



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE ANTROPOLOGIA E MUSEOLOGIA
BACHARELADO EM MUSEOLOGIA

VICTORIA BRITO COELHO DE ARAGÃO BRANDÃO

Conservação e métodos alternativos: nanotecnologia na desacidificação
de bens culturais em suporte papel.

RECIFE

2022

VICTORIA BRITO COELHO DE ARAGÃO BRANDÃO

Conservação e métodos alternativos: nanotecnologia na desacidificação de bens culturais em suporte papel.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Antropologia e Museologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Profº. Dr. Bruno Melo de Araújo

RECIFE

2022

TERMO DE APROVAÇÃO

VICTORIA BRITO COELHO DE ARAGÃO BRANDÃO

Conservação e métodos alternativos: nanotecnologia na desacidificação de bens culturais em suporte papel.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Antropologia e Museologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II.

Professor Doutor Bruno Melo de Araújo
Orientador

Professora Doutora Emanuela Sousa Ribeiro
Avaliadora

Professora Doutora Maria Isavel Spitz Argolo
Avaliadora

*Dedico a Artur e Dona Ceci,
fontes de amor inesgotáveis e
maiores incentivadores.*

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, a Deus, aos orixás e meus guias espirituais. Os desafios da vida são muito, mas sigo em frente de cabeça erguida porque sei que eu não ando só.

A minha avó, Dona Ceci, meu marido Artur, minha mãe Beatriz, meus sogros Rita e Pedro, minha tia Suenya e meu irmão Gabriel, que sempre acreditaram em mim, me fazendo constantemente lembrar de acreditar em mim mesma.

Aos meus amigos do coração, Sarah, Débora, Peu, Marcelo, Michel e Humberto, perto ou longe, estão sempre me apoiando. E a Janayna, Manuella e Mariana, amigas que a Museologia me deu, sorrindo e chorando juntas nessa trajetória acadêmica e que vou levar para vida. Também a todos os trabalhadores e trabalhadoras da Fraternidade da Luz por cuidarem de mim e de todos, sem ver a quem.

Ao meu orientador, Prof^o Bruno, por estar comigo todos esses anos em pesquisas e projetos, abrindo as primeiras portas para oportunidades profissionais e por todo ensinamento compartilhado. Também a ChemicArte projetos educacionais e Angélica Borges, restauradora do LABOR/UFPE, profissional e ser humano que tanto admiro e tenho prazer em ter como amiga, sempre me estimulando a pensar grande.

A Suzana Omena pela oportunidade de viver a/da conservação, além de todos os ensinamentos compartilhados. A toda equipe do ateliê de conservação, Maria, Bia, Tiago, Mari, Gerardo e, em especial Gabriel, por alegrar minhas manhãs e tornar um trabalho maravilhoso mais incrível ainda.

Ao Laboratório de Síntese de Compostos Bioativos (LSCB) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial a Ingrid, Rerison e Bruna, doutorandos do laboratório e antigos colegas de universidade por me acolherem e falar o “quimiquês” comigo.

Ao Ivaldo, técnico do Laboratório de Microscopia do INTM/UFPE pelas análises realizadas e por sua receptividade.

“Ninguém vence sozinho, nem no campo, nem na vida!”

Papa Francisco

RESUMO

O processo de degradação de bens culturais em suporte papel está relacionado, entre outras causas, à alteração do pH. A acidificação do papel é provocada por reações de hidrólise ácida, um conhecido mecanismo de degradação da celulose que ocorre através da ação conjunta da água e substâncias ácidas, presentes no suporte e/ou ambiente. Para conservação da integridade física de bens culturais em suporte papel, faz-se necessário a neutralização/estabilização deste processo por profissionais da conservação, entre eles museólogos (os), a fim de garantir o acesso à informação às gerações presentes e futuras. Dentre as técnicas tradicionais de desacidificação do papel, destaca-se o banho alcalino, um tratamento aquoso por imersão em hidróxido de cálcio, conhecida substância básica que, no entanto, apresenta algumas limitações, principalmente no que concerne a suportes muito fragilizados e/ou com pigmentos sensíveis à água. Nesse sentido, pesquisas vêm sendo desenvolvidas metodologias alternativas de desacidificação, destacando-se a aplicação de nanopartículas de hidróxido de cálcio. Este trabalho tem como objetivo estudar um método alternativo de desacidificação de acervos em papel, utilizando nanopartículas de hidróxido de cálcio sintetizadas em laboratório, em uma adaptação de metodologias encontradas na literatura. Do ponto de vista metodológico, trata-se de estudo de abordagem mista, exploratório e explicativo, que parte de um levantamento bibliográfico sobre o uso da nanotecnologia em diferentes campos do conhecimento e sua aplicação na conservação de bens culturais, em especial em acervos em suporte papel. Posteriormente, foram investigadas algumas das metodologias de síntese de nanopartículas de hidróxido de cálcio para compreensão das condições reacionais, a fim de adaptá-las para sua produção em laboratório. O material obtido da síntese foi aplicado no tratamento de desacidificação de uma gravura. A partir dos resultados oriundos da análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia de Energia Dispersa de Raio-X (EDS), estimou-se a composição química e hábito do material micro e nanoparticulado. Com a medição do pH, observou-se o aumento do pH do suporte após tratamento, ratificando assim a eficácia da adaptação metodológica. O uso da nanotecnologia como alternativa na desacidificação de papel demonstra a importância da interdisciplinaridade na conservação de bens culturais, em especial o diálogo entre Museologia e Química.

Palavras-chave: Conservação; Degradação; Papel; Tratamento; Desacidificação; Nanotecnologia.

ABSTRACT

The degradation process of cultural assets in paper support is related, among other causes, to the pH change. The acidification of paper is caused by acid hydrolysis reactions, a known mechanism of cellulose degradation that occurs through the joint action of water and acidic substances present in the support and/or environment. To preserve the physical integrity of cultural assets on paper, it is necessary to neutralize/stabilize this process by conservation professionals, including museologists, in order to guarantee access to information for present and future generations. Among the traditional techniques of paper deacidification, the alkaline bath is highlighted, an aqueous treatment by immersion in calcium hydroxide, a known basic substance that, however, has some limitations, especially with regard to very fragile supports and/or with pigments sensitive to water. In this sense, research has been developing alternative deacidification methodologies, especially the application of calcium hydroxide nanoparticles. This paper aims to study an alternative method of deacidification of paper collections, using calcium hydroxide nanoparticles synthesized in the laboratory, in an adaptation of methodologies found in the literature. From the methodological point of view, this is a study of mixed approach, exploratory and explanatory, which starts from a bibliographic survey on the use of nanotechnology in different fields of knowledge and its application in the conservation of cultural assets, especially in paper collections. Subsequently, some of the synthesis methodologies for calcium hydroxide nanoparticles were investigated to understand the reaction conditions, in order to adapt them for their production in the laboratory. The material obtained from the synthesis was applied in the deacidification treatment of an etching. From the results arising from the Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), the chemical composition and habitus of the micro and nanoparticulate material was estimated. With the pH measurement, an increase in the pH of the support after treatment was observed, thus ratifying the effectiveness of the methodological adaptation. The use of nanotechnology as an alternative in the deacidification of paper demonstrates the importance of interdisciplinarity in the conservation of cultural assets, especially the dialogue between Museology and Chemistry.

Keywords: Conservation; Degradation; Paper; Treatment; Deacidification; Nanotechnology.

LISTA DE FIGURA

Figura 01 – Processo de produção de nanopartículas: bottom-up e top-down.

Figura 02 – Classificação de nanomateriais de acordo com propriedades físico-químicas.

Figura 03 – Estrutura da cadeia polimérica da celulose.

Figura 04 – Forças inter e intramoleculares nas cadeias de celulose.

Figura 05 – Equação global da hidrólise ácida da celulose.

Figura 06 - Ligação entre íon H^+ ao oxigênio de uma ligação glicosídica.

Figura 07 - Quebra da ligação glicosídica para estabilidade química.

Figura 08 - Quebra da ligação glicosídica para estabilidade química.

Figura 09 - Amarelecimento do papel por reação fotoquímica

Figura 10 – Escala do pH, potencial hidrogeniônico.

Figura 11 - Fitas universais de pH

Figura 12 - pHmetro.

Figura 13 - Esquema ilustrativo do funcionamento do Microscópio Eletrônico de Varredura.

Figura 14 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) de bancada Hitachi (INTM/UFPE).

Figura 15 - Preparação das soluções de hidróxido de sódio e cloreto de cálcio, respectivamente.

Figura 16 - Introdução em etapas dos reagentes: início da reação de síntese de nanopartículas de hidróxido de cálcio.

Figuras 17 e 18- Cilindro de gás argônio e final da reação de síntese das nanopartículas de hidróxido de cálcio.

Figura 19 - Lavagem manual da água-mãe contendo íons cloreto e sódio após decantação do precipitado.

Figura 20 - "Sobrevivência" (2003), por Angélica Borges, frente-verso da gravura em metal.

Figura 21 - Higienização com trincha macia.

Figura 22 - Higienização com pó de borracha.

Figura 23 - Retirada de pontos de oxidação e sujidades com bisturi.

Figura 24 - Medição do pH da gravura antes do tratamento de desacidificação.

Figura 25 - Aplicação da solução de 10% de nanopartículas de hidróxido de cálcio em etanol por aspersão.

Figura 26 - Medição do pH pós-tratamento de desacidificação com dispersão de nanopartículas de hidróxido de cálcio em etanol.

Figura 27 – Nanopartícula de hidróxido de cálcio entre fibras de celulose. Reconhecimento pelo formato hexagonal.

Figura 28 - Espectro EDS feito na gravura tratada com nanopartículas de hidróxido de cálcio.

LISTA DE ABREVIATURAS

pH – Potencial Hidrogeniônico

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

EDS - Detector de Energia Dispersiva

Ca - Cálcio

O - Oxigênio

Ar - Argônio

H⁺ - Íon hidrogênio

Cl - Cloro

Na - Sódio

NaCl - Cloreto de sódio

Ca(OH)₂ - Hidróxido de cálcio

NaOH - Hidróxido de sódio

CaCO₃ - Carbonato de cálcio

CO₂ - Dióxido de carbono

SO₂ - Dióxido de enxofre

NO - Monóxido de nitrogênio

N₂O - Monóxido de dinitrogênio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. CAPÍTULO I: Nanotecnologia e suas aplicações em diferentes áreas do conhecimento.	17
2.1 Nanotecnologia	19
2.2 Nanomateriais	21
2.3 Aplicações dos nanomateriais	25
3. CAPÍTULO II: Nanotecnologia e suas contribuições à conservação de bens culturais.	28
3.1 Nanomateriais no tratamento de conservação de suportes porosos	30
3.2 Nanopartículas no tratamento de conservação de suporte papel	32
3.3 Hidrólise ácida	35
3.4 Medição do pH	38
3.5 Tratamentos de desacidificação de papel	40
4. CAPÍTULO III: Método alternativo de desacidificação de papel utilizando nanopartículas de hidróxido de cálcio.	43
4.1 Reação de síntese de nanopartículas de hidróxido de cálcio	46
4.2 Procedimentos no tratamento de conservação de uma gravura em papel	50
4.3 Metodologia de aplicação das nanopartículas de hidróxido de cálcio	53
4.4 Análise das nanopartículas de hidróxido de cálcio: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Energia Dispersiva de Raios-X (EDS)	56
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	59

1. INTRODUÇÃO

As instituições culturais são espaços de preservação que travam uma intensa batalha no sentido de melhor conservar no tempo seus acervos e o caráter insubstituível que muitos destes apresentam para sociedade. A conservação destes bens implica na construção de um arcabouço teórico-metodológico interdisciplinar por parte de profissionais da conservação, em especial museólogas e museólogos, de forma a atribuir a prática conservativa maior criticidade e cientificidade.

Enquanto campo interdisciplinar, a Museologia reconhece a importância da articulação de diferentes áreas para produção de conhecimento e, principalmente, no que diz respeito à concepção de novos modos de refletir sobre seu objeto de interesse: a relação profunda entre sociedade e herança cultural. Segundo Magaldi e Britto (2018, p. 11), um dos papéis do museólogo (a) está em problematizar e refletir sobre o *modus operandi* da produção e transmissão de conhecimento e dos processos museológicos aplicados, assim como expandir os limites epistemológicos, ao estabelecer diálogos com diferentes áreas da ciência.

Dessa forma, a Museologia amplia suas categorias de análise e interpretação sobre questões pertinentes à relação entre as sociedades e a herança cultural musealizada, e o “estabelecimento de novas relações entre sociedades e suas expressões patrimoniais a partir da constituição de processos museológicos.” (BRUNO, 2014, p.3).

Bruno (2014, p. 4) enfatiza a importância do reconhecimento da Museologia enquanto campo interdisciplinar para a produção científica acerca dos processos museológicos, destacando a preservação de bens culturais. Pinheiro e Granato (2012, p. 37) também ressaltam a posição privilegiada da Museologia entre diferentes campos do conhecimento com relação à preservação, pois o campo

[...] se insere nas duas vertentes de relação, tanto nas humanas como nas exatas, pois se identifica com o desenvolvimento e uso de procedimento de preservação em amplo senso (documentação, conservação, restauração, cultura material e pesquisa), assim como com toda a parte humanística relacionada à atribuição de valores e à ética da preservação. (PINHEIRO e GRANATO, 2012, p. 37).

Fica evidente, portanto, o caráter interdisciplinar da Museologia, especialmente, no que concerne à preservação de bens culturais, onde a interdisciplinaridade surge como valiosa via pedagógica e de reflexão epistemológica para construção de novos

referenciais analíticos e interpretativos diante de questões complexas, como “porque preservar?”

A preservação de bens culturais se justifica, a partir do que Menezes (1994, p. 12) descreve como “fenômeno complexo da apropriação social de segmentos de natureza física”, uma das temáticas mais discutidas no campo museológico da contemporaneidade: o processo de musealização. Lima (2013, p. 51) compreende a musealização como

[...] um processo institucionalizado de apropriação cultural que imprime caráter específico de valorização a elementos de origem natural e cultural. Estabelece sua caracterização identificando formas interpretativas materiais e imateriais da humanidade à qual imprime a interpretação de testemunhos que referenciam as existências e identidades. (LIMA, 2013, p. 51).

No processo de musealização, um objeto tem o “valor” distanciado do contexto econômico do qual é comumente associado ao ser ressignificado por indivíduos e grupos da sociedade, pois nele foi reconhecido um caráter identitário. A partir desse reconhecimento, o objeto é apropriado socialmente, atribuindo-o a novos valores, sejam históricos, científicos, arquitetônicos, culturais e/ou artísticos. Em outras palavras, é da relação afetiva que o sujeito tem com as coisas que as coisas adquirem natureza de valor e são transformadas em bens culturais, compreendidos por Menezes (1994, p. 28) como “objetos-portadores-de-sentido”.

A partir da conscientização do objeto enquanto objeto, em suas múltiplas significações e funções, podemos compreendê-los enquanto vetores das relações sociais e não somente produtos. Logo, mais que um corpo físico, o bem cultural apresenta uma multiface imaterial, subjetiva e relacional, possuindo um conjunto de qualidades que foram apreciadas, isto é, fruídas coletivamente.

Nesse sentido, a apropriação social do objeto enquanto parte da herança cultural é fator determinante para o engajamento das ações de preservação, em especial a conservação. A intensidade do sentimento de pertença é proporcional à valorização do bem cultural que afeta diretamente o estado de conservação em que o objeto se encontra.

A partir das discussões acima, podemos perceber o grau de complexidade que tange a questão “porque preservar?”, por se tratar da natureza subjetiva da relação entre ser humano e objeto, que o reconhece enquanto “produto e testemunho das diferentes

tradições e realizações intelectuais do passado, e constituindo, portanto, um elemento essencial da personalidade dos povos.” (PINHEIRO e GRANATO, 2012, p. 26).

Desse reconhecimento, o objeto torna-se elegível a ser preservado e ter sua integridade física conservada, a fim de perpetuar no tempo as realizações intelectuais do passado e garantir sua transmissão às gerações presentes e futuras. Dessa forma, a conservação se relaciona à natureza dual dos bens culturais, isto é, ao mesmo tempo imaterial e material.

Sobre a natureza material dos bens culturais, o objetivo principal do processo de conservação está na estabilização dos objetos, a partir dos estudos da deterioração da matéria. À vista disso, as ações de conservação são direcionadas à mitigação da ação do tempo e de agentes de degradação, a fim de prolongar a vida dos acervos. Para estabilização dos processos de degradação dos suportes é necessário um aprofundamento nos conceitos da matéria e suas transformações, estudos desenvolvidos no âmbito da Química.

O apuramento do olhar museológico proporcionado pelas intercessões disciplinares com a Química possibilita, em primeira instância, a identificação da composição do bem cultural e das propriedades físico-químicas, com o consequente reconhecimento dos fatores de degradação, auxiliando no diagnóstico do estado de conservação. Em seguida, o cuidado deve ser direcionado à interpretação dos mecanismos de degradação e escolha da metodologia para tratamento de conservação, auxiliada por análises químicas, atribuindo, assim, a cientificidade. A ação desse tratamento, associada ao controle ambiental, serão cruciais na mitigação dos fatores de deterioração e estabilização de acervos.

Fica evidente, portanto, que para construção de práticas conservativas seguras e conscientes da materialidade do bem cultural, o (a) museólogo (a) deve estar em constante diálogo com as diferentes áreas da ciência, em especial ao debruçar-se sobre acervos em papel acidificados. A partir dessas considerações, o presente trabalho tem como objetivo estudar um método alternativo de desacidificação do suporte papel com aplicação da nanotecnologia e fundamentos da química e, assim, discutir sua eficiência e funcionalidade.

O papel é um dos suportes materiais mais utilizados na história da humanidade e está intimamente relacionado ao seu desenvolvimento, considerado um valioso instrumento para materialização da subjetividade humana que expressa pensamentos, memórias e ideias, criando documentos de si, do outrem, que carregam símbolos ou

ainda sinais de vida. Diante da importância histórica, artística e cultural dos bens nesse tipo de suporte e do crescente número de acervos em papel em instituições culturais no Brasil, reconhecemos necessária uma sistematização metodológica que potencialize os tratamentos de conservação de papel.

O controle da acidez de bens culturais em suporte papel é essencial para estabilização do processo de degradação provocado pela ação da água junto a substâncias ácidas presentes na composição do papel e no ambiente. Nesse sentido, o tratamento de desacidificação é um importante aliado na conservação de bens culturais em suporte papel. Segundo o levantamento bibliográfico realizado, esse tipo de procedimento vem sendo discutido na óptica de diferentes campos científicos que questionam principalmente sobre sua eficácia e riscos, apresentando considerações de grande relevância para práticas conservativas mais eficientes.

Com base nessa compreensão, o presente trabalho busca um método alternativo de desacidificação de papel com a aplicação da nanotecnologia a partir de estudos que vêm sendo desenvolvidos neste setor, em âmbito nacional e internacional. Este estudo visa contribuir para a prática conservativa, de forma a analisar algumas das metodologias presentes na literatura e realizar experimentalmente testes reacionais para proposição de melhorias metodológicas voltadas a desacidificação de papel. Agradecemos o apoio da Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE, do Laboratório de Síntese de Compostos Bioativos (LSCB) da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, e do Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM) da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE.

2. **CAPÍTULO I:** Nanotecnologia e suas aplicações em diferentes áreas do conhecimento.

A cultura material é um dos elementos constitutivos da humanidade, considerada uma importância prática para formação da tessitura cultural, pois faz parte do “conjunto de recursos simbólicos por meio dos quais os indivíduos se percebem como pessoas”. (GEERTZ, 2001 *apud* SCHEINER, 2014, p. 19).

A construção das heranças culturais reflete a necessidade do ser humano de representar a finitude do Eu por meio de coleções infinitas em si, possuindo menos uma qualidade funcional do que uma estética sociológica, isto é, um sentido *socius* das coisas (MOLES, 1981). Diante da complexidade das relações afetivas entre sociedade e bens culturais, o campo da Museologia direciona seus estudos à compreensão dos múltiplos sentidos e significados da produção material da atividade humana, em diferentes contextos históricos e sociais.

Entre os diferentes aspectos que concernem ao desenvolvimento da humanidade, podemos afirmar que um deles está intimamente relacionado às invenções. Ao mesmo tempo em que o ser humano é determinante para criação das técnicas, elas determinam seu *modus operandi*, transformando as condições da vida social, cultural e política, na medida em que evoluem.

O advento da escrita é um exemplo dessa relação transformadora entre técnica e desenvolvimento humano, que surge da necessidade do ser humano de se comunicar em grupo e registrar atividades, ideias, pensamentos e sentimentos, perpetuando-os no tempo. Na medida em que aprende a se expressar por meio de signos gráficos vai transformando a técnica, transformação essa que marca tanto as fases de evolução da escrita - da pictórica, ideográfica a alfabética - quanto à passagem da pré-história para história (BARBOSA, 2013, p. 13 *apud* COSTA *et al*, 2013, p. 2).

Em outras palavras, foi através do desenvolvimento e domínio da escrita enquanto sistema de linguagem gráfica que os processos de construção cultural dos povos foram impulsionados, transformando a humanidade ao passo que a técnica evolui e desencadeia o surgimento de novas técnicas.

Em cada fase da escrita diferentes suportes físicos foram utilizados, desde rochas, cascas e miolos de árvores, folhas, cascos de animais, couro, pedras, marfim e metais, papiro, pergaminho até o papel (LABARRE, 1981, p. 8 *apud* DOCTORS, 1999,

p. 67). A evolução dos suportes está diretamente relacionada às fases da escrita e um desenvolvimento conjunto de técnicas a ela associado. O papel é produto da inovação das técnicas de produção, isto é, da manipulação de materiais, do artesanal papel feito de trapos de algodão e linho ao papel produzido da madeira, fruto da Revolução Industrial e da invenção da imprensa (DOCTORS, 1999, p. 24).

Doctors (1999, p. 25) destaca a influência da industrialização do papel e da imprensa no desenvolvimento da humanidade, onde juntas revolucionaram a geração e difusão da cultura. Walter Benjamin (1991) também ressalta o papel da técnica no desenvolvimento cultural, social e político, compreendendo-a enquanto agente transformador da realidade com a criação de novos materiais, associando-a à ideia de progresso. De fato, cada período da história da humanidade - Pré-História, Antiguidade, Idade Média, Idade Moderna e Idade Contemporânea – proporcionou assim como foi proporcionado por condições particulares para a evolução da técnica, no chamado progresso tecnológico. (HAYNE e WYSE, 2018, p. 59).

Na definição de Plaza (1998, p. 20) *apud* Marques (2008, p. 49), se a técnica

[...] é a parte material ou conjunto de processos de uma arte, caracterizada como conhecimentos e formas de operar, de saber-fazer, incluindo, por isso mesmo, o princípio do inteligível, a Tecnologia, como saber-fazer somado a um saber-teórico-científico, pressupõe uma qualidade, que atua tanto sobre o fazer quanto sobre o saber científico, isto é, uma síntese entre a técnica e a linguagem. Assim, [...] *Technè* (arte e técnica) e *Logos* (palavra, discurso, conhecimento) é articulada na palavra “tecnologia”. (PLAZA, 1998. p. 20 *apud* MARQUES, 2008, p. 49).

Em outras palavras, a Tecnologia enquanto “Ciência da técnica” abrange um conjunto de conhecimentos desenvolvidos metodologicamente que são aplicados pelo ser humano a determinados fins. Segundo Almeida (2013, p. 54) cada momento da história da humanidade estabelece novos padrões tecnológicos à medida que mais conhecimento científico é produzido. Assim, a tecnologia avança sob ritmo cada vez mais acelerado principalmente a partir do final do século XX, destacando-se os estudos sobre novas técnicas de produção de materiais no âmbito da nanotecnologia (CADIOLI e SALLA, 2013; ZARBIN, 2007; RAMSDEN, 2015; JOSEPH e MORRISON, 2006; MAMANI, 2009; DIAS, 2015; SILVA *et al*, 2017; MARCONE, 2015; GOUVÊA, 2004; DURÁN, MATTOSO e DE MORAIS, 2006; ALVES, 2010; MESQUITA, 2014; MARTINS, 2006; PUERTA, 2012; MILLER e SERJEN, 2008).

2.1 Nanotecnologia

A nanotecnologia vem ganhando destaque entre diversas áreas do conhecimento ao produzir materiais de estruturas nanométricas que apresentam vasta aplicação. Essa variedade de aplicações, apontam Cadioli e Salla (2013, p. 98), demonstra o caráter inter e multidisciplinar da nanotecnologia em áreas como física, química, biologia, medicina, informática e engenharia. O diálogo de pesquisadores de diferentes áreas possibilita o desenvolvimento de metodologias de obtenção de materiais nanoestruturados cujas estruturas são organizadas a partir da manipulação de átomos e moléculas.

A idéia de manipular átomos para produção de materiais, até então exclusivo da natureza, foi sugerida pela primeira vez pelo físico Richard Feynman (1959), ganhador do prêmio Nobel de Física (1965), em um encontro da *American Physical Society* (CADIOLI e SALLA, 2013, p. 99).

Para o físico, desde a pré-história o ser humano vem demonstrando seu potencial intelectual e criativo na manipulação de materiais, a exemplo do barro, matéria-prima das primeiras cerâmicas, a mesma utilizada na fabricação de tijolos, elementos essenciais para construção de casas. Se o ser humano consegue transformar materiais para criação de diferentes objetos, com conhecimento e tecnologias adequados, também é capaz de produzir materiais a partir do “átomo” (CADIOLI e SALLA, 2013, p. 199).

A ideia de Feynman se baseia na relação entre materiais e utilidade, isto é, na importância dos materiais e das técnicas de manipulação para desenvolvimento da humanidade. O domínio de diferentes materialidades, como pedra, cobre, ferro e bronze marcam as eras da civilização, pois garantiu a sobrevivência do ser humano na Terra ao utilizá-los para proteção, alimentação e moradia (ZARBIN, 2007, p. 1469). Um material é escolhido para dada função graças às propriedades físicas e químicas que apresenta como propriedades ópticas, magnéticas, catalíticas e elétricas, tornando-o útil na forma de diferentes objetos. Qualquer material é feito de matéria, por isso “toda matéria é um material em potencial”, afirma Zarbin (2007, p. 1469) que compreende material enquanto substância, ou uma mistura delas, com propriedades singulares e por isso, com funções específicas.

Produzir novos materiais estruturados a partir da manipulação a nível atômico abre um leque de possibilidades de aplicação nas mais diferentes áreas do

conhecimento, pois mais acentuadas serão as propriedades desses materiais. Isso permite à humanidade dar um passo significativo na direção do desenvolvimento tecnológico, científico, social e aspectos relacionados à cultura, economia, política e meio ambiente.

Um dos maiores desafios no desenvolvimento de técnicas de manipulação a nível atômico e molecular está no tamanho destas partículas, de dimensões nanométricas. Um nanômetro equivale à bilionésima parte de um metro (10^{-9} m) e sua escala varia entre 0,1 a 100 nm. Por exemplo, vírus e bactérias se encontram entre 15 a 100 nm na escala, assim como o DNA, com largura de aproximadamente de 2nm. A etimologia do termo “nano”, prefixo da palavra nanotecnologia, vem do grego *nannos* que significa anão, referindo-se justamente ao tamanho demasiadamente pequeno destas partículas.

De acordo com Ramsden (2005, p.3), o termo nanotecnologia foi usado pela primeira vez em 1974, por Norio Taniguchi, professor da Universidade de Tóquio, referindo-se à habilidade de desenvolver materiais em nanoescala. Na definição da The Royal Society & The Royal Academy of Engineering (2004, p. 23), nanotecnologia “representa todas as tecnologias que envolvem o projeto, caracterização, produção e aplicação de estruturas, instrumentos e sistemas pelo controle de seus tamanhos em escala nano”.

Para Joseph e Morrison (2006, p.16) nanotecnologia é

[...]a aplicação da nanociência, compreendendo a manipulação dos átomos, moléculas ou grupos de moléculas de forma individual, para geração e desenvolvimento de materiais e dispositivos novos com vastas e diferentes propriedades. (JOSEPH e MORRISON, 2006, p.16).

Já Cadioli e Salla (2013, p. 100) definem nanotecnologia como “o estudo da técnica de manipulação de átomos em escala nanométrica para criação de novas organizações estruturais com o objetivo de criar materiais nanoestruturados”, também chamados de nanomateriais. A partir das perspectivas mencionadas, compreendemos a nanotecnologia enquanto aplicação dos estudos da nanociência, voltada ao desenvolvimento de materiais cujas estruturas são organizadas a partir da manipulação a nível atômico e molecular para obtenção de partículas em tamanho nanométrico.

2.2 Nanomateriais

Um nanomaterial pode ser definido como “nanoagregados de partículas ultrafinas de dimensões nanométricas localizadas na região de transição entre moléculas e estruturas microscópicas” que apresentam propriedades físicas, químicas, biológicas e mecânicas distintas. (MAMANI, 2009, p. 18).

A aplicação de um nanomaterial está diretamente relacionada às propriedades que este possui e as propriedades, por sua vez, são inerentes à composição e estrutura química das substâncias que o constituem. Zarbin (2007, p. 1470) ressalta que ao procurar “um material para uma aplicação específica, deve-se compreender qual é a propriedade que o material deve possuir para que seja usado naquela aplicação”, e para isso o conhecimento químico se faz fundamental. Segundo o autor, a partir daí conclui-se

[...]qual é a composição química e qual a estrutura do material capaz de fornecer a propriedade desejada e, finalmente, investigar-se qual a rota de preparação (síntese) capaz de produzir exatamente aquele material (com estrutura e composição química desejadas). (ZARBIN, 2007, p. 1470).

Entre os campos do saber, a Química está diretamente relacionada à produção de nanomateriais desde a preparação (síntese), caracterização da estrutura química e estudos das propriedades e aplicações de compostos, e seu conhecimento pode “levar ao desenvolvimento de novas oportunidades tecnológicas ou melhorias significativas em tecnologias já existentes” (ZARBIN, 2007, p. 1470).

Na fase de preparação/síntese são propostas metodologias a partir do estudo de mecanismos de reação, isto é, da ação de diferentes reagentes em certas condições como temperatura, pressão e presença de catalisadores, de forma a controlar a produção de compostos. No caso dos nanomateriais, essa fase é fundamental para controle do tamanho das partículas na faixa dos nanômetros. Segundo Zarbin (2007, p. 1471) o objetivo nessa fase é o “desenvolvimento de novas rotas de preparação e modificação e aprimoramento de rotas já existentes, otimização e planejamento de processos que levem à produção de diferentes materiais”.

Os métodos de obtenção dos nanomateriais podem ser divididos em dois processos distintos: *top-down* (de cima para baixo) e *bottom-up* (de baixo para cima). A abordagem *top-down* é considerada mais tradicional no desenvolvimento de nanoestruturas, consiste na diminuição do tamanho de partículas maiores até atingir a

escala nano. De acordo com Dias (2015, p. 12), pode acontecer por meio de cauterização química, ablação a laser/térmica¹, moagem de alta energia ou processos explosivos.

Já a abordagem *bottom-up*, considerada mais tradicional no desenvolvimento de nanoestruturas, consiste na diminuição do tamanho de partículas maiores até atingir a escala nano. É uma abordagem bastante utilizada por físicos, químicos e biólogos para obtenção do nanomaterial que pode acontecer através de processos como, solvente-gel, deposição química em fase vapor, pirólise² a laser ou spray, uso de moldes ou redução química, aponta DIAS (2015, p. 12).

Como apontado na figura 01, as nanopartículas podem ser produzidas através das abordagens de *top-down* e *bottom-up*. Ambas utilizam de energia física e química para obtenção de materiais nanoestruturados, porém por vias contrárias, a *top-down* reduz estruturas macro até o tamanho nano e a *bottom-up* constrói estruturas nano a partir do rearranjo de átomos e moléculas.

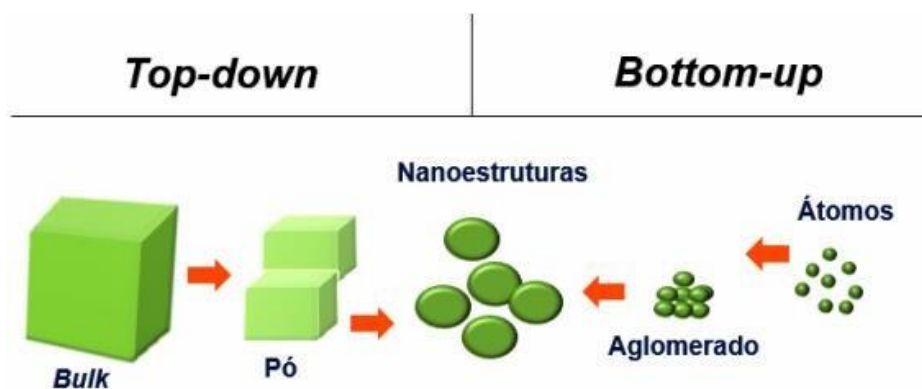


Figura 01 – Processo de produção de nanopartículas: bottom-up e top-down (DIAS, 2015, p. 12)

¹ De acordo com Mendonça (2018, p.16) “a ablação a laser/térmica utiliza de luz coerente de alta intensidade como fonte de excitação que pode variar desde a região do infravermelho ao ultravioleta, evaporizando a superfície do alvo e formando uma pluma de íons, aglomerados, átomos e elétrons que se expandem em um meio”.

² Segundo Santos (2011, p.11) “a pirólise é caracterizada pela degradação térmica de materiais sólidos, que implica na ruptura de ligações carbono-carbono e na formação de ligações carbono-oxigênio”.

Na fase de caracterização, são utilizadas diferentes análises físicas e químicas para identificação de alguns aspectos da composição do composto obtido, como a estrutura molecular e morfologia (tamanho e formas das partículas). Entre as análises, estão as

[...]Técnicas espectroscópicas (infravermelho, Raman, UV-Vis, NMR, RPE, Mössbauer, luminescência, EELS etc), técnicas de difração (raios X, elétrons, nêutrons etc), técnicas térmicas (TGA, DSC, DTA etc), técnicas de superfície (XPS, ESCA, Auger, BET, porosimetria etc.), técnicas de microscopia eletrônica (MET, MEV), técnicas de microscopia de sonda (AFM, SPM etc.), técnicas envolvendo radiação síncrotron (EXAFS, XANES, difração, SAXS etc.), técnicas envolvendo espalhamento de luz (DLS etc), técnicas eletroquímicas (voltametria cíclica, impedância etc.), técnicas envolvendo medidas elétricas (quatro pontas etc), dentre muitas outras. (ZARBIN, 2007, p. 1472)

Já o estudo das propriedades consiste em determinar diferentes propriedades do material, sejam “elétricas, ópticas, magnéticas, catalíticas, mecânicas”, etc, para definir as aplicações possíveis em “sistemas, dispositivos e máquinas” (ZARBIN, 2007, p. 1471).

No caso dos nanomateriais, Zarbin (2007, p. 1472) afirma que as propriedades dependem não só da composição e estrutura química, mas também do tamanho e formato das partículas. As propriedades que conhecemos são acentuadas quando as partículas se encontram abaixo do tamanho crítico, ou seja, do tamanho “comum” abaixo da escala micrométrica (10^{-6}m), assim como em certos formatos (hexágonos, esféricos ou bastão).

Para Mamani (2009, p. 17), a combinação de dois fatores altera as propriedades de um material nanoestruturado: os efeitos quânticos e os efeitos da superfície de contato. Sobre os efeitos quânticos, o autor compreende que o minúsculo tamanho das partículas limita o movimento dos elétrons no átomo em uma espécie de “confinamento quântico”, o que afeta diretamente diferentes propriedades físicas, como cor e condutividade elétrica.

Já os efeitos da superfície de contato são observados pela redução do tamanho do material. Isso acontece pelo aumento da razão entre a área e o volume ocupado pelas partículas, onde uma maior quantidade de partículas é necessária para preenchimento do espaço, aumentando a área de superfície de contato dos átomos. Esse aumento da área superficial intensifica as interações internas (intramoleculares) e

externas (intermoleculares) do nanomaterial que aproxima os átomos uns dos outros, deixando o material mais “compacto” (MAMANI, 2009, p, 17).

Outro aspecto importante sobre os nanomateriais é a estabilidade química das partículas. Zarbin (2007, p. 1473) atenta ao fato de que “as nanopartículas são termodinamicamente instáveis e têm a tendência natural de se agregarem e crescerem”, em um processo de coalescência, conhecido também como Envelhecimento de Ostwald. Neste processo, as partículas “crescem” de tamanho se juntando umas as outras, pois quanto maior o tamanho, mais estáveis energeticamente se encontram.

Por isso, além da proposição de rotas reacionais que favoreçam a formação de partículas de tamanho nano, também é necessário o estudo de métodos de contenção das partículas, como a utilização de estabilizantes, substâncias conhecidas como surfactantes ou tensoativas, que apresentam caráter anfifílico, isto é, com regiões polares e apolares na estrutura da molécula que impedem a agregação das nanopartículas. Dessa forma, as nanopartículas podem ser “manipuladas, dispersas, depositadas sobre substratos, sem perder suas características” (ZARBIN, 2007, p. 1473).

Peralta-Videa *et al* (2011) *apud* Milanez (2011, p. 12) também classificam os nanomateriais em orgânicos e inorgânicos, de acordo com suas propriedades físicas e químicas, como mostra a figura 02.

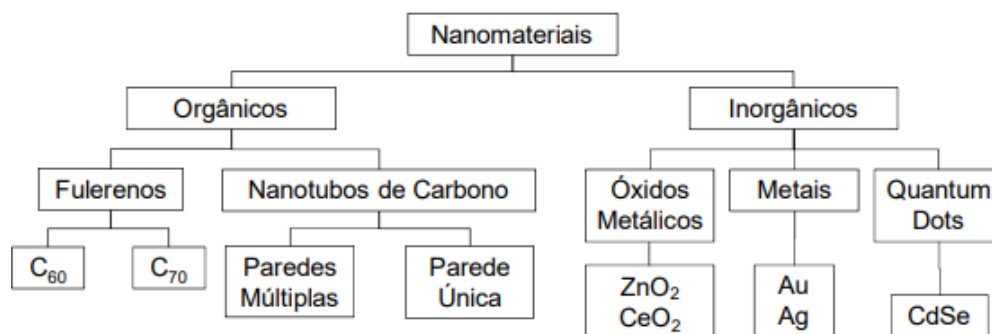


Figura 02 – Classificação de nanomateriais de acordo com propriedades físico-químicas. (PERALTA-VIDEA *et al*, 2011 *apud* MILANEZ, 2011, p. 12).

Os nanomateriais orgânicos apresentam em sua estrutura átomos de carbono em ligação covalente, a exemplo dos nanotubos de carbono de parede simples e de parede múltipla, fulerenos, dendrímeros e nanocelulose, que podem ser identificados por meio de análises físico-químicas.

Já os nanomateriais inorgânicos são compostos que apresentam em sua composição átomos metálicos, como as nanopartículas de dióxido de titânio (TiO₂) e nanopartículas de ouro e prata. Os últimos consistem em “aglomerados de átomos de prata metálica, que podem ter diferentes formas (cilíndrica, esférica, bastonete, prisma) e tamanho, aproximadamente de 5-100 nm, dependendo do grau de aglomeração”. (MARCONE, 2015, p. 7).

2.3 Aplicações dos nanomateriais

Como dito anteriormente, os nanomateriais apresentam propriedades físicas, químicas, biológicas e mecânicas diferenciadas das observadas num mesmo material em escala maior e, por isso, ampliam o horizonte de aplicações da nanotecnologia em diferentes áreas do conhecimento, tanto em produtos quanto em processos.

Segundo Bowman e Hodge (2006, p. 1062), desde 2002 o interesse comercial na produção de materiais nanoestruturados vêm crescendo e dos investimentos públicos e privados surgiram às aplicações da “primeira geração” que incluem ferramentas científicas, como Microscópios de Força atômica (MFA) e Microscópios Eletrônicos de varredura (MEV), a criação de compostos simples em nanoescala e nanopartículas utilizados em protetor solar, cosméticos, revestimentos e tintas.

Dentre os nanomateriais de grande interesse comercial, destaca-se a nanocelulose. Para Milanez (2011, p. 1), a nanocelulose apresenta um amplo potencial de aplicações por se tratar de uma tecnologia sustentável, obtida a partir de fontes renováveis e ser biodegradável. A produção de celulose é de interesse mundial, principalmente do Brasil, um dos maiores produtores de celulose do mundo, pois se mostra “uma importante oportunidade de agregação de valor” (MILANEZ, 2011, p. 1).

Também os nanotubos de carbono são foco de grande investimento financeiro, aponta Gouvêa (2004, p. 52), pois apresentam propriedades inovadoras, como alta resistência mecânica e condutividade elétrica, vêm sendo utilizados como nanopinças para posicionamento de átomos e moléculas, ou ainda como condutores e semicondutores, substituindo fios de cobre e chips de silício em circuitos eletrônicos, na forma de nanoprocessadores.

A aplicação de nanomateriais no âmbito da biotecnologia produz os nanobiomateriais que vêm sendo utilizados, por exemplo, na realização de testes

laboratoriais como nanocanais, onde com apenas uma gota de sangue conseguem isolar e identificar diferentes componentes, levando a diagnósticos médicos completos em poucos minutos, destaca Alves (2010, p. 23). Já na área farmacêutica, os nanomedicamentos à base de paclitaxel são considerados uma alternativa eficaz no tratamento de câncer de mama, apresentando resultados excelentes descritos por Mesquita (2014, p. 5).

A indústria de cosméticos também reconhece a potencialidade da nanotecnologia para fabricação de cosméticos mais eficientes do que os produtos convencionais. De acordo com Mesquita (2014, p. 6) o aumento na eficiência se dá porque “os nanocosméticos atuam de forma controlada em camadas mais internas da pele”, como nos cremes anti-ruga e filtros solares à base de nanopartículas de óxido de zinco ou dióxido de titânio.

Já sobre a aplicação da nanobiotecnologia no meio ambiente, Mesquita (2014, p. 6) destaca alguns dos benefícios, como

- a) A prevenção de poluição ou dos danos indiretos ao meio ambiente – nanomateriais utilizados para obter um consumo menor de energia e produção de quantidades menores de resíduos indesejáveis, além de desenvolver sistemas de iluminação de baixo consumo energético;
- b) Ao tratamento ou remediação de poluição – a volumosa área superficial das nanopartículas lhes atribuem, em muitos casos, excelentes propriedades de adsorção de metais e substâncias orgânicas, por exemplo as nanopelículas que coletam as partículas e removem poluentes.
- c) A detecção e monitoramento de poluição – a nanotecnologia vem possibilitando a fabricação de sensores cada vez menores, mais seletivos e mais sensíveis para a detecção e monitoramento de poluentes orgânicos e inorgânicos no meio ambiente. (MESQUITA, 2014, p.6)

Porém Martins (2006, p. 30) alerta que a nanotecnologia, em especial os bionanomateriais, deve diminuir os problemas ambientais provocados pelos processos produtivos e não se tornar mais um, garantindo uma trajetória tecnológica sustentável, de forma a influenciar futuras tecnologias a adotarem processos que utilizem menos recursos naturais para produção de materiais. Ainda sobre os bionanomateriais, Puerta (2012, p. 37) destaca a utilização na fotossíntese artificial que vem possibilitando a produção de energia de modo ecológico e também para o armazenamento seguro de hidrogênio, empregado como combustível limpo.

Alves (2004, p. 35-36) *apud* Puerta (2012, p. 35) traz outros exemplos de aplicações da nanotecnologia, como na indústria automobilística e aeronáutica na fabricação de pneus mais duráveis e recicláveis revestidos com nanopartículas, plásticos não inflamáveis e mais baratos, assim como em tintas e tecidos. Na indústria eletrônica, informática e de comunicações, a nanotecnologia vem inovando com a produção de nanocamadas para armazenamento de dados, fabricação de telas planas e tecnologias sem fio (PUERTA, 2012, p. 36)

A nanotecnologia vem atraindo também a indústria de alimentos. Segundo Martins (2006, p.2), a realização de pesquisas nesse setor é um indicativo “para uma revolução tecnológica diante do potencial de aplicações, alterando a forma como o alimento é produzido, processo, embalado, transportado e consumido”.

Segundo Miller e Serjen (2008, p. 100), as aplicações potenciais da nanotecnologia na agricultura estão na criação de métodos para redução de carboidratos e o aumento de proteínas, fibras e vitaminas em produtos como refrigerantes e sorvetes, modificando o valor nutritivo desses alimentos. Além disso, na possibilidade de produzir corantes e aditivos alimentares mais eficientes, de modo a aumentar a velocidade de produção, reduzindo custos de produção.

A partir das discussões realizadas mediante o levantamento bibliográfico realizado, pode-se reconhecer as potencialidades da nanotecnologia e sua versatilidade na aplicação em diferentes áreas do conhecimento que se amplia com o acelerado avanço tecnológico. Os materiais nanoestruturados apresentam maior eficácia, com o incremento de suas propriedades quando comparados aos materiais em escala maior, apresentando uma considerável melhoria nos resultados. Com isso, o segundo capítulo deste trabalho se direciona a investigação da relação entre nanotecnologia e conservação de bens culturais, aprofundando sobre os estudos voltados à aplicação de nanomateriais em diferentes tratamentos de conservação de diferentes suportes físicos e a análise dos resultados obtidos.

3. CAPÍTULO II: Nanotecnologia e suas contribuições à conservação de bens culturais.

Um dos desafios enfrentados pelos profissionais da conservação de bens culturais, entre eles museólogos/as, está o desenvolvimento de metodologias de tratamento que estabilizam os processos de degradação de suportes de diferentes materialidades, de modo a garantir a integridade e perenidade das obras.

As Ciências Naturais, entre elas a Química, vêm contribuindo para proposição de metodologias científicas voltadas à conservação, desde técnicas de análise para caracterização dos materiais constitutivos das obras, dos fatores e mecanismos de degradação até a produção de materiais aplicados em diferentes métodos de intervenção.

Ao estudar as transformações da matéria, a Química nos provoca a refletir sobre a natureza tangível a nível atômico, onde um mundo de partículas invisíveis aos olhos se relacionam em diferentes tipos de interação, atração e repulsa. Por uma perspectiva filosófica da ciência sobre a existência dos seres e das coisas no mundo, a qualidade daquilo que é material, isto é, a materialidade se apresenta enquanto ponto em comum entre coisa (objeto a ser conservado) e ser humano (agente de conservação), e se transformam sob a ação do tempo. A transformação é inerente à matéria, o que pode ser feito é retardá-la. No caso dos bens culturais, o objetivo principal está na estabilização do processo de degradação por meio de um conjunto de ações de conservação fundamentadas cientificamente.

Nesse sentido, evidencia-se a importância da interdisciplinaridade como estratégia epistemológica na elaboração de metodologias científicas, através da qual são potencializadas as ações de conservação. Pinheiro e Granato (2012, p. 37) destacam a posição privilegiada da conservação de bens culturais, inserida nas duas vertentes da Ciência, tanto nas Humanas como nas da Natureza, possibilitando assim um maior aprofundamento nos estudos acerca dos aspectos imateriais e materiais dos bens culturais.

São as intercessões disciplinares que apuram o olhar profissional e atribuem cientificidade à prática conservativa junto a diferentes acervos, principalmente no que concerne aos tratamentos de conservação e a aplicação de novos materiais. Froner e Souza (2016, p. 108) ressaltam a necessidade do exercício da conservação por uma abordagem multi e interdisciplinar. Para os autores, tais princípios são essenciais na busca por soluções mais eficazes acerca de questões pertinentes à conservação de

bens culturais, desde “monumentos históricos e arqueológicos, além de artefatos e objetos artísticos” (FRONER e SOUZA, 2016, p. 108).

Assim, novas tecnologias vêm sendo introduzidas em métodos de intervenção no campo da preservação da cultura material, com um número crescente de pesquisas desenvolvidas nos âmbitos

[...] da Arqueometria e da Ciência da Conservação; métodos de documentação a partir do uso de escaneamento a laser 3D, calibração de imagens, sistemas informatizados de bases de dados, critérios de acesso e programas interativos; estudos no campo da Conservação Preventiva visando estabilização do microclima, mitigação de flutuações ambientais, avaliação de estruturas com base em modelos computacionais; estudos de métodos e desempenho de materiais de intervenções com ampla aplicação, incluindo o uso da nanotecnologia [...] (FRONER e SOUZA, 2016, p. 109, grifo nosso).

Ressalta-se, assim, o potencial da nanotecnologia aplicada em métodos de intervenção de bens culturais, mostrando que o campo da conservação vem buscando ampliar os horizontes de possibilidades de tratamento de diferentes materialidades. Nesse sentido, nosso olhar se volta às metodologias de tratamento de conservação que utilizam nanomateriais, em especial as nanopartículas, a fim de reconhecer as potencialidades destes produtos em suportes porosos, isto é, materiais que apresentam “espaços vazios” conhecidos por poros. É o caso dos materiais pétreos e em especial, do suporte de interesse deste trabalho: o papel.

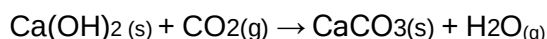
3.1 Nanomateriais no tratamento de conservação de suportes porosos

A aplicação da nanotecnologia como alternativa aos tratamentos de bens culturais porosos é apresentada por Gómez -Villalba *et al* (2011, p. 40) como solução ao processo de degradação. Este processo pode ser acelerado por agentes intrínsecos, isto é, da própria composição do material, e extrínsecos, com a ação de fatores externos, como poluentes atmosféricos e água. Juntos, fatores internos e externos alteram a composição química do material poroso, neste caso o suporte pétreo composto majoritariamente por rochas carbonatadas, como calcário e dolomita, por meio de diferentes mecanismos de degradação: “dissolução, precipitação, recristalização e hidrólise”. (GÓMEZ -VILLALBA *et al*, 2011, p. 40).

Esse conjunto de reações resulta em mudanças de textura e perda física do material, por tanto “del valor histórico y cultural de los elementos patrimoniales” (GÓMEZ-VILLALBA *et al*, 2011, p. 40). De forma a remediar os efeitos da deterioração, são utilizados produtos consolidantes cuja função é a de restabelecer a coesão perdida entre os componentes do material pétreo.

No caso da eficácia dos produtos utilizados, seja de natureza orgânica, inorgânica ou mistos, essa depende tanto das características do substrato, das propriedades do produto utilizado, da compatibilidade química entre eles quanto dos métodos de aplicação.

Um dos produtos mais utilizados é o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), composto inorgânico de grande compatibilidade com a natureza mineralógica do material pétreo, porém que apresenta algumas limitações pelo método tradicionalmente empregado, como a rápida formação de carbonato de cálcio (CaCO_3), produto da reação entre gás carbônico (CO_2) atmosférico e hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), representada no esquema abaixo:



Esquema 1 - Equação da reação de carbonatação.

Com a carbonatação, a penetração da solução de Ca(OH)_2 é reduzida, não atingindo completamente o interior do material pétreo, o que impossibilita uma consolidação completa da parte deteriorada no material, apontam Gómez-Villalba *et al* (2011, p. 42).

Como discutido no capítulo I, a nanotecnologia vem ganhando atenção de múltiplas áreas do conhecimento pelas melhorias significativas nos resultados obtidos em diferentes aplicações, principalmente no campo da conservação. A síntese de nanopartículas de hidróxido de cálcio e sua utilização como produto consolidante de rochas carbonáticas vem resolvendo alguns dos problemas apresentados pelas partículas de tamanho micro, como a profundidade de penetração no substrato poroso.

Por conta do tamanho das partículas, estas penetram mais facilmente pelos poros dos materiais e com isso, propiciam uma maior ação do produto no tratamento, pois o número de átomos se torna muito maior em relação ao volume ocupado, o que aumenta a área superficial de interação com as moléculas do substrato.

O desenvolvimento e fomento de pesquisas no âmbito da nanotecnologia é essencial para a produção desses novos materiais. Palos (2017, p. 1) reconhece a importância das pesquisas realizadas por instituições universitárias e centros de pesquisa europeus voltadas à produção de nanomateriais para conservação de bens culturais.

Dentre os materiais nanoestruturados, destacam-se filmes e géis, destinados a higienização de superfícies artísticas e históricas de forma controlada, minimizando possíveis danos provocados ao substrato. São compostos por nanopartículas inorgânicas, como prata (Ag), dióxidos de enxofre (SiO₂), estanho (SnO₂), titânio (TiO₂) e outros óxidos metálicos dispersas em aglutinantes ou espessantes, isto é, substâncias que “unem” outros materiais, como solventes orgânicos e água.

Palos (2007, p. 5) também destaca as nanopartículas de hidróxido de cálcio e magnésio dispersas em solventes orgânicos voláteis, em geral álcoois alifáticos (etanol e propanol). Por apresentar caráter básico, o hidróxido de cálcio altera o valor do pH de substratos porosos e por isso é bastante utilizado em tratamentos de consolidação de pinturas murais e desacidificação de acervos em madeira e papel.

A alta reatividade das nanopartículas, segundo Poggi *et al* (2017, p. 45), garante uma rápida ação nos tratamentos os quais são aplicadas. No caso do tratamento de desacidificação cujo objetivo principal é neutralizar a acidez do suporte, estabilizando seu pH, metodologias que utilizam nanopartículas alcalinas vêm sendo consideradas vias alternativas aos métodos tradicionais, com melhorias significativas nos resultados obtidos (POGGI *et al*, 2017, p. 45).

Fica evidente, portanto, que para proposição de metodologias de tratamento de conservação mais eficientes e conscientes da materialidade do bem cultural, o diálogo entre diferentes campos do conhecimento é essencial. As variadas aplicações da nanotecnologia na conservação de bens culturais é um exemplo da importância e necessidade desse diálogo que atribui cientificidade à prática conservativa, em especial, aos tratamentos voltados à conservação de acervos em suporte porosos, como os materiais pétreos discutidos anteriormente, e, em especial o papel.

3.2 Nanopartículas no tratamento de conservação de suporte papel

O papel é um dos suportes de informação mais utilizados pela humanidade e através do tempo e segundo Doctors *et al* (1999, p. 120)

[...] tem sido espelho da alma. Excepcional em sua flexibilidade, solidez, brancura, e ainda, facilidade em ser destruído, este material tem mostrado por si mesmo como pode ser tão inteiramente “humano” em sua fragilidade e defeitos, que pode se tornar o símbolo da cultura por si só. Sem ele não haverá história, nem memória. Isso perpassa a divina sabedoria, preceitos filosóficos, leis científicas e vontade política. Escritores, historiadores, poetas, pintores, todos devem seu reconhecimento público ao papel. (DOCTORS *et al*, 1999, p. 120).

A fragilidade do papel destacada pelo autor reflete seu estado de conservação, onde através do diagnóstico são identificadas diferentes patologias como amarelecimento e perda da resistência mecânica, indicativos de uma possível acidificação do suporte. A acidificação do papel é provocada por um dos mecanismos de degradação de bens culturais em suporte papel: a hidrólise ácida.

Para Poggi *et al* (2017, p. 45) a hidrólise ácida é o principal mecanismo de degradação de bens culturais em suporte papel. Nessa reação, há a quebra das ligações das moléculas da cadeia de celulose pela ação da água (H₂O), ação essa acelerada, isto é, catalisada pelo excesso de substâncias ácidas no meio interno e/ou externo.

O papel tem como principal constituinte a celulose (C₆H₁₀O₅)_n, composto orgânico de origem natural, encontrado na parede celular vegetal de diferentes espécies das classes angiosperma e gimnosperma. Quimicamente, a celulose é classificada enquanto polímero, isto é, uma macromolécula formada por unidades repetitivas de moléculas β-D-glicopiranoose, também conhecida como glicose, que se ligam umas às outras por ligações glicosídicas β (1-4) (figura 03). (FIGUEIREDO JUNIOR, 2012, p. 123).

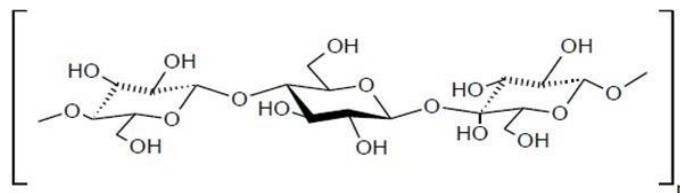


Figura 03 – Estrutura da cadeia polimérica da celulose.

(FIGUEIREDO JUNIOR, 2012, p. 124)

O grau de polimerização (n) se refere à quantidade de vezes que a molécula da glicose se repete ao longo da cadeia da celulose, podendo variar entre 1.000 a 1.000.000 de repetições, a depender da espécie vegetal da qual a celulose é extraída. O grau de polimerização influencia diretamente no comprimento das fibras, consequentemente na área superficial de interação entre cadeias de celulose. Figueiredo Junior (2012, p. 123) e Poggi *et al* (2017, p. 45) explicam que as fibras do papel são formadas por conjuntos de cadeias de celulose unidas por interações, isto é, forças de atração internas (intramoleculares) e externas (intermoleculares), conhecidas por ligações ou pontes de hidrogênio.

Sendo assim, quanto maior o grau de polimerização, mais longas serão as fibras e mais intensas as forças inter e intramoleculares, pois maior será a área superficial de interação das cadeias, o que vai conferir ao material certas propriedades, como flexibilidade e resistência mecânica (figura 04).

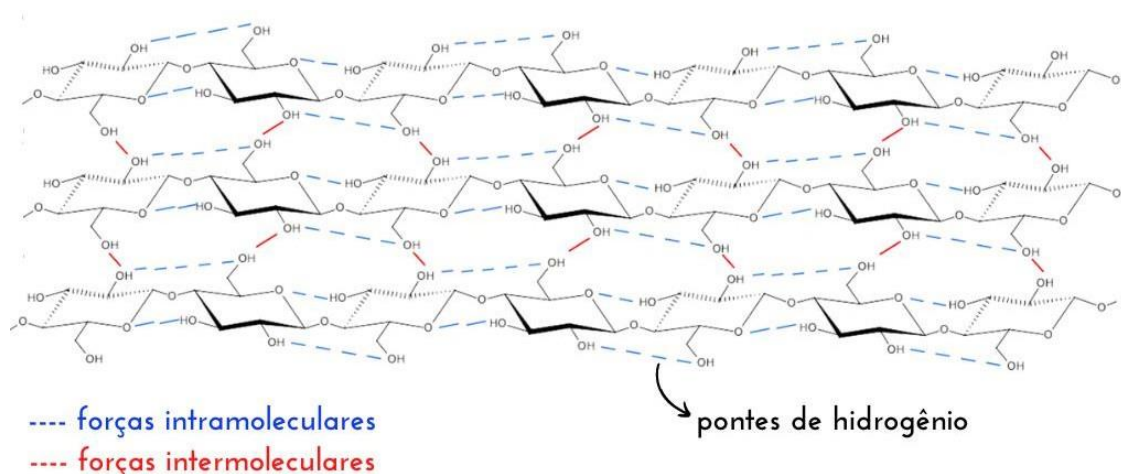


Figura 04 – Forças inter e intramoleculares nas cadeias de celulose.

(adaptada de: FIGUEIREDO JUNIOR, 2012, p. 124)

3.3 Hidrólise ácida

Nas reações de hidrólise ácida, as ligações glicosídicas da celulose são quebradas pela ação da água na presença de substâncias ácidas que aceleram a velocidade das reações, atuando como catalisadores (figura 05). (FIGUEIREDO JUNIOR, 2012, p. 124; POGGI *et al*, 2017, p. 45; GIORGI *et al*, 2002, p. 8198).

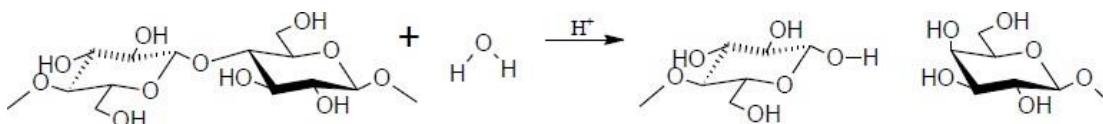


Figura 05 – Equação global da hidrólise ácida da celulose.
(FIGUEIREDO JUNIOR, 2012, p. 124).

Uma reação química pode ser explicada por meio de um mecanismo reacional formado por um conjunto de equações que explicam em etapas a ação e formação das diferentes substâncias envolvidas na reação. No caso da hidrólise ácida da celulose, íons H^+ são produzidos na interação da água com substâncias ácidas. Tratam-se de espécies reativas, isto é, com facilidade em reagir quimicamente, apresentando cargas positivas que são atraídas pelos oxigênios das ligações glicosídicas, com cargas parciais negativas (figura 06).

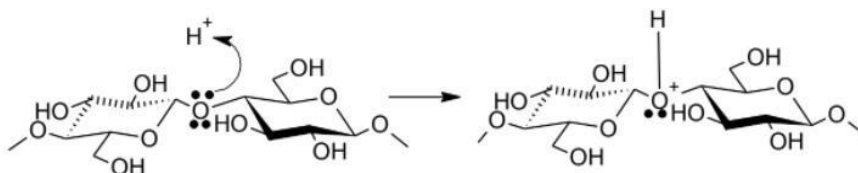


Figura 06 - Ligação entre íon H^+ ao oxigênio de uma ligação glicosídica.
(ANDRADE, 2013, p. 27).

A atração entre íon H^+ e oxigênio acontece pelo fato de o átomo de oxigênio apresentar pares de elétrons (partículas subatômicas de carga negativa) não-compartilhados, isto é, que não estão participando de uma ligação química. Porém, a

nova ligação estabelecida é instável, pois supera o número de valência do oxigênio, isto é, a quantidade de ligações necessárias para que alcance a estabilidade (estado de menor energia). Dessa forma, o oxigênio é induzido a quebrar a ligação glicosídica pela situação de instabilidade criada (figura 07).

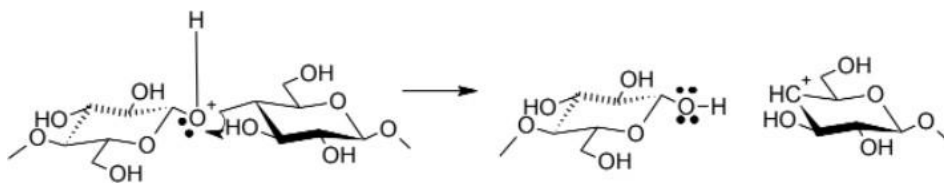


Figura 07 - Quebra da ligação glicosídica para estabilidade química.

(ANDRADE, 2013, p. 27).

Um dos produtos formados na quebra da ligação glicosídica é uma espécie instável de carga positiva conhecida como carbocátion, onde um átomo de carbono está defasado em relação ao número de ligações necessárias para alcançar estabilidade. Uma molécula de água é então atraída pelo carbocátion por se tratar de uma substância polar, isto é, apresenta pólos parciais negativos e positivos na molécula, estabilizando o carbono ao mesmo tempo em que reinstalou o íon H^+ da espécie ácida (figura 08).

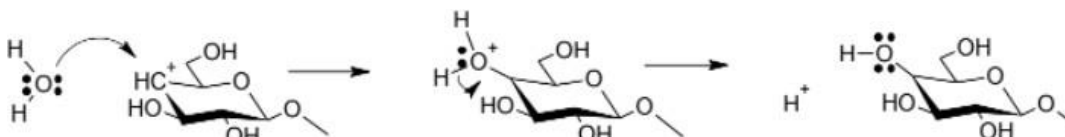


Figura 08 - Quebra da ligação glicosídica para estabilidade química.

(ANDRADE, 2013, p. 27)

A água se encontra tanto no suporte quanto na umidade do ar, onde ambientes com altos níveis de umidade relativa favorecem reações de hidrólise. Essa realidade é enfrentada por instituições em países tropicais, em especial localizadas em regiões litorâneas que são detentoras de acervos em papel por se tratar de um material higroscópico, isto é, com facilidade em absorver água (KING e PEARSON, 1992, p. 67).

Já diferentes substâncias ácidas podem ser encontradas na própria composição do papel, consideradas fatores intrínsecos de degradação. Estas substâncias

posteriormente irão acelerar a degradação do papel, em um processo chamado “autocatalítico” (GIORGI, 2002, p. 8189).

Uma delas é a lignina, polímero encontrado em abundância na madeira, extraído junto às fibras de celulose no processo de obtenção da polpa celulósica, conhecido como polpação. Quando a lignina oxida, reação provocada pelo oxigênio atmosférico, essa produz espécies ácidas que aceleram a degradação do papel por meio da hidrólise (TSUJIYAMA, S. *et al*, 2000. p.179).

Também são reconhecidos enquanto catalisadores ácidos alguns componentes químicos adicionados na fabricação do papel para melhoria de propriedades físicas, como o alúmen, breu e sulfato de alumínio (FIGUEIREDO JUNIOR, 2012, p. 130; POGGI *et al*, 2017, p. 45; GIORGI *et al*, 2002, p. 8198).

Entre os fatores extrínsecos de degradação, destacam-se os poluentes atmosféricos, como os óxidos de carbono (CO₂), enxofre (SO₂, SO₃) e nitrogênio (NO, N₂O). Esses gases favorecem as reações de hidrólise ácida, pois ao reagirem com a água do suporte e/ou do ambiente, reconstituem a forma ácida, provocando a quebra das ligações glicosídicas da celulose (MENDES *et al*, 2001, p. 12).

Com a quebra dessas ligações, o tamanho da cadeia da celulose diminui, acarretando no encurtamento do comprimento médio das fibras, em um processo chamado despolimerização. A despolimerização afeta diretamente as propriedades físicas do material, com perdas significativas em sua resistência mecânica. Além disso, de acordo com Giorgi *et al* (2002, p. 8198), um dos produtos da hidrólise ácida são as hidrocéluloses, substâncias suscetíveis à ação da radiação ultravioleta (UV), principal agente das reações de foto-oxidação. E entre os produtos da foto-oxidação, estão espécies cromóforas, isto é, compostos que conferem cor, responsáveis pelo amarelecimento do papel.



Figura 09 - Amarelecimento do papel por reação fotoquímica
(BOJANOSKI e ALMADA, 2021, p. 21)

Para a conservação da integridade física de bens culturais nesse tipo de suporte e garantir o acesso à informação das gerações presentes e futuras, como discutido anteriormente, faz-se necessária a neutralização do processo de degradação no interior do papel através de tratamentos de desacidificação. Nos tratamentos, substâncias alcalinas reagem com o meio ácido do suporte, neutralizando-o e estabilizando assim o valor do pH.

3.4 Medição do pH

Entende-se pH como potencial hidrogeniônico, isto é, a concentração de íons H^+ presentes em uma solução. Segundo Figueiredo (2012, p. 127), a escala de pH é uma escala logarítmica que indica por valores que variam de 0 a 14, se um meio está ácido, neutro ou básico (figura 10). Para valores abaixo de 7, o meio se encontra ácido; para valores acima de 7, o meio está básico ou alcalino, sendo assim 7, o meio neutro. Quanto menor o valor na escala do pH, maior a grau de acidez, ou seja, maior a reatividade ácida no suporte. O mesmo vale para valores altos de pH: quanto maior o valor, maior a grau de basicidade, ou seja, a reatividade básica.

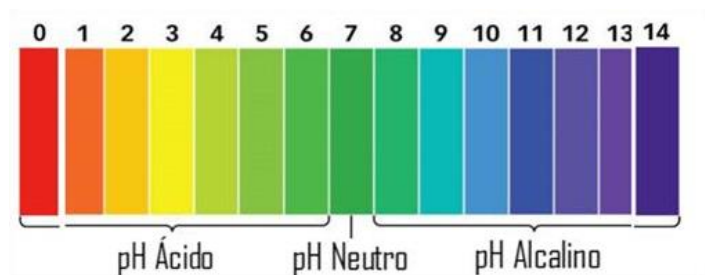


Figura 10 – Escala do pH, potencial hidrogeniônico.

Por isso, a medição do pH dos suportes é essencial para tomada de decisão dos tratamentos e produtos a serem utilizados, seja através de fitas universais de pH que contêm indicadores ácido-base e uma escala de cores padrão para verificação (figura 11).



Figura 11 - Fitas universais de pH.

Também pode ser utilizado para medição o pHmetro, instrumento eletrônico que contém um eletrodo de vidro de superfície plana, responsável por medir a concentração de íons de hidrogênios, H^+ , no meio (figura 12).



Figura 12 - pHmetro.

O pH em um tratamento de desacidificação deve ser cuidadosamente medido e controlado, pois a celulose é sensível tanto a um meio muito ácido quanto muito básico, pois ambos atuam como catalisadores da reação de hidrólise. Por isso, indica-se a medição do pH antes e após o tratamento, a fim de controlar o processo de neutralização do suporte cujo pH que deve estar entre 8-9.

3.5 Tratamentos de desacidificação de papel

Sobre o tratamento de desacidificação Andrade (2013, p. 29) explica diferentes métodos de aplicação das substâncias alcalinas, que podem

[...] ser feitos a seco ou por imersão em soluções aquosas ou em dispersões não aquosas de compostos alcalinos que reagirão com as espécies ácidas. A definição do tipo de tratamento a ser utilizado depende do estado de conservação em que o papel se encontra e de sua composição. Os tratamentos aquosos são os mais utilizados e se resumem em submergir o papel a ser tratado em um recipiente contendo a solução ou dispersão de pH de meio alcalino. (ANDRADE, 2013, p. 29).

Das técnicas comumente utilizadas para desacidificação do papel, destaca-se o banho alcalino que consiste em um tratamento aquoso por imersão do suporte em meio a substâncias básicas, como hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 . Segundo Giorgi *et al* (2002, p. 8198), um correto processo de desacidificação produz a completa neutralização do papel acidificado e também de produtos termodinamicamente estáveis que atuam como uma reserva alcalina. Nesse sentido, o hidróxido de cálcio se apresenta como excelente agente desacidificador. Além de aumentar o pH do suporte, neutralizando o meio ácido, a substância também reage com o gás carbônico atmosférico, CO_2 , em uma reação chamada carbonatação. A carbonatação produz uma reserva alcalina na superfície do suporte de carbonato de cálcio, CaCO_3 , uma espécie estável de caráter básico.

A formação da reserva alcalina é importante, pois garante uma camada de proteção frente a futuras hidrólises, retardando o processo de degradação, além de aumentar o intervalo de tempo entre os tratamentos (FIGUEIREDO JÚNIOR, 2012, p. 126; ANDRADE, 2013, p. 30; GIORGI *et al*, 2002, p. 8198).

Para Andrade (2013, p. 31), uma desacidificação eficiente consiste em uma profunda penetração das partículas do hidróxido de cálcio pelos poros do papel, atingindo entrelaçamento das fibras de celulose. Os poros do papel apresentam dimensões da ordem da milésima parte do milímetro, o micrômetro (10^{-6} m), mesma ordem de tamanho das partículas de hidróxido de cálcio, o que impede uma maior penetração do produto por entre as fibras. Além disso, a penetração do hidróxido de cálcio é reduzida principalmente pela reação de carbonatação que acontece quando a substância entra em contato com o gás carbônico presente na atmosfera, formando o carbonato de cálcio que se deposita na superfície do suporte por suas maiores dimensões.

Outro ponto com relação ao tratamento tradicional por imersão em água são os suportes muito fragilizados e/ou que apresentam tintas sensíveis à água. Em um suporte fragilizado, a força da pressão gerada no ato da imersão pode romper as fibras de celulose, gerando danos à estrutura do papel, com a perda do suporte e da informação.

Já no caso das tintas, é primordial a realização de testes de solubilidade que antecipem qualquer tipo de tratamento que utilize solventes, como a água. Através dos testes, verifica-se o comportamento de diferentes tintas ao adicionar uma gota do solvente sobre uma pequena área, observando se há dispersão da tinta no suporte. Dessa forma, previne-se a formação de manchas causadas pela solubilidade das tintas, uma vez que se trata de um processo irreversível, onde a tinta dissolvida penetra

profundamente nas fibras do papel (BARROS, 2009, p. 39; BRANDÃO *et al*, 2021, p. 9).

Em ambos os casos, comumente são indicados tratamentos de desacidificação a seco, realizados através da aspersão do produto alcalino em um solvente não-aquoso na superfície do papel, uma alternativa a utilização do método por imersão em água, como os métodos Wei T'o e Bookkeeper.

O método Wei T'o é um processo não-aquoso de desacidificação em massa que usa gases liquefeitos em câmaras de gás ou borrifando líquidos em coifas. É a base de soluções metoximetilcarboneto de magnésio em etanol ou metanol e CFC's (clorofluorcarbonetos). Infelizmente, alguns papéis interagem com a mistura líquida, levando a uma indesejável solubilização da tinta. Isso obriga os restauradores a atuarem no controle de folhas de papel a fim de evitar qualquer dano. No entanto, a maior desvantagem deste processo consiste no uso de CFC, composto de alta toxicidade ao ser humano e meio ambiente (GIORGI, 2002, p. 8199; ANDRADE, 2013, p. 33).

Já o método Bookkeeper é um processo de dispersão líquida que desacidifica o papel pelo depósito de partículas de tamanho micro de óxido de magnésio, MgO, no papel. O óxido é convertido em um agente alcalino, hidróxido de magnésio, ao reagir com água, onde a temperatura deve ser mantida abaixo de 50 ° C durante o processo, de forma a reduzir qualquer efeito indesejado da reação ou danos aos materiais. Os poros do papel são de dimensões micrômetras e usualmente as partículas de MgO são pequenas o suficiente para impregnar e penetrar completamente até o núcleo do papel. Essas partículas micrométricas apresentam alta área superficial e são muito ativas superficialmente, onde forças eletrostáticas atraem essas partículas intensamente ao papel. A desvantagem apresentada por esse método está na formação de depósitos brancos na superfície do papel, prejudicando o acesso à informação (GIORGI, 2002, p. 8199; ANDRADE, 2013, p. 34).

À vista disso, metodologias alternativas para tratamentos de desacidificação vêm sendo desenvolvidas, investigando-se além de novos métodos de aplicação, a utilização de produtos que apresentam propriedades melhoradas, como as nanopartículas de hidróxido de cálcio dispersas em solventes voláteis.

Como aponta Taglieri *et al* (2015, p. 18), as nanopartículas de hidróxido de cálcio vêm superando algumas desvantagens dos tratamentos tradicionais que utilizam hidróxido de cálcio, como o processo de carbonatação incompleto, a penetração reduzida e a formação de um filme branco de carbonato de cálcio nos suportes tratados.

As nanopartículas, graças ao seu tamanho reduzido na ordem do nanômetro (10^{-9} m), apresentam um maior poder de penetração nos poros do papel cujo tamanho está na ordem do micrômetro (10^{-6} m), potencializando assim a neutralização do suporte, pois aumenta a superfície de contato entre celulose e produto (TAGLIERI *et al*, 2015, p. 18).

O uso de dispersões de nanopartículas alcalinas vem crescendo nos últimos quinze anos, em sua maioria hidróxido de cálcio e magnésio em álcoois de cadeia curta, método esse considerado eficiente para desacidificação e controle do pH em muitos acervos em papel.

Desse modo, a terceira etapa deste trabalho se volta a investigação das metodologias de síntese de nanopartículas de hidróxido de cálcio, compreendendo as condições reacionais utilizadas na obtenção do produto a fim de realizar em laboratório a reação de síntese de nanopartículas de hidróxido de cálcio e posteriormente aplicá-las no tratamento de desacidificação de uma gravura em papel.

Assim, busca-se discutir e iluminar questões pertinentes a metodologia de síntese das nanopartículas, dos materiais e instrumentos utilizados, das condições reacionais, da aplicação no tratamento de desacidificação de uma gravura em papel, observando os resultados obtidos através de análise físico-química para caracterização da composição química e morfologia das nanopartículas, a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Energia Dispersiva de Raios-X (EDS).

4. CAPÍTULO III: Método alternativo de desacidificação de papel utilizando nanopartículas de hidróxido de cálcio.

As nanopartículas de hidróxido de cálcio vêm superando algumas desvantagens dos tratamentos tradicionais que utilizam hidróxido de cálcio, como o processo de carbonatação incompleto, penetração reduzida e formação de um filme branco nas superfícies tratadas. As dispersões das nanopartículas de hidróxido de cálcio em álcool foram implementadas com sucesso na conservação de bens culturais e oferece vantagens para mármore, argamassa, gesso, madeira e em especial, papel, como relatado na literatura (FRONER e SOUZA, 2016; GIORGI, 2002; ANDRADE, 2013; GÓMEZ -VILLALBA *et al*, 2011; PALOS, 2017; POGGI *et al*, 2017; TAGLIERI *et al*, 2015).

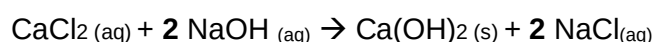
Muitas metodologias têm sido formuladas e aplicadas em papel, pois a alta reatividade das nanopartículas garante uma rápida neutralização da acidez, promovendo um meio neutro devido à conversão de hidróxidos em carbonatos que são espécies alcalinas mais suaves.

Poggi *et al* (2017, p. 45) apresentam excelentes resultados na utilização de nanopartículas de hidróxido de cálcio dispersas em ciclohexano no tratamento de desacidificação de papéis ácidos escritos em caneta esferográfica e desenhos contemporâneos de uma coleção particular. O método de desacidificação de papel proposto pelos autores, baseado na dispersão de nanopartículas de hidróxido de cálcio em ciclohexano, tem como propósito ultrapassar os limites dos procedimentos de conservação disponíveis, promovendo um compatível e eficiente meio na diminuição da degradação da celulose.

Já Giorgi *et al* (2002, p. 8199) propõem como abordagem alternativa para desacidificação do papel e conservação um tratamento baseado nas dispersões nanopartículas de hidróxido de cálcio em álcoois alifáticos, como etanol e 2-propanol. Sua formulação se baseia em dispersões não-aquosas de nanopartículas de hidróxido de cálcio aplicadas com sucesso em documentos históricos importantes datados do século 14 a 20. De acordo com os autores, as dispersões foram utilizadas de modo seguro na desacidificação de papel e telas, utilizando de procedimentos de aplicação muito simples e sem nenhuma precaução particular.

As pesquisas desenvolvidas por Giorgi *et al* (2002, p. 8199) inovaram o tratamento de desacidificação de acervos em papel com uma metodologia de síntese de nanopartículas de hidróxido de cálcio dispersas em solventes orgânicos, aplicando-as com sucesso em documentos históricos importantes datados do século 14 a 20. Giorgi *et al* (2002, p. 8199) propõem uma formulação baseada em dispersões não-aquosas de nanopartículas de hidróxido de cálcio através de um processo de precipitação química em condições supersaturadas, onde são misturadas volumes iguais de soluções aquosas de hidróxido de sódio, NaOH, e cloreto de cálcio, CaCl₂, mantidas em alta temperatura (90°C) e estabilizadas em álcoois alifáticos, entre eles etanol e propan-2-ol.

Já Wójciak (2016, p. 16) verifica que o aumento da velocidade da reação, em temperaturas acima de 100°C, proporciona uma formação mais rápida das nanopartículas e de tamanhos mais uniformes. O grau de supersaturação, as altas temperaturas e uma devagarosa agitação tendem a favorecer a taxa nucleação do hidróxido de cálcio, respeitando o crescimento das partículas e promovendo a precipitação do tamanho nano das partículas de hidróxido de cálcio, de acordo com a reação:



Esquema 2 – Equação da reação de síntese do hidróxido de cálcio a partir do cloreto de cálcio e hidróxido de sódio.

Andrade (2013, p. 63) propõem uma metodologia de tratamento de desacidificação baseada nos estudos de Giorgi *et al* (2002), destacando a importância da realização da reação em atmosfera inerte, isto é, não reativa, além da degaseificação das soluções no ultrassom, utilizando a bomba a vácuo, a fim de retirar gases, como CO₂, e impedir a carbonatação precoce das nanopartículas de hidróxido de cálcio. Também apresentam resultados satisfatórios a partir de testes realizados em amostras de papel acidificado, tratadas com dispersões de nanopartículas de hidróxido de cálcio em etanol aplicadas por aspersão.

Para verificação do hábito e composição elementar das nanopartículas de hidróxido de cálcio é comumente utilizada a análise por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Através de um feixe de elétrons, obtêm-se imagens de materiais em escala ínfima, fazendo a varredura, isto é, o escaneamento de toda superfície do material com grandes aproximações, um aumento na ordem de 10.000 vezes. A área a ser analisada é irradiada por um fino feixe de elétrons e com resultado da

interação do feixe de elétrons com a superfície da amostra, uma série de radiações são emitidas, como mostra a figura 13.

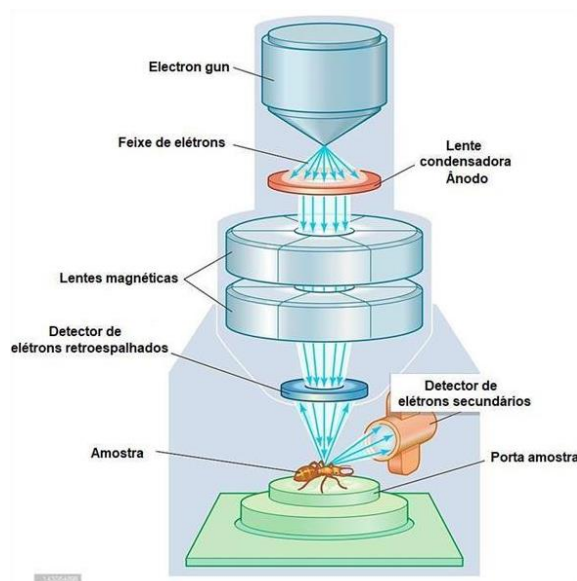


Figura 13 - Esquema ilustrativo do funcionamento do Microscópio Eletrônico de Varredura. (MALISKA, 2020).

Estas radiações, quando captadas corretamente, irão fornecer informações características sobre a amostra, como “a topografia da superfície, composição e cristalografia”. (MALISKA, 2020). Apesar da complexidade dos mecanismos para a obtenção da imagem, o resultado é uma imagem de fácil interpretação. Para identificação da presença das nanopartículas de hidróxido de cálcio no papel tratado, espera-se observar o hábito (formato) hexagonal característico das partículas analisadas na literatura (GIORGI, 2002; ANDRADE, 2013).

Junto ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) pode ser acoplado o sistema de sistema de Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS), o qual permite a visualização da área da amostra que se deseja analisar Segundo Vieira *et al* (2021, p. 4) o princípio de funcionamento do EDS se baseia

[...] na detecção de raios-X emitidos pela amostra durante as transições eletrônicas ocasionadas por um feixe de elétrons. Após o material ser colocado no compartimento do MEV, um vácuo é gerado e já pode-se começar a escolher a área que será analisada. Com o início do bombardeamento de feixe de elétrons, feito pela fonte do microscópio altamente energética, os elétrons presentes na camada mais interna dos átomos, que se encontram na superfície da amostra, são ejetados, fazendo com que uma lacuna seja formada. Ocorre, assim, uma transição eletrônica, em que essa lacuna é preenchida por elétrons das camadas mais externas, promovendo a emissão da energia de raio-X, que irá equilibrar a diferença de energia entre os dois estados que o

elétron percorreu. A energia de raio-X emitida, será lida pelo equipamento de acordo com a voltagem apresentada, e já que cada elétron de cada elemento químico terá a energia de emissão bem definida, o equipamento irá classificá-lo. (VIEIRA *et al*, 2021, p. 4).

Este método permite, de modo quantitativo, a identificação acerca da composição das superfícies das partículas, estimando o percentual dos elementos químicos das substâncias.



Figura 14 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS) de bancada Hitachi (INTM/UFPE).

Neste trabalho foi realizada a análise do papel após tratamento por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) de bancada Hitachi do Laboratório de Microscopia do Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) (figura 14).

4.1 Reação de síntese de nanopartículas de hidróxido de cálcio

A partir das abordagens apresentadas, adaptou-se uma metodologia para obtenção das nanopartículas de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), reação realizada no

Laboratório de Síntese de Compostos Bioativos (LSCB) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

O procedimento para a síntese do material nanoparticulado consiste na reação de 125 mL de soluções concentradas de 0,9 mol L⁻¹ de cloreto de cálcio, CaCl₂, e 1,8 mol L⁻¹ de hidróxido de sódio, NaOH. As soluções foram aquecidas a 90 °C em banho de silicone, onde o controle da temperatura foi feito através de termômetros de mercúrio (figura 13).



Figura 15 - Preparação das soluções de hidróxido de sódio e cloreto de cálcio.

Após aquecimento e dissolução das substâncias, a solução de cloreto de cálcio foi transferida para um balão de vidro comum acoplado a uma junta com torneira. Já para solução de hidróxido de sódio utilizou-se um balão de vidro de duas bocas, onde uma delas foi vedada com um septo de silicone e na outra acoplada a uma junta com torneira, destinada a desgaseificação e entrada de gás argônio.

Ambas as soluções foram submetidas ao processo de desgaseificação em ultrassom por cerca de 10 minutos, utilizando-se da bomba a vácuo para retirada de gases no meio. Finalizada a desgaseificação, vedou-se rapidamente o balão contendo cloreto de cálcio com um septo de silicone, a fim de impedir a entrada dos gases atmosféricos e, a partir disso, as etapas seguintes se sucederam com a transferência das substâncias por meio de seringas esterilizadas e agulhas de aço inoxidável.

Junto ao cilindro de gás argônio, Ar, foi montado o banho de silicone, onde a solução de hidróxido de sódio permaneceu sob agitação magnética e aquecimento, em uma temperatura de 100 °C. A figura (14) abaixo mostram, em etapas, a introdução da solução de cloreto de magnésio via seringa, observando-se, após adição das primeiras gotas, seu turvamento. A mudança de cor é considerada um dos indicativos do início de uma reação química.



Figura 16 - Introdução em etapas dos reagentes: início da reação de síntese de nanopartículas de hidróxido de cálcio.

A adição da solução de cloreto de cálcio foi alternada com gás argônio (figura 15). Diante da pressão do gás, montou-se com auxílio de agulhas de aço inoxidável uma adaptação do sistema de bancada que controla a entrada e saída de gases de uma reação, onde originalmente são utilizadas mangueiras ou cânulas.

Para obtenção de partículas de tamanho nanométrico são utilizadas temperaturas acima de 90°C, a supersaturação das soluções dos reagentes e a forte agitação do meio. A reação teve duração de aproximadamente 10 minutos, com aplicação de gás argônio, Ar, em intervalos de dois minutos e, enfim, finalizada após a formação de um precipitado branco (figura 16).



Figuras 17 e 18 - Cilindro de gás argônio e final da reação de síntese das nanopartículas de hidróxido de cálcio.

Além das nanopartículas de hidróxido de cálcio, também é formado como produto da reação o cloreto de sódio, NaCl , que necessita ser extraído para aplicação do nanomaterial no tratamento de desacidificação. Para isso, foram realizadas lavagens com água destilada sonificada após decantação do precipitado formado para retirada dos íons cloreto e sódio do meio.

A água destilada utilizada na lavagem também é sonificada, passando pelo processo de desgaseificação, a fim de prevenir a carbonatação das nanopartículas. Foram realizadas uma média de nove lavagens para retirada do cloreto de sódio. Importante salientar que para adição da água foram utilizadas seringas, de forma que o recipiente contendo tanto a água destilada sonificada quanto o produto não fossem abertos (figura 17).



Figura 19 - Lavagem manual da água-mãe contendo íons cloreto e sódio após decantação do precipitado.

4.2 Procedimentos no tratamento de conservação de uma gravura em papel

Como previamente discutido, os bens culturais em suporte papel são suscetíveis a diferentes processos de deterioração e danos provenientes da ação de fatores intrínsecos e extrínsecos. Após a realização do diagnóstico do estado de conservação e identificação das patologias, o profissional define os procedimentos a serem realizados, entre eles a higienização mecânica. Algumas sujidades podem acelerar o processo de degradação, à vista disso, iniciamos o tratamento de conservação com a higienização.

O objeto escolhido para tratamento foi uma gravura em metal³, técnica conhecida como calcogravura, da artista Angélica Borges, intitulada “Sobrevivência” (2003) (figura 18).

³De acordo com Andriole (2008, p. 20) “a gravura em metal é uma das mais antigas [...] consiste na ‘gravação’ de uma imagem sobre uma chapa de cobre, onde o artista, de um modo geral, faz o desenho por meio de uma ponta seca - instrumento de metal semelhante a uma grande agulha que serve de ‘caneta a lápis’”, riscando a superfície polida da chapa.

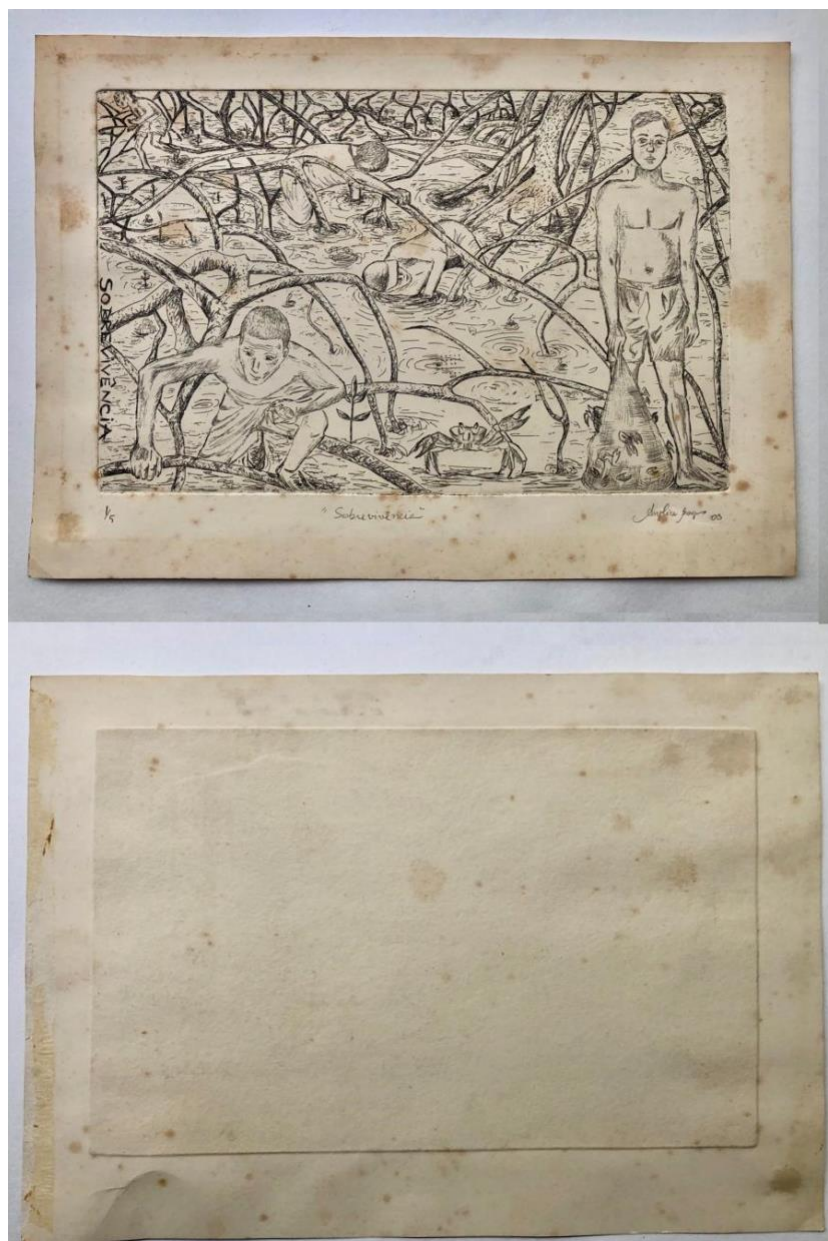


Figura 20 - "Sobrevivência" (2003), por Angélica Borges, frente-verso da gravura em metal.

O papel utilizado pela artista foi o Color Plus, um tipo de papel que contém 10% de celulose reciclada proveniente de árvores reflorestadas, como o Eucalipto, apresentando fibras curtas e pH ácido, segundo informações do fabricante. Sobre a tinta, é comercializada como própria para gravuras em metal.

A higienização mecânica foi iniciada utilizando uma trincha macia para retirada de sujidades de maior tamanho e aderidas superficialmente ao papel. Os movimentos são feitos verticalmente, de dentro para fora, de maneira que não contamine o profissional (figura 19).



Figura 21 - Higienização com trincha macia.

Após higienização com a trincha, aplicou-se diretamente no papel o pó de borracha para retirada de sujidades mais aderidas à superfície, em movimentos circulares de forma que o material atingisse toda área do papel. Observou-se que não houve transferência da tinta para o pó de borracha, garantindo, assim, a preservação do conteúdo da gravura (figura 20).



Figura 22 - Higienização com pó de borracha.

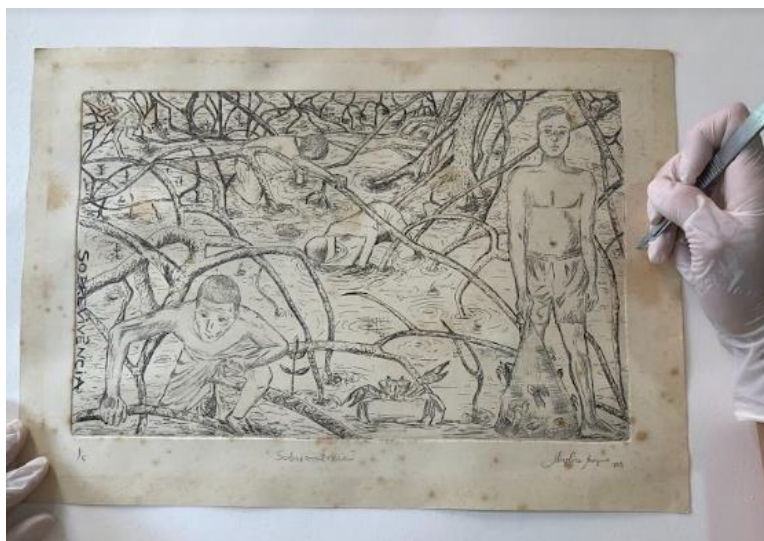


Figura 23 - Retirada de pontos de oxidação e sujidades com bisturi.

Em seguida, foi utilizado um bisturi cirúrgico para retirada de pontos de oxidação e sujidades fortemente aderidas ao papel, a exemplo de excrementos de insetos, removidos cuidadosamente com a ponta do instrumento, zelando pela integridade da obra (figura 21).

4.3 Metodologia de aplicação das nanopartículas de hidróxido de cálcio

Na realização do diagnóstico do estado de conservação, a medição do pH do suporte é essencial para tomada de decisão dos tratamentos a serem realizados no objeto. No caso da gravura “Sobrevivência”, o pH foi medido através de fitas de pH universais com a umidificação com água destilada sobre uma área, pressionando a fita por após alguns minutos, verificando a acidez do suporte, com pH igual a 5 (figura 22).



Figura 24 - Medição do pH da gravura antes do tratamento de desacidificação.

Pelo resultado da medição do pH, indica-se o tratamento de desacidificação da obra. A partir dos estudos realizados sobre algumas das metodologias de aplicação de nanopartículas de hidróxido de cálcio na desacidificação de papel, selecionamos o método não-aquoso que utiliza etanol por aspersão. A dispersão do material nanoparticulado em etanol também é um diferencial metodológico, visto que o etanol apresenta maior volatilidade do que a água, isto é, evapora-se rapidamente a temperatura ambiente, sendo uma propriedade essencial para aplicações por aspersão.

A concentração da dispersão de nanopartículas de hidróxido de cálcio é importante para que o pH atinja valores entre 8 e 9, pois acima disso o meio alcalino favorece reações de hidrólise alcalina, acelerando a degradação da celulose. Decidiu-se pela utilização de uma solução de 10% de nanopartículas em etanol aplicada por meio de um aspersor, de forma a distribuir uniformemente o produto na superfície de ambos os lados da gravura (figura 23).



Figura 25 - Aplicação da solução de 10% de nanopartículas de hidróxido de cálcio em etanol por aspersão.

Após a aplicação do material e secagem da gravura, esperou-se 24hrs para medição do pH, alcançando o valor desejado de pH 9 (figura 24).



Figura 26 - Medição do pH pós-tratamento de desacidificação com dispersão de nanopartículas de hidróxido de cálcio em etanol.

Constatamos um aumento de 5 para 9 na escala do pH, indicando a neutralização da acidez do papel com a aspersão de aproximadamente 10mL da dispersão das nanopartículas de hidróxido de cálcio em etanol, para cada face da gravura. O pH foi posteriormente medido no final da segunda semana após a primeira

aplicação, observando-se uma leve diminuição do pH, com valor entre 9 e 8, ainda considerado um pH ideal para acervos em papel.

4.4 Análise das nanopartículas de hidróxido de cálcio: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Energia Dispersiva de Raios-X (EDS).

Além da medição do pH pós-tratamento, buscou-se identificar as nanopartículas no papel pelo reconhecimento do hábito, isto é, o formato hexagonal característico das micro e nanopartículas de hidróxido de cálcio. Também foi estimada quantitativamente sua composição química, com a identificação dos elementos cálcio (Ca) e oxigênio (O).

Para isso, foi realizada a análise da amostra de papel após tratamento por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) de bancada Hitachi. As imagens obtidas pelo MEV sugerem a presença de micro e nanopartículas entre as fibras do papel, reconhecidas por seu hábito (formato) hexagonal (figura 27).



Figura 27 – Imagem do produto entre fibras de celulose. Reconhecimento pelo formato hexagonal.

Além disso, através do EDS, foi possível estimar o percentual da composição elementar do produto como indicativo do hidróxido de cálcio (figura 28).

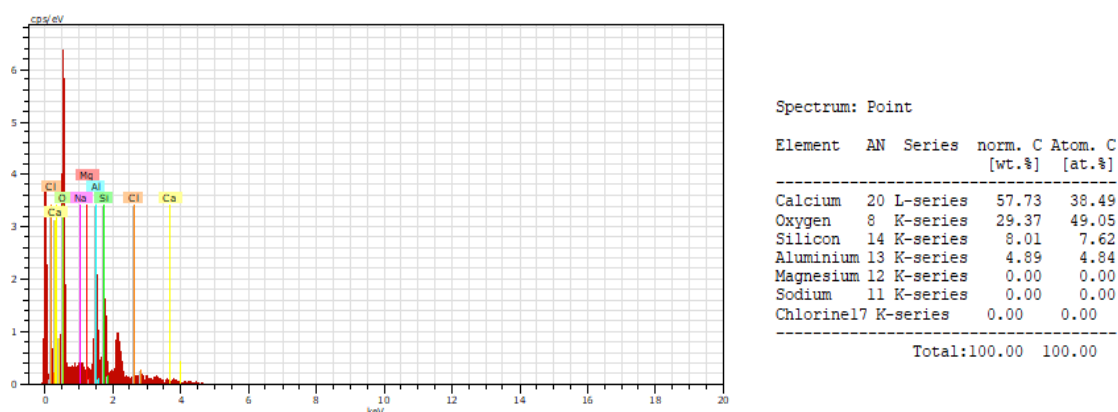


Figura 28: Espectro EDS feito na gravura tratada com nanopartículas de hidróxido de cálcio.

A partir das análises físico-químicas realizadas, assim como da medição do pH, demonstra-se a eficácia da adaptação da metodologia de síntese de nanopartículas de hidróxido de sódio com a formação do produto micro e nanoparticulado, de hábito hexagonal como sugerido pelas imagens do MEV além da estimativa percentual da massa elementar da composição química da substância por EDS.

Ainda sobre a reação, o fato de acontecer em uma única etapa de curtaduração, utilizando-se somente dois reagentes não-tóxicos em meio aquoso, esta segue os princípios da Química Verde que busca a diminuição de substâncias nocivas ao ser humano e ao meio ambiente nos laboratórios.

Com relação a aplicação no tratamento de desacidificação da gravura em metal, verificou-se a acidez do suporte através da medição com fitas de pH, apresentando pH igual a 5 e após o tratamento, constatou-se um aumento de pH de 5 para 9 após aspersão de 20mL do produto em etanol em ambos os versos da gravura. Este pH é ideal para formação da reserva alcalina.

Além disso, a secagem total do suporte aconteceu rapidamente, encontrando seco após 20 minutos, sem necessidade de planificação, pois a gravura não apresentou ondulações. Este ponto é um diferencial com relação os tratamentos aquosos por imersão. Pode ser um método mais indicado, por exemplo, a desacidificação em massa, como em bibliotecas e arquivos. Outro ponto positivo observado com relação à aspersão do produto nanoparticulado foi a preservação da integridade do conteúdo da gravura, sem resquícios do produto na superfície do papel.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fusão de conhecimentos de diferentes campos do conhecimento potencializa a atuação de museólogas e museólogos voltados à conservação de bens culturais, ampliando as reflexões acerca da natureza imaterial, o processo de musealização e a complexa relação entre sociedade e cultura material, assim como sobre os aspectos da natureza material, aprofundando o conhecimento acerca dos processos de degradação e das metodologias de tratamento de conservação. A construção de um arcabouço teórico e metodológico interdisciplinar demonstra-se essencial para capacitação profissional, relacionando diferentes saberes e aplicabilidades, em especial no que concerne à proposição de novos métodos de tratamento de conservação de acervos em papel.

Nesse sentido, objetivo desse trabalho foi estudar um método alternativo de desacidificação de papel, articulando conhecimentos provenientes da museologia, conservação, química e nanotecnologia através da aplicação de nanopartículas de hidróxido de cálcio no tratamento de desacidificação de uma gravura em metal. A partir dos resultados obtidos da medição do pH após o tratamento e análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS), demonstra-se a eficácia da adaptação metodológica proposta, reiterando as vantagens do uso da nanotecnologia na conservação de bens culturais em suporte papel.

O universo que envolve a conservação de papéis é abrangente e buscamos reconhecer as especificidades dessa materialidade e de algumas metodologias de tratamento a ela associada. Acreditamos que com base nesses conhecimentos, os museólogos interessados no campo da conservação de bens culturais terão a possibilidade de incorporá-los às dinâmicas de trabalho que contribuirão de forma significativa para uma prática mais consciente e ética.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Hanna Fedra Carvalho. **Estudo da Desacidificação de Papel através do Tratamento com Nanopartículas de Hidróxido de Cálcio**. 2013. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Belas Artes, UFMG, Belo Horizonte, 2013.

ALVES, Oswaldo Luiz Alves. **Nanotecnologia e Desenvolvimento**. **Periódicos da Universidade de Campinas**. 2010. Disponível em: <https://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_divulgacao_35_1_nanotecnologia_desenvolvimento.pdf> 14 dez. 2021.

ALMEIDA, Marco Antonio B. **Inovação Tecnológica e Desenvolvimento Humano: aspectos importantes para a análise da qualidade de vida**. In: Estratégias e Políticas em Qualidade de Vida. 2013. Disponível em: <https://www.fef.unicamp.br/feff/sites/uploads/deafa/qvaf/tecnologia_cap6.pdf> Acesso em 17 dez. 2021.

ALVES, O. L. **Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo**. In: CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). Parcerias Estratégicas, Brasília, DF, n. 18, p. 23 – 40, ago. 2004. ISSN 14139375.

ANDRIOLE, Mauro. **Gravura: conceito, história e técnicas**. 2003

APPELBAUM, Barbara. **Metodologia do tratamento de conservação/** Barbara appelbaum; coordenação Mariana GaelzerWertheimer; tradução Karina Saraiva Schroder, 1. Ed. Porto Alegre, RS: Mariana GaelzerWertheimer, 2017.

ARGOLO, Maria Isabel S. L. Química e arte: uma relação transdisciplinar. P. 1–9. **Anais do IV Encontro Luso-brasileiro de Conservação e Restauro**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2017.

BARROS, Gabriella da Silva Motta. **Restauração de documentos com suporte em papel: um estudo de caso no Centro de Documentação da Universidade de Brasília**. 2009. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Ciência da Informação e Documentação da UnB, Brasília, 2009.

BRANDÃO, Victoria; ARAÚJO, Bruno Melo. **Museologia e Química: Intercessões Necessárias para Conservação de Bens Culturais**. Anais da VI Semana de Licenciatura em Química (CAA-UFPE) - Educação e Ensino de Química em Tempos de Pandemia: Avanços e Retrocessos. Recife: Editora UFPE, 2021.

BRITO, Rafaelle Marques de Almeida. **Restauração de uma xilogravura da artista Yara Tupynambá**. 2018. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Belas Artes, UFMG, Belo horizonte, 2018.

BRUNO, Maria Cristina Oliveira. **A pedagogia museológica e a expansão do campo científico da Museologia**. 36º simpósio internacional do ICOFOM: Nuevas tendencias em Museologia. Paris: 2014.

BENJAMIM, Walter. In: Grandes Cientistas Sociais. Org e trad Flávio R. Kothe. São Paulo: Ática, 1991.

BOJANOSKI, Silvana; ALMADA, Márcia. **Glossário ilustrado de conservação e restauração de obras em papel : danos e tratamentos**. Português, Espanhol, Inglês, Grego / - 1. ed. - Belo Horizonte [MG] : Fino Traço, 2021.

BRASIL, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)/Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). **Estudo prospectivo – nanotecnologia: 2008-2025**. Brasília: ABDI; CGEE, 2008. 206 p.

BOWMAN, Diana M.; HODGE, Graeme A. **Nanotechnology: Mapping the wild regulatory frontier**. Revista Eletrônica Futures, v. 38, p. 1060-1073, 2006.

CADIOLLI, Luiz Paulo; SALLA, Luzia Dizulina. **Nanotecnologia: um estudo sobre seu histórico, definição e principais aplicações desta inovadora tecnologia**. Revista Eletrônica de Ciências Exatas e Tecnologia. v. 1, n. 1, 2006.

COSTA, Rosimeri; SILVA, Renato; VILAÇA, Márcio. **A Evolução e Revolução da Escrita: Um Estudo Comparativo**. Cadernos do CNLF, Vol. XVII, N. 11. Rio de Janeiro: CIFEFIL, 2013.

DIAS, Janine Hastenteufel. **Síntese e caracterização de nanopartículas de carbono**. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2015.

DOCTORS, Marcio (org). **A Cultura do Papel**. Rio de Janeiro: Casa da Palavra: Fundação Eva Klabin Rapaport, 1999.

DURÁN, N; MATTOSO, Luiz H. C.; DE MORAIS, Paulo C. **Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**. São Paulo: Artlier, 2006, p. 17-19.

FIGUEIREDO JUNIOR, João C. D. **Química Aplicada à Conservação e Restauração, uma introdução**. 2012.

FRONER, Yacy-Ara; SOUZA, Luiz Antônio Cruz. **Pesquisa e formação especializada em conservação de materiais pétreos: da arquitetura à indústria lítica; da arte**

acadêmica aos objetos de arte moderna e contemporânea. Geonomos, 24(2), 103-110, 2016.

GIORGI, Rodorico; DEI, Luigi; CECCATO, Massimo; SCHETTINO, Claudius; BAGLIONI, Piero. **Nanotechnologies for Conservation of Cultural Heritage: Paper and Canvas Deacidification.** Langmuir, 18, 8198-8203, 2002.

GOMEZ-VILLALBA *et al.* **Aplicación de nanopartículas a la consolidación del patrimonio pétreo.** La Ciencia y el Arte III: Ciencias Experimentales y Conservación del Patrimonio, Ministerio de Cultura. España 2011.

GOUVEÂ, Raul. **Nanotecnologia, uma realidade brasileira?** In: Negócios e empresas. Dezembro, 2004.

HAYNE, Luiz Augusto; WYSE, Angela T. S. **Análise da evolução da tecnologia: uma contribuição para o ensino da ciência e tecnologia.** Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia. V. 11, n. 3, p. 37-64. Ponta Grossa: set/dez. 2018.

JOSEPH, T.; MORRISON, M. **Nanotechnology in agriculture and food.** 2006. Disponível em <http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scid~377~.html?action=longview_publication>. Acesso em 02 mar 2022

KING, Steve; PEARSON, Colin. **Controle Ambiental para Instituições Culturais: planejamento adequado e uso de tecnologias alternativas.** In: MENDES, Marylka *et al.* Conservação: conceitos e práticas.. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2011,p.41-64.

LIMA, Diana Farjalla Correia. **Museologia, campo disciplinar da musealização e fundamentos de inflexão simbólica: 'tematizando Bourdieu para um convite à reflexão.** Revista Museologia & Interdisciplinaridade. Vol. 11, nº4, p. 48-61, Julho de 2013.

MAGALDI, Monique Batista; BRITTO, Clóvis Carvalho. **A Museologia é uma ilha de edição: vigilância comemorativa e fabricação de legados.** In: Museu & museologia: desafios de um campo interdisciplinar. Vol. 1, p. 9-14, Brasília: FCI-UnB, 2018.

MAMANI, Javier Bustamante. **Estrutura e Propriedades de Nanopartículas Preparadas via Sol-Gel.** Tese de Doutorado em Física da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

MALISKA, A.M. **Microscopia eletrônica de Varredura.** Apostila do laboratório de caracterização microestrutural e análise de imagens. 2020

MARCONE, Glauciene Paula de Souza. **Nanotecnologia e Nanociência: Aspectos gerais, aplicações e perspectivas no contexto do Brasil.** Perspectivas da Ciência e Tecnologia, v. 7, n. 2, 2015. Disponível em: <<HTTPS://revistascientificas.ifrj.edu.br>> Acesso em: 03 mar 2022

MARTINS, P. R. et al. **Nanotecnologias na indústria de alimentos**. 2007. Disponível em: <http://www.pucsp.br/downloads/vi_ciclo_paulomartins_marisabarbosa_nano_puc.pdf> Acesso em: 15 dez. 2021.

MARTINS, P.R. **Nanotecnologia e meio ambiente para uma sociedade sustentável**. In: MARTINS, P. R. (Org). Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente. São Paulo: Xamã, 2006. 344p.

MARQUES, Fabrício. **Poesia, técnica e tecnologia**. Revista Ipotesi v. 12, n. 2, p. 47 – 58. Juiz de Fora, jul/dez. 2008.

MENEZES, F.D.; JR. BRASIL, A.G.; MOREIRA, W.L.; BARBOSA, L.C.; CESARC, C.L.; FERREIRA, R. C.; FARIAS, P.M.A., SANTOS, B.S. **CdTe/CdS core shell quantum dots for photonic applications**. Microelectronics Journal, v. 36, p. 989–991. 2005.

MENESES, Ulpiano T. Bezerra de. **Do teatro da memória ao laboratório da História: a exposição museológica e o conhecimento histórico**. An. mus. paul., São Paulo, v. 2, n. 1, 1994.

MENDES, Makylka; SILVEIRA, Luciana; BEVILAQUA, Fátima; BAPTISTA, Antônio. **Conservação: conceitos e práticas**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2011, p. 11-14.

MESQUITA, Gilson. **Nanotecnologia: a ciência do invisível em ação**. Periódicos Científicos da Universidade Federal do Acre. Setembro, 2014.

MILANEZ, Douglas Henrique. **Nanotecnologia: Indicadores tecnológicos sobre os avanços em materiais a partir da análise de documentos de patentes**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos. São Paulo: São Carlos, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/853/4025.pdf?sequence=1>> Acesso em: 11 mar 2022

MILLER, G.; SENJEN, R. **Del laboratorio a la cadena alimenticia: la nanotecnologia en los alimentos y la agricultura**. Trad. Laura Perez. In: FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N. (Coord.). Nanotecnologías en la alimentación y agricultura. Montevideo: Universidad de la República, Comisión Sectorial de Extensión y Actividades, 2008. 116 p.

MOLES, A. **Teoria dos objetos**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1981.

PALOS, Mariana Carraco. **Os nanomateriais no restauro de superfícies arquitetônicas**. Revista Restauro, n. 1, 2017.

PEDRO, Ana Paula. **Ética, moral, axiologia e valores: confusões e ambiguidades em torno de um conceito comum**. Kriterion, Belo Horizonte, v. 55, n. 130, p. 483-

498, Dec. 2014.

PINHEIRO, Lena Vania Ribeiro; GRANATO, Marcus. **Para pensar a interdisciplinaridade na preservação: algumas questões preliminares.** In: SILVA, RRP., org. *Preservação documental: uma mensagem para o futuro*, p. 23-40. Salvador: EDUFBA, 2012.

POGGI, Giovanna; MELITA, Lucia Noor; TOCCAFONDI, Nicola; KNOWLES, Jonathan C. **Calcium hydroxide nanoparticles for the conservation of cultural heritage: New formulations for the deacidification of cellulose-based artifacts.** *Applied Physics*, 2014.

PUERTA, Adriana Aparecida. **Pesquisa em nanotecnologia para agronegócio: indicadores bibliométricos de produção científica entre 2001 e 2010.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade do Centro de Educação e Ciências Humanas da Universidade de São Carlos. São Paulo: São Carlos, 2012.

RAMSDEN, Jeremy. **What is nanotechnology?** *Nanotechnology Perceptions* v.1, p. 3-17, 2005. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/303413206_What_is_nanotechnology>
Acesso em: 16 mar 2022

THE ROYAL SOCIETY & THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties.** Plymouth, UK, 2004. Disponível em: <
<http://www.raeng.org.uk/publications/reports/nanoscience-and-nanotechnologies-opportunities>> Acesso em: 14 mar 2022.

TAGLIERI, Giuliana; DANIELE, Valeria; DEL RE, Giovanni; VOLPE, Roberto. **A New and Original Method to Produce Ca(OH)₂ Nanoparticles by Using an Anion Exchange Resin.** *Advances in Nanoparticles*, n. 4, p. 17-24, 2015.

TÉTREAU, Jean. **Materiais de exposição: os bons, os maus e os feitos.** In: MENDES, Marylkaet al. **Conservação: conceitos e práticas.** Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2011, p. 95-112.

TSUJIYAMA, S.; MIYAMORI, A. **Assignment of DSC Thermograms of Wood and its Components.** Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University. Kyoto, *Thermochimica Acta*, 2000. v.351, p. 177-181.

SANTOS, Kássia Graciele. **Aspectos Fundamentais da Pirólise de Biomassa em Leito de Jorro: Fluidodinâmica e Cinética do Processo.** Tese de Doutorado em Engenharia Química apresentada à Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia - MG, 2011.

SCHEINER, Teresa. **Cultura material e Museologia: Considerações.** III Seminário Internacional sobre Cultura Material e o Patrimônio da Ciência e da Tecnologia, organizado. MAST, 2014.

SILVA, Luciano Paulino; BONATTO, Cínthia Caetano; PEREIRA, Flávio Duque Estrada Soares [et al]. **Nanotecnologia verde para síntese de nanopartículas metálicas**. In: SOCCOL, Carlos Ricardo; FRANÇA, Luiz Renato de. Biotecnologia Aplicada à Agro&Indústria. Fundamentos e Aplicações. São Paulo: Blucher, 2017, p. 967-1012.

SOUZA, M; SPINELLI, W. **Guia Prático para curso de Laboratório: Do material à elaboração de relatórios**. São Paulo: Scipione, 1997.

VIEIRA, Maria Eduarda Martins; SILVA, Mariana Leite Simões; OLIVEIRA, Luiz Fernando Cappa de; PERRONE, Ítalo Tuler; STEPHANI, Rodrigo. **Esoelectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) acoplada ao microscópio eletrônico de varredura (MEV): fundamentos e aplicações em produtos lácteos**. Research, Society and Development, v. 10, n. 10, 2021.

ZARBIN, A. J. G. **Química de (nano)materiais**. Química. Nova, v. 30, p. 1469-1479, 2007.

WÓJCIAK, Adam. **Deacidification of paper with Mg(OH)₂ nanoparticles: the impact of dosage on process effectiveness**. Wood Research, 61 (6), p. 937-950, 2016.