e energia, possibilitando a proposta de ações que minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global (Brasil, 2018). Quanto à arte, a BNCC pontua que este componente curricular "contribui para a interação crítica dos alunos com a complexidade do mundo, além de favorecer o respeito às diferenças e o diálogo intercultural, pluriétnico e plurilíngue, importantes para o exercício da cidadania" (Brasil, 2018, p.193).

Para que essas competências sejam atingidas, é importante que os alunos saiam do modelo passivo de aprendizado, e passem a vivenciar práticas modernas de ensino, que sejam capazes de incentivar a sua atuação protagonista na sua

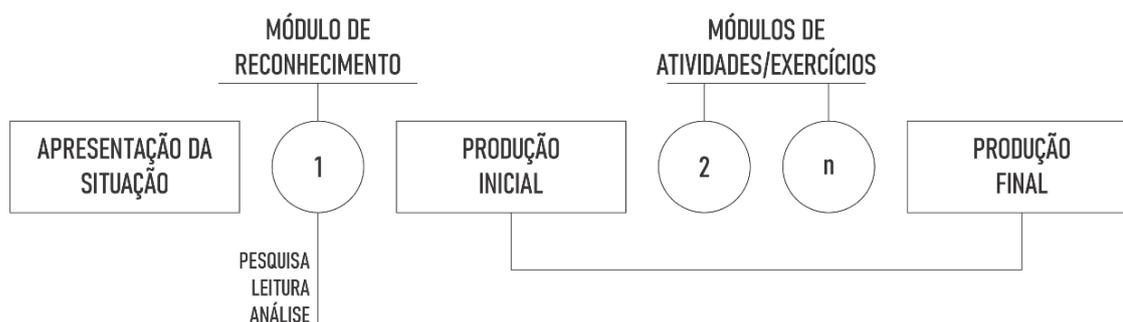
própria aprendizagem (Barros *et al.*, 2005; Cleophas e Cavalcanti, 2020). Segundo Garcia (2000), uma abordagem educacional centrada exclusivamente na transferência de conhecimento e na falta de adaptação aos avanços tecnológicos causam aos estudantes aversão e falta de interesse. Sendo assim, é primordial haver uma flexibilidade curricular, juntamente com uma abordagem interdisciplinar e, principalmente, uma conexão entre o ambiente escolar e a realidade dos alunos, para que assim o conhecimento seja construído e associado aos eventos e vivência dos próprios alunos, consolidando, assim, o aprendizado.

Orlando et al. (2009) observaram que com a adoção de modelos que suportam a prática pedagógica, o professor tem a oportunidade de estimular o raciocínio e a interatividade dos alunos. Esse estímulo não apenas facilita a assimilação de novos conhecimentos, mas também promove o desenvolvimento de habilidades práticas. Soares (2016) destaca a viabilidade de introduzir elementos lúdicos na sala de aula como uma alternativa eficaz para os educadores, justificando que essa abordagem busca despertar o interesse dos alunos e motivá-los de maneiras diversas, visando tirá-los de uma postura passiva em sala de aula e aproximá-los do professor.

Tudo isso reforça a necessidade de explorar outros recursos didáticos que atendam às diretrizes curriculares oficiais, levando em conta a diversidade cultural dos alunos e as contribuições das pesquisas científicas. O ensino não deve limitar-se à mera transmissão de conteúdos por meio de aulas expositivas. Em vez disso, é crucial proporcionar, de forma contínua, recursos que permitam uma aprendizagem com significado, capacitando o indivíduo a desenvolver habilidades que o tornem um cidadão crítico na sociedade em que está inserido.

O planejamento do ensino é uma etapa bastante importante para que o ensino-aprendizado seja efetivado. Uma ferramenta de planejamento é a Sequência didática (SD), Segundo Dolz, Noverraz e Schneuwly (2001, p. 6) “Uma "sequência didática" é um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um gênero textual oral ou escrito.” Essa ferramenta auxilia na organização e sistematização das tarefas envolvidas no ensino, garantindo o desenvolvimento e aplicação de uma sequência lógica que favoreça o ensino-aprendizado.

Swiderski e Costa-Hübes (2008) realizaram a inserção de uma etapa na sequência didática, um módulo de reconhecimento, representado na Figura 37.

Figura 37 – Funcionamento da sequência didática.

Modificada de: SWIDERSKI E COSTA-HÜBES (2008)

Com a inserção do módulo de reconhecimento, os alunos são instigados a interagir efetivamente com o conteúdo da situação apresentada, permitindo a criação de várias situações agregadoras pelo professor. Assim, incentiva-se o questionamento e permite-se que os estudantes busquem e construam seu próprio conhecimento.

O emprego de metodologias ativas fomenta um modelo educacional autônomo, que estimula a curiosidade e a descoberta dos estudantes (Borges e Alencar, 2014). Para além disso, de acordo com Volpato e Dias et al. (2017), essa metodologia têm suas raízes no método Freiriano, o qual se fundamenta na pedagogia libertadora, criativa e inclusiva.

3 METODOLOGIA

Para a obtenção das pátinas, foram realizados procedimentos pelas técnicas de aplicação direta, vaporização, imersão e aquecimento a seco, por meio dos métodos de pátina fria, quente e eletrolítica. As rotas foram selecionadas através da consulta em literatura especializada, na qual se encontra disponível uma grande quantidade de possibilidades de rotas, processos e reagentes a serem utilizados.

Dentre as principais referências utilizadas para a seleção, tem-se o monumental estudo do Hughes e Rowe (1983), no qual há disponibilidade de centenas de rotas para diversos tipos de substratos metálicos. Ainda sobre referências clássicas, tem-se: Lambert (2003), Young (1994) e Rama e Berthelot (2004). O livro do SENAI-SP (2012) também foi largamente utilizado neste trabalho como ponto de consulta para etapas práticas e de obtenção de rotas de patinização. Como referências mais específicas, foram consultadas: Runfola (2014); Langland (1988); Rich (1988); Jerman-Melka (1996); Lewton-Brain (2000); Bogert (2012) e Bowman (2017).

3.1 MATERIAIS E ROTAS DE PATINIZAÇÃO

Foram utilizados corpos de prova de cobre comercialmente puro com tamanho 3 cm x 5 cm, cortados a partir de uma chapa com 0,4 mm de espessura, Figura 38. De modo a facilitar o manuseio das amostras durante os procedimentos de obtenção das pátinas, foram realizados furos de 3mm de diâmetro na parte superior das peças utilizando uma furadeira de coluna. Em seguida, os corpos de prova seguiram para um processo de prensagem em uma prensa hidráulica com compressão de 7 toneladas por cerca de 90 minutos, para que ficassem planas.

Em seguida, realizou-se uma limpeza mecânica através de escovação com lá de aço, com o objetivo remover a camada de corrosão não desejada e obter uma maior rugosidade na peça e facilitar a ancoragem das pátinas. Por fim, as amostras foram submetidas à limpeza em álcool isopropílico e acetona (5 minutos cada) em banho ultrassônico, seguindo para secagem à temperatura ambiente.

Figura 38 – Corpo de prova padrão.

Fonte: O autor (2024).

Para cada rota aplicada na formação das pátinas, foram realizadas peças em triplicatas para comparação e análise de reprodutibilidade dos resultados obtidos. Os reagentes utilizados nas sínteses encontram-se descritos na Tabela 10.

Tabela 10 – Reagentes utilizados para obtenção das pátinas.

NOME	FÓRMULA MOLECULAR	PUREZA	FORNECEDOR
Acetona	CH_3COCH_3	P.A.	Química Moderna
Ácido acético glacial	CH_3COOH	P.A.	Química Moderna
Álcool isopropílico	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	P.A.	Anidrol
Bicarbonato de Sódio	NaHCO_3	P.A.	Neon
Cloreto de Ferro III (ICO)	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	P.A.	Dinâmica
Cloreto de Sódio	NaCl	P.A.	Qhemis
Hidróxido de amônio	NH_4OH	P.A.	Química Moderna
Hipoclorito de sódio	NaClO	P.A.	Dinâmica
Nitrato de Cobre II (ICO)	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	P.A.	Dinâmica
Nitrato de Ferro III	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	P.A.	Neon
Sulfato de Cobre (ICO)	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	P.A.	Química Moderna
Tiosulfato de sódio	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	P.A.	Dinâmica

Fonte: O autor (2024).

3.1.1 Rotas por Aquecimento a seco (AS)

Nesta rota, as pátinas foram obtidas com o auxílio de um soprador térmico, modelo STL-2000 da Lynus. Para formação da pátina, o soprador foi colocado próximo da peça, conforme Figura 39. O tempo, temperatura e distância de aplicação são parâmetros passíveis de serem variados livremente. Neste trabalho, o parâmetro controlado foi apenas o tempo de aplicação, sendo fixado em 30 segundos.

Figura 39 – Obtenção da pátina por aquecimento a seco.



Fonte: O autor (2024).

3.1.2 Rotas por Aplicação Direta (AD)

As rotas por aplicação direta foram realizadas utilizando o método quente através de pulverização. Para pulverizar as soluções sobre os corpos de prova foram utilizadas garrafas de 50 ml com tampa spray, Figura 40.

As soluções foram aplicadas no substrato após o aquecimento da superfície do cobre com o soprador térmico, tendo-se atenção para que a temperatura não ultrapassasse 100°C. Em seguida, a amostra com a solução era novamente aquecida e repetia-se o processo até que a camada de pátina formada estivesse satisfatória. Para finalizar o método, as peças foram lavadas com água destilada e secas mais uma vez com o soprador térmico.

Figura 40 – Acessórios utilizados para obtenção de pátinas por aplicação direta.



Fonte: O autor (2024).

Foram utilizados diversos reagentes para a obtenção das pátinas através de rotas por aplicação direta. Um sumário das composições aplicadas está disponível na Tabela 11.

Tabela 11 – Sumário de soluções para rotas por aplicação direta.

COR	REAGENTE	FONTE
Preta	Para 1 litro de solução: 25g Sulfato de cobre 25g Tiosulfato de sódio	(Rama e Berthelot, 2004)
Marrom florentino	Para 1 litro de solução: 25g Cloreto de ferro 9g Nitrato de ferro	(Science Company, 2023)
Marrom	Nitrato de ferro 30%	(Bowman, 2017)
Ciano	Nitrato de cobre 10%	(Lambert, 2003)
Ciano	Nitrato de cobre 20%	(Bowman, 2017)
Ciano	Nitrato de cobre 30%	(Science Company, 2023)

Fonte: Compilação do autor (2024).

Em fontes diferentes é possível encontrar indicações de concentrações que divergem para o mesmo tipo de reagente utilizado. Para avaliar o efeito da concentração do reagente na pátina formada, foram utilizadas três soluções diferentes de Nitrato de cobre 10%, 20% e 30% (m/V).

Algo relevante é que esse método possibilita, com certa facilidade, a realização de sobreposição de camadas durante o processo. Foram testadas duas pátinas indicadas pela equipe do Centro técnico em Fundição Artística do Senai-SP, além de outras três que foram propostas pelo próprio autor, conforme indicado na Tabela 12.

Tabela 12 – Sumário de soluções para pátinas por camadas em rotas por aplicação direta.

COR	CAMADAS DE REAGENTE	FONTE
Castanha	1ª: Nitrato de cobre 10% (m/V) 2ª: Nitrato de ferro 10% (m/V)	(SENAI-SP, 2012)
Verde florestal	1ª: Nitrato de cobre 10% (m/V) 2ª: Nitrato de ferro 10% (m/V) 3ª: Nitrato de cobre 10% (m/V)	(SENAI-SP, 2012)
Azul glacial	1ª: Solução da pátina preta (Tabela 10) 2ª: Nitrato de cobre 10% (m/V)	(O Autor, 2024)
Vintage	1ª: Aquecimento a seco 2ª: Solução da pátina preta (Tabela 10) 3ª: Aquecimento a seco	(O Autor, 2024)
Dourado provençal	1ª: Aquecimento a seco 2ª: Nitrato de cobre 10% (m/V) 3ª: Aquecimento a seco	(O Autor, 2024)

Fonte: Compilação do autor (2024).

3.1.3 Rotas por Vaporização (VP)

Para criar um ambiente com atmosfera corrosiva, foram utilizados recipientes de vidro com tampas plásticas e soluções corrosivas voláteis, a temperatura ambiente. As amostras foram então penduradas com fio de nylon sobre a coluna de líquido, conforme demonstrado na Figura 41. Para que eventualmente as amostras também tivessem contato com as soluções, a fim de acelerar o processo corrosivo, os reatores eram agitados ao longo do dia. Com isso, as amostras eram molhadas e expostas ao vapor continuamente.

Figura 41 – Reator para as reações de pátina por vaporização.



Fonte: O autor (2024).

De modo a avaliar o efeito da salinidade na formação das pátinas, as amostras de cobre foram expostas a diferentes meios voláteis isentos de sal e com 5% (m/V) de NaCl para cada meio. O tempo de exposição para todas as condições foi de 48h. Após finalização da reação e remoção das amostras, estas foram lavadas e secas com o soprador térmico. As soluções reagentes utilizadas estão descritas na Tabela 13.

Tabela 13 – Sumário de soluções para rotas por vaporização.

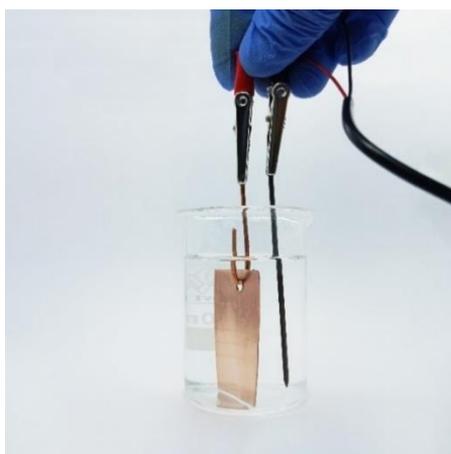
COR	REAGENTE	FONTE
Azul escuro	Hidróxido de amônia 5% (m/V)	(Jerman-Melka, 1996)
Azul real	50g de Cloreto de sódio por litro de solução de Hidróxido de amônia 5% (V/V)	(O Autor, 2024)
Verde escuro	Ácido acético 5% (m/V)	(Jerman-Melka, 1996)
Laranja azulado	50g de Cloreto de sódio por litro de solução de Ácido acético 5%	(École de joaillerie de Québec, 2020)
Laranja mesclada	Hipoclorito de sódio 5% (m/V)	(O Autor, 2024)
Bege mesclado	50g de Cloreto de sódio por litro de solução de Hipoclorito de sódio 5% (V/V)	(O Autor, 2024)

Fonte: Compilação do autor (2024).

3.1.4 Rotas por Imersão eletrolítica (IE)

As rotas por imersão foram realizadas pelo método eletrolítico potenciostático. A célula eletrolítica era constituída de um béquer, com a placa de cobre atuando como catodo e um eletrodo inerte de carbono como anodo, ambos submersos no eletrólito. O arranjo utilizado pode ser conferido na Figura 42 abaixo.

Figura 42 – Célula eletrolítica para a formação de pátinas.



Fonte: O autor (2024).

O Controle do potencial foi realizado com o auxílio de uma fonte adaptada de 12V, conforme Figura 43.

Figura 43 – Fonte para a célula eletrolítica.

Fonte: O autor (2024).

Os eletrólitos utilizados para a formação das pátinas eletrolíticas estão descritos na Tabela 14. O tempo para todas as condições foi fixado em 5 minutos.

Tabela 14 – Sumário de soluções para rotas por imersão eletrolítica.

COR	REAGENTE	TEMPO	FONTE
Bege rosado	50g de Bicarbonato de sódio por litro de solução de Hidróxido de amônia 5% (V/V)	5 minutos	(O Autor, 2024)
Azul celeste	Bicarbonato de sódio 5% (m/V)	5 minutos	(Kuntzleman <i>et al.</i> , 2020)
Verde claro	50g de Cloreto de sódio por litro de solução de Bicarbonato de sódio 5% (m/V)	5 minutos	(Kuntzleman <i>et al.</i> , 2020)
Bege amarelado	50g de Cloreto de sódio por litro de solução de Ácido acético 5% (V/V)	5 minutos	(S. Goidanich <i>et al.</i> , 2005)
Mostarda musgo	Cloreto de sódio 5% (m/V)	5 minutos	(O Autor, 2024)
Preto arroxeadado	Tiosulfato de sódio 5% (m/V)	5 minutos	(S. Goidanich <i>et al.</i> , 2005)

Fonte: O autor (2024)

3.2 CARACTERIZAÇÕES

3.2.1 Análise Gravimétrica

A fim de monitorar a formação dos produtos da pátina, os corpos de prova foram pesados antes e após sofrerem corrosão. Foi utilizado uma balança analítica Shimadzu ATX224, que possui precisão de 0,1 mg e repetibilidade $\leq 0,1$ mg.

3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para avaliar a morfologia das amostras, foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura com emissão de campo (MEV-FEG), MIRA 3 da Tescan com o *software* Mira TC. Previamente, as amostras foram metalizadas por pulverização catódica com uma liga de ouro e paládio utilizando um metalizador SC7620 da Quorum.

3.2.3 Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

Para avaliação semiquantitativa da composição elementar das pátinas obtidas, foi utilizado um espectrômetro de energia dispersiva de raios-X associado ao MEV X-act 51-ADD007 da Oxford Instruments com o *software* AZtec.

3.2.4 Difratomia de raios-X (DRX)

Os difratogramas de raios-X foram obtidos com o uso de um difratômetro Shimadzu modelo XDR-7000 usando radiação Cu-K α ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$), operando a 40 kV e 30 mA, visando determinar as diferentes composições de pátinas obtidas.

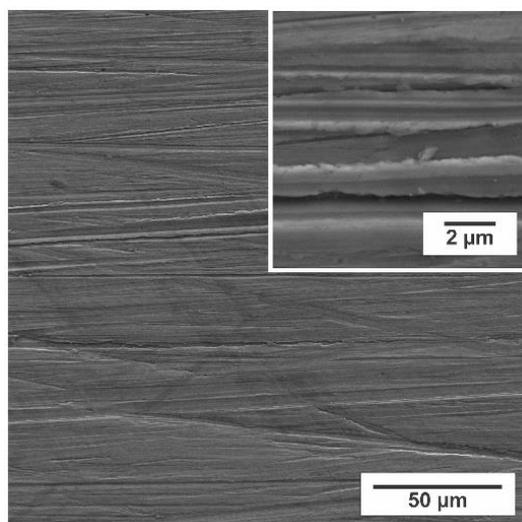
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados 24 procedimentos de patinização diferentes, resultando em um conjunto de 72 amostras, com cores e características diferentes. A obtenção da pátina é um processo sensível a diversas variáveis, e cada procedimento tem seus fatores críticos, que serão pontuados nos próximos tópicos.

Sendo assim, para um mesmo procedimento, nas mesmas condições, foram obtidas pátinas que divergem em seu aspecto macroscópico, como será possível observar nas imagens a seguir. Isso devido ao controle seletivo de fatores, deixando alguns deles passíveis de variarem livremente.

O cobre utilizado foi caracterizado através de MEV, EDS e DRX, para servir de comparação com as pátinas obtidas. A micrografia do cobre utilizado nos experimentos, é mostrada na Figura 44. Conforme pode ser observado, há presença de riscos, provenientes da limpeza mecânica realizada via processo de escovação.

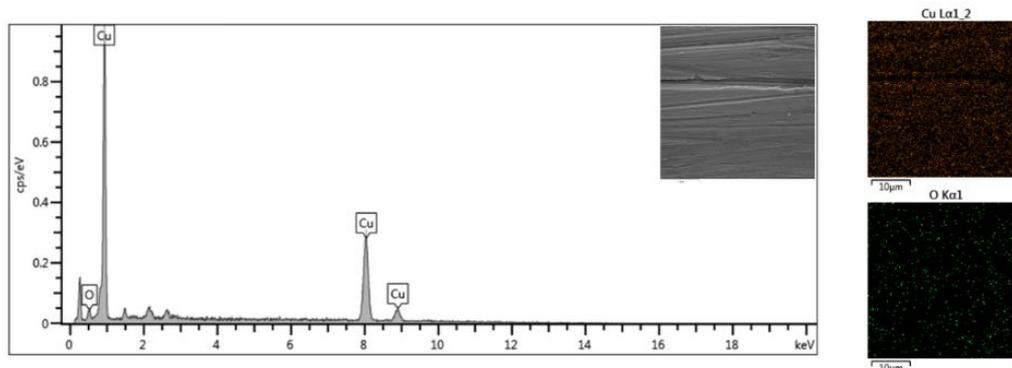
Figura 44 – Micrografia do cobre.



Fonte: O autor (2024).

A análise de EDS, Figura 45, revelou a presença de oxigênio na superfície da amostra, o que já era esperado, visto que o cobre à temperatura ambiente reage com o oxigênio, desde que tenha a presença de gás carbônico e umidade (PMT-USP, [s.d.]).

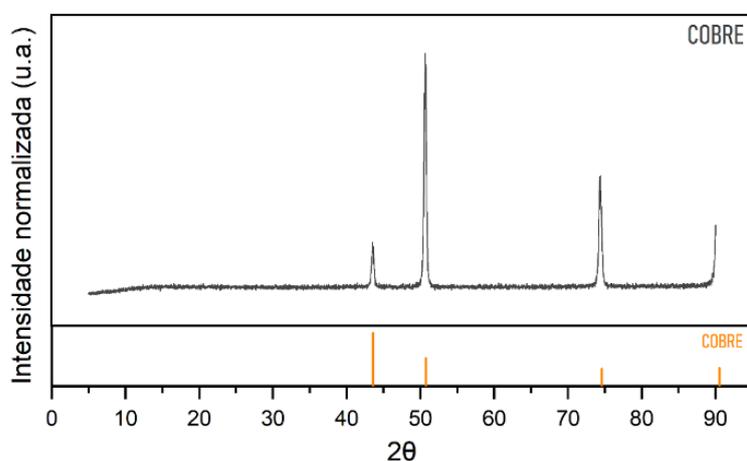
Figura 45 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da amostra do cobre.



Fonte: O autor (2024).

A análise do difratograma da amostra de cobre, Figura 46, indica a presença de picos característico do cobre, conforme ficha COD 96-500-0217. Não foram identificados picos significativos para óxidos de cobre, ou outros compostos derivados deste elemento, bem como, também não foram identificados outros elementos que indicassem a constituição de uma liga de cobre, confirmando que o material utilizado na pesquisa realmente tratava-se de chapas de cobre metálico.

Figura 46 – Difratograma da amostra do cobre.



Fonte: O autor (2024).

4.1 AQUECIMENTO A SECO

Com este método, foi possível obter cores que iniciam no vermelho, partem para o amarelo e chegam em um branco azulado, Figura 47. Essa pátina é bastante sensível à preparação da superfície, principalmente ao grau de limpeza.

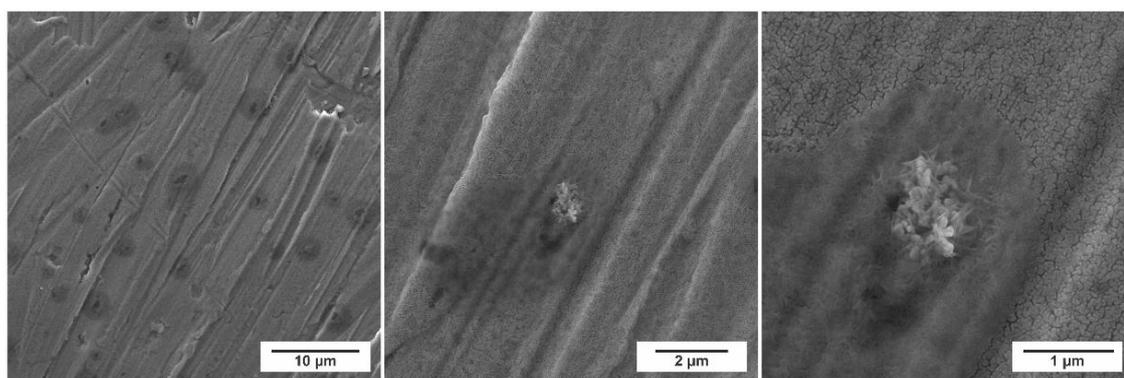
Figura 47 – Pátinas obtidas por aquecimento a seco.



Fonte: O autor (2024).

O MEV revelou, Figura 48, que na superfície das amostras há a presença de nanopartículas globulares aglomeradas, com morfologia semelhante a nanopartículas de óxido de cobre (I) (Cu_2O) reportadas por Badawy, El-Khashab, Nayl (2015) e Du, Xiao (2014). Contudo, há a presença de regiões circulares que se apresentam mais escuras. No centro dessas regiões há a presença de cristais com uma morfologia diferente, semelhante a algumas morfologias de óxidos de cobre (Cu_2O e CuO), reportados previamente por Aguirre et al., 2017; Kahsay et al., 2019; Topnani; Kushwaha e Athar, 2010).

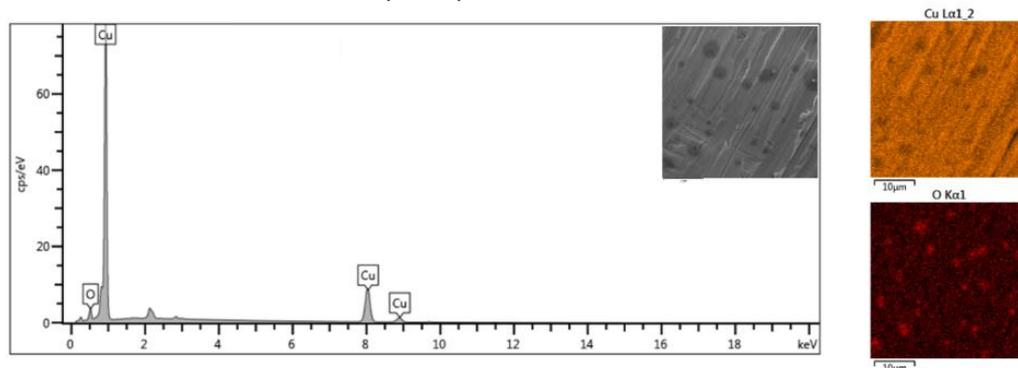
Figura 48 – Micrografias da pátina por aquecimento a seco.



Fonte: O autor (2024).

O espectro de soma de mapas revelou um aumento na presença de oxigênio, em comparação ao cobre puro. Nas regiões mais escuras, há uma maior presença de oxigênio, como pode ser visto na Figura 49.

Figura 49 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina por aquecimento a seco.

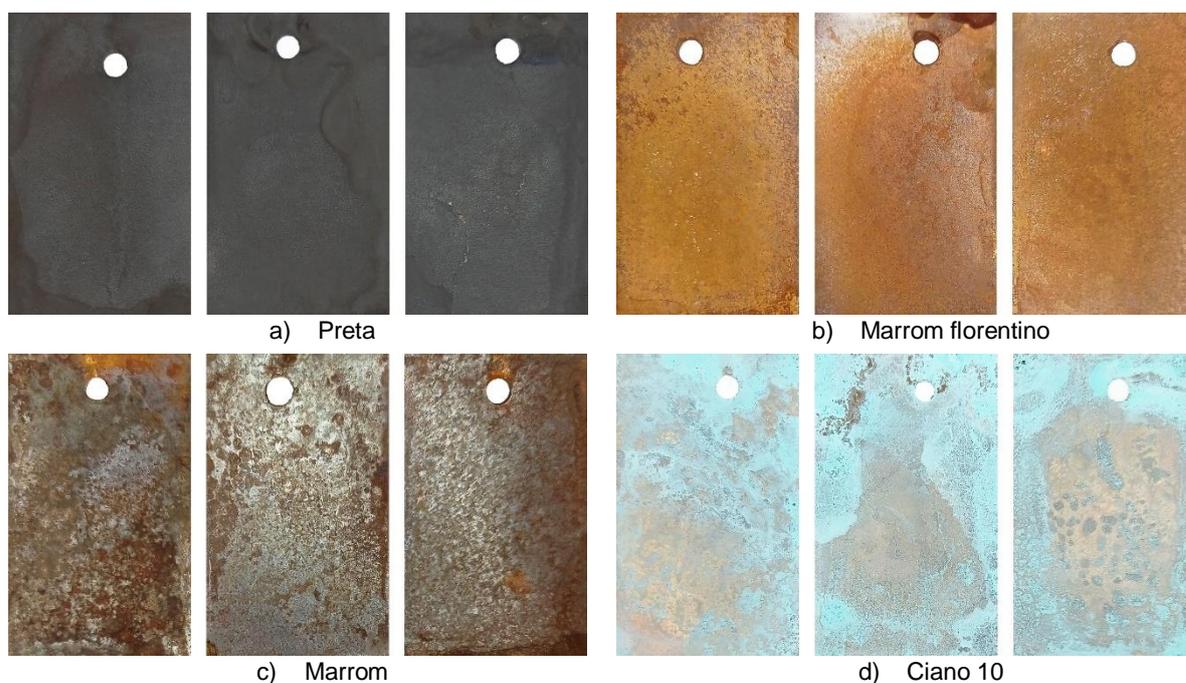


Fonte: O autor (2024).

4.2 APLICAÇÃO DIRETA

A aplicação direta, em geral, produz pátinas que se mostram aderentes e compactas, sendo mais estáveis do que as pátinas produzidas por imersão eletrolítica e vaporização. A aparência dessa pátina é susceptível à forma de deposição e aquecimento das soluções no substrato, revelando os contornos dos depósitos. Na Figura 50, estão dispostas as pátinas obtidas por esse processo.

Figura 50 – Pátinas obtidas por aplicação direta.

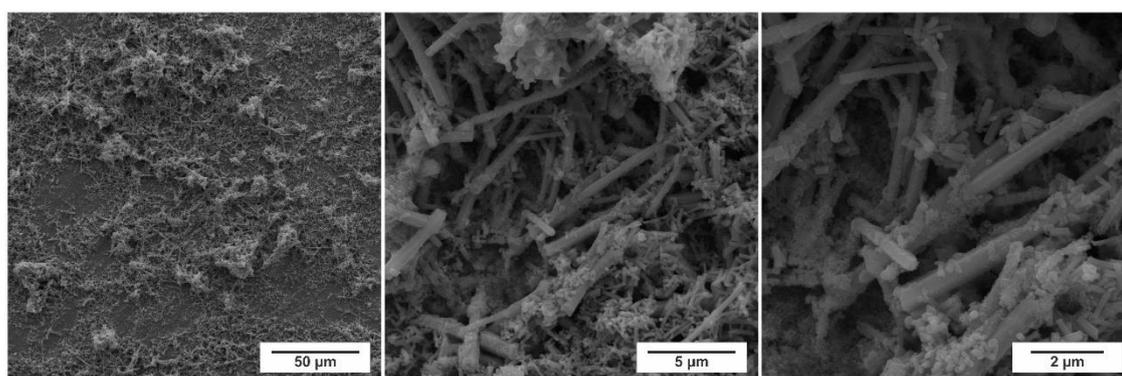




Fonte: O autor (2024)

A pátina preta apresentou uma microestrutura acicular, com cristais de diferentes tamanhos, mas que apresentam morfologia uniforme, Figura 51.

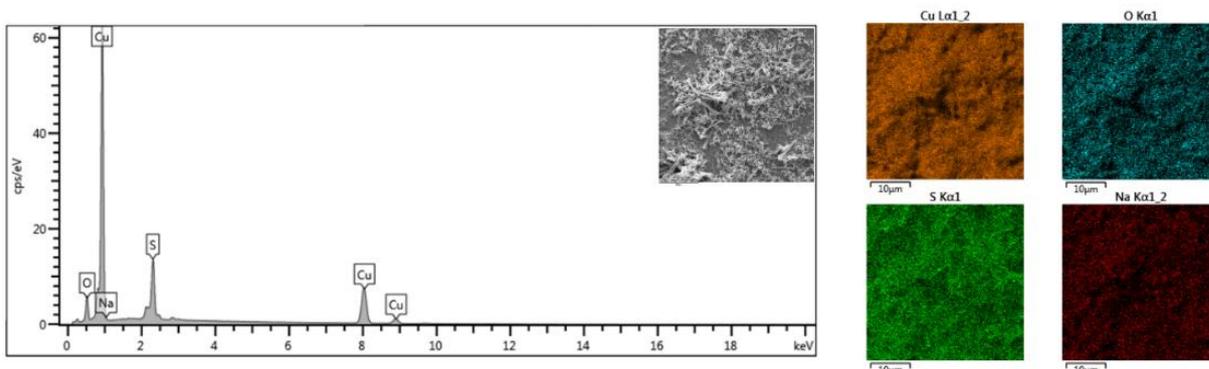
Figura 51 – Micrografias da pátina preta.



Fonte: O autor (2024).

O EDS, Figura 52, relevou que na superfície da amostra há presença de cobre, enxofre, oxigênio e sódio. Não apresentando contraste significativo entre os diferentes tamanhos dos cristais.

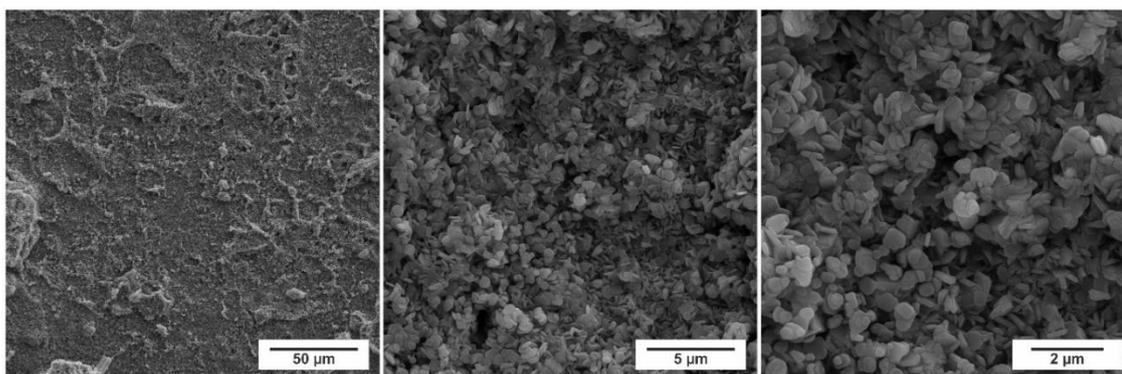
Figura 52 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina preta.



Fonte: O autor (2024).

A composição da pátina ciano foi testada em três concentrações diferentes, 10, 20 e 30% (m/V). À medida que a concentração é aumentada, observou-se que passavam a ser necessário menos borrifadas para que a pátina fosse formada sobre substrato. Além disso, as concentrações maiores também propiciaram a formação de pátinas com superfície mais uniformes. Sendo assim, a concentração pode ser um parâmetro a ser utilizado para obter aspectos diferentes com o mesmo reagente. A pátina Ciano 30 apresentou uma morfologia regular de pequenos discos lamelares, conforme pode ser visto na Figura 53.

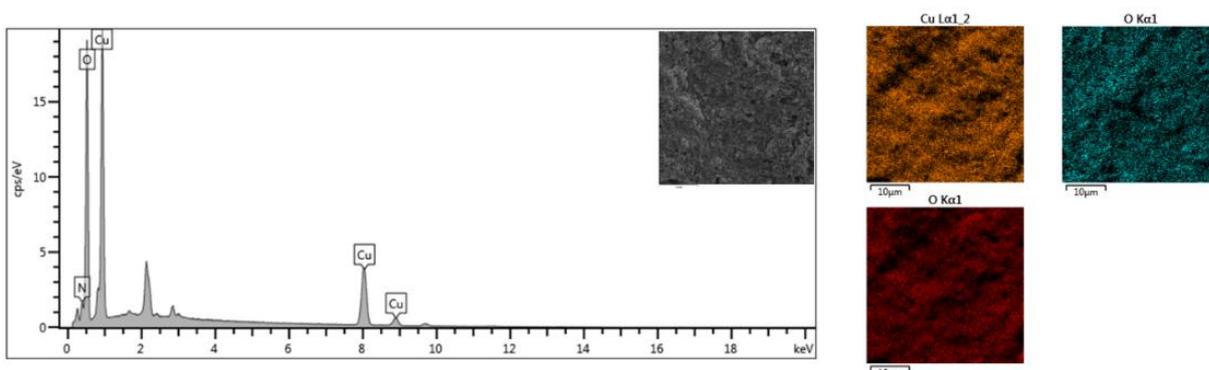
Figura 53 – Micrografias da pátina ciano 30.



Fonte: O autor (2024).

O espectro de EDS identificou na superfície da amostra Cobre, Oxigênio e Nitrogênio, conforme mostra a Figura 54.

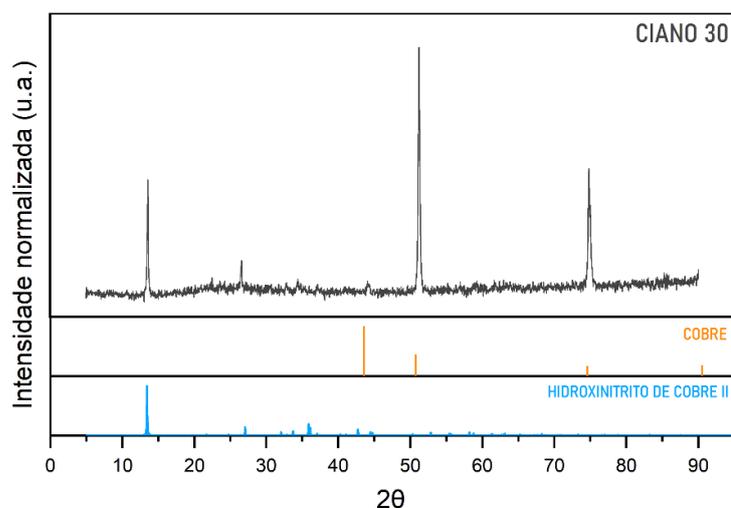
Figura 54 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina Ciano 30.



Fonte: O autor (2024).

O difratograma da amostra Ciano 30, Figura 55, indica a formação de hidroxinitrito de cobre II ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3(\text{NO}_2)$), código de referência (COD 000-403-0610).

Figura 55 – Difratograma da pátina Ciano 30.



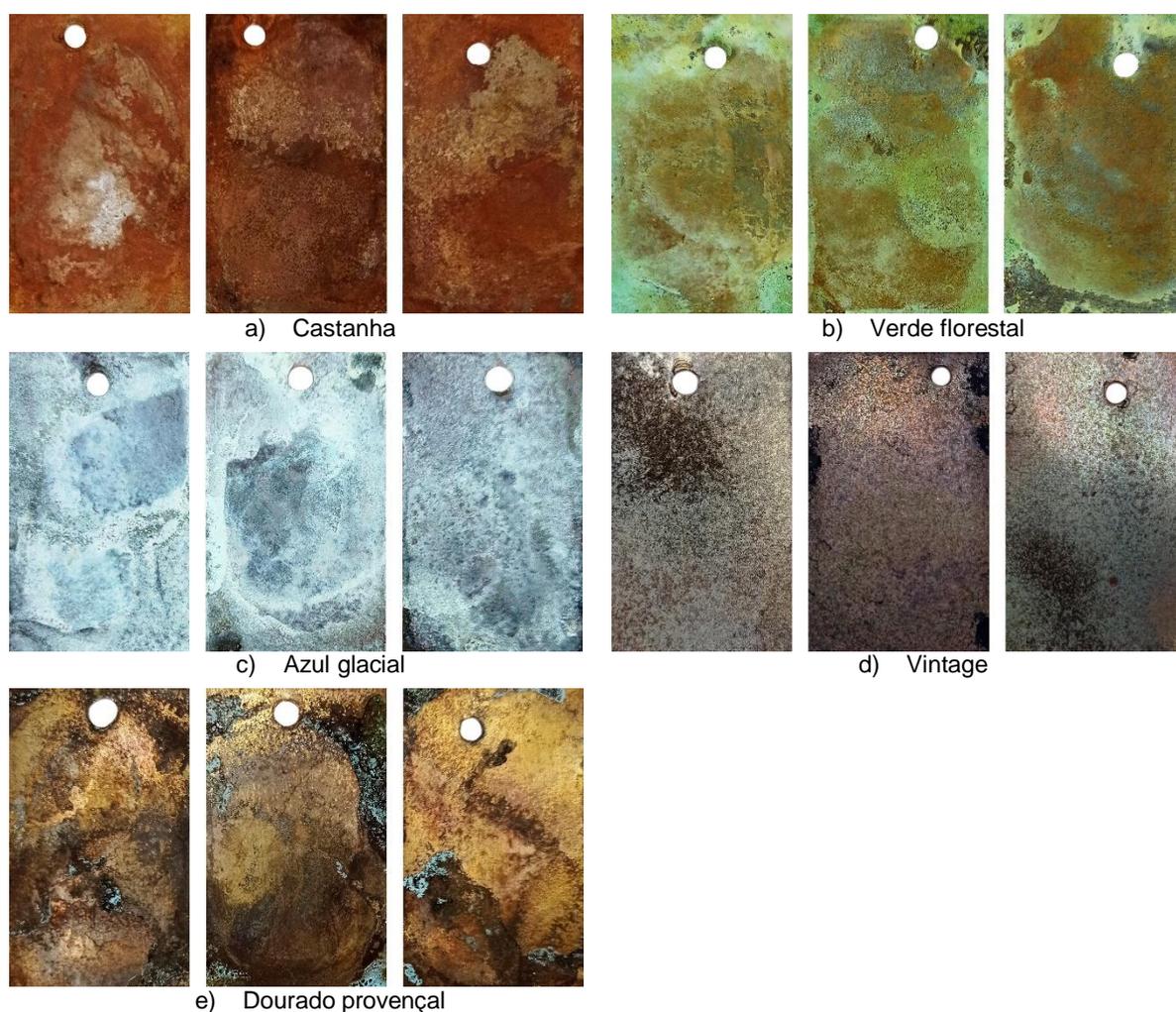
Fonte: O autor (2024).

A composição reconhecida no EDS está de acordo com a composição do hidroxinitrito de cobre II. A morfologia encontrada experimentalmente neste trabalho correspondente ao hidroxinitrito de cobre, também foi reportada por Aguirre, Gutiérrez e Giraldo (2011).

4.3 APLICAÇÃO DIRETA EM CAMADAS

Uma outra possibilidade que a aplicação direta permite é a facilidade de realizar a formação de camadas a partir de reagentes diferentes, permitindo obter novas cores e texturas. Foram testadas cinco combinações de camadas diferentes, as quais estão dispostas na Figura 56.

Figura 56 – Pátinas obtidas por empilhamento de camadas com aplicação direta.

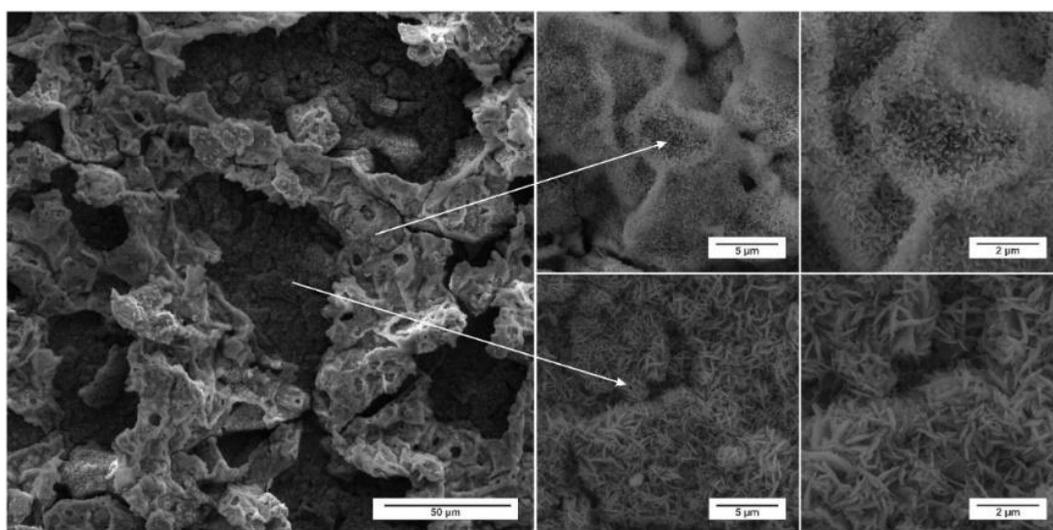


Fonte: O autor (2024).

As fotografias revelam cores muito distintas, que são associadas aos diferentes compostos formados sobre as superfícies de cobre, a partir da reação com as diferentes soluções testadas. A análise das micrografias, permitem ter uma compreensão mais detalhada das diferentes morfologias formadas para uma mesma

condição de camada. Na pátina Azul glacial, Figura 57, é possível observar uma camada superior com morfologia de microplaquetas, semelhante a morfologias típicas de hidróxidos de cobre. Na camada inferior, tem-se aglomerados de placas não uniformes, com morfologia próxima à reportada por Ashraf et al. (2014) para sulfetos de cobre.

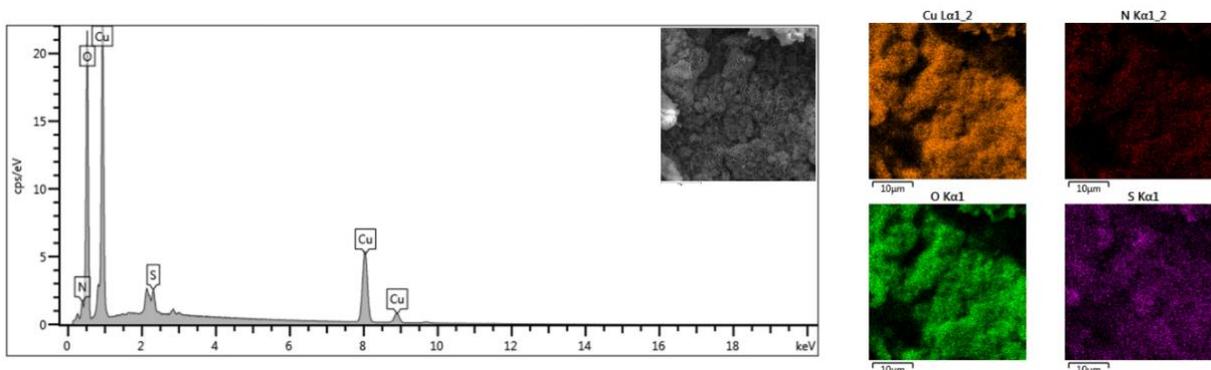
Figura 57 – Micrografias da pátina azul glacial.



Fonte: O autor (2024).

O EDS, Figura 58, revelou a presença de Cobre, Oxigênio, Nitrogênio e Enxofre na superfície da amostra.

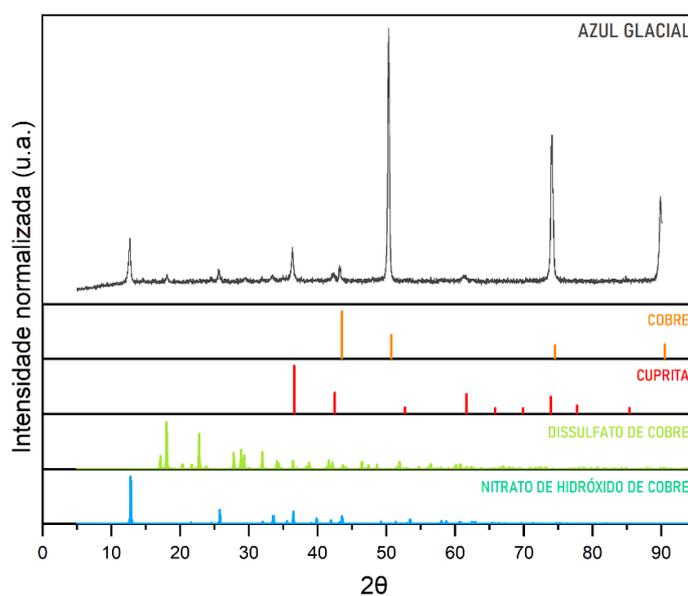
Figura 58 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina azul glacial.



Fonte: O autor (2024).

O difratograma da amostra Azul glacial, Figura 59, indica a formação de Cuprita (CuO_2), código de referência (COD 96-101-0927); Dissulfato de Cobre (CuO_7S_2), código de referência (COD 96-770-9390) e Nitrato de Hidróxido de Cobre ($\text{H}_3\text{Cu}_2\text{NO}_6$), código de referência (96-900-8311). Estando a composição das substâncias localizadas no DRX está de acordo com os elementos encontrados no EDS.

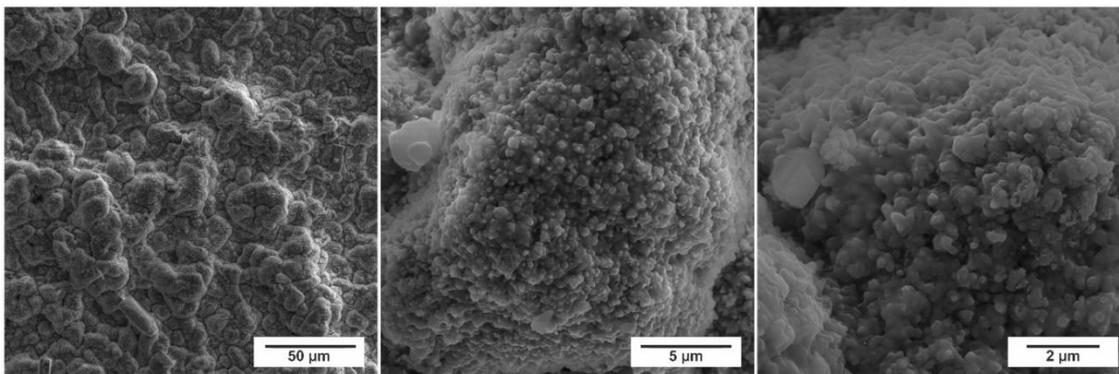
Figura 59 – Difratograma da pátina azul glacial.



Fonte: O autor (2024).

A amostra Verde florestal apresentou uma superfície com morfologia externa botroidal, formada por um aglomerado de pequenas partículas com morfologia não regular, conforme pode ser visto na Figura 60.

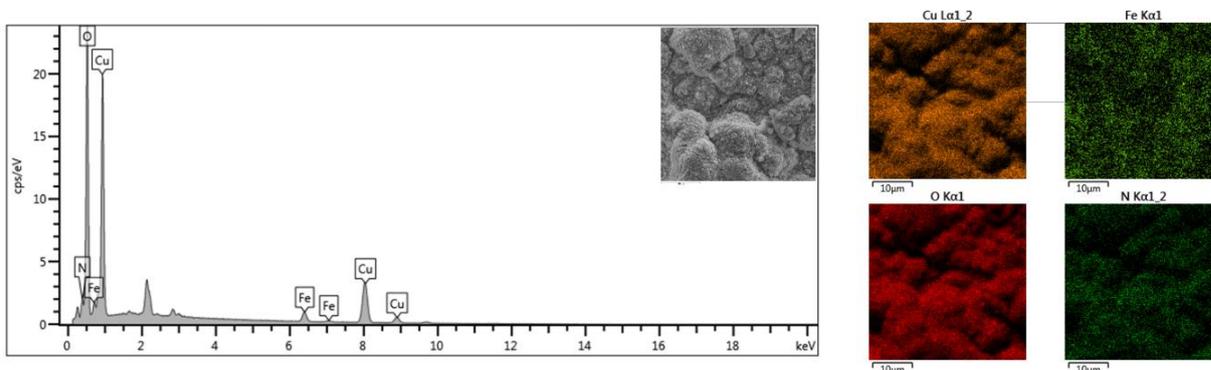
Figura 60 – Micrografias da pátina verde florestal.



Fonte: O autor (2024).

O EDS, Figura 61, indicou a presença de Cobre, Oxigênio, Ferro e Nitrogênio na superfície da amostra.

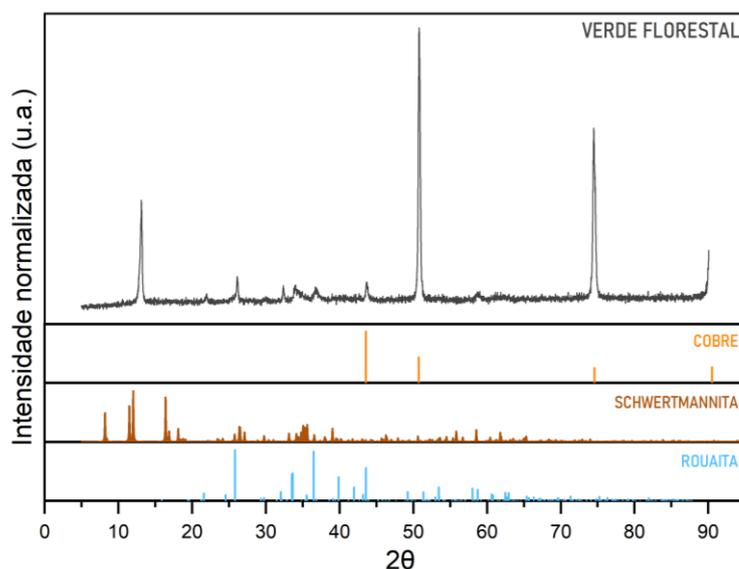
Figura 61 - Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina verde florestal.



Fonte: O autor (2024).

O difratograma da amostra azul glacial, Figura 62, indica a formação de Schwertmannita (Fe_8O_{17}), código de referência (COD 96-901-5186) e Rouaita ($\text{Cu}_4(\text{NO}_3)_2(\text{OH})_6$), código de referência (COD 96-900-8311).

Figura 62 - Difratograma da pátina verde florestal.



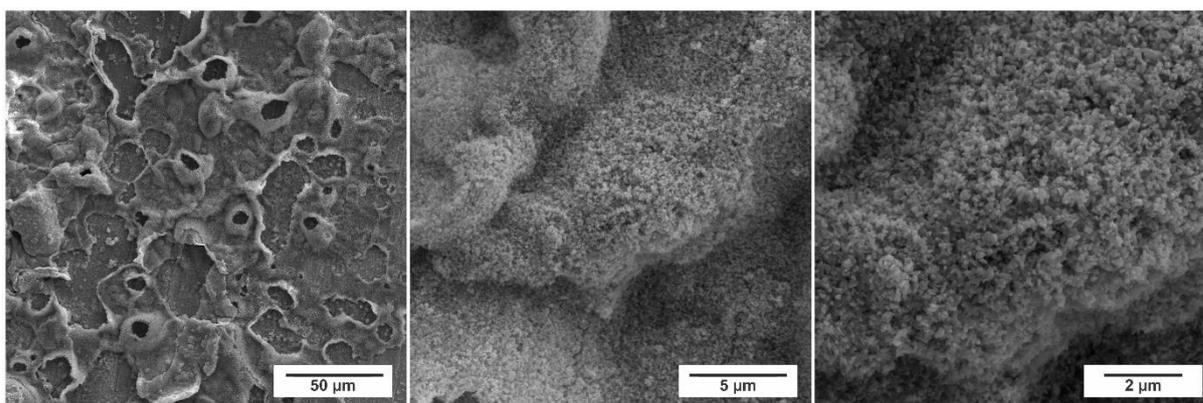
Fonte: O autor (2024).

A composição dos compostos indicados pelo DRX está em concordância com os elementos localizados no EDS. A morfologia da pátina verde florestal se assemelha

com a morfologia da Schwertmannita reportada por Jönsson et al. (2005) e Wang et al. (2023). Entretanto, não foi possível localizar na amostra alguma morfologia de placas típica da Rouaita, como as reportadas por Stanimirova, Dencheva e Kirov (2013).

A pátina dourada apresentou uma camada com eclosões, formando uma morfologia semelhante a cracas. Essa camada é formada por um aglomerado de partículas globulares, como pode ser observado na Figura 63.

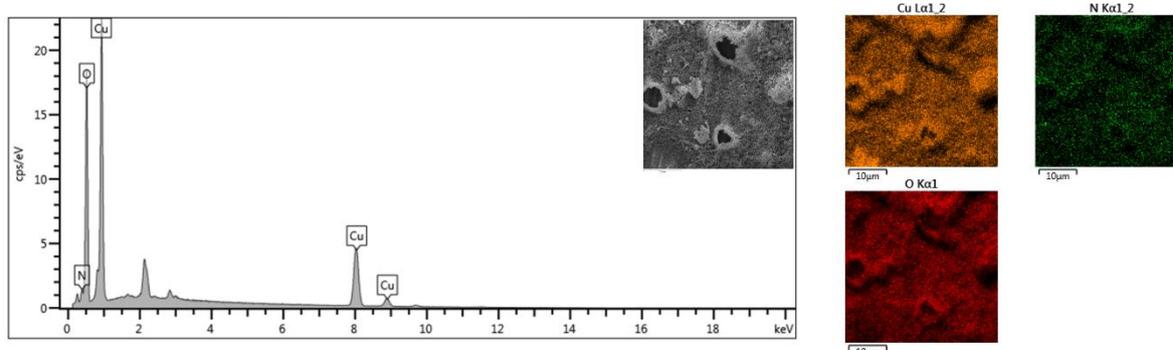
Figura 63 - Micrografias da pátina dourada.



Fonte: O autor (2024).

O EDS dessa pátina, Figura 64, indicou a presença de Cobre, Oxigênio e Nitrogênio na superfície da amostra. Estando essa composição de acordo com os reagentes que foram utilizados.

Figura 64 - Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina dourada.

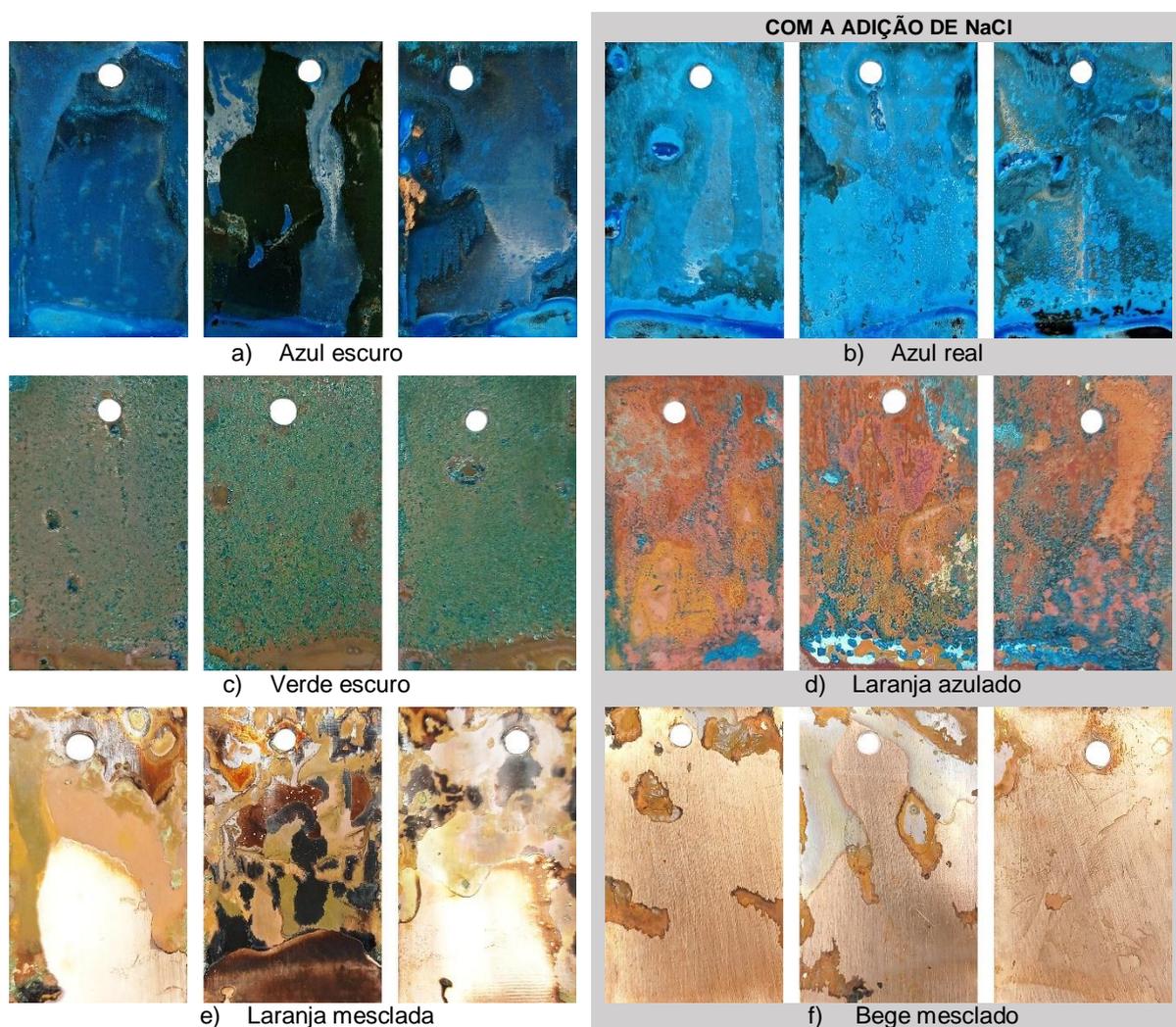


Fonte: O autor (2024).

4.4 VAPORIZAÇÃO

Para o processo de vaporização, foram executadas 6 composições diferentes. As pátinas formadas por esse processo se mostram na forma de pequenas placas, tendo uma aderência mediana. Na Figura 65 pode ser observado as pátinas obtidas por esse método.

Figura 65 – Pátinas obtidas por vaporização.



Fonte: O autor (2024)

As amostras foram penduradas na vertical, dentro dos reatores. Com isso, os vapores que se condensavam e o reagente que ficava aderido após a peça ser molhada, escorriam para o final da peça, permanecendo acumulados sobre a amostra.

Devido a esta condição, é possível notar aspectos e produtos de corrosão diferentes nessas regiões inferiores.

A adição do Cloreto de sódio, lado direito da Figura 65 (b, d e f), provocou mudanças significativas nas pátinas obtidas. O hidróxido de amônia com o NaCl fez com que a pátina apresentasse uma coloração mais intensa. O Ácido acético com NaCl produziu uma pátina com aspecto bastante diverso da pátina formada apenas com o ácido acético. A pátina com o ácido acético apresentou baixa aderência, soltando com facilidade do substrato, enquanto que a com adição de NaCl se parenta com uma adesão superior. O Hidróxido de sódio não se mostrou muito eficiente na formação de pátinas, principalmente com a adição de NaCl (Bege mesclada). Contudo, em uma das triplicadas o Hidróxido de sódio (Laranja mesclada) formou uma pátina com um aspecto macroscópico apresentando uma mescla de cores ao longo de toda sua extensão.

Uma variação possível para esse método é que o substrato não entre em contato com o líquido reagente, apenas com os seus vapores. Isso irá produzir produtos de corrosão diferentes. Para além dessa variação, também é possível alterar a forma de secagem das amostras; após a remoção do reator elas podem ser secas ao ar livre, podem ser lavadas e secas ao ar livre ou secas com aquecimento. Tudo isso irá alterar o aspecto da pátina obtida. Na figura 66 é exibido o resultado de duas variações para a composição da pátina azul escuro e azul real, ambas as pátinas foram obtidas apenas com os vapores, não molhando as amostras nos reagentes.

Figura 66 – Variações nas rotas por vaporização.

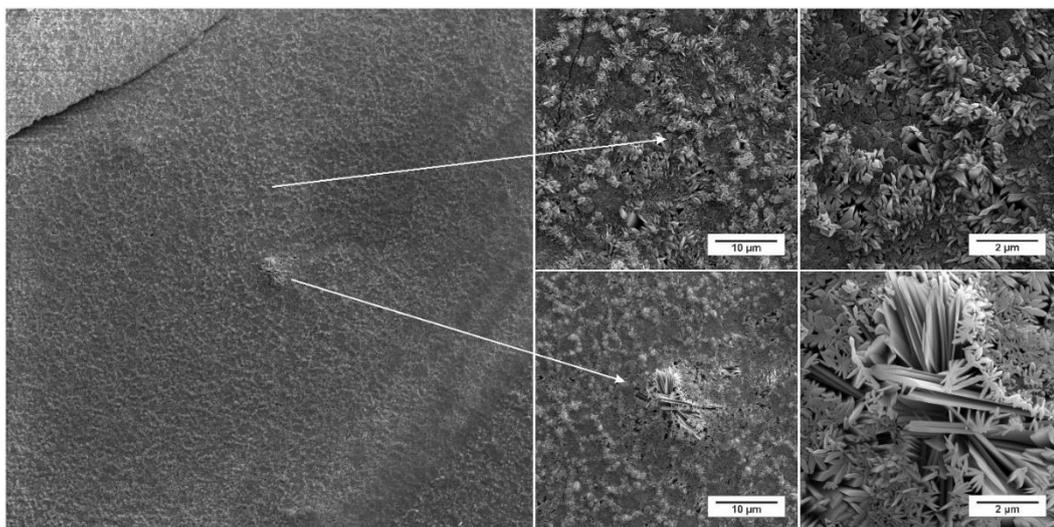


Fonte: O autor (2024).

Comparando os resultados, as pátinas em contato com o reagente formam uma pátina mais uniforme e contínua. A ausência de lavagem após a remoção do reator, até a secagem das amostras, permite que a pátina evolua com maior velocidade.

A pátina azul real apresentou um revestimento com morfologia uniforme, próxima a tabular. Os cristais tiveram crescimentos perpendicular a amostra, sendo possível localizar regiões de falhas, como pode ser visto na Figura 67.

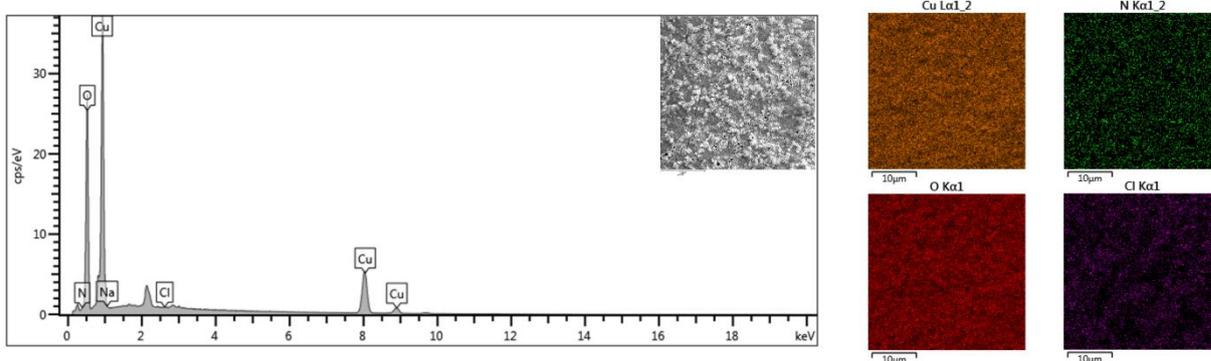
Figura 67 – Micrografias da pátina azul real.



Fonte: O autor (2024).

O espectro de EDS identificou na superfície da amostra Cobre, Oxigênio, Sódio, Nitrogênio e Cloro, conforme mostra a Figura 68.

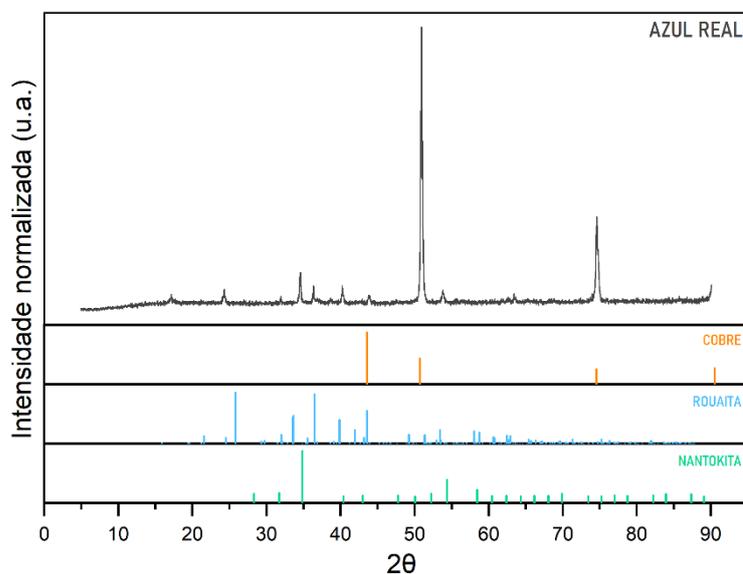
Figura 68 - Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina azul real.



Fonte: O autor (2024).

O difratograma da pátina azul real, Figura 69, indica a formação de rouaita ($\text{Cu}_2\text{H}_3\text{NO}_6$), código de referência (COD 96-900-8310) e nantokita (Cu_4Cl_4), código de referência (COD 96-901-3929).

Figura 69 - Difratograma da pátina azul real.

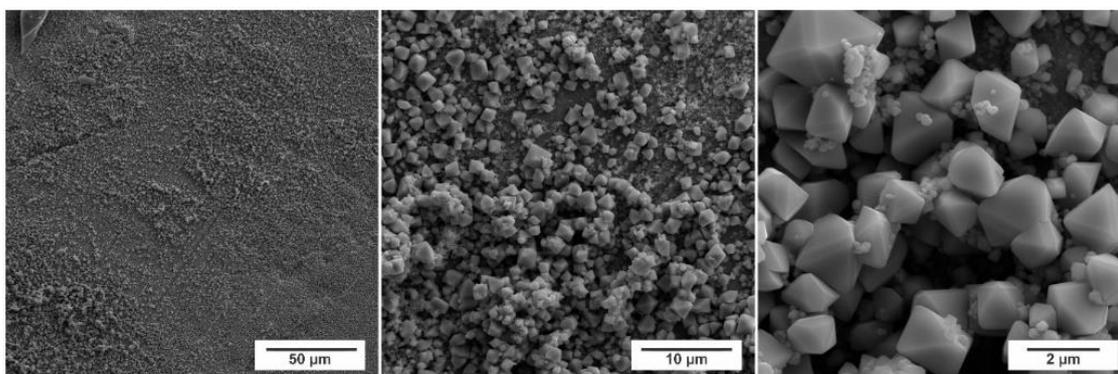


Fonte: O autor (2024).

Entretanto, não foi localizado na literatura referências desses minerais com a morfologia encontrada experimentalmente neste trabalho.

A pátina verde-escura apresentou uma superfície com a presença de compostos com morfologia octaédrica modificada e também aglomerado de partículas sem geometria definida, em alguns casos se aproximando da esférica, como pode ser visto na Figura 70.

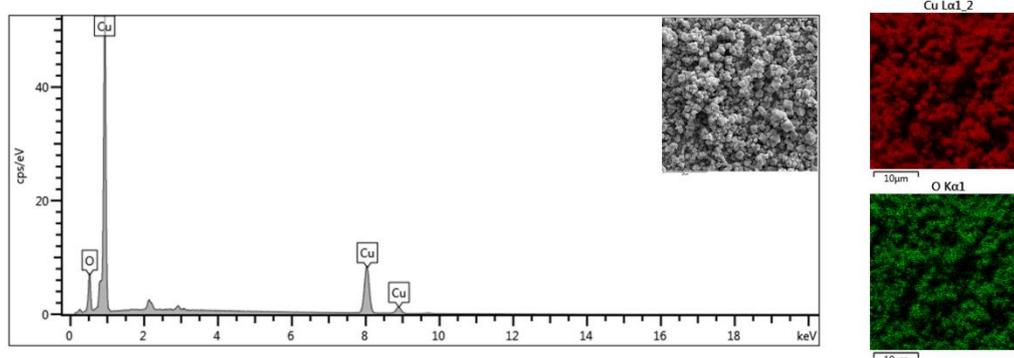
Figura 70 - Micrografias da pátina verde escuro.



Fonte: O autor (2024).

O EDS da pátina verde-escura indicou a presença de Cobre e Oxigênio na amostra, conforme pode ser visto na Figura 71.

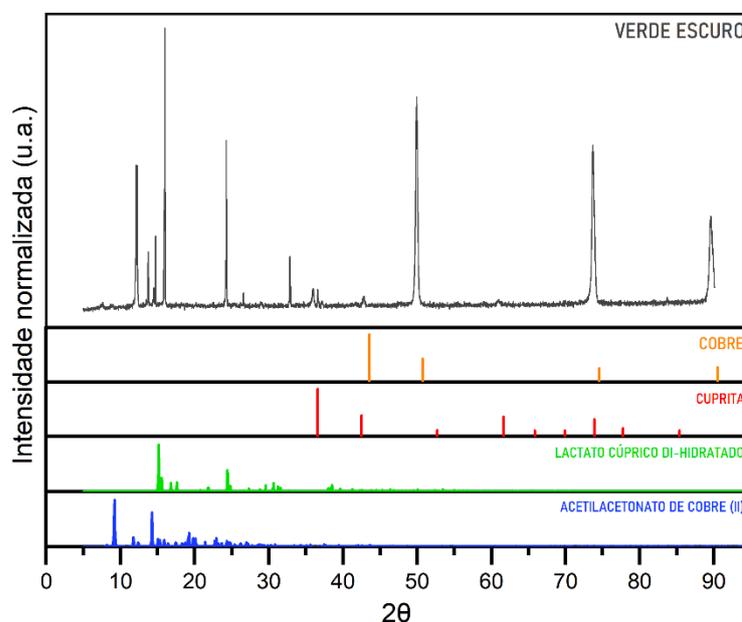
Figura 71 - Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina verde-escura.



Fonte: O autor (2024).

O difratograma dessa amostra, Figura 72, indica a presença de Lactato cúprico di-hidratado ($C_6H_{14}CuO_8$), código de referência (COD 96- 432-5323) e Acetilacetato de cobre (II) ($Cu(O_2C_5H_7)_2$), código de referência (COD 96-770-1520).

Figura 72 - Difratograma da pátina verde escuro.



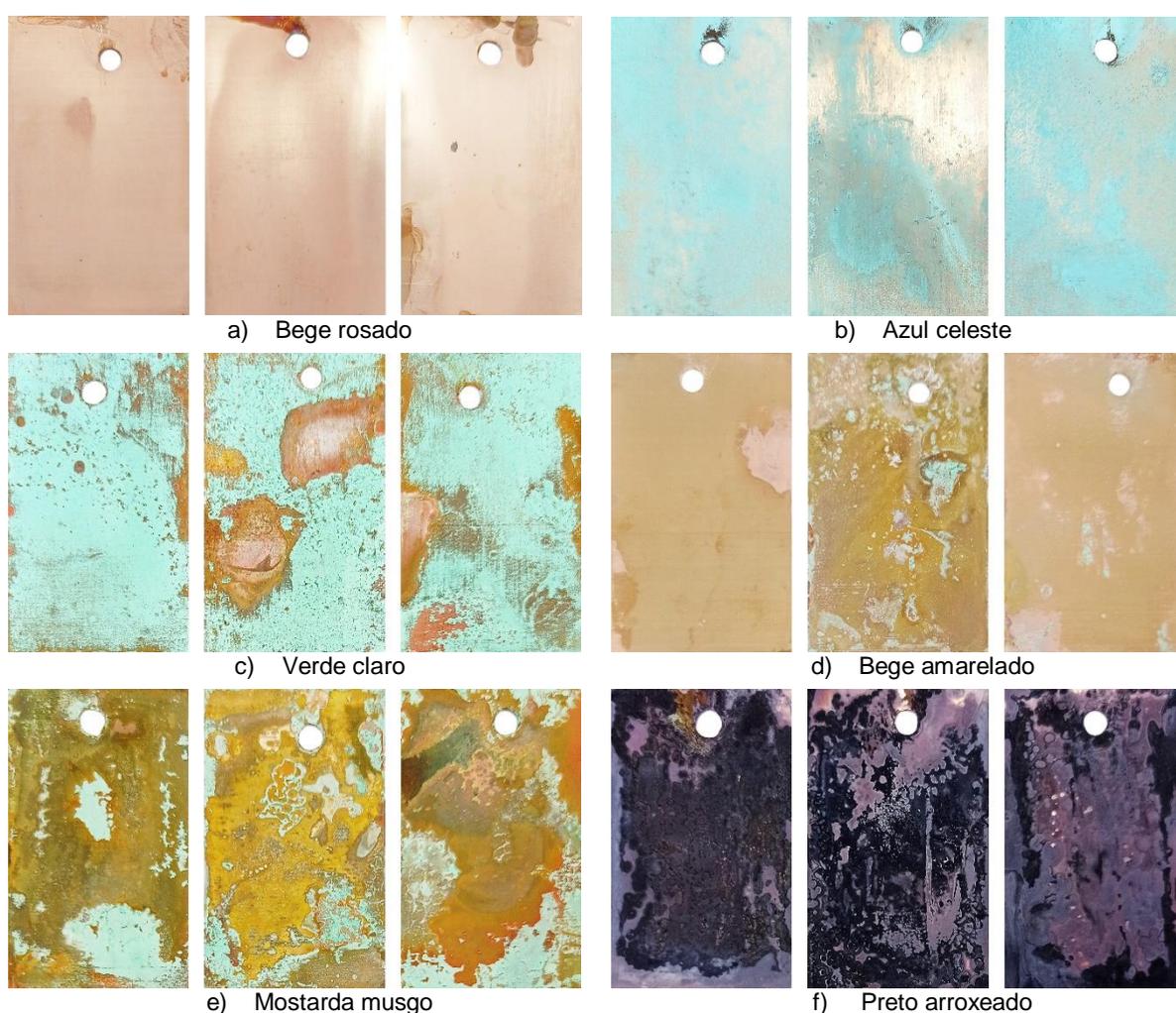
Fonte: O autor (2024).

4.5 IMERSÃO ELETROLÍTICA

Foram testados 6 eletrólitos para a formação de pátinas por imersão eletrolítica. As pátinas por esse método se apresentam pulverulentas, com uma adesão mediana.

A formação da pátina por este método é sensível ao tempo de reação e também à distância entre os eletrodos e seu formato. As pátinas obtidas estão dispostas na Figura 73.

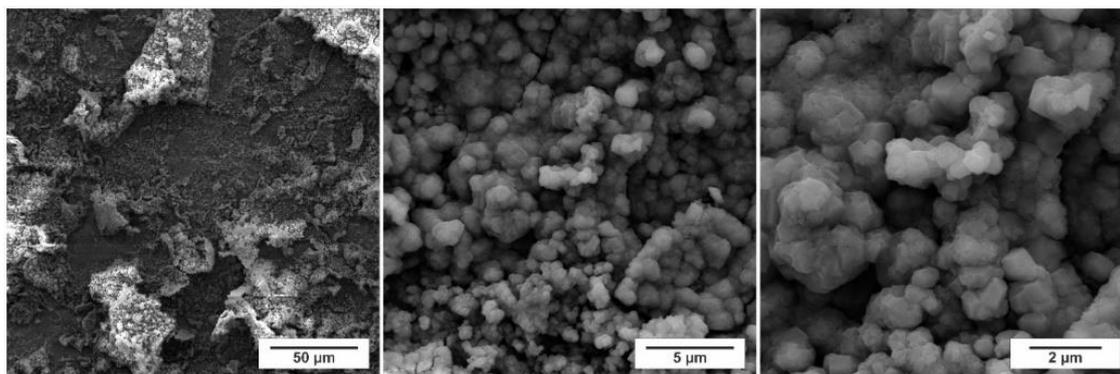
Figura 73 – Pátinas obtidas por imersão eletrolítica.



Fonte: O autor (2024).

A pátina verde-clara apresentou uma morfologia caracterizada por polígonos aglomerados com diferentes crescimentos, como pode ser visto na Figura 74.

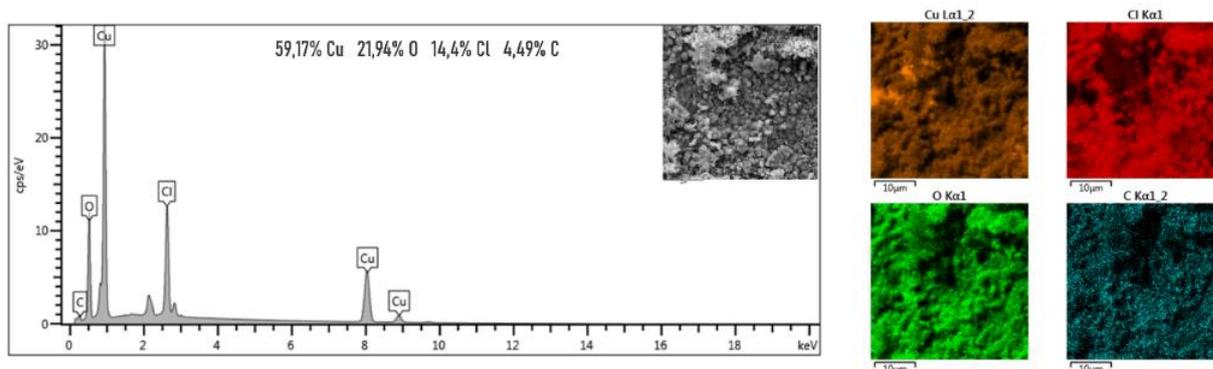
Figura 74 – Micrografias da pátina Verde-claro.



Fonte: O autor (2024).

O espectro de EDS identificou na superfície da amostra Cobre, Oxigênio, Cloro e Carbono, conforme mostra a Figura 75.

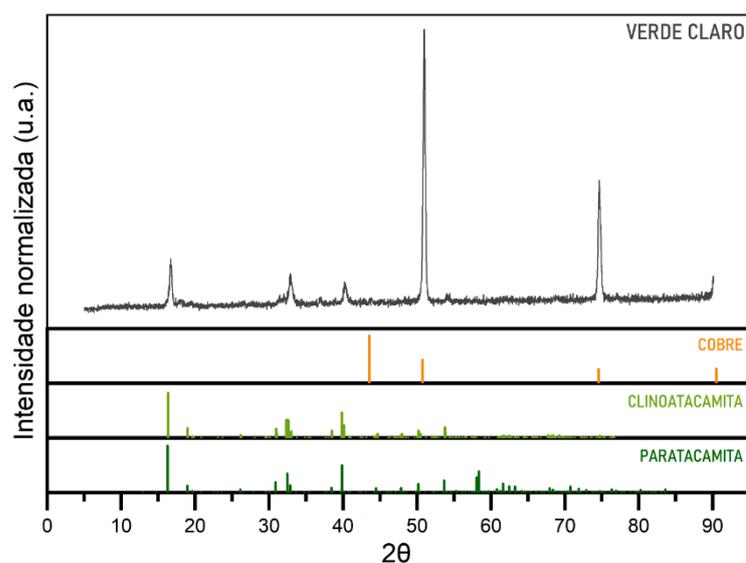
Figura 75 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina Verde-claro.



Fonte: O autor (2024).

O difratograma desta pátina, Figura 76, sugere a presença de Clinoatacamita ($\text{Cu}_8\text{O}_{12}\text{Cl}_4$), código de referência (COD 96-900-4405) e Paratacamita ($\text{Cu}_{48}\text{O}_{72}\text{Cl}_{24}$), código de referência (COD 96-901-1152).

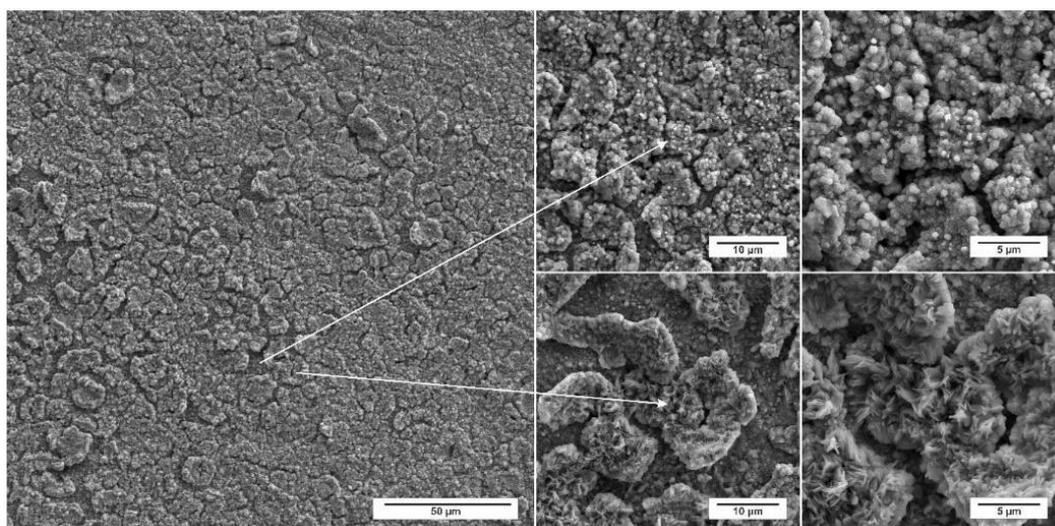
Figura 76 – Difratoograma da pátina Verde-claro.



Fonte: O autor (2024).

A morfologia encontrada experimentalmente para a clinoatacamita e paratacamita foi próxima a reportada por Dekov et al. (2011) e Mezzi et al. (2013). A pátina preta arroxeadada apresentou uma morfologia com duas camadas, Figura 77, na qual a superior possui uma morfologia lamelar, semelhante à covelita reportada por Lei *et al.* (2011) e Silva *et al.* (2019). A camada inferior apresenta uma morfologia de partículas aglomeradas, também é possível notar a presença de octaedros semelhantes à cuprita (Kwon e Cho, 2023; Platt et al., 2008)

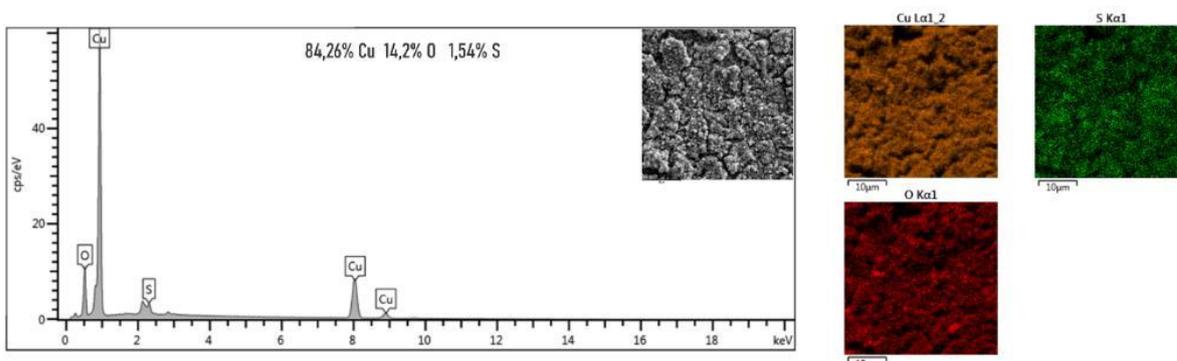
Figura 77 – Micrografias da pátina preta arroxeadada.



Fonte: O autor (2024).

O EDS revelou a presença de cobre, oxigênio e enxofre na superfície da amostra, conforme Figura 78.

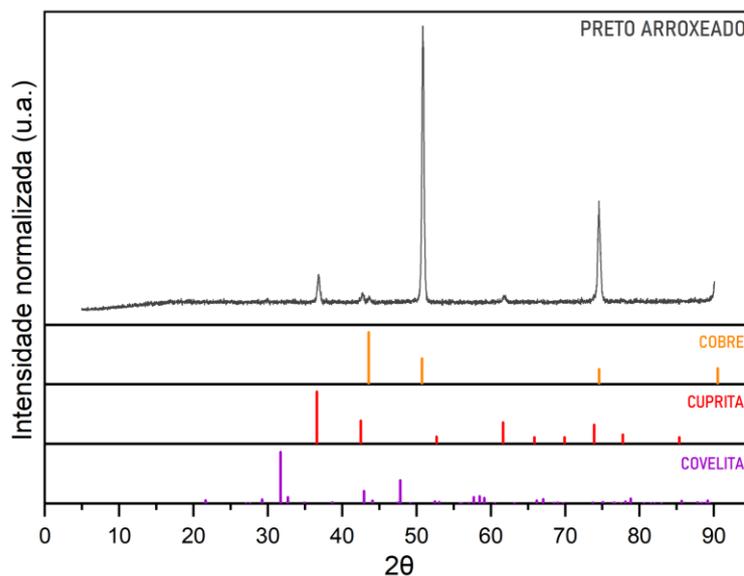
Figura 78 – Espectro de EDS e Mapa de distribuição dos elementos químicos (EDS/MEV) da pátina preta arroxeada.



Fonte: O autor (2024).

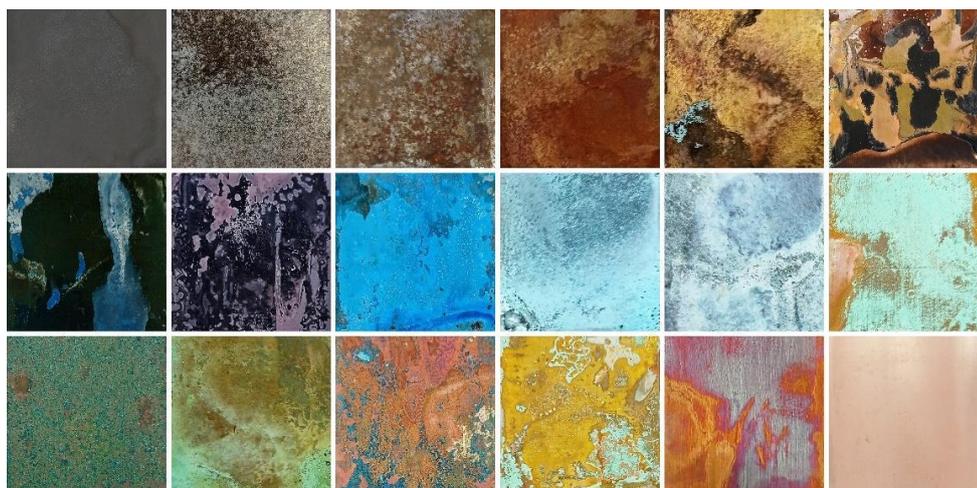
O DRX dessa amostra, Figura 79, sugere a presença de Cuprita (Cu_2O), código de referência (COD 96-101-0927) e Covelita (CuS), código de referência (COD 96-101-0921). Estando essa composição de acordo com a composição e morfologia encontrada experimentalmente.

Figura 79 – Difratoograma da pátina preta arroxeada.



Fonte: O autor (2024).

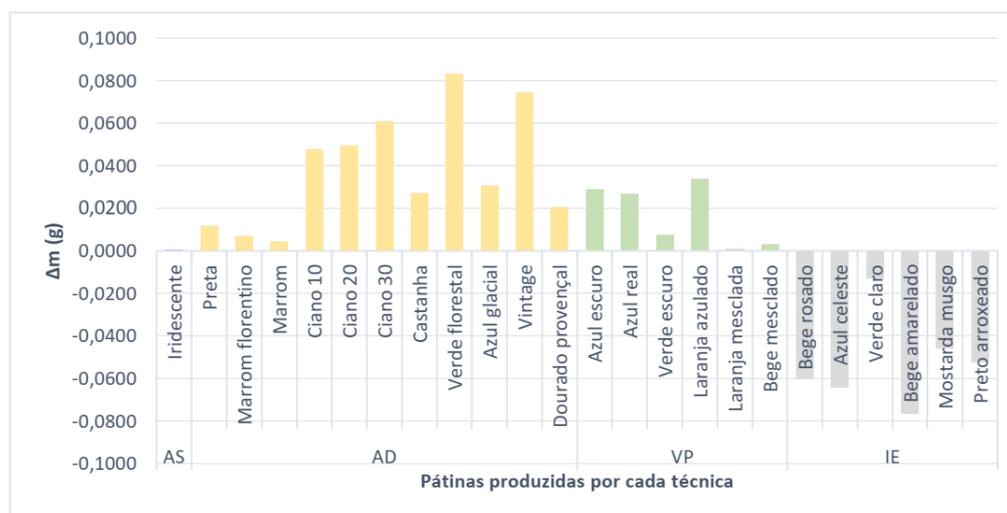
Com as rotas de pátinas abordadas nesse trabalho, foi possível obter diversas cores, tons e texturas. A Figura 80 traz um resumo que evidencia essa pluralidade.

Figura 80 – Resumo das pátinas obtidas.

Fonte: O autor (2024).

4.6 RESULTADOS GRAVIMÉTRICOS

Com exceção das pátinas obtidas pelas rotas por imersão eletrolítica, observou-se um aumento na massa das amostras, que pode ser verificado na Figura 81. Esse comportamento já era esperado, pois nos métodos de aplicação direta e vapor, o processo de corrosão está sendo induzido e acelerado pela adição de meios corrosivos e aquecimento. Desse modo há a deposição dos produtos de corrosão formados sobre a superfície da amostra.

Figura 81 – Variações de massa obtidas com os procedimentos realizados.

Fonte: O autor (2024).

Já nos métodos por imersão eletrolítica, além de ter os produtos de corrosão formados na superfície da amostra, tem-se a liberação de íons de cobre para o eletrólito, e conseqüente formação de compostos secundários, como mostrado na Figura 82. Nesses casos, observou-se que a perda de massa do cobre foi superior ao ganho da massa pela formação dos produtos de corrosão na superfície da amostra.

Figura 82 – Subprodutos formados durante os processos de obtenção das pátinas por rotas IE.



Fonte: O autor (2024).

Para o processo de aquecimento a seco, apesar do pequeno ganho de massa indicado, esses valores estão na casa de incerteza de medição da balança utilizada. Sendo assim, não é possível afirmar que houve de fato um ganho na massa dessas amostras. Gentil e Carvalho (2022) pontuam que as películas de espessura médias são visíveis a olho nu, mas apenas pelas cores de interferência (iridescência), característica esta que as pátinas obtidas pelo aquecimento a seco apresentam. Isto pode indicar que possuem uma espessura entre 400 e 5000 Å, não sendo possível detectar variação de massa com o instrumento e medição utilizado

4.7 PARCERIA COM O PROJETO M.ARTE

Para avaliar o funcionamento da proposta deste trabalho como ferramenta de ensino, foi realizado um minicurso voltado para estudantes de licenciatura em química e professores de química da rede pública de ensino médio em parceria com o projeto de extensão da UFPE M.ARTE: Materiais, Ciência e Arte e a CECINE (Coordenadoria do Ensino de Ciências do Nordeste) como parte do conteúdo do curso de extensão "O Fantástico Universo da Corrosão", com carga horária de 30h. Dentro da carga

horária do curso, dois encontros, correspondentes a 8h, foram dedicados a abordar a integração entre os materiais, o fenômeno de corrosão, o processo de patinização e a arte. O primeiro encontro correspondeu à realização de uma aula expositiva dialogada, de modo a contextualizar e integrar os materiais e a arte, por meio da abordagem dos seguintes tópicos:

- Ciência e arte;
- O uso dos materiais pelo homem;
- Os materiais na arte;
- A corrosão nas esculturas metálicas.

No segundo encontro, foi realizada uma oficina teórico-prática intitulada "Pátina: corrosão e suas diversas cores.", sendo abordados os seguintes conteúdos:

- O cobre e seus minerais/compostos;
- Pátina e Patinização;
- Práticas de obtenção de pátinas de baixo custo.

Na figura 83, são apresentados alguns registros fotográficos obtidos durante a realização do minicurso. Os slides utilizados nos dois encontros do curso estão disponíveis nos Apêndices A e B, respectivamente.

Figura 83 – Registros fotográficos de diferentes momentos da participação no curso “O Fantástico Universo da Corrosão”.



a) Primeiro encontro

b) Segundo encontro

c) Execução dos experimentos

d) Participantes

Fonte: O autor (2024).

4.8 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática proposta, Quadro 1, foi elaborada considerando aulas germinadas de 50 minutos cada. A proposta apresenta atividades para execução durante a aula e outras de pesquisa, para serem realizadas de forma extraclasse, pelos alunos.

Quadro 1 – Sequência didática proposta.

ENCONTROS		CONTEÚDOS	ATIVIDADES	OBJETIVOS	RECURSOS DIDÁTICOS
DIA 1	Aula 01 (50 min)	<ul style="list-style-type: none"> Os materiais; Uso dos materiais pelo homem; Materiais na arte. 	Após a aula: Pesquisa de exemplo de materiais utilizados pelo aluno, classificando-os nas famílias e justificando o porquê pertencem a ela.	Construção de conhecimento inicial sobre os materiais. Com a atividade, medir o nível de conhecimento dos alunos sobre os materiais.	Quadro (físico ou virtual); Apresentação em slides e exposição de materiais do cotidiano das diferentes classes.
	Aula 02 (50 min)	<ul style="list-style-type: none"> A corrosão e pátina; Mecanismos de corrosão; Exemplos de pátina. 	Durante a aula: Primeira execução de pátina, montar os reatores de vapor (variando as soluções utilizadas por grupo).	Contextualizar um fenômeno natural, revelando-o em situações cotidianas. Com a atividade, avaliar a influência dos meios no processo corrosivo e permitir a discussão sobre agressividade dos meios.	Quadro (físico ou virtual); Apresentação em slides; Materiais para a execução dos reatores e roteiro de procedimento experimental.
DIA 2	Aula 03 (50 min)	<ul style="list-style-type: none"> Métodos de obtenção das pátinas. 	Discussão sobre a atividade de pesquisa proposta anteriormente sobre os materiais.	Instigar os alunos com a possibilidade dos produtos de corrosão da pátina. Acompanhar o desenvolvimento da aprendizagem sobre corrosão.	Quadro (físico ou virtual); Apresentação em slides.
	Aula 04 (50 min)	<ul style="list-style-type: none"> Atividade prática. 	Demonstração dos experimentos.	Construir conhecimento técnico sobre as rotas de patinização, permitindo a sua produção na aula seguinte.	Quadro (físico ou virtual); Apresentação em slides; Materiais para a execução dos experimentos selecionados e roteiros experimentais.
DIA 3	Aula 05 (50 min)	<ul style="list-style-type: none"> Atividade prática. 	Construção de artefato artístico com as pátinas produzidas.	Desenvolver o olhar artístico dos alunos e habilidade de trabalho em grupo.	Materiais para a execução dos experimentos selecionados e referencial visual de obras artísticas.
	Aula 06 (50 min)				

Fonte: O autor (2024).

No Quadro 2 abaixo, está disposto uma correlação entre os conteúdos e atividades propostas com as habilidades a serem desenvolvidas indicadas no BNCC durante o ensino de artes no ensino fundamental.

Quadro 2 – Exemplos de possibilidades no ensino de artes no ensino fundamental.

UNIDADES TEMÁTICAS	OBJETOS DE CONHECIMENTO	HABILIDADES	POSSIBILIDADES
1º AO 5º ANO			
Artes visuais	Contextos e práticas	(EF15AR01) Identificar e apreciar formas distintas das artes visuais tradicionais e contemporâneas, cultivando a percepção, o imaginário, a capacidade de simbolizar e o repertório imagético.	Durante a abordagem dos materiais na arte, será possível trabalhar variações de estilos e movimentos artísticos, explorando a forma que os materiais eram trabalhados em cada um deles.
Artes visuais	Materialidades	(EF15AR04) Experimentar diferentes formas de expressão artística (desenho, pintura, colagem, quadrinhos, dobradura, escultura, modelagem, instalação, vídeo, fotografia etc.), fazendo uso sustentável de materiais, instrumentos, recursos e técnicas convencionais e não convencionais.	Com as práticas de execução de artefatos artísticos, o uso de recursos e técnicas poderão ser abordados para explorar a ideia de materialidade na arte.
Artes visuais	Processos de criação	(EF15AR05) Experimentar a criação em artes visuais de modo individual, coletivo e colaborativo, explorando diferentes espaços da escola e da comunidade. (EF15AR06) Dialogar sobre a sua criação e as dos colegas, para alcançar sentidos plurais.	As atividades práticas são sugeridas serem realizadas em grupos, de forma a ser colaborativa e dialogada.
Artes visuais	Sistemas da linguagem	(EF15AR07) Reconhecer algumas categorias do sistema das artes visuais (museus, galerias, instituições, artistas, artesãos, curadores etc.).	Durante o conteúdo “Materiais na arte”, os exemplos de arte e seus materiais devem ser referenciados quanto os artistas e sistemas, possibilitando a abordagem desta habilidade.
Artes integradas	Patrimônio cultural	(EF15AR25) Conhecer e valorizar o patrimônio cultural, material e imaterial, de culturas diversas, em especial a brasileira, incluindo-se suas matrizes	Durante o conteúdo “Materiais na arte”, os exemplos de arte e seus materiais devem ser referenciados quanto os artistas e localidades, pontuando especificidades da

		indígenas, africanas e europeias, de diferentes épocas, favorecendo a construção de vocabulário e repertório relativos às diferentes linguagens artísticas.	cultura dos países de que são originários.
Artes integradas	Arte e tecnologia	(EF15AR26) Explorar diferentes tecnologias e recursos digitais (multimeios, animações, jogos eletrônicos, gravações em áudio e vídeo, fotografia, softwares etc.) nos processos de criação artística.	Após a construção do artefato artísticos, este pode ser apresentado pelos grupos através de slides, vídeos, fotos, promovendo uma integração entre arte e tecnologia.
6º AO 9º ANO			
Artes visuais	Contextos e práticas	(EF69AR01) Pesquisar, apreciar e analisar formas distintas das artes visuais tradicionais e contemporâneas, em obras de artistas brasileiros e estrangeiros de diferentes épocas e em diferentes matrizes estéticas e culturais, de modo a ampliar a experiência com diferentes contextos e práticas artístico-visuais e cultivar a percepção, o imaginário, a capacidade de simbolizar e o repertório imagético.	Durante o conteúdo “Materiais na arte”, os exemplos de arte e seus materiais devem ser referenciados quanto os artistas e seus contextos históricos, possibilitando a abordagem desta habilidade.
Artes visuais	Materialidades	(EF69AR05) Experimentar e analisar diferentes formas de expressão artística (desenho, pintura, colagem, quadrinhos, dobradura, escultura, modelagem, instalação, vídeo, fotografia, performance etc.).	Durante as atividades propostas, os alunos entrarão em contato com diversas formas de expressão artísticas, tais como: desenho, escultura, modelagem, vídeo e fotografia.

Artes visuais	Processos de criação	<p>(EF69AR06) Desenvolver processos de criação em artes visuais, com base em temas ou interesses artísticos, de modo individual, coletivo e colaborativo, fazendo uso de materiais, instrumentos e recursos convencionais, alternativos e digitais.</p> <p>(EF69AR07) Dialogar com princípios conceituais, proposições temáticas, repertórios imagéticos e processos de criação nas suas produções visuais.</p>	As atividades práticas são sugeridas serem realizadas em grupos, de forma a ser colaborativa e dialogada. A fim de que sejam uma ferramenta complementar ao aprendizado.
Artes visuais	Sistemas da linguagem	(EF69AR08) Diferenciar as categorias de artista, artesão, produtor cultural, curador, designer, entre outras, estabelecendo relações entre os profissionais do sistema das artes visuais.	Durante o conteúdo “Materiais na arte”, os exemplos de arte e seus materiais devem ser referenciados quanto os artistas e seus contextos históricos, possibilitando a abordagem desta habilidade.
Artes integradas	Patrimônio cultural	(EF69AR34) Analisar e valorizar o patrimônio cultural, material e imaterial, de culturas diversas, em especial a brasileira, incluindo suas matrizes indígenas, africanas e europeias, de diferentes épocas, e favorecendo a construção de vocabulário e repertório relativos às diferentes linguagens artísticas.	Durante o conteúdo “Materiais na arte”, os exemplos de arte e seus materiais devem ser referenciados quanto os artistas e seus contextos históricos, possibilitando a abordagem desta habilidade.
Artes integradas	Arte e tecnologia	(EF69AR35) Identificar e manipular diferentes tecnologias e recursos digitais para acessar, apreciar, produzir, registrar e compartilhar práticas e repertórios artísticos, de modo reflexivo, ético e responsável.	Durante as atividades propostas, os alunos entrarão em contato com diversas formas de expressão artísticas, tais como: desenho, escultura, modelagem, vídeo e fotografia.

Fonte: O autor (2024).

Ainda abordando o ensino fundamental, o componente curricular de ciências também pode ser utilizado para a utilização da presente ferramenta de ensino-aprendizagem. No Quadro 3 abaixo, está disposto uma correlação entre os conteúdos

e atividades propostas com as habilidades a serem desenvolvidas indicadas no BNCC durante o ensino de ciências no ensino fundamental.

Quadro 3 – Exemplos de possibilidades no ensino de ciências no ensino fundamental

UNIDADES TEMÁTICAS	OBJETOS DE CONHECIMENTO	HABILIDADES	POSSIBILIDADES
1º ANO			
Matéria e energia	Características dos materiais	(EF01CI01) Comparar características de diferentes materiais presentes em objetos de uso cotidiano, discutindo sua origem, os modos como são descartados e como podem ser usados de forma mais consciente.	O tópico “Os materiais” contido na aula 1 do primeiro dia, possui o objetivo de fazer uma introdução aos materiais, nivelando o conhecimento sobre eles.
2º ANO			
Matéria e energia	Propriedades e usos dos materiais	(EF02CI01) Identificar de que materiais (metais, madeira, vidro etc.) são feitos os objetos que fazem parte da vida cotidiana, como esses objetos são utilizados e com quais materiais eram produzidos no passado.	A atividade de pesquisa proposta no primeiro dia visa medir o nível de conhecimento dos alunos sobre os materiais, pedindo para que eles classifique alguns materiais que usam no cotidiano em suas famílias e justifique o porquê pertencem a ela.
4º ANO			
Matéria e energia	Transformações reversíveis e não reversíveis	(EF04CI02) Testar e relatar transformações nos materiais do dia a dia quando expostos a diferentes condições (aquecimento, resfriamento, luz e umidade).	Com os conteúdos “A corrosão e pátina” e “Mecanismos de corrosão” será possível abordar as transformações nos materiais expostos a ambientes corrosivos.
5º ANO			
Matéria e energia	Propriedades físicas dos materiais	(EF05CI01) Explorar fenômenos da vida cotidiana que evidenciam propriedades físicas dos materiais – como densidade, condutibilidade térmica e elétrica, respostas a forças magnéticas, solubilidade, respostas a forças mecânicas (dureza, elasticidade etc.), entre outras.	Através do tópico de uso dos materiais pelo homem será possível trabalhar as propriedades dos materiais que justificam seu uso na arte.

9º ANO			
Matéria e energia	Aspectos quantitativos das transformações químicas Estrutura da matéria	(EF09CI02) Comparar quantidades de reagentes e produtos envolvidos em transformações químicas, estabelecendo a proporção entre as suas massas. (EF09CI03) Identificar modelos que descrevem a estrutura da matéria (constituição do átomo e composição de moléculas simples) e reconhecer sua evolução histórica.	Durante a atividade prática de execução das pátinas, as transformações químicas envolvidas podem ser monitoradas através de análises gravimétricas, a fim de suportarem o estudo da cinética de reação. Os produtos e reagentes envolvidos também podem ser explorados através da sua composição e estrutura molecular.

Fonte: O autor (2024).

Para a etapa do ensino médio, a presente metodologia se enquadra em três competências específicas da área de ciências da natureza e suas tecnologias. As possibilidades para cada competência específica estão dispostas no Quadro 4 abaixo.

Quadro 4 – Exemplos de possibilidades no ensino de ciências no ensino fundamental.

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA	HABILIDADES	POSSIBILIDADES
Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.	(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.	Durante a atividade prática de execução das pátinas, como as pelo método eletrolítico, as transformações químicas envolvidas podem ser monitoradas através de análises gravimétricas, a fim de suportarem o estudo da cinética de reação.
Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.	(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.	Durante a atividade prática de execução das pátinas, uma vez definidos os reagentes envolvidos, os alunos podem ser instigados a prever quais serão os produtos da reação. Além de serem questionados sobre a viabilidade de se obter os mesmos produtos através da pátina natural.

<p>Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).</p>	<p>(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.</p> <p>(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.</p>	<p>Os alunos podem ser instigados a prever quais serão os produtos das reações de formação das pátinas que estão realizando. Além de serem questionados sobre a viabilidade se obter de forma natural os mesmos produtos. Ao fim das atividades práticas, os resultados obtidos podem ser compilados pelos estudantes em um relatório, comunicando os resultados.</p>
---	---	---

Fonte: O autor (2024).

Para as práticas de construção de artefatos artísticos, são apresentadas referenciais de artistas, a partir de diferentes abordagens, sendo indicado a seleção do que for mais viável para o público, a que a intervenção didático-pedagógica estiver sendo trabalhada.

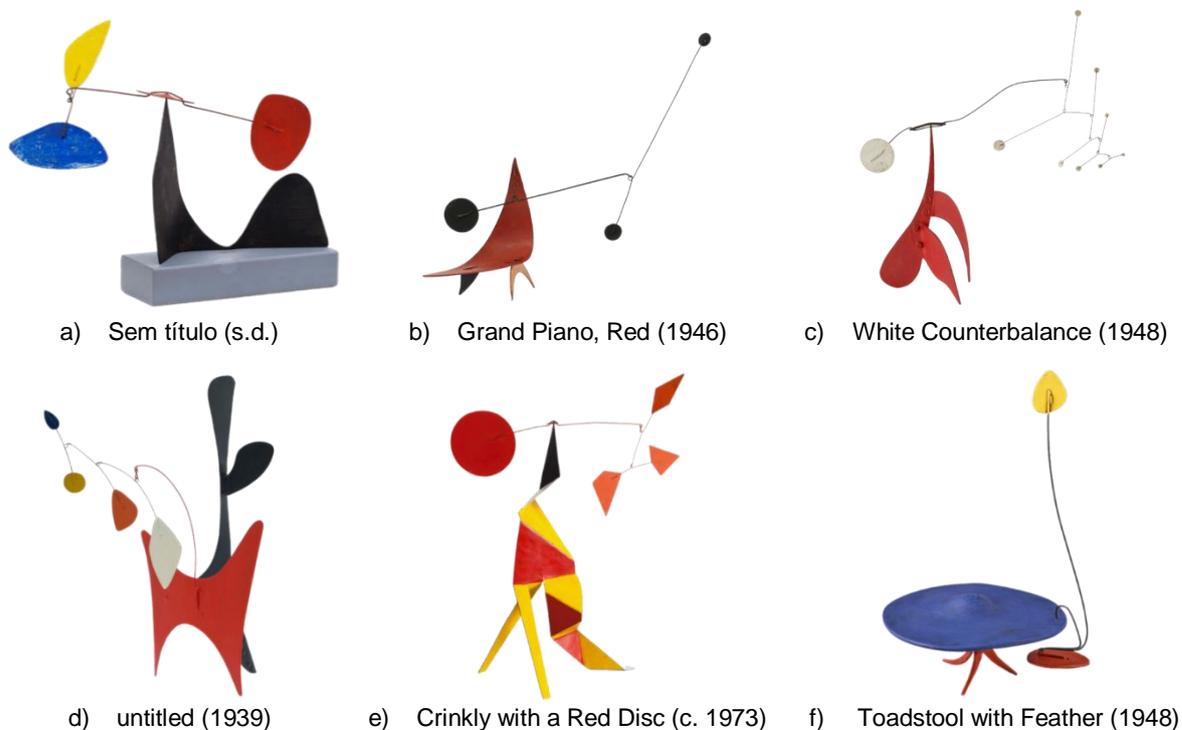
A seguir, são apresentadas obras que podem servir de referencial artístico para a sequência didática anteriormente proposta.

4.8.1 Móviles inspirados pela obra do Alexander Calder

O Calder possui uma extensa produção de obras, dentre elas os móveis, Figura 84. Eles são originalmente construídos de chapas (possivelmente de latão), hastes, arames e tinta. A sugestão é que seja utilizado para as pétalas chapas de cobre, e a coloração em substituição da tinta, ser feita através de pátinas. Os arames

podem ser fios sólidos de cobre, sendo possíveis de serem patinados ou fios de aços galvanizado, por exemplo.

Figura 84 – Móviles do Alexander Calder.



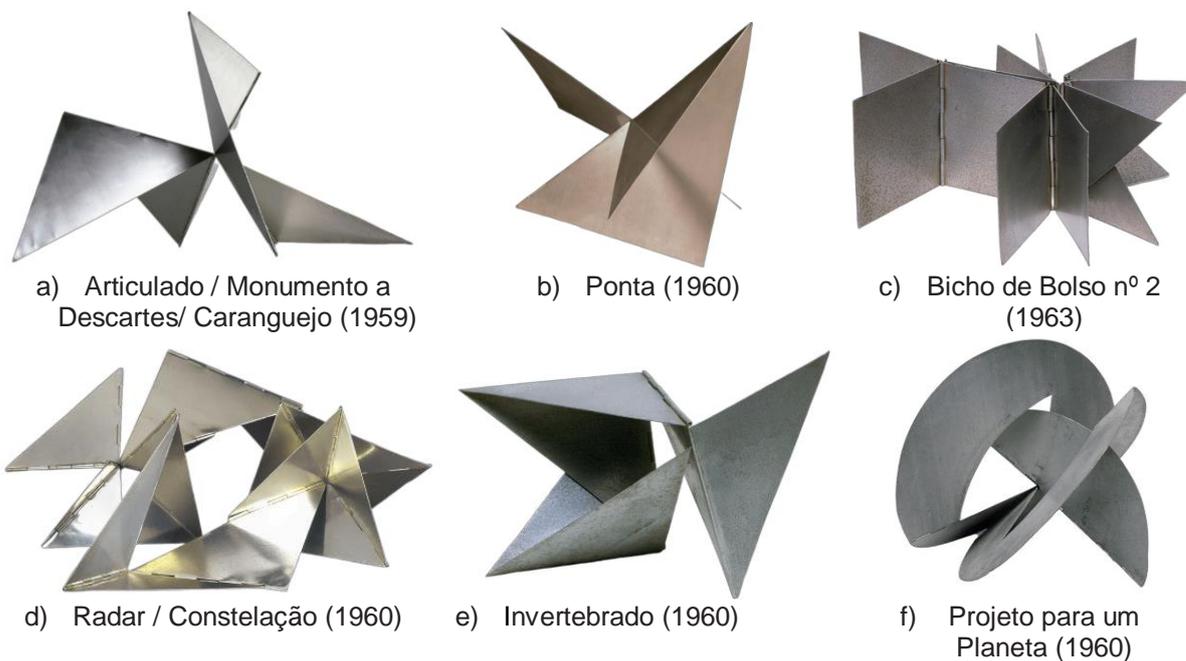
Fonte: Compilação do autor (2024)¹⁷¹.

4.8.2 Esculturas abstratas inspiradas pela obra da Lygia Clark

A Lygia Clark ao longo de sua carreira experimentou diversos tipos de obras artísticas, dentre elas, os bichos, que são esculturas neoconcretas. Com essas esculturas, a Lygia rompia telas e esculturas fixas, permitindo e explorando a integração entre espectador e obra (Almeida & Dale, s.d.). Na Figura 85, tem-se algumas esculturas dessa série, e nelas, o material primordialmente utilizado era o alumínio.

¹⁷¹ Imagens das obras obtidas em Calder Foundation (2024), Itaú Cultural (2018) e Almeida & Dale (2022).

Figura 85 – Bichos da Lygia Clark.



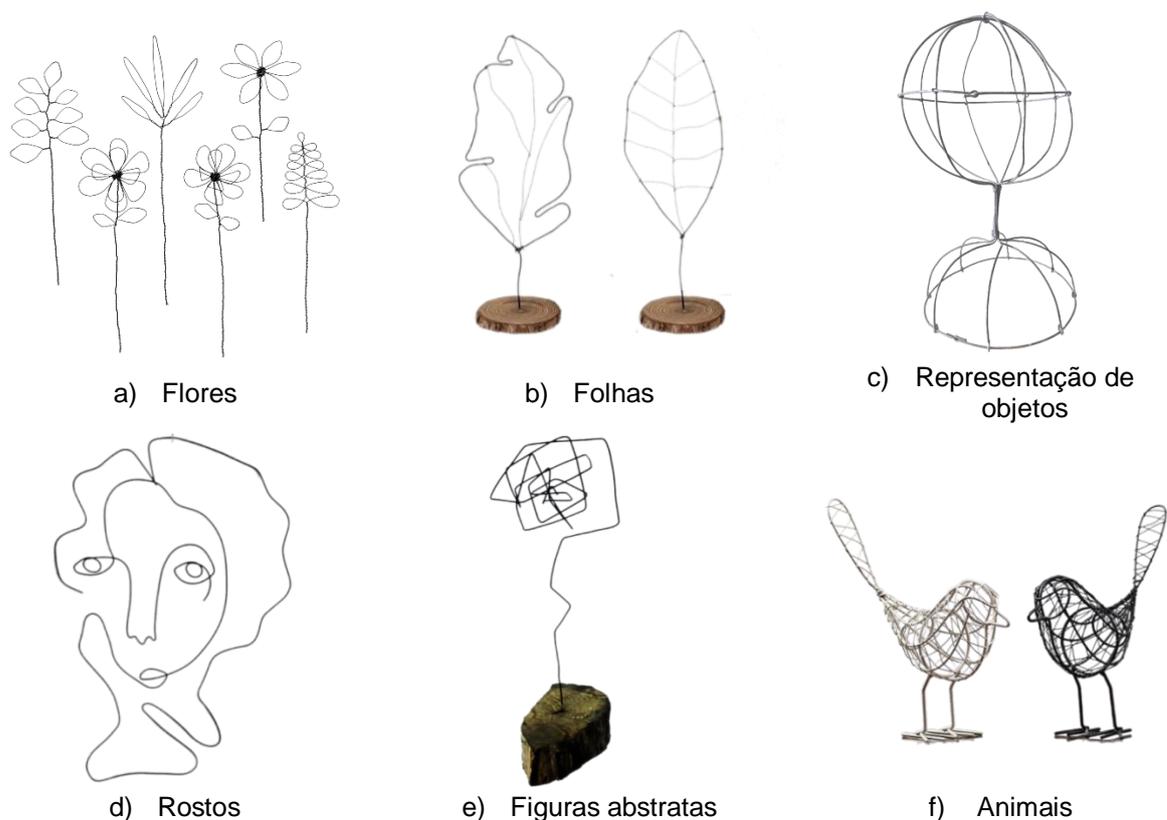
Fonte: Compilação do autor (2024)¹⁷²

4.8.3 Esculturas de arames

Os fios sólidos de cobre podem ser utilizados para a confecção de esculturas aramadas, sendo sugerido que a escultura seja feita previamente ao processo de patinização. Diversos artistas utilizam esta mídia para produzir suas obras, algumas delas estão apresentadas na Figura 86. As obras podem ser feitas se baseando em contos de animais, plantas, abstratas, ou outras temáticas desejadas, podendo ser bidimensionais ou tridimensionais.

¹⁷² Imagens das obras obtidas em <https://portal.lygiaclark.org.br>

Figura 86 – Exemplos de obras feitas com arames.



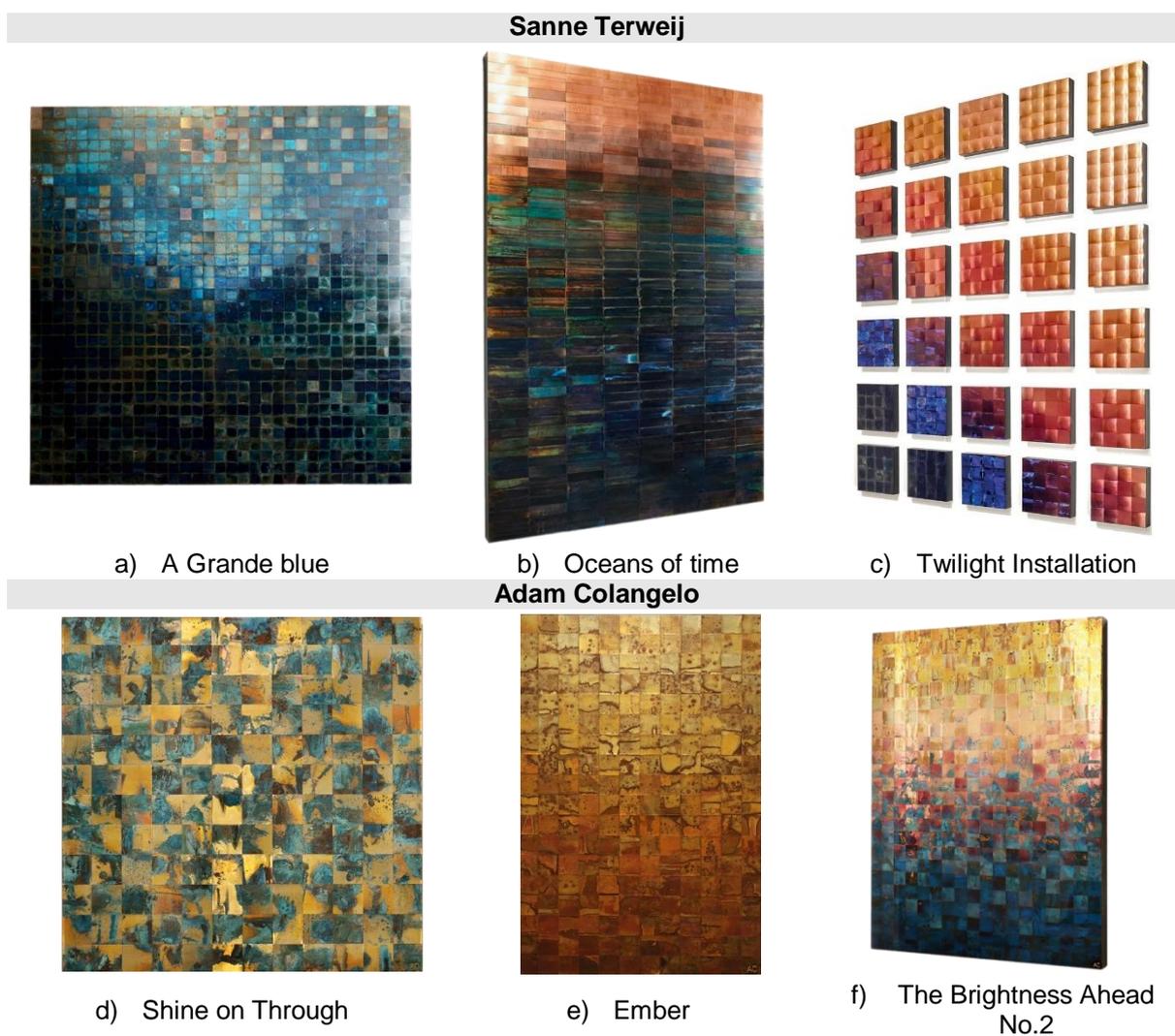
Fonte: Compilação do autor (2024)¹⁷³.

4.8.4 Quadro com chapas

Alguns artistas como Sanne Terweij e Adam Colangelo, desenvolvem quadros com placas de cobre patinadas, combinando cores diferentes, gradação de cor e até mesmo removendo a pátina de sua superfície para criar contraste (Colangelo, 2023; Weij, s.d.). Para facilitar o corte e manipulação do cobre, recomenda-se o uso de chapas finas, de cerca de 0,2 mm. Exemplos da obra desses dois artistas estão disponíveis na Figura 87.

¹⁷³ Imagens obtidas através de pesquisa em <https://images.google.com.br>.

Figura 87 – Exemplos de obras feitas com chapas de cobre.



Fonte: Compilação do autor (2024)¹⁷⁴.

4.8.5 Quadro com moedas

Uma outra possibilidade, que sugere uma fácil obtenção de cobre, é utilizar moedas antigas para produzir um quadro. Natalie Shaw, em seu blog, relata a confecção detalhadamente deste quadro, apresentado na Figura 88.

¹⁷⁴ As imagens das obras de Sanne Terweij foram obtidas em <https://www.sanneterweij.com/Viewall>. Enquanto que as imagens das obras do Adam Colangelo foram acessadas em <https://www.adamcolangelo.com/blog>.

Figura 88 – Quadro feito com moedas.



Fonte: SHAW (2012).

5 CONCLUSÕES

- Os materiais possuem um papel de destaque na vida como a conhecemos hoje, lhe servindo como suporte para todas as atividades humanas e evolução das sociedades desde a pré-história.
- A utilização dos materiais pelos artistas ultrapassa o seu uso como suporte. Eles contribuem para a forma com qual as obras são apreciadas, possibilitando interação com o espectador e também fornecendo características próprias que podem ser exploradas e funcionalizadas pelos artistas.
- As pátinas naturais apresentam uma composição e morfologia complexas, fruto de décadas de exposição a meios corrosivos. Sendo estas, não facilmente reproduzida por métodos artificiais.
- As pátinas artificiais possibilitam modificar a superfície com bastante sucesso, adicionando novas cores e texturas. Contribuindo para o valor estético e, conseqüentemente, artísticos das obras em que são empregadas.
- Pátinas produzidas pelo processo de aquecimento a seco apresentam cores de interferência, características de películas de espessura médias (entre 400 e 5000 Å).
- Pátinas produzidas por aplicação direta são as mais rápidas de serem feitas, além de possibilitar em fácil empilhamento de camadas. Facilitando a obtenção de cores e características distintas nas amostras.
- O aumento da concentração dos reagentes utilizados nos processos por aplicação direta confere uma pátina com coloração mais intensa e com maior preenchimento da superfície. Contudo, para realizar o empilhamento de camadas, é mais eficiente a utilização com concentrações menores, para permitir a visualização de diferentes níveis dessas camadas.

- O processo de imersão eletrolítica produz pátinas pulverulentas, que podem se desprender da peça com certa facilidade. Enquanto que o processo de vaporização produz pátinas com o aspecto de placas sobrepostas.
- Com a aplicação da presente proposta pedagógica do curso de extensão “O Fantástico Universo da Corrosão”, foi possível constatar que ensinar ciência utilizando a arte é uma excelente maneira de ter um diálogo mais aberto com os alunos, possibilitando a identificação dos conteúdos no seu cotidiano, tornando-o protagonista do seu aprendizado.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

- Aplicação da proposta pedagógica em escolas e universidades;
- Realizar ensaios para caracterizar os subprodutos de corrosão produzidos durante as rotas por IE;
- Produzir a avaliar pátinas por novos reagentes;
- Publicação de um livro sobre o uso dos materiais na arte;
- Publicações de artigos sobre a produção e caracterização das pátinas;
- Publicação de artigo sobre o viés educacional desta proposta pedagógica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, J. M.; GUTIÉRREZ, A.; GIRALDO, O. Simple Route for the Synthesis of Copper Hydroxy Salts. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, n. 3, p. 546–551, 2011.

AGUIRRE, M. E.; ZHOU, R.; EUGENE, A. J.; GUZMAN, M. I.; GRELA, M. A. Cu₂O/TiO₂ heterostructures for CO₂ reduction through a direct Z-scheme: Protecting Cu₂O from photocorrosion. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 217, p. 485–493, 2017.

ALMEIDA & DALE. **Alexander Calder**. Disponível em: <<https://www.almeidaedale.com.br/pt/artistas/alexander-calder>>. Acesso em: 22 out. 2022.

ALMEIDA & DALE. **Lygia Clark**. Disponível em: <<https://www.almeidaedale.com.br/pt/artistas/lygia-clark>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

ARANHA, M. L. DE A.; MARTINS, M. H. P. **Temas de Filosofia**. 1. ed. São Paulo: Editora Moderna, 1992.

ARAÚJO, G. **Bairro de Caruaru é o maior centro de arte figurativa das Américas**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,MUL592965-5598,00-BAIRRO+DE+CARUARU+E+O+MAIOR+CENTRO+DE+ARTE+FIGURATIVA+DAS+AMERICAS.html>>. Acesso em: 5 out. 2022.

ASHBY, M.; SHERCLIFF, H.; CEBON, D. **Materials**. 4. ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2019.

ASHRAF, S.; SAEED, A.; MALIK, M. A.; FLÖRKE, U.; BOLTE, M.; HAIDER, N.; AKHTAR, J. Phase-controlled deposition of copper sulfide thin films by using single molecular precursors. **European Journal of Inorganic Chemistry**, n. 3, p. 533–538, 2014.

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **The Science and Engineering of Materials**. 7. ed. Boston: Cengage Learning, 2016.

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

BADAWY, S. M.; EL-KHASHAB, R. A.; NAYL, A. A. Synthesis, characterization and catalytic activity of Cu/Cu₂O nanoparticles prepared in aqueous medium. **Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis**, v. 10, n. 2, p. 169–174, 2015.

BALASUBRAMANIAN, M. **Composite Materials and Processing**. Boca Ratón: CRC Press, 2014.

BARBOSA, C. **Metais não ferrosos e suas ligas: Microestrutura, propriedades e aplicações**. E-papers ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

BARROS, J. A. DE; REMOLD, J.; SILVA, G. S. F. DA; TAGLIATI, J. R. Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 63–69, 2005.

BARSOUM, M. W. **Fundamentals of Ceramics**. 2. ed. Boca Ratón: CRC Press, 2020.

BATISTA, C. **Tabela Periódica**. Disponível em: <www.todamateria.com.br/tabela-periodica/>. Acesso em: 1 out. 2022.

BEYE, C. R. Lucretius and Progress. **The Classical Journal**, v. 58, n. 4, p. 160–169, 1963.

BIESDORF, R. K.; WANDSCHEER, M. F. Arte, uma necessidade humana: Função social e educativa. **Itinerarius Reflectionis**, v. 2, n. 11, 2011.

BLABER, M.; SHRESTHA, B. **7.6: Metals, Nonmetals, and Metalloids**. Disponível

em: <[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Map%3A_Chemistry_-_The_Central_Science_\(Brown_et_al.\)/07%3A_Periodic_Properties_of_the_Elements](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Map%3A_Chemistry_-_The_Central_Science_(Brown_et_al.)/07%3A_Periodic_Properties_of_the_Elements)>. Acesso em: 5 out. 2022.

BOGERT, K. **Rustic wrapping: exploring patina in wire, metal, and glass jewelry**. 1. ed. Loveland: Interweave Press, 2012.

BORGES, H. **Um terço dos brasileiros desconfia da ciência**. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/um-terco-dos-brasileiros-desconfia-da-ciencia-23754327>>. Acesso em: 3 out. 2022.

BORGES, T. S.; ALENCAR, G. Metodologias ativas na promoção da formação crítica do estudante: o uso das metodologias ativas como recurso didático na formação crítica do estudante do ensino superior. **Cairu em Revista**, v. 3, n. 4, p. 119–143, 2014.

BOWMAN, D. M. **Formulas for patinas we use**. Disponível em: <<https://davidmbowman.com/patinas/formulas.htm>>. Acesso em: 22 out. 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BRITISH MUSEUM. **Skewer**. Disponível em: <https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_ML-1492>. Acesso em: 12 set.2022.

BROWMAN, D. L.; WILLIAMS, S. (EDS.). **New Perspectives on the Origins of Americanist Archaeology**. 1. ed. Alabama: The University of Alabama Press, 2002.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. **Química: A Ciência Central**. 13. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

BRUNEAU, P.; TORELLI, M.; ALTET, X. B. I. **Sculpture: from antiquity to the middle ages**. 1. ed. Colônia: Taschen, 2006.

BUENO, A. **O universo de Francisco Brennand**. 1. ed. Rio de Janeiro: G.Ermakoff, 2011.

BULLEN, M. **National Geographic: Guia visual da mitologia no mundo**. 1. ed. São Paulo: Editora Abril, 2010.

CALDER FOUNDATION. **Works from Alexander Calder**. Disponível em: <<https://calder.org/archive/all/works/>>. Acesso em: 5 mar. 2024.

CALIXTO, R. **Xiloteca brasilis | BOX 34**. Disponível em: <<http://oficinaethos.com.br/colecao/xiloteca-brasilis-box-34/>>. Acesso em: 22 out. 2022.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos Polímeros**. 2. ed. São Carlos: Artliber, 2006.

CARDARELLI, F. **Materials Handbook: A Concise Desktop Reference**. 3. ed. Gewerbestrasse: Springer, 2018.

CARRAHER JR., C. E. **Introduction to Polymer Chemistry**. 4. ed. Boca Ratón: Taylor & Francis, 2017.

CARTER, C. B.; NORTON, M. G. **Ceramic Materials: Science and Engineering**. 2. ed. Nova Iorque: Springer, 2013.

CAVALCANTI, M. **Voar é a ordem**. 1. ed. São Paulo: Patuá, 2023.

CHUNG, D. D. L. **Composite Materials: Science and Applications**. 2. ed. Buffalo: Springer, 2010.

CLEOPHAS, M. DAS G.; CAVALCANTI, E. L. D. Escape Room no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 42, n. 1, p. 45–55, fev. 2020.

CLEVELAND MUSEUM OF ART. **Caryatid Mirror**. Disponível em: <<https://www.clevelandart.org/art/1983.196#>>. Acesso em: 8 out. 2022.

COLANGELO, A. Art Blog of Copper Artist Adam Colangelo. Disponível em: <<https://www.adamcolangelo.com/blog>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

CONNAH, G. **Writing about Archaeology**. 1. ed. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2010.

CONTAKES, S. **Group 13 (and a note on the post-transition metals)**. Disponível em: <[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Map%3A_Inorganic_Chemistry_\(Miessler_Fischer_Tarr\)/08%3A_Chemistry_of_the_Main_Group_Elements/8.06%3A_Group_13_\(and_a_note_on_the_post-transition_metals\)](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Map%3A_Inorganic_Chemistry_(Miessler_Fischer_Tarr)/08%3A_Chemistry_of_the_Main_Group_Elements/8.06%3A_Group_13_(and_a_note_on_the_post-transition_metals))>. Acesso em: 5 out. 2022.

COTTI, B.; GRAHAM, M.; LINDSAY, R.; LYON, S.; RICHARDSON, T.; SCANTLEBURY, D.; STOTT, H. **Shreir's Corrosion**. 1. ed. [s.l.] Elsevier Science, 2010.

CRYSTALMIK. **More copper beauty**. Disponível em: <https://www.reddit.com/r/chemistry/comments/p0hnr/b/more_copper_beauty/>. Acesso em: 17 fev. 2024.

DARBY, J. T.; CATTERALL, J. S. The Fourth R: The Arts and Learning. **Teachers College Record**, v. 96, n. 2, p. 299–328, 1994.

DEKOV, V.; BOYCHEVA, T.; HÅLENIUS, U.; PETERSEN, S.; BILLSTRÖM, K.; STUMMEYER, J.; KAMENOV, G.; SHANKS, W. Atacamite and paratacamite from the ultramafic-hosted Logatchev seafloor vent field (14°45'N, Mid-Atlantic Ridge). **Chemical Geology**, v. 286, n. 3–4, p. 169–184, 22 jul. 2011.

DIANA, D. **Deuses romanos**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/deuses-romanos/>>. Acesso em: 13 out. 2022.

DOLZ, J.; NOVERRAZ, M.; SCHNEUWLY, B. Sequências didáticas para o oral e a

escrita: apresentação de um procedimento. In: SCHNEUWLY, B; DOLZ, J. **Gêneros Orais e escritos na escola**. Trad. e org. ROJO, R.; CORDEIRO, G. S. São Paulo: Mercado das Letras, 2004, p. 95-128.

DU, C.; XIAO, M. Cu₂O nanoparticles synthesis by microplasma. **Scientific Reports**, v. 4, 2014.

DUBY, G.; DAVAL, J.-L. **Sculpture: from the renaissance to the present day**. 1. ed. Colônia: Taschen, 2006.

DURANTI, A. **Linguistic anthropology**. 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

ECO, U. **A definição da arte**. 1. ed. Rio de Janeiro: Record, 2016.

ÉCOLE DE JOAILLERIE DE QUÉBEC. **Les Patines Naturelles**. Québec: [s.n.]. Disponível em: <<https://ecoledejoaillerie.ca/wp-content/uploads/Rapport-patines.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2024.

EID, V.; MONTE-MÓR, G. **Arte popular brasileira: olhares contemporâneos**. 1. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2018.

ESCUELA DE JOYERÍA CONTEMPORÁNEA. **Curso de patinas y oxidaciones sobre metal**. Disponível em: <<https://www.lalabeyou.com/curso/cursode-patinas-y-oxidaciones-sobre-metal/>>. Acesso em: 22 out. 2022.

ESKILDSEN, K. R. The Language of Objects. **The History of Science Society**, n. 103, p. 24–53, 2012.

FAHLMAN, B. D. **Materials Chemistry**. 3. ed. Dordrecht: Springer, 2018.

FREELAND, C. **Teoria da arte: Uma breve introdução**. 1. ed. São Paulo: L&PM, 2019.

FREIRE, L. A. R.; HERNANDEZ, M. H. O. **Arte popular**. Disponível em: <www.dicionario.belasartes.ufba.br>. Acesso em: 5 out. 2022.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 25. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996.

GARCIA, M. F. F. Repensando a Botânica. In: **Coletânea do 7º Encontro Perspectivas do Ensino de Biologia**. São Paulo, 2000

GEMELLI, E. **Corrosão de Materiais Metálicos e Sua Caracterização**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GENTIL, V.; CARVALHO, L. J. DE. **Corrosão**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

GONZÁLEZ-PARRA, R.; COVELO, A.; HERNÁNDEZ, M. Determination of optimal electrochemical parameters to reproduce copper artistic patina on quaternary alloys. **Materials Letters**, v. 309, 15 fev. 2022.

GRAY, T. **The Photographic Periodic Table of the Elements**. Disponível em: <<https://periodictable.com/>>. Acesso em: 5 out. 2022.

GRIMAL, P. **Dicionário da mitologia grega e romana**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2014.

HARVEY, M. H.; GALLAGHER, M.; GRADY, A. **Patinating Copper**. Disponível em: <<https://www.metmuseum.org/perspectives/articles/2022/9/metalworkingpatinating-copper>>. Acesso em: 31 jan. 2024.

HEIZER, R. F. The Background of Thomsen's Three-Age System. **Technology and Culture**, v. 3, n. 3, p. 259–266, 1962.

HESÍODO. **Os Trabalhos e os dias**. 2. ed. São Paulo: Iluminuras, 1996.

HIRST, K. K. **Three Age System – Categorizing European Prehistory**. Disponível

em: <<https://www.thoughtco.com/three-age-system-categorizing-european-prehistory-173006>>. Acesso em: 7 set. 2022.

HUGHES, R.; ROWE, M. **The colouring, bronzing, and patination of metals**. 1. ed. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold Company, 1983.

HURST, S. **Bronze Sculpture Casting and Patination: Mud, Fire, Metal**. 1. ed. [s.l.] Schiffer Craft, 2005.

ITAÚ CULTURAL. **Calder e a arte brasileira**. São Paulo: Itaú Cultural, 2018.

IUPAC. **Gold Book: Compendium of Chemical Terminology**. 2.3.3 ed. [s.l.:s.n.].

JERMAN-MELKA, J. **Patination with non-toxic solutions**. Colorado: [s.n.].

JOHNSON, W. R. **Lucretius and the Modern World**. 1. ed. Nova Iorque: Bloomsbury Academic, 2000.

JONES, D. R. H.; ASHBY, M. F. **Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design**. 5. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2019.

JÖNSSON, J.; PERSSON, P.; SJÖBERG, S.; LÖVGREN, L. Schwertmannite precipitated from acid mine drainage: Phase transformation, sulphate release and surface properties. **Applied Geochemistry**, v. 20, n. 1, p. 179–191, jan. 2005.

JTC ROOFING CONTRACTORS LTD. **Why does copper turn green over time?** Disponível em: <<https://jtcroofing.co.uk/news/why-does-copper-turn-green/>>. Acesso em: 22 out. 2022.

KAHSAY, A. W.; IBRAHIM, K. B.; TSAI, M. C.; BIRHANU, M. K.; CHALA, S. A.; SU, W. N.; HWANG, B. J. Selective and Low Overpotential Electrochemical CO₂ Reduction to Formate on CuS Decorated CuO Heterostructure. **Catalysis Letters**, v. 149, n. 3, p. 860–869, 15 mar. 2019.

KANG, M.-S. **Lotte Energy Materials aspires to become copper foil leader: CEO.**

Disponível em: <<https://www.kedglobal.com/batteries/newsView/ked202307040018>>.

Acesso em: 19 fev. 2024.

KOLTZENBURG, S.; MASKOS, M.; NUYKEN, O. **Polymer Chemistry**. 1. ed. Berlim: Springer, 2017.

KRISTIANSEN, K.; ROWLANDS, M. **Social Transformations in Archaeology: Global and Local Perspectives**. 1. ed. Nova Iorque: Routledge, 1998.

KUNTZLEMAN, T. S.; CULLEN, D. M.; MILAM, S.; RAGAN, D. Rapid Formation of Copper Patinas: A Simple Chemical Demonstration of Why the Statue of Liberty Is Green. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 8, p. 2244–2248, 11 ago. 2020.

KWON, H.; CHO, N. Corrosion Behaviors of Outdoor Bronze Sculptures in an Urban–Industrial Environment: Corrosion Experiment on Artificial Sulfide Patina. **Metals**, v. 13, n. 6, 1 jun. 2023.

LAMBERT, D. **Moulage et fonderie d'art**. 1. ed. [s.l.] Editions Vial, 2003.

LANGLAND, T. **Practical Sculpture**. 1. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1988.

LEI, Y.; JIA, H.; ZHENG, Z.; GAO, Y.; CHEN, X.; HOU, H. A very facile, low temperature, one-step route to in situ fabricate copper sulfide nanosheet thin films. **CrystEngComm**, v. 13, n. 20, p. 6212–6217, 21 out. 2011.

LEWTON-BRAIN, C. **Patinas for small studios**. 2. ed. Calgary: Brain Press, 2000.

LIDDELL, H. G.; SCOTT, R. **A Greek-English Lexicon**. Disponível em:

<<https://www.perseus.tufts.edu/hopper/>>. Acesso em: 5 out. 2022.

LUCRETIUS. **Sobre a natureza das coisas = De rerum natura**. 1. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2021.

MACGREGOR, N. **A história do mundo em 100 objetos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2013.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **A natureza e os polímeros: Meio ambiente, geopolímeros, fitopolímeros e zoopolímeros**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

MARUŠIAE, K.; ČURKOVIĆ, H. O.; MANCE, A. D.; TAKENOUTI, H.; STUPNIŠEK-LISAC, E. Corrosion Protection of Synthetic Bronze Patina. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**, v. 21, n. 1, p. 71–76, 2007.

MARUŠIĆ, K.; OTMAČIĆ-ČURKOVIĆ, H.; HORVAT-KURBEGOVIĆ, Š.; TAKENOUTI, H.; STUPNIŠEK-LISAC, E. Comparative studies of chemical and electrochemical preparation of artificial bronze patinas and their protection by corrosion inhibitor. **Electrochimica Acta**, v. 54, n. 27, p. 7106–7113, 30 nov. 2009.

MELLO, V. M.; SUAREZ, P. A. Z. As formulações de tintas expressivas através da história. **Revista Virtual de Química**. Sociedade Brasileira de Química, 2012.

METROPOLITAN MUSEUM OF ART. **Bronze dagger blade**. Disponível em: <<https://www.metmuseum.org/art/collection/search/244165>>. Acesso em: 12 set. 2022.

MEZZI, A.; CARO, T. DE; RICCUCCI, C.; FARALDI, F.; VEROLI, C.; CASCHERA, D. Unusual surface degradation products grown on archaeological bronze artefacts. **Applied Physics A: Materials Science and Processing**, v. 113, n. 4, p. 1121–1128, dez. 2013.

MIODOWNIK, M. **De que são feitas as coisas**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

NAGAYAMA, K. **The connoisseur's book of Japanese swords**. 1. ed. Nova Iorque: Kodansha International, 1997.

OCVIRK, O. G.; STINSON, R. E.; WIGG, P. R.; BONE, R. O.; CAYTON, D. L. **Art Fundamentals**. 12. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2013.

OLIVEIRA, P. L. **A arte como elemento facilitador na construção da aprendizagem**. João Pessoa: Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Psicopedagogia) – Universidade Federal da Paraíba, 2014. **Origem da Palavra**. Disponível em: <<https://origemdapalavra.com.br/>>. Acesso em: 9 set. 2022.

ORLANDO, C. *et al.* Planejamento, montagem e aplicação de modelos didáticos para abordagem de biologia celular e molecular no ensino médio por graduandos de ciências biológicas. **Revista Brasileira de Ensino de Bioquímica e Biologia Molecular**, v. 1, n. A, 2009.

PAMPUCH, R. **An Introduction to Ceramics**. 1. ed. Suíça: Springer, 2013.

PARADA, C. **The Ages of Man**. Disponível em: <<http://www.maicar.com/GML/AgesOfMan.html>>. Acesso em: 5 set. 2022. 156

PLANEJATIVO. **Arte: conceitos, modalidades, estéticas, funções e estados**. Disponível em: <<https://app.planejativo.com/estudar/478/resumo/artes-arte-conceitos-modalidades-esteticas-funcoes-e-estados>>. Acesso em: 1 out. 2022.

PLATT, PHILIP; WATKINS, KEN; FROIDEVAUX, M.; PLATT, P; COOPER, M.; WATKINS, K. **Laser interaction with copper, copper alloys and their corrosion products used in outdoor sculpture in the United Kingdom Laser interactions with copper, copper alloys and their corrosion products used in outdoor sculpture in the United Kingdom**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/253801941>>.

PMT-USP. **PMT3402 – Metalografia e Tratamentos Térmicos dos Metais** . Disponível em: <<http://pmt.usp.br/pmt3402/material/>>. Acesso em: 5 mar. 2024.

PONTES, E. M. DE. **Eu me ensinei: narrativas da criatividade popular brasileira**. 1. ed. São Paulo: Via Imprensa, 2017.

PRESSAPOCHISTA. **Rusty iron helmet**. Disponível em:

<<https://www.flickr.com/photos/pressapochista/216583254/>>. Acesso em: 12 set. 2022.

RADIVOJEVIĆ, M.; REHREN, T.; KUZMANOVIĆ-CVETKOVIĆ, J.; JOVANOVIĆ, M.; NORTHOVER, J. P. Tainted ores and the rise of tin bronzes in Eurasia, c. 6500 years ago. **Antiquity**, v. 87, n. 338, p. 1030–1045, 2013.

RAMA, J. P.; BERTHELOT, J. **Le bronze d'art et ses techniques**. [s.l.] Éditions H. Vial, 2004.

READ, H. **Escultura moderna: Uma história concisa**. 1. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

RICH, J. C. **The materials and methods of sculpture**. 1. ed. Nova Iorque: Dover Publications, 1988.

RICHARD HUGHES. Artificial patination. *Em*: NIECE, S. LA; CRADDOCK, P. (Eds.). **Metal Plating & Patination: Cultural, technical & historical developments**. 1. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1993.

RJEILLE, I. **Maria Martins: desejo imaginante**. 1. ed. São Paulo: MASP, 2021.

ROSSI, A. C. S. A função social da arte. **Gesto Debate**, v. 09, n. 1, 2018.

RUNFOLA, M. **Patina: 300+ Coloration Effects for Jewelers & Metalsmiths**. 1. ed. Londres: Interweave, 2014.

GOIDANICH, S.; ORMELLESE, M.; PEREZ, E. R.; PINTAUDI, G.; SETTI, M. **Characterisation and stability of artificial patina on copper and bronze**. Milão: [s.n.].

SANTOS, J. S. DOS. **Coleções, Coleccionismo e Colecionadores: um estudo sobre o processo de legitimidade artística da produção de arte popular católica**

na Bahia entre as décadas de 1940 a 1960. Salvador: Dissertação de Mestrado (Mestrado em Artes Visuais – História da Arte) – Universidade Federal da Bahia, 2013.

SANTOS, T. DOS. **Artesão “Véio” transforma madeira “morta” em arte.**

Disponível em: <<https://www.destaque-noticias.com.br/artesao-veio-transformamadeira-morta-em-arte-2/>>. Acesso em: 5 out. 2022.

SAVIANI, D. Sobre a natureza e especificidade da educação. **Germinal: Marxismo e Educação em Debate**, v. 7, n. 1, p. 286–293, 2015.

SCHLESINGER, M. E.; KING, M. J.; SOLE, K. C.; DAVENPORT, W. G. **Extractive metallurgy of Copper.** 5. ed. Amsterdam: Elsevier, 2011.

SCHWEITZER, P. **Fundamentals of metallic corrosion: atmospheric and media corrosion of metals.** Boca Raton: CRC Press, 2007.

SCHWEITZER, P. A. **Fundamentals of Corrosion: Mechanisms, Causes, and Preventative Methods.** 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

SCIENCE COMPANY. **Patina Formulas for Brass, Bronze and Copper.** Disponível em: <<https://www.sciencecompany.com/Patina-Formulas-for-BrassBronze-and-Copper.aspx>>. Acesso em: 11 fev. 2024.

SCOTT, D. A.; SCHWAB, R. **Metallography in Archaeology and Art.** 1. ed. Gewerbestrasse: Springer Nature, 2019.

SENAI-SP. **Fundição artística.** 1. ed. São Paulo: Senai-SP Editora, 2012.

SETZ, L. F. G.; SILVA, A. C. DA. **O processamento cerâmico sem mistério.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 2019.

SHAW, N. **DIY Ombre Penny Art Project!** Disponível em:

<<https://www.doodlecraftblog.com/2012/07/diy-ombre-penny-art-project.html>>.

Acesso em: 5 mar. 2024.

SHRIVASTAVA, A.; ARORA, A.; SRIVASTAVA, C.; DHAWAN, N. **New Horizons in Metallurgy, Materials and Manufacturing**. 1. ed. Singapura: Springer Nature, 2023.

SILVA, A. L. V. DA C.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2021.

SILVA, C.; VÉLEZ, G.; COLORADO, H. A. Patina in the construction of the poetic bronze image: Science of materials, art and philosophy. **Heritage Science**, v. 5, n. 36, 1 set. 2017.

SILVA, P. M. P.; LUCHETA, A. R.; BITENCOURT, J. A. P.; CARMO, A. L. V. DO; CUEVAS, I. P. Ñ.; SIQUEIRA, J. O.; OLIVEIRA, G. C. DE; ALVES, J. O. Covellite (CuS) production from a real acid mine drainage treated with biogenic H₂S. **Metals**, v. 9, n. 2, 2019.

SOARES, M. H. F. B. Jogos e atividades lúdicas no ensino de química: uma discussão teórica necessária para novos avanços. **REDEQUIM**, v. 2, n. 2, out. 2016.

STANIMIROVA, TS.; DENCHEVA, S.; KIROV, G. Structural interpretation of anion exchange in divalent copper hydroxysalt minerals. **Clay Minerals**, v. 48, n. 1, p. 21–36, mar. 2013.

STOKSTAD, M.; COTHREN, M. W. **Art History**. 6. ed. Londres: Pearson, 2018.

SUASSUNA, A. **Iniciação à estética**. 12. ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 2012.

SWIDERSKI, R. M. S.; COSTA-HÜBES, T. C. Pesquisa-ação voltada a práticas de leitura: uma proposta de trabalho com gêneros textuais sob a metodologia da sequência didática. In: **Anais da XI Jornada de Estudos Linguísticos e Literários**. Marechal Cândido Rondon, 2008.

SYBARIS. **Art history briefing bronze statues role in art architecture**. Disponível em: <<https://www.sybariscollection.com/art-history-briefing-bronzestatues-role-in-art-architecture/>>. Acesso em: 22 out. 2022.

TERRA ADENTRO. **Arte rupestre da Cueva de Las Manos**. Disponível em: <<https://terraadentro.com/arte-rupestre-da-cueva-de-las-manos/>>. Acesso em: 4 out. 2022.

TOPNANI, N.; KUSHWAHA, S.; ATHAR, T. Wet Synthesis of Copper Oxide Nanopowder. **International Journal of Green Nanotechnology: Materials Science and Engineering**, v. 1, n. 2, maio 2010.

TRIGGER, B. G. **A History of Archaeological Thought**. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2006.

TRIGO, L. “A arte existe porque a vida não basta”, diz Ferreira Gullar. **G1 Globo**, 2010.

TYLECOTE, R. F. **A History of Metallurgy**. 2. ed. Londres: Maney, 1992.

VALERA, R. G.; VALERA, P. G. Tin in the Mediterranean area: history and geology. *Em*: GIUMLIA-MAIR, A.; SCHIAVO, F. LO (Eds.). . **The Problem of Early Tin**. 1. ed. Oxford: Archaeopress, 2003. p. 3–14.

VOLPATO, A. N. et al. **Práticas Inovadoras em Metodologias Ativas**. Florianópolis: Contexto Digital, 2017.

WANG, H.; GUO, Q.; GUO, Z.; LUO, H.; LI, H.; YANG, J.; SONG, Y. Assessment of the induced effect of selected iron hydroxysulfates biosynthesized using *Acidithiobacillus ferrooxidans* for biomineralization of acid mine drainage. **Water Science and Technology**, v. 87, n. 8, p. 1879–1892, 15 abr. 2023.

WARLIMONT, H.; MARTIENSSEN, W. (EDS.). **Springer Handbook of Materials Data**. 2. ed. Suíça: Springer, 2018.

WEIJ, S. **About**. Disponível em: <<https://www.sanneterweij.com/about>>. Acesso em: 15 mar. 2024.

WIESINGER, V. **Giacometti**. 1. ed. São Paulo: Cosac Naify, 2012.

WIKIMEDIA COMMONS. **File: Metallurgical diffusion.svg**. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metallurgical_diffusion.svg>. Acesso em: 13 set. 2022.

WIKIMEDIA COMMONS. **File: Tachi, Fukuoka Ichimonji “Okadagiri” Yoshifusa.jpg**. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tachi,_Fukuoka_Ichimonji_%22Okadagiri%22_Yoshifusa.jpg>. Acesso em: 1 out. 2022.

YI, X.-S.; DU, S.; ZHANG, L. **Composite Materials Engineering, Volume 1**. 1. ed. Singapura: Springer, 2018.

YOUNG, R. D. **Contemporary Patination**. 4. ed. Escondido: Sculpt Nouveau, 1994.

ZAHNER, L. W. **Copper, brass, and bronze surfaces : a guide to alloys, finishes, fabrication, and maintenance in architecture and art**. 1. ed. New Jersey: Wiley, 2020.

APÊNCICE A – SLIDES, EM AGRUPAMENTO, UTILIZADOS NO PRIMEIRO ENCONTRO DO MINICURSO “O FANTÁSTICO UNIVERSO DA CORROSÃO”



Lynn Chadwick
Teddy Boy and Girl II, 1957



Java Central
Buda, séc. IX



Sem título
Grécia, séc III a.c.



Jason deCaires Taylor
Godfather of Coral, 2022



Maria Martins
Yemanjá, 1943



Karen Axikyan
Desperate, 2021





M•ARTE



Azinhavre / Verdigris

M•ARTE

- Azinhavre neutro:
 - acetato de cobre(II) monohidratado ($Cu(CH_3CO_2)_2 \cdot (H_2O)$)
- Azinhavre azul:
 - $Cu(CH_3CO_2)_2 \cdot CuO \cdot (H_2O)_6$
- Carbonato de cobre básico: ($Cu_2CO_3(OH)_2$)
- Cloreto básico de cobre: ($Cu_2(OH)3Cl$)



- Carbonato de cobre básico: ($Cu_2CO_3(OH)_2$)
- Cloreto básico de cobre: ($Cu_2(OH)3Cl$)

M•ARTE



Rogier van der Weyden
The Magdalen Reading, 1438

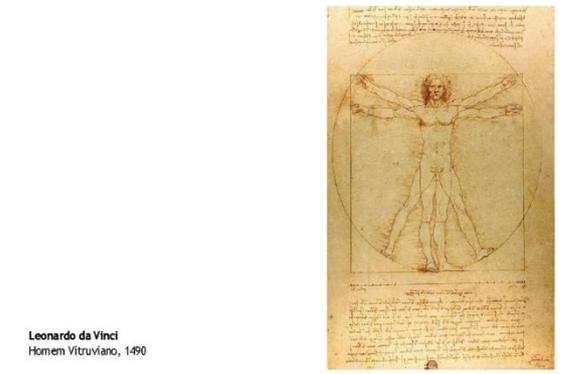
M•ARTE

chumbo-estanho amarelo

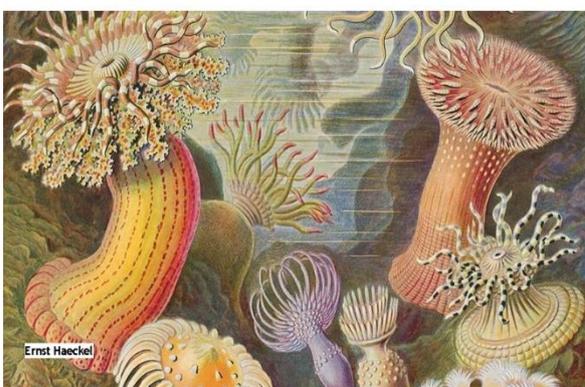


01 Ciência e Arte

M•ARTE



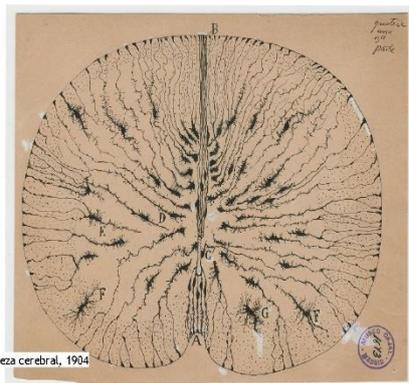
Leonardo da Vinci
Homem Vitruviano, 1490



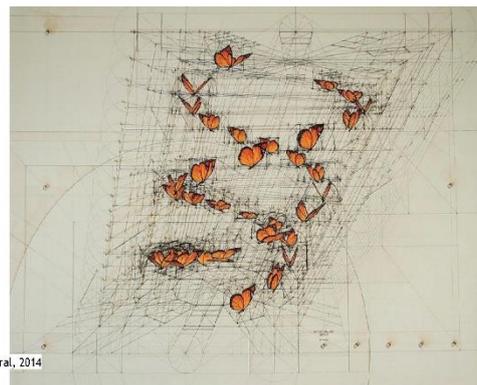
Ernst Haeckel



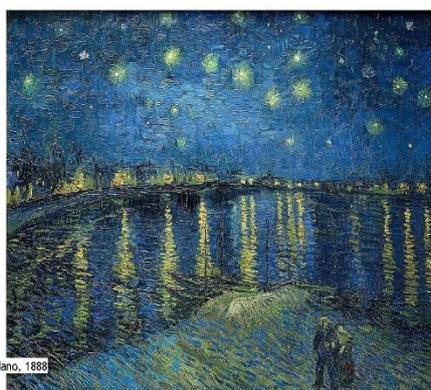
Brasília | Itaú Cultural



Santiago Ramón y Cajal
La neurona piramidal de la corteza cerebral, 1904



Rafael Araujo
Double Conic Spiral, 2014



Vincent van Gogh
Noite Estrelada Sobre o Ródano, 1888



Arqueiro Troiano
Grécia, séc. V a.C.



Arqueiro Troiano
Grécia, séc. V a.C.



Anita Malfatti

Técnicas não destrutivas



Radiografia: além do estado de conservação, pode revelar detalhes da estrutura do objeto, como pinturas, alterações e avarias por trás do traço final.

Fotografia com luz rasante: técnica fotográfica usada na observação de irregularidades e movimentos na pintura.

Fluorescência ultravioleta: através da radiação provocada na pintura, as cores reagem demonstrando aspectos "invisíveis" a olho nu. Pode indicar, entre outros aspectos, sinais de restaurações feitas anteriormente.

Reflectografia no infravermelho: feita com uso de uma câmera digital que tenha o chamado filtro IR na lente. As imagens geradas podem revelar alterações feitas pelo artista durante a composição da pintura, por exemplo.

Técnicas não destrutivas



Colorimetria: Por meio da análise das cores pode-se determinar e registrar as cores que compõem as obras.

Fluorescência de raios X: Provoca excitação dos elétrons das diferentes substâncias usadas no quadro, promovendo um tipo específico de emissão de radiação em cada elemento. Assim, a ferramenta fornece informações sobre os tipos de materiais e pigmentos que foram utilizados nos quadros.

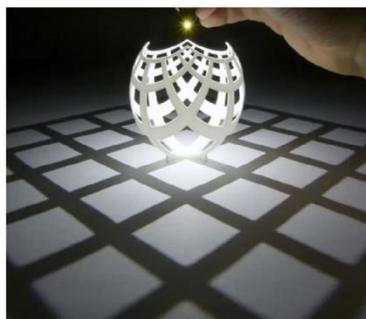
Liuba



Hypersonic
O caos científico



Henry Segerman e Saul Schleimer
Quase um mapa



Jonty Hurwitz
Sapo em perigo



M•ARTE

02 O uso dos materiais

M•ARTE

Uso dos materiais

M•ARTE

Uso dos materiais

12 - 14 MaC: Machadinha de Olduvai

9000 a.C.: Estatueta dos amantes de Ain Sakhri

2500 - 1900 a.C.: Lâmina de punhal recuperada em Chipre

1100 - 1000 a.C.: Vaso ritualístico chinês da Dinastia

450 - 300 a.C.: Espeto da tumba de Carriagem em Somme-Bonnie

500 - 600 d.C.: Capacete da Confederação Gata

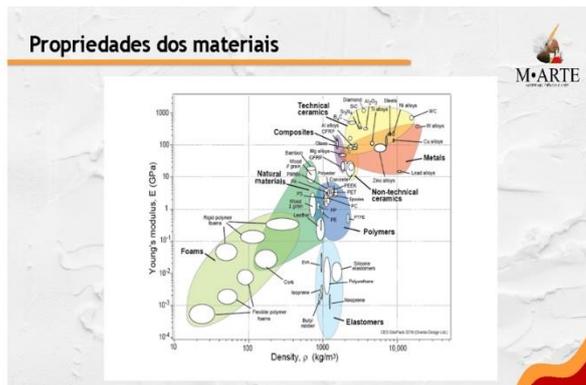
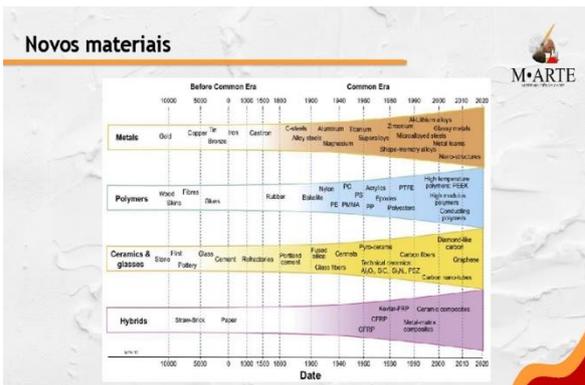
M•ARTE

Sistema das três idades

IDADE DO FERRO: 1200 a.C. - 1000 d.C.

IDADE DO BRONZE: 3300 a.C. - 700 a.C.

IDADE DA PEDRA: 2,5 MaC. - 3000 a.C.



Túlio Pinto, *Cumplidade # 3*
Vigas H de aço corten e vidro soprado



Túlio Pinto, *Cumplidade # 29 (2021)*
Cubos de aço corten e vidro soprado



Yeesookyung, *Translated Vase TW 5 (2021)*
Cerâmica branca, epóxi, folha de ouro 24K



Yeesookyung, *Translated Vase TW The Moon 1 (2012)*
Cerâmica branca, epóxi, folha de ouro 24K





Manuel Eudócio, Batismo
Argila vermelha cozida e policromada com tinta acrílica



Antonio Corradini, Vestalin
Mármore esculpido e polido



Lino Tagliapietra, Poesia
Vidro soprado com fritas



Toco-oco, Single Shot
Impressão 3D em resina, pintada com tinta acrílica



César Baldaccini, Expansion au comest de glace
Espuma de poliuretano expandido



Nathan Sawaya, Read Head
Tijolos de LEGO® ABS



Etnia Macuxi, Canoas
Látex de balata



Veio, Sem título
Tronco e raiz policromado com tinta acrílica



Henry Moore, Head of a Woman
Concreto



Sem identificação, Hercules and Achelous
Marfim



Getúlio Maurício, Bastião
Papier machê



Lygia Clark, Parafuso sem fim
Alumínio



Jeff Koons, Rabbit
Aço inoxidável



Eduardo Chillida, Fc Dream Anvil X
Ferro



Germaine Richier, La Fourmi
Bronze

M•ARTE

04 A corrosão nas esculturas metálicas

M•ARTE

Corrosão

Os produtos da corrosão dos metais são comumente óxidos, podendo haver a formação de outros compostos inorgânicos como sulfetos, cloretos e hidróxidos, a depender da interação do material com o meio ao qual está exposto.

$$\text{Composto} + \text{Energia} \xrightarrow{\text{Metalurgia}} \text{Metal} \xrightarrow{\text{Corrosão}}$$

Óxido de ferro (Fe₂O₃)

Formas minerais do cobre

MINÉRIO	FÓRMULA QUÍMICA	COR
Cuprita	Cu ₂ O	Vermelho
Tenonita	Cu ₂ O	Preto
Malaquita	Cu ₂ (OH) ₂	Verde intenso com faixas
Pseudomalaquita	Cu ₂ (PO ₃) ₂ (OH) ₂	Verde esmeralda
Azurita	Cu ₂ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Azul intenso
Bornita	Cu ₅ FeS ₄	Vermelho escuro com leve iridescência
Calcoíta	Cu ₂ S	Preto ou cinza escuro
Brochantita	Cu ₂ SO ₄ (OH) ₂	Verde
Anilrita	Cu ₂ SO ₄ (OH) ₂	Verde
Nantocuíta	CuCl	Verde pálido
Atacamita	Cu ₂ (OH) ₂ Cl	Verde cristalino

Formas minerais do cobre

MINÉRIO	FÓRMULA QUÍMICA	COR
Cuprita	Cu ₂ O	Vermelho
Tenonita	Cu ₂ O	Preto
Malaquita	Cu ₂ (OH) ₂	Verde intenso com faixas
Pseudomalaquita	Cu ₂ (PO ₃) ₂ (OH) ₂	Verde esmeralda
Azurita	Cu ₂ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Azul intenso
Bornita	Cu ₅ FeS ₄	Vermelho escuro com leve iridescência
Calcoíta	Cu ₂ S	Preto ou cinza escuro
Brochantita	Cu ₂ SO ₄ (OH) ₂	Verde
Anilrita	Cu ₂ SO ₄ (OH) ₂	Verde
Nantocuíta	CuCl	Verde pálido
Atacamita	Cu ₂ (OH) ₂ Cl	Verde cristalino



Pátina

Camadas de filmes passivadores aderentes formados sob os substratos metálicos após o processo de corrosão.

As superfícies das pátinas conferem ao material um acabamento, cor e texturas que podem ser parametrizados a fim de se obter as características desejadas.



Pátina





Conheça o Projeto M.Arte



 @projeto.marte
 projetomarteufpe@gmail.com
materiaiscienciaearte.blogspot.com





APÊNCICE B – SLIDES, EM AGRUPAMENTO, UTILIZADOS NO SEGUNDO ENCONTRO DO MINICURSO “O FANTÁSTICO UNIVERSO DA CORROSÃO”



Corrosão

Os produtos da corrosão dos metais são comumente óxidos, podendo haver a formação de outros compostos inorgânicos como sulfetos, cloretos e hidróxidos, a depender da interação do material com o meio ao qual está exposto.



Óxido de ferro (Fe₂O₃)



Formas minerais do cobre

MINÉRIO	FÓRMULA QUÍMICA	COR
Cuprita	Cu ₂ O	Vermelho
Tenorita	CuO	Preto
Malachita	Cu ₂ (OH) ₂	Verde intenso com faixas
Pseudomalaquita	Cu ₂ (PO ₄) ₂ (OH) ₂	Verde esmeralda
Azurita	Cu ₂ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Azul intenso
Bornita	Cu ₅ FeS ₄	Vermelho escuro com leve iridescência
Calcocita	Cu ₂ S	Preto ou cinza escuro
Brochantita	Cu ₂ SO ₄ (OH) ₂	Verde
Anitaquita	Cu ₂ SO ₄ (OH) ₂	Verde
Nantuoquita	CuCl	Verde pálido
Atacamita	Cu ₂ (OH) ₂ Cl	Verde cristalino



Compostos



03 Pátina

Pátina

Camada de filme passivador e aderente formado sob os substratos metálicos após o processo de corrosão.

Óxidos, Carbonatos, Cloretos, Hidróxidos, Nitratos, Sulfetos, Sulfatos...



Corrosão úmida

Ocorre por um mecanismo eletroquímico e atinge principalmente os metais expostos em ambientes externos que ficam em contato com o ar atmosférico, submersos (em parte ou totalmente) no solo, água de rios e mares e no subsolo (poços e minas de extração)

Umidade + Sais e Poluente gasosos = Solução eletrolítica

(contém íons e é condutora de elétrons)

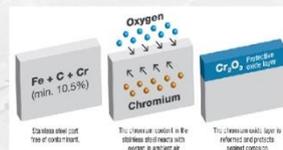


Passivação

Um metal está passivado quando ele tem em sua superfície uma fina camada protetora de óxido ou hidróxido (2 a 3nm).

O filme passivo separa o metal do eletrólito e a velocidade de corrosão ou de dissolução do metal é muito lenta.

- Aços inoxidáveis
- Ligas à base de níquel e de cromo
- Alumínio
- Titânio
- Tântalo
- Cobre



Pátina



Natural



Artificial

Pátina natural



Estudo de caso: Estátua da liberdade

1886

Cu **O₂** **Cu₂O** **O₂** **CuO**

COPPER **CUPRITE** **TENORITE**

The Statue of Liberty, a gift to the people of the United States from the people of France, was unveiled in 1886. The metal "skin" that covers her form is made of copper, or when started out looking as bright as a new penny.

Over time, however, the color of her copper began to dull. Thanks to oxidation by our atmosphere, copper on the surface reacted with oxygen to form a pinkish-red mineral called cuprite.

Cuprite was further oxidized to a black mineral called tenorite. Meanwhile, sulfur dioxide from the atmosphere, which reacts with the tenorite, forms sulfur compounds which react to form acid.

Estudo de caso: Estátua da liberdade

1886

Cu **O₂** **Cu₂O** **O₂** **CuO**

COPPER **CUPRITE** **TENORITE**

The Statue of Liberty, a gift to the people of the United States from the people of France, was unveiled in 1886. The metal "skin" that covers her form is made of copper, or when started out looking as bright as a new penny.

Over time, however, the color of her copper began to dull. Thanks to oxidation by our atmosphere, copper on the surface reacted with oxygen to form a pinkish-red mineral called cuprite.

Cuprite was further oxidized to form a black mineral called tenorite. Meanwhile, sulfur dioxide from the atmosphere, which reacts with the tenorite, forms sulfur compounds which react to form acid.

So what did the green color have to do with it? The answer is that the acid rain that fell on the Statue of Liberty was made of sulfuric acid. This acid reacted with the tenorite to form a green mineral called azurite.

Estudo de caso: Estátua da liberdade

1886

Cu **O₂** **Cu₂O** **O₂** **CuO** **H₂O** **SO₂** **H₂O** **SO₄²⁻**

COPPER **CUPRITE** **TENORITE** **BROCHANTITE**

The Statue of Liberty, a gift to the people of the United States from the people of France, was unveiled in 1886. The metal "skin" that covers her form is made of copper, or when started out looking as bright as a new penny.

Over time, however, the color of her copper began to dull. Thanks to oxidation by our atmosphere, copper on the surface reacted with oxygen to form a pinkish-red mineral called cuprite.

Cuprite was further oxidized to form a black mineral called tenorite. Meanwhile, sulfur dioxide from the atmosphere, which reacts with the tenorite, forms sulfur compounds which react to form acid.

So what did the green color have to do with it? The answer is that the acid rain that fell on the Statue of Liberty was made of sulfuric acid. This acid reacted with the tenorite to form a green mineral called azurite.

Estudo de caso: Estátua da liberdade

1886

Cu **O₂** **Cu₂O** **O₂** **CuO** **H₂O** **SO₂** **H₂O** **SO₄²⁻** **Cl⁻** **H₂O** **Cl⁻** **H₂O** **Cl⁻**

COPPER **CUPRITE** **TENORITE** **BROCHANTITE** **ANTLERITE** **ATACAMITE**

The Statue of Liberty, a gift to the people of the United States from the people of France, was unveiled in 1886. The metal "skin" that covers her form is made of copper, or when started out looking as bright as a new penny.

Over time, however, the color of her copper began to dull. Thanks to oxidation by our atmosphere, copper on the surface reacted with oxygen to form a pinkish-red mineral called cuprite.

Cuprite was further oxidized to form a black mineral called tenorite. Meanwhile, sulfur dioxide from the atmosphere, which reacts with the tenorite, forms sulfur compounds which react to form acid.

So what did the green color have to do with it? The answer is that the acid rain that fell on the Statue of Liberty was made of sulfuric acid. This acid reacted with the tenorite to form a green mineral called azurite.

But, there are other acids, besides sulfuric acid, that can corrode copper. Chloride ions from sea water, for example, can react with the tenorite, forming another green mineral called antlerite.

Pátina natural

Cu₂O **Azinhavre**

Brochantita: $4Cu_2O(s) + 2SO_2(g) + 3O_2(g) + 6H_2O(l) \rightarrow 2Cu_4(SO_4)(OH)_6(s)$

Antlerita: $6Cu_2O(s) + 4SO_2(g) + 5O_2(g) + 8H_2O(l) \rightarrow 4Cu_3(SO_4)(OH)_4(s)$

Atacamita: $2Cu_2O(s) + 2Cl(aq) + O_2(g) + 4H_2O(l) \rightarrow 2Cu_2(OH)_2Cl(s) + 2OH^-(aq)$

Azurita: $6Cu_2O(s) + 8CO_2(g) + 3O_2(g) + 4H_2O(l) \rightarrow 4Cu_3(CO_3)_2(OH)_2(s)$

Malaquita: $2Cu_2O(s) + 2CO_2(g) + O_2(g) + 2H_2O(l) \rightarrow 2Cu_2(CO_3)(OH)_2(s)$

Oxidantes e reações de corrosão

Na corrosão úmida, os dois principais oxidantes, em prática, responsáveis pela corrosão eletroquímica de materiais metálicos são:

- Os íons de hidrogênio (H⁺)
- O oxigênio dissolvido

No entanto, outros oxidantes também podem corroer os metais, como:

- Cátions metálicos oxidantes: Cu²⁺, Fe³⁺, Sr⁴⁺
- Ânions oxidantes: NO₂⁻, NO₃⁻, CrO₄²⁻, MnO₄⁻, Ocl⁻
- Gases oxidantes dissolvidos: O₃, Cl₂, SO₃

Produtos de corrosão

- Íons dissolvidos
- Filmes não-compactos
- Filmes compactos

Meios ácidos: geralmente íons solúveis;

Meio neutro ou alcalino, e às vezes em meio ácido, os produtos de corrosão são pouco solúveis e precipitam na superfície do metal (hidróxidos, cloretos, sulfatos....) - Filmes porosos ou pouco compactos;

Filmes compactos, principalmente óxidos, formam uma barreira eletroquímica entre o metal e o meio corrosivo.

Produtos de corrosão

The diagram illustrates the formation of different corrosion products on a metal surface. It shows a metal surface reacting with H₂ and O₂ to form an oxide layer. The resulting products are categorized as Compact oxide, Rancid porous oxide, Nonporous oxide, and Nonporous oxide.

Crescimento dos óxidos

O crescimento e a dissolução dos filmes passivos dependem das reações de transferência de íons nas interfaces metal/filme e filme/eletrolito.

Formação do óxido

Interface I: $M \rightarrow M^{n+} + ne$ (oxidação do metal)

Interface II: $H_2O \rightarrow O^{2-} + 2H^+$ (deposição de O^{2-})

ou

$O^{2-} + 2H^+ \rightarrow H_2O$ (dissolução de O^{2-})

$M^{n+} \rightarrow M^{n+}_{(aq)}$ (dissolução do metal)

Dissolução do óxido

Crescimento dos óxidos

Devido ao forte gradiente de potencial elétrico no filme, os cátions migram em direção à sua superfície externa.

Durante o crescimento do filme óxido também ocorre migração de ânions, porém a migração de cátions é predominante e o crescimento ou dissolução do óxido se realiza na interface II.

A formação do óxido ocorre por oxidação do metal e deposição de O^{2-} :

$$M + n/2 + H_2O \rightarrow Mo_{n/2} + nH^+ + ne$$

A dissolução do óxido se dá por dissolução do metal e de O^{2-} :

$$MO_{n/2} + nH^+ + ne \rightarrow M^{n+}_{(aq)} + n/2 H_2O$$

04 Patinização

Pátina artificial

Rotas

- Aplicação direta
- Vaporização
- Inersão
- Aquecimento a seco
- Meio úmido

Técnicas

- Mecânica
- Eletroquímica

05 Experimentos

1 Pátina dourada

O substrato de cobre deve ser submerso em uma solução de peróxido de hidrogênio + vinagre + NaCl por poucos segundos e depois seco com o secador.

1 Pátina dourada

1 Pátina dourada

Solução:

- 470ml de Peróxido de hidrogênio
- 350ml de Vinagre
- 15g de Cloreto de sódio

Segurar o corpo de prova com a pinça e esperar o tempo escolhido. Após a remoção do corpo de prova da imersão, deve-se utilizar o secador.

2 Azinhavre eletroquímico



Em atmosfera urbana demora em torno de 3 anos para os primeiros tons de verde surgirem. Através da passagem de corrente e eletrólito adequado, o processo corrosivo será acelerado e em poucos segundos se torna possível observar a presença de produtos de corrosão verdes/azuis.



2 Azinhavre eletroquímico



Variar o eletrólito:

- Amônia
- Amônia + NaCl (5%)
- Bicarbonato de sódio (1M)
- Bicarbonato de sódio + NaCl
- Acetato de sódio
- Acetato de sódio - NaCl

Composição do substrato:

- Cobre
- Latão

2 Azinhavre eletroquímico



2 Azinhavre eletroquímico



2 Azinhavre eletroquímico



Referências



DI CARLO, G. et al. Artificial patina formation onto copper-based alloys: Chloride and sulphate induced corrosion processes. *Applied surface science*, v. 421, p. 120–127, 2017.

GEMELLI, E. *Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização*. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GENTIL, V.; CARVALHO, L. J. DE. *Corrosão*. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

KIM, S. J. et al. Color of copper/copper oxide. *Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.)*, v. 33, n. 15, p. e2007345, 2021.

KUNTZLEMAN, T. S. et al. Rapid formation of copper patinas: A simple chemical demonstration of why the statue of liberty is green. *Journal of chemical education*, v. 97, n. 8, p. 2244–2248, 2020.

Conheça o Projeto M.Arte



@projeto.marte



projetomarteufpe@gmail.com

materialscienciaearte.blogspot.com



