

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU* EM CONSERVAÇÃO E  
RESTAURAÇÃO DE DOCUMENTOS

Ana Terra Depizzolatti-Gonçalves

**Análise instrumental de papéis de conservação novos e usados**

Florianópolis

2023

Ana Terra Depizzolatti-Gonçalves

**Análise instrumental de papéis de conservação novos e usados**

Trabalho Conclusão do Curso de Pós-Graduação  
*Lato Sensu* em Conservação e Restauração de  
documentos em suporte de papel da Universidade  
Federal de Santa Catarina como requisito para a  
obtenção do título de Especialista em conservação  
e restauração de documentos em suporte de papel

Orientador: Prof. Santiago Francisco Yunes, Dr.  
Coorientador: Thiago Guimarães Costa, Dr.

Florianópolis

2023

Depizzolatti-Gonçalves, Ana Terra  
Análise instrumental de papéis de conservação novos e  
usados. Terra Depizzolatti-Gonçalves ; orientador, Santiago  
Francisco Yunes, coorientador, Thiago Guimarães Costa, 2023.  
41 p.

Monografia (especialização) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Ciências da Educação, Curso de Pós-Graduação  
Lato Sensu em Conservação e Restauração de documentos em suporte  
de papel, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Ciências Sociais. 2. Química Aplicada. 3. Conservação de  
papel. 4. Espectroscopia. I. Yunes, Santiago Francisco . II.  
Costa, Thiago Guimarães. III. Costa, Thiago Guimarães. IV.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação Lato Sensu  
em Conservação e Restauração de documentos em suporte de papel.  
V. Título.

Ana Terra Depizzolatti-Gonçalves

### **Análise instrumental de papéis de conservação novos e usados**

O presente trabalho em nível de Especialização foi avaliado e aprovado, em 21 de junho de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Cezar Karpinski, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Rita de Cássia Castro da Cunha  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Santiago Francisco Yunes, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Thiago Guimarães Costa, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão **original** e **final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de *Especialista em Conservação e Restauração de documentos em suporte de papel*, atribuído pelo Departamento de Ciência da Informação.

---

Prof. Cezar Karpinski, Dr.  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

---

Prof. Santiago Francisco Yunes, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2023

## RESUMO

Esta pesquisa tem os objetivos de verificar os aditivos encontrados em papéis de conservação novos e usados; e verificar e caracterizar a degradação química nos papéis de conservação em ambiente de arquivo. Trata-se de pesquisa aplicada, exploratória e qualitativa, com procedimento experimental. Amostras de papel de conservação (neutro e alcalino) novas e já utilizadas foram analisadas por FTIR, de forma a verificar os grupos funcionais presentes no papel. Os espectros obtidos permitiram visualizar pouca degradação em todos os papéis e presença de reserva alcalina em todos os papéis novos.

**Palavras-chave:** Conservação de papel. Espectroscopia. Química Aplicada.

## **ABSTRACT**

This research has the objectives of verifying the additives found in new and used preservation papers; and verify and characterize chemical degradation in conservation papers in an archival environment. This is applied, exploratory and qualitative research, with an experimental procedure. New and used conservation paper samples (neutral and alkaline) were preserved by FTIR, in order to verify the groups present in the paper. The spectra obtained showed little degradation in all papers and the presence of alkaline reserve in all new papers.

**Keywords:** Paper conservation. Spectroscopy. Applied chemistry

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>9</b>
2.1 Composição do papel.....	9
2.1.1 Papel de conservação.....	12
2.2 Agentes e mecanismos de deterioração do papel.....	13
2.3 Técnicas analíticas.....	16
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>20</b>
3.1 Amostras.....	20
3.2 Espectroscopia de infravermelho com refletância total atenuada – FTIR-ATR.....	21
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>22</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>30</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O local e a forma de acondicionamento de um documento são centrais para sua preservação física. Fatores como a localização geográfica de uma edificação, a qualidade da edificação em si, o mobiliário utilizado e o acondicionamento primário de um acervo impactam em variáveis como umidade, temperatura, iluminação, sinistros e até o manuseio a que estes documentos estarão expostos durante sua existência. É manejando essas variáveis que conservadores atuam na ampliação da longevidade do documento (CASSARES; TANAKA, 2008; ICCROM, 2016; MENDES *et al*, 2011; SANDY, 2020).

Enquanto a localização, aspectos da edificação e até o mobiliário muitas vezes acabam fora da alçada de conservadores e gestores de acervo, o acondicionamento primário é a ferramenta mais eficiente (e barata) disponível aos profissionais na conservação de documentos. A confecção de capas, caixas, envelopes, etc (o armazenamento primário) é capaz de minimizar a incidência da poluição, luz, umidade, o acesso de pragas e a migração de compostos químicos entre os objetos (CASSARES, 2000; GOMES; MOTTA, 1997; MENDES *et al*, 2011).

Para documentos em papel, o material geralmente utilizado no acondicionamento primário é o “papel de conservação”, termo genérico para papéis mais estáveis quimicamente: os papéis neutros (papéis sem resíduo ácido, por isso também chamados “*acid free*”); e os papéis com reserva alcalina (também conhecidos como permanentes: papéis com reserva de carbonato de cálcio, que neutraliza os ácidos que possam migrar para o papel ou se desenvolver dentro dele). Apesar de seguirem padrões em sua fabricação (ISO 9706; ISO 11108; ANSI/NISO Z39.48-1992), a composição desses papéis sofre variações. Sua qualidade será determinante para a qualidade do acondicionamento primário construído (SPINELLI JUNIOR, 1997).

Uma vez que os papéis de conservação são utilizados no acondicionamento primário de documentos em papel; e que os acondicionamentos primários são essenciais na conservação dos documentos, conhecer a qualidade e comportamento desses papéis durante seu uso no armazenamento é importante. Alguns trabalhos já estudaram a degradação dos ‘papéis *de conservação*’ (AHN; ROSENAU; POTTHAST, 2013; CARTER, 1997, 2007; COPPOLA; MODELLI; STRLIČ, 2018; DEVENTER; HAVERMANS; BERKHOUT, 1995; EL-SAIED; BASTA;

ABDOU, 1998; MAŁACHOWSKA *et al*, 2021; MEDEIROS; BOJANOSKI, 2011; VIBERT *et al*, 2022a, 2022b, 2023), entretanto, não existe um único teste direto, que aponte a permanência do papel, o que torna a testagem de diferentes amostras em diferentes contextos de uso e armazenamento extremamente relevantes. Nesta pesquisa, os objetivos são:

- a) verificar os aditivos encontrados em papéis de conservação novos e usados; e
- b) verificar e caracterizar a degradação química nos papéis de conservação em ambiente de arquivo.

Este trabalho foi produzido como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da Pós-Graduação *Lato Sensu* em Conservação e Restauração de documentos (ESPECOR), oferecida pelo Departamento de Ciência da Informação da UFSC. Por meio de disciplinas como, patrimônio documental, acondicionamento, restauração, química do papel, microbiologia, climatologia, o curso visa “aprofundar a qualificação profissional para atuação técnica adequada em atividades de conservação e restauração de documentos em suporte de papel” (BRASIL, 2023, p.1). O TCC é etapa obrigatória do curso, e deve ser desenvolvido em forma de relatório técnico de pesquisa aplicada, para que se “demonstre a aquisição de capacitação técnico-profissional em atividade da área conservação e/ou restauração de documentos em suporte de papel” (BRASIL, 2022, p.1).

Por ser um relatório produzido para um público amplo, não necessariamente conhecedor da química do papel, a primeira seção, de fundamentação teórica, se alonga moderadamente em alguns aspectos físico-químicos do papel, da fabricação do papel, dos danos possíveis e das técnicas analíticas; para que seja possível a todos os leitores compreenderem minimamente a pesquisa realizada (por esse motivo, também, buscou-se simplificar o vocabulário ao máximo, contornando termos técnicos). Também por ser um relatório no contexto de uma especialização, a pesquisa desenvolvida não tem pretensões de transformar ou revolucionar o campo; serve de pretexto para perpassar por temáticas abordadas durante o curso e experimentar metodologias de pesquisa. O trabalho divide-se em fundamentação teórica, procedimentos metodológicos e resultados e discussão; seguindo-se com as derações finais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

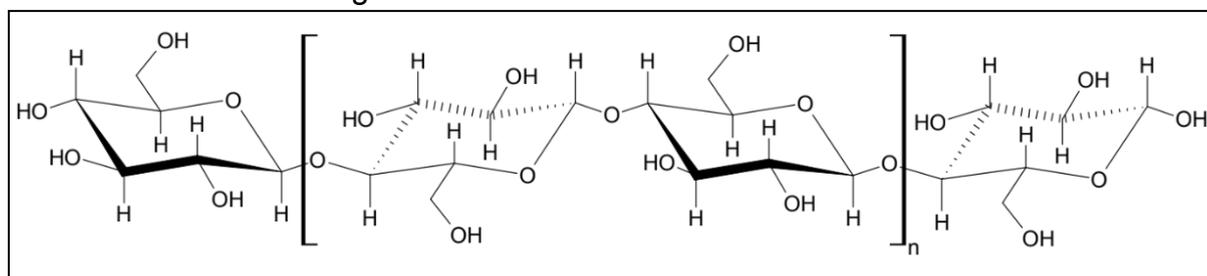
Nesta seção, discorre-se brevemente sobre a composição e fabricação dos papéis, a composição e normativas do papel de conservação, os tipos de danos a que um documento de acervo pode estar exposto durante sua existência, além do funcionamento das técnicas espectroscópicas.

### 2.1 Composição do papel

O papel é um material multicomponente, composto principalmente de fibras vegetais, como madeira ou algodão, que, por sua vez, são essencialmente compostas de celulose. As madeiras possuem, além da celulose, lignina e hemiceluloses (um polissacarídeo). O algodão é composto por 98% de celulose. As demais substâncias presentes no papel dependem de cargas e aditivos introduzidos em seu processo de fabricação (STRLIČ; KOLAR, 2005; DERKACHEVA, 2015; GIMAT *et al*, 2021b; JABLONSKY; ŠIMA, 2021; ZHANG *et al*, 2023).

A celulose é um polímero<sup>1</sup> do grupo dos carboidratos; uma macromolécula formada por várias partes iguais (monômeros), organizadas em cadeias principais e secundárias. Os monômeros da celulose ( $\beta$ -D-glicopirranose) são unidos uns aos outros por uma ligação glicosídica. Além desta ligação, a estrutura espacial da celulose permite a formação de ligações de hidrogênio intra e intermoleculares, que reduzem sua solubilidade em água e aumentam sua rigidez (ZHANG *et al*, 2023; FIGUEIREDO JUNIOR, 2012; AREA; CHERADAME, 2011; MISSORI *et al*, 2014).

Figura 1 – A macromolécula de celulose.



Fonte: STRLIČ; KOLAR, 2005.

O arranjo geométrico espacial assumido pela cadeia de celulose pode ser de forma cristalina ou amorfa. As regiões cristalinas são mais regulares, com as cadeias produzindo um arranjo organizado, de fibras paralelas. As zonas amorfas

<sup>1</sup> de fórmula molecular  $(C_6H_{10}O_5)_n$

possuem cadeias com tamanhos e complexidades variados, o que produz uma cadeia desalinhada, com maior espaçamento entre as fibras. Esse maior espaçamento torna essas regiões mais suscetíveis à deterioração (SILVA; D'ALMEIDA, 2009; MISSORI *et al*, 2014; PARSÁ SADR; BOSCO; SUIKER, 2022; ZHANG *et al*, 2023).

O tamanho da cadeia polimérica é responsável pelas propriedades mecânicas do papel obtido. Quanto maior a cadeia, melhores as propriedades mecânicas, como resistência à tração. Linho e algodão têm cadeias mais longas que a madeira, além de possuírem maior percentual de sua estrutura em forma cristalina, o que torna a celulose obtida daqueles materiais mais estáveis e resistentes que a celulose obtida da madeira (AREA; CHERADAME, 2011; ČABALOVÁ *et al*, 2017; LEHENY *et al*, 2021).

A produção do papel passa, essencialmente, pela elaboração de uma polpa contendo fibras de celulose em suspensão aquosa, a formação da folha e o revestimento (encolagem) da folha. Cada época e lugar adaptou e utilizou os insumos e técnicas de fabricação disponíveis (FIGUEIREDO JUNIOR, 2012).

Originalmente produzido com cascas de amoreira, bambu e redes de pesca (na China, em 105 d.C.); materiais como linho, algodão e cânhamo foram a matéria prima mais comum do papel até o início do século XIX, quando produzidos por árabes (a partir do século VIII, quando invadiram a Ásia) e, posteriormente, europeus (quando árabes invadiram a Europa no século XI<sup>2</sup>) (FRITOLI; KRÜGER; CARVALHO, 2016).

O fabrico consistia em produzir uma polpa quente com as fibras maceradas, que seria depurada e seca em lâminas sobre peneiras (de junco, seda, crina de cavalo ou metal). A encolagem das folhas poderia ser feita com farinha, amido (gomos vegetais) ou cola animal (uma gelatina confeccionada a partir de cartilagem acrescida de alúmen (sulfato de alumínio e potássio) ou sulfato de zinco (vitriolo branco), que dão origem à ácidos (ČABALOVÁ *et al*, 2017; DRAGOJEVIĆ *et al*, 2021; GIMAT *et al*, 2021a; SANTOS, 2015).

---

<sup>2</sup>Da China, o ofício da fabricação de papel foi transferido para a Coreia (século IV), Japão (século VII), Samarcanda, Bagdá (século VIII), Egito (século IX), Espanha (século X) e o resto da Europa. O papel foi introduzido pela primeira vez na Itália, França e Alemanha, nos séculos XII-XIII e mais tarde na Inglaterra no século XIV. Em 1690 foi fundada a primeira fábrica de papel na América [do norte] (SPNHC, 2023). No Brasil, “a primeira fábrica de papel foi construída em Andaraí Pequeno, no Rio de Janeiro, por volta de 1810” (FRITOLI; KRÜGER; CARVALHO, 2016).

O desenvolvimento das técnicas de fabrico também influenciou a presença de alguns elementos no papel: no final do século XVII passou-se a utilizar batedores ‘holandeses’ de ferro na produção da polpa, que introduziram íons metálicos corrosivos no papel. No século XVIII, o cloro, extremamente oxidante, passou a ser utilizado para branquear papel (FRITOLI; KRÜGER; CARVALHO, 2016).

Em meados do século XIX, a polpa de madeira vem baratear a produção, mas também reduzir a qualidade do papel fabricado. Sua produção utiliza madeira moída (polpa mecânica, que produz fibras mais curtas e com alta concentração de lignina) ou cozida com sulfito (polpa química, que remove a lignina e não corta as cadeias de celulose tão completamente), ambas resultando em um papel mais ácido e com fibras mais curtas, com qualidade bem inferior à dos papéis produzidos a partir de linho e algodão. A encolagem continua sendo feita com cola animal, mas adicionada de uma mistura de alúmen-breu, que dá origem ao ácido abiético (LYALL, 1990; SANTOS, 2015).

Papéis do final do século XIX e início do século XX são conhecidos por sua má qualidade, cuja degradação rápida e intensa foi denominada ‘fogo lento’: a acidificação do papel consumindo silenciosamente milhões de livros (FRITOLI; KRÜGER; CARVALHO, 2016; PARSASADR; BOSCO; SUIKER, 2022). Por conta dessa acidificação “em massa” ocorrida nos acervos — e identificada por bibliotecários a partir de 1930 — os papéis contemporâneos tiveram suas composições alteradas. Hoje, mesmo papéis ‘comuns’ possuem qualidade superior aos papéis de madeira do início do século XX, com característica neutra ou alcalina (MANGLIK, 2014; AHN; ROSENAU; POTTHAST, 2013; CARTER, 1997; HORST *et al*, 2020).

A principal matéria prima do papel contemporâneo continua sendo a madeira (geralmente pinus ou eucalipto, por crescerem rápido). A madeira em lascas é cozida em sulfitos, gerando a polpa, que é então lavada e, dependendo do papel que se deseja fabricar, recebe aditivos como cloro, corantes, plástico, parafina, etc, que atuarão no branqueamento, impregnação ou revestimento. A polpa é então esticada em uma esteira, onde irá ser prensada e seca, formando uma folha contínua. A encolagem alcalina é realizada usando produtos conhecidos por AKD (alkylketene dimmer) e ASA (anidrido alquenil succínico) (SANTOS, 2015; AUADA, 2018).

Na produção dos papéis ‘especiais’ neutros e alcalinos, são adicionadas bases suaves (tampões e reservas alcalinas, geralmente bicarbonato de cálcio ou magnésio) para neutralizar e alcalinizar a polpa, e a lignina é removida. Também podem ser produzidos com fibras naturalmente livres de ácido, como algodão e Kozo (AREA; CHERADAME, 2011; FRITOLI, 2012). A fabricação destes papéis segue normas internacionais, descritas na próxima subseção.

### 2.1.1 *Papel de conservação*

Devido à acidificação de grande parte dos acervos, a partir da década de 1950, nos Estados Unidos (EUA), houve grande pressão de bibliotecários (por meio do *Council on Library Resources*), para a criação de normas para fabricação e uso de papéis em livros e documentos históricos. Em 1984 a ANSI (*American National Standards Institute*) publica a ‘ANSI NISO **Z39.48-1984**’, **Padrão Nacional Americano de Permanência de Papel para Materiais de Biblioteca Impressos** (baseada em uma combinação de estudos existentes nos EUA e padrões industriais), que previa fatores importantes para a permanência do papel, como Ph e resistência à rasgos. Nela já estão previstas a reserva alcalina e quantidade máxima de lignina no papel (LYALL, 1990; MANGLIK, 2014; STUHRKE, 1978; HOEL, 1998).

Em 1987 a ISO (*International Organization for Standardization*) criou um subcomitê<sup>3</sup> para tratar da "Permanência de papel para materiais impressos da biblioteca", publicando, em 1994 a norma ‘**ISO 9706: 1994 Informações e documentação - Papel para documentos - Requisitos para permanência**’, em muito baseada na norma norte americana. A norma internacional foi acolhida e adaptada por diversos países, gerando diversas normas regionais, nacionais e industriais (como a canadense CAN/CSGB-9.70-2000 e a australiana AS 4003 – 1996) (LYALL, 1990; MANGLIK, 2014; CARTER, 2007; DEVENTER; HAVERMANS; BERKHOUT, 1995; HOEL, 1998).

O objetivo de todas as normas é estabelecer padrões para a fabricação de papéis que possam durar ao menos centenas de anos, em condições ideais em bibliotecas e arquivos, sem sofrer deterioração significativa (por isso chamados de papéis permanentes). As normas especificam que os papéis permanentes devem ser alcalinos e conter pelo menos 2% de carbonato de cálcio para atuar como uma

---

<sup>3</sup> ISO / TC46 / SC10, com o título "Características físicas da mídia para documentos", alterado em 1989 para "Manutenção física de documentos " (HOEL, 1998)

reserva alcalina<sup>4</sup>. A resistência ao rasgo deve ser maior ou igual a 350 mN; o Ph da polpa deve ser entre 7,5 e 10. Algumas normas determinam ainda que o teor de lignina do papel não exceda 1% (LYALL, 1990; FRASE, 1997; AHN; BANIK; POTTHAST, 2012; CARTER, 2007; FRASE, 1991, 1997).

Outra norma relacionada ao conceito de papel permanente é a '**ISO 11108: 1996 Informações e documentação - Papel de arquivo - Requisitos para permanência e durabilidade**'. Nela, além da permanência, a preocupação é com a durabilidade. Foi pensado para papéis que serão utilizados em documentos de valor histórico, legal ou outro valor significativo. Além das especificações para papel permanente, este papel deve ser feito de algodão, linters de algodão, cânhamo ou linho; ter gramatura mínima de 70 g/m<sup>2</sup> e resistência mínima à dobragem. Papéis de arquivo são mais duráveis do que os papéis permanentes e podem suportar mais manuseio (MANGLIK, 2014; HOEL, 1998).

Comercialmente, os papéis permanentes que adotam as normas ISO 9706 ou ANSI Z39.48-1992 (papéis permanentes) utilizam um símbolo de infinito (código Unicode 267E) para identificá-los (MANGLIK, 2014; ISO, 1994; ANSI, c1993).

Na literatura, por vezes são utilizados os termos papel neutro, papel livre de ácido (ou "*acid-free*"), papel alcalino, papel com reserva alcalina, papel de conservação/restauração, papel especial, e até por nomes comerciais como papel *Filifold* e *Filiset* (ambos da marca Filiperson, aquele com Ph neutro e este com reserva alcalina) para referir-se a papéis utilizados em procedimentos de conservação. Entretanto, é importante ressaltar que o papel indicado para o uso em acervos deve não apenas ter o Ph neutro, mas, principalmente, uma reserva alcalina adicionada, para garantir a neutralização de ácidos que se formarão no papel durante o tempo (AHN; BANIK; POTTHAST, 2012; CARTER, 2007). Os agentes que impactam na deterioração do papel são expostos na próxima subseção.

## **2.2 Agentes e mecanismos de deterioração do papel**

A deterioração do papel é facilmente identificada a olho nu: amarelecimento, papel quebradiço, manchas, rasgos, perfurações, abrasões, sujidades. Mas mesmo

---

<sup>4</sup> Segundo a norma, com essas características, um papel permanente, após 24 dias de envelhecimento a 80 graus Celsius e 65% UR (umidade relativa), deve manter 80% de sua durabilidade inicial.

um papel aparentemente não degradado já está sofrendo pequenas alterações microscópicas que afetarão sua integridade futuramente. A velocidade com que essas reações irão ocorrer é influenciada pelo ambiente de armazenamento. Conhecer os agentes que interagem com o papel contribui para a definição das ações de conservação (e processos de restauração), a serem desenvolvidos para ampliar a longevidade do objeto (APPELBAUM, 2017; SANDY, 2020).

Genericamente, qualquer agente que leve o documento a um estado de instabilidade física ou química que comprometa sua integridade e existência é um agente de deterioração. Nem sempre é fácil identificá-los ou “isolá-los”. Um mesmo agente pode causar danos diferentes, um mesmo dano pode ter causas variadas; e os agentes exercem influência entre si, de forma sinérgica ou antagônica (JABLONSKY; ŠIMA, 2021; IZDEBSKA, 2016; CASSARES, 2000).

Na literatura, é comum encontrá-los separados em dois grandes grupos: internos e externos ao papel (ou intrínsecos e extrínsecos), sendo os externos subdivididos em ‘fatores ambientais e biológicos’, ou ‘físicos, químicos e biológicos’, com algumas modificações na nomenclatura ou inclusão de categorias (como a de agentes humanos e a de desastres) (SANTOS, 2015; FRITOLI, 2012; SPINELLI JUNIOR, 1997; CASSARES, 2000; SAUSP, 2005). Na figura 2 sintetizam-se os agentes citados na literatura, agrupados como mais comumente são classificados<sup>5</sup>.

Alguns dos agentes de deterioração existem em qualquer ambiente e podem apenas ser gerenciados: luz, umidade relativa, temperatura e poluição ou poeira. Os desastres podem ser minimizados (principalmente com um bom planejamento da edificação, mobiliário e gestão de risco), mas nunca evitados. A ação humana e os agentes biológicos são os que melhor podem ser prevenidos, com controle do ambiente (ICCROM, 2016).

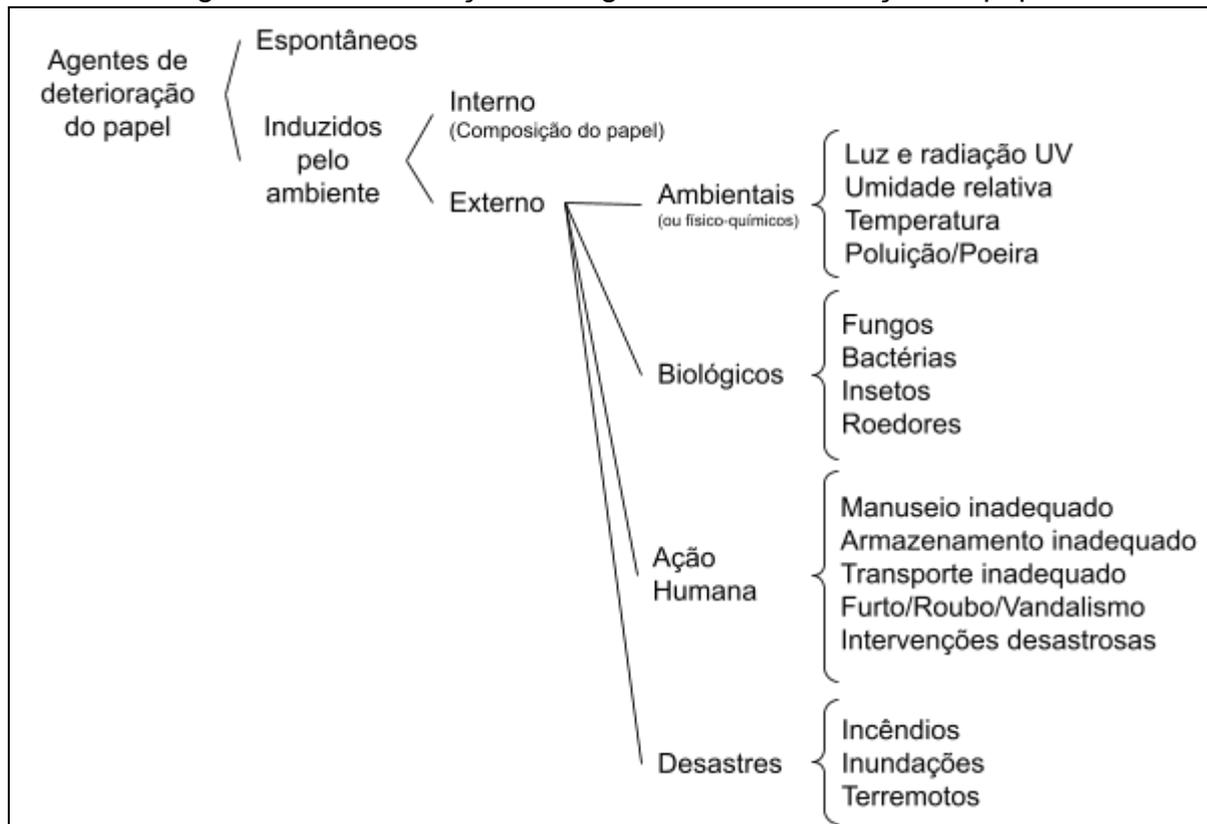
Em algum grau, o acondicionamento primário consegue resguardar o documento contra todos os agentes citados, como por exemplo, retardando o avanço do fogo ou da água em um incêndio ou uma inundação, retardando o avanço de insetos e roedores<sup>6</sup>, ou protegendo o objeto da luz, poeira e manuseio (SPINELLI JUNIOR, 1997).

---

<sup>5</sup> Łojewski et al (2010) afirmam que a cristalização espontânea da celulose deve ser levada em consideração ao estudar a degradação do papel. Não discutiremos a cristalização neste trabalho, mas a listamos como agente de deterioração, para registro.

<sup>6</sup> Também chamados de papirófagos (que se alimentam de papel).

Figura 2 – Classificação dos agentes de deterioração do papel



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Quimicamente, os principais mecanismos de degradação do papel são hidrólise e oxidação (POTTHAST *et al*, 2022; ŁOJEWSKI *et al*, 2010; MISSORI *et al*, 2014; ČABALOVÁ *et al*, 2017; JABLONSKY; ŠIMA, 2021; NUNES, 2019). Na hidrólise, há a quebra das ligações entre os monômeros da celulose, resultando no encurtamento da cadeia (e conseqüentemente, da resistência do papel) e a geração de ácidos. A oxidação é um mecanismo mais complexo em que a incorporação de moléculas de oxigênio na molécula da celulose causa a desintegração da cadeia e gera radicais livres (carbonilas e álcoois) que causam amarelecimento do papel e, com seu acúmulo, acidificação do papel. Os processos de hidrólise e oxidação são dependentes um do outro e catalisam um ao outro (MAŁACHOWSKA *et al*, 2021; JEONG; DUPONT; DE LA RIE, 2014).

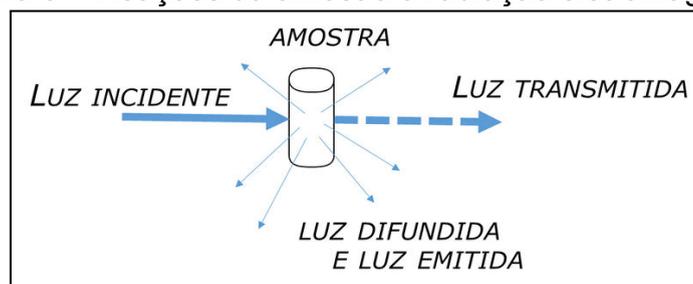
As alterações químicas causadas pela hidrólise e oxidação podem ser identificadas por meio de técnicas analíticas que verificam a composição química dos materiais; a próxima subseção explica as principais técnicas utilizadas na caracterização do papel (ČABALOVÁ *et al*, 2017; AHN *et al*, 2019).

### 2.3 Técnicas analíticas

Para realizar a caracterização de materiais pode-se utilizar técnicas analíticas instrumentais que se baseiam nas propriedades físicas dos elementos e compostos para reconhecê-los (como por exemplo a cromatografia, os testes de Ph, e as técnicas de microscopia, espectroscopia, ressonância, etc) (ARTIOLI, 2010; FIGUEIREDO JUNIOR, 2012).

Espectroscopia é um termo amplo para técnicas analíticas que utilizam radiação para obter dados sobre a estrutura e as propriedades da matéria. Ao observar o comportamento<sup>7</sup> de um feixe de radiação eletromagnética<sup>8</sup> que incide sobre uma amostra, é possível identificar e quantificar os elementos componentes da mesma, analisando o espectro da radiação 'resultante' após a interação com a amostra, pois cada molécula interage de forma diferente com a radiação (PAVIA et al, 2010).

Figura 3 – Reações da amostra à radiação eletromagnética



Fonte: Claro (2017)

As técnicas de espectroscopia subdividem-se em diversos tipos e são geralmente conhecidas pela região do espectro eletromagnético onde se utiliza a radiação: visível, ultravioleta, infravermelho e raios-X (ARTIOLI, 2010; FIGUEIREDO JUNIOR, 2012). Para caracterização do papel, é comum a utilização de espectroscopia no infravermelho (IR) (MANSO; CARVALHO, 2009; ALI *et al*, 2001; DONCEA *et al*, 2009; DERKACHEVA, 2015; STRLIČ; KOLAR, 2005) , um tipo de espectroscopia de absorção que identifica os grupos químicos das moléculas a partir do tipo de vibração que a radiação IR provoca nestas (PAVIA *et al*, 2010).

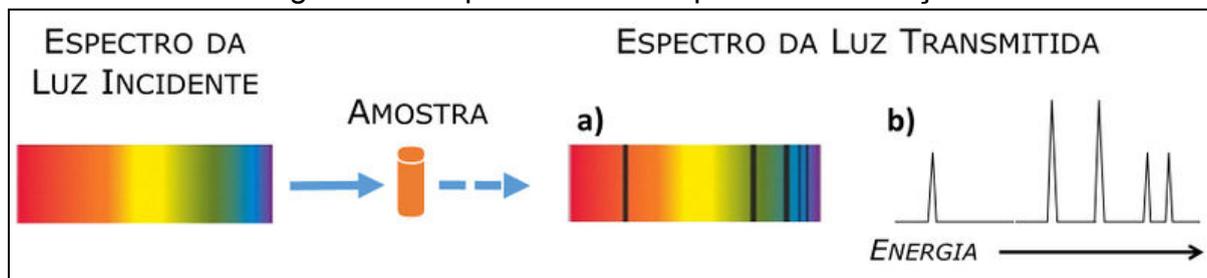
Na espectroscopia no IR, um feixe de radiação na região do IR é emitido sobre a amostra e mede-se a quantidade de energia transmitida (a energia que

<sup>7</sup> Quando uma onda eletromagnética atinge a superfície de um meio, parte dela é absorvida, parte é refletida e parte transmitida.

<sup>8</sup> A radiação eletromagnética contempla um espectro que se estende desde ondas de baixa frequência (ondas de rádio) até ondas de alta frequência (radiação gama ( $\gamma$ )), passando por microondas, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, e raios X.

'sobra' após a absorção da radiação pela amostra). A radiação na faixa do infravermelho engloba frequências vibracionais de estiramento e dobramento das ligações, ilustrados na Figura 5 (DERRIK; STULIK; LANDRY, 2000; PAVIA et al, 2010).

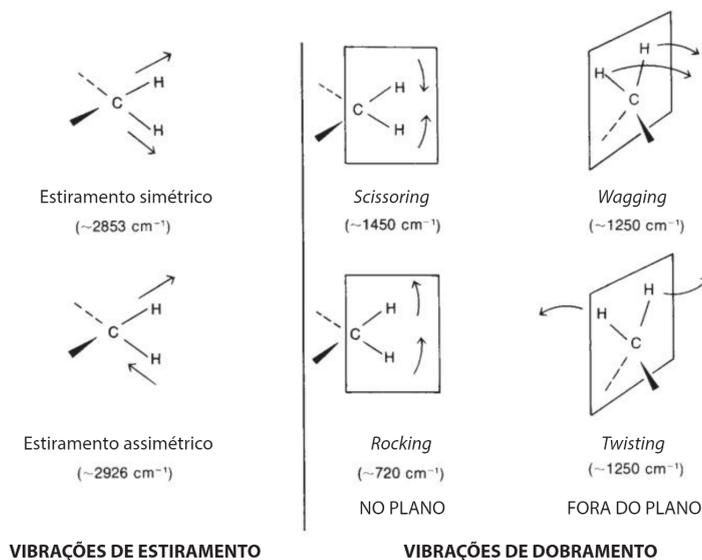
Figura 4 – Esquema de um espectro de absorção



Fonte: Claro (2017)

A espectroscopia no IR por transformada de Fourier (ou *Fourier-Transform Infrared spectroscopy*, FTIR) é uma das técnicas mais utilizadas para caracterização de materiais constituintes do patrimônio cultural (LIU; KAZARIAN, 2022; DRAGOJEVIĆ et al, 2021). Neste método, uma alteração no caminho do feixe de radiação por meio de um interferômetro (que divide o feixe e o reflete em espelhos, de forma a obter todos os comprimentos de onda da faixa usada) e um algoritmo matemático (chamado transformada de Fourier) para converter os dados brutos no espectro real. Com esta adaptação, a medida do espectro é mais rápida (todas as frequências são colhidas simultaneamente), e há melhora da resolução do espectro e da sensibilidade da medida (PAVIA et al, 2010; MANSO; CARVALHO, 2009).

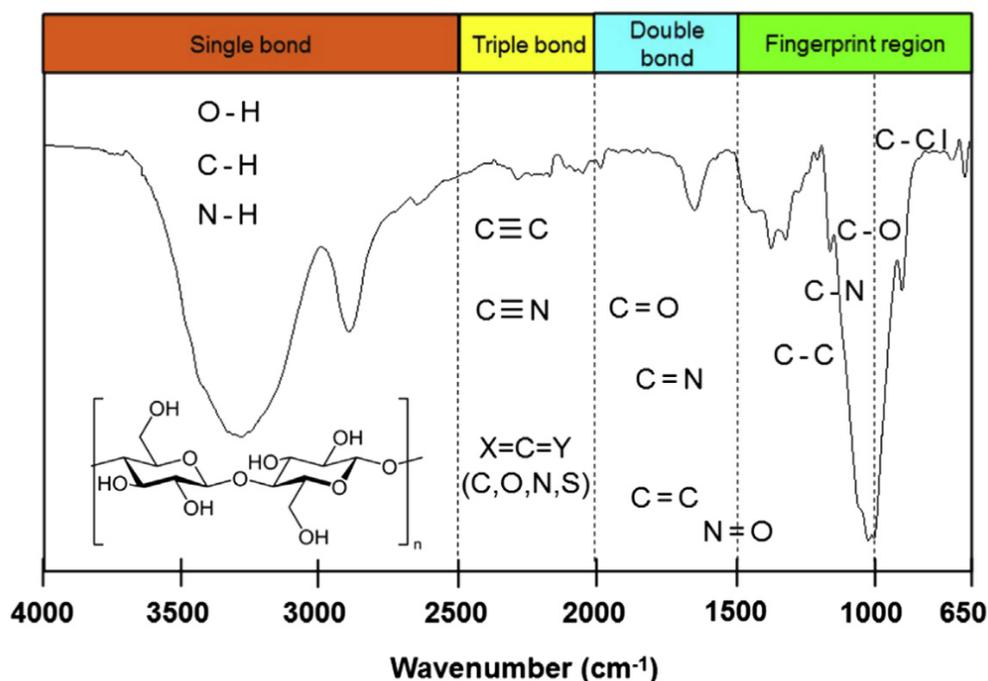
Figura 5 – Modos de estiramento e dobramento



Fonte: Pavia et al (2010)

O resultado 'final' de uma análise espectrométrica é um gráfico (chamado interferograma ou espectrômetro de IR) que registra a posição e a intensidade das absorções ocorridas na região do IR. O eixo vertical do gráfico mede, em porcentual (razão entre a energia transmitida e a energia incidente), a transmitância; e no eixo horizontal, em centímetros, o número de onda. Assim, a posição do pico no eixo horizontal indica o tipo de ligação existente na molécula, o que permite identificar grupos funcionais<sup>9</sup>. A 'altura' do pico no eixo vertical indica a intensidade da absorção ocorrida (NANDIYANTO; OKTIANI; RAGADHITA, 2019).

Figura 6 – “Os espectros infravermelhos típicos da transformada de Fourier da membrana de celulose regenerada com os vários tipos comuns de ligações absorvem nas regiões aproximadas”.



Fonte: Mohamed et al (2017, p.5)

Para leitura do espectrômetro são analisadas duas áreas do gráfico: a região da impressão digital (geralmente abaixo de 1500  $\text{cm}^{-1}$ , à direita no gráfico) e a região dos grupamentos funcionais (geralmente acima de 1500  $\text{cm}^{-1}$ , à esquerda no gráfico). Os picos existentes na primeira região apresentam o padrão de absorção da molécula como um todo, que é característico e único para cada molécula. Na segunda região, estão registrados os picos de vibrações de estiramento das ligações mais importantes dos grupos funcionais das moléculas

<sup>9</sup> Grupamentos de átomos que conferem aos compostos orgânicos características químicas específicas, criando um centro reativo e definindo uma função química nessas moléculas.

orgânicas (aminas, carbonilas, hidroxilas, etc) (NANDIYANTO; OKTIANI; RAGADHITA, 2019; MOHAMED *et al*, 2017).

Os picos obtidos são comparados com padrões estabelecidos<sup>10</sup>, utilizando tabelas de correlação de frequências, para identificação da molécula específica. Devem ser analisados a posição, forma e intensidade dos picos (PAVIA *et al*, 2010).

Outra técnica analítica bastante utilizada na caracterização de materiais é a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com Espectroscopia por energia dispersiva (ou *Energy Dispersive Spectroscopy*, EDS) (ALBERTINI; PACI; GENEROSI, 2006; BITOSSI *et al*, 2005; COSTA *et al*, 2018, 2019, 2020). A MEV utiliza um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície dos materiais. A interação do feixe com a amostra (dispersão ou absorção) permite que o equipamento converta os elétrons e fótons coletados da interação feixe-amostra em sinal vídeo (VIEIRA *et al*, 2021; DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

O bombardeio de elétrons do feixe leva à emissão de raios-X pela amostra. Como o comprimento de onda gerado nessa emissão é específico de cada elemento, é possível utilizar essa medida para identificação dos elementos da amostra, por EDS. O detector de energia dispersiva acoplado ao MEV capta os raios-X e gera um espectro de contagens de raio-X (cps/eV) vs energia (keV) (VIEIRA *et al*, 2021).

---

<sup>10</sup> “Como cada tipo de ligação tem sua própria frequência natural de vibração, e como dois tipos idênticos de ligações em dois diferentes compostos estão em dois ambientes levemente diferentes, os padrões de absorção no infravermelho, ou espectro infravermelho, em duas moléculas de estruturas diferentes nunca são exatamente idênticos. Apesar de as frequências absorvidas nos dois casos poderem ser iguais, jamais os espectros infravermelhos (os padrões de absorção) de duas moléculas diferentes serão idênticos. Assim, o espectro infravermelho pode servir para moléculas da mesma forma que impressões digitais servem para seres humanos. Quando se comparam os espectros infravermelhos de duas substâncias que se acredita serem idênticas, pode-se descobrir se elas são, de fato, idênticas. Se os espectros infravermelhos coincidirem pico a pico (absorção a absorção), na maioria das vezes as duas substâncias serão idênticas” (PAVIA *et al*, 2010, p. 17).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Trata-se de pesquisa aplicada, exploratória e qualitativa, com procedimento experimental (FLICK, 2009; VOLPATO, 2015). Para atender aos objetivos da pesquisa de verificar os aditivos encontrados em papéis de conservação e caracterizar a degradação química sofrida por papéis de conservação usados; amostras de papel novas e já utilizadas foram analisadas por FTIR, de forma a verificar os grupos funcionais presentes no papel. Os procedimentos adotados estão descritos nesta seção.

As análises instrumentais foram realizadas no Laboratório de Materiais do Ateliê de Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis (ATECOR) da Fundação Catarinense de Cultura (FCC), parceiro do Laboratório de Conservação e Restauração de Documentos (LABCON). Originalmente, pretendia-se realizar também análises por MEV-EDS. Entretanto, o equipamento apresentou defeitos e não foi consertado a tempo para esta pesquisa.

#### 3.1 Amostras

As amostras de papel usado foram fornecidas pelo Centro de Memória da Assembleia Legislativa de Santa Catarina (CM-ALESC). As amostras de papel novo foram fornecidas pelo LABCON da UFSC. O quadro abaixo descreve as características físicas e de armazenamento das amostras. As amostras novas não contém nenhum material ou substância alheia ao papel (carimbos, adesivos, cola, grampos ou anotações à caneta, lápis, etc). A amostra usada contém anotação à caneta esferográfica e cola branca.

Quadro 1 – Caracterização das amostras

Amostra	Estado	Tipo	Gramatura	Local armazenamento
A1	Novo	Neutro	180g	Embalagem original lacrada
A2	Novo	Neutro	180g	Embalagem original aberta há 15 anos
A3	Novo	Alcalino	90g	Gaveta de aço Labcon
A4	Usado	Neutro	180g	Caixa poliondas armazenada em arquivo deslizante, em ambiente climatizado, em contato com folhas de papel A4 comercial

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Não é possível conhecer toda a cadeia de custódia dos papéis analisados. Sabe-se que as amostras 1 e 2 (A1 e A2) são papéis neutros, de 180g, novos, da marca Filipaper. O tempo e as condições de armazenamento anteriores à compra são desconhecidos. Após a compra, A1 permaneceu armazenada em embalagem lacrada. A2 encontra-se em embalagem original aberta há 15 anos, armazenada em caixa organizadora plástica em ambientes sem quaisquer controles de temperatura e umidade.

A amostra 3 (A3) é um papel com reserva alcalina, 90g, novo, armazenado em gavetas de aço no LABCON (uma 'mapoteca', mobiliário adequado para armazenamento de papel, isolado de outros tipos de papel). Entretanto, o ambiente do LABCON não conta com controle climático. Anteriormente ao armazenamento na mapoteca, o produto foi mantido em caixas de papelão comum. Não é possível saber as condições de armazenamento no fornecedor nem durante o transporte, feito desde outro estado.

A amostra 4 (A4) é um papel neutro, 180g, que foi utilizado em armazenamento de documentos no CM-ALESC (caixa de plástico poliondas, arquivo deslizante, ambiente climatizado, em contato com papéis comerciais A4 impressos), por aproximadamente 10 anos. Novamente, não é possível conhecer a cadeia de custódia dos papéis anteriormente ao seu uso no CM-ALESC.

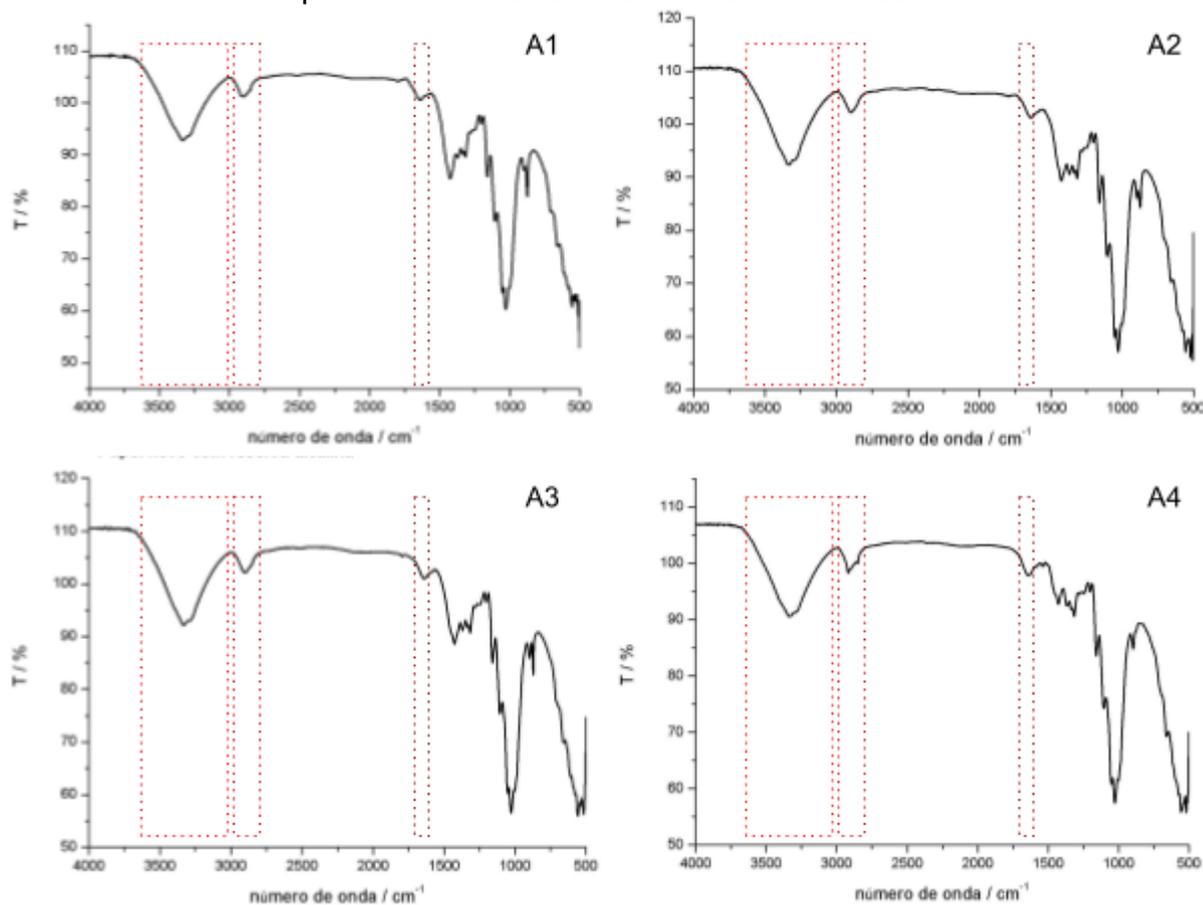
### **3.2 Espectroscopia de infravermelho com refletância total atenuada – FTIR-ATR**

Os espectros de infravermelho foram coletados em um espectrômetro JASCO, modelo FTIR-4100 com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ , com refletância total atenuada – acessório ATR, usando o software gerenciador de espectros JASCO. As amostras foram analisadas diretamente no cristal ATR. Os espectros foram registrados na faixa de  $4000$  a  $500\text{ cm}^{-1}$ , coletando 32 varreduras para cada amostra.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os espectros de FTIR relativos às amostras de papel estudados são apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Espectros FTIR das quatro amostras de papel analisadas com destaque para as bandas características da celulose



Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Em geral, os espectros de todas as amostras são muito semelhantes. Todos mostram bandas características da celulose (sinalizadas na Figura 7 pelas áreas pontilhadas): uma em torno de  $3300\text{ cm}^{-1}$ , duas bandas sobrepostas cerca de  $2900\text{ cm}^{-1}$  e uma banda em torno de  $1640\text{ cm}^{-1}$  (FIERASCU *et al*, 2020; COSTA *et al*, 2023 no prelo).

O Quadro 2 apresenta os valores de banda registrados nos espectros de cada amostra na região acima de  $1500\text{ cm}^{-1}$  e as respectivas vibrações geralmente associadas às bandas.

Quadro 2 – Valores de banda (em  $\text{cm}^{-1}$ ) registrados nos espectros das amostras para a região acima de  $1500 \text{ cm}^{-1}$

Amostra	$\nu(\text{—OH})$ $3000\text{-}3650 \text{ cm}^{-1}$	$\nu(\text{—CH})$ $2820\text{-}2950 \text{ cm}^{-1}$	$\text{CaCO}_3$ $\sim 1795 \text{ cm}^{-1}$	$\delta(\text{—OH})$ $1630\text{-}1640 \text{ cm}^{-1}$	$\nu(\text{C—N})$ $\sim 1540 \text{ cm}^{-1}$
A1	3334,32	2899,45	1796,37	1641,13	—
A2	3336,25	2899,45	—	1639,2	—
A3	3335,28	2899,45	—	1638,23	—
A4	3335,28	2850,27 2915,84	—	1644,02	1537,95

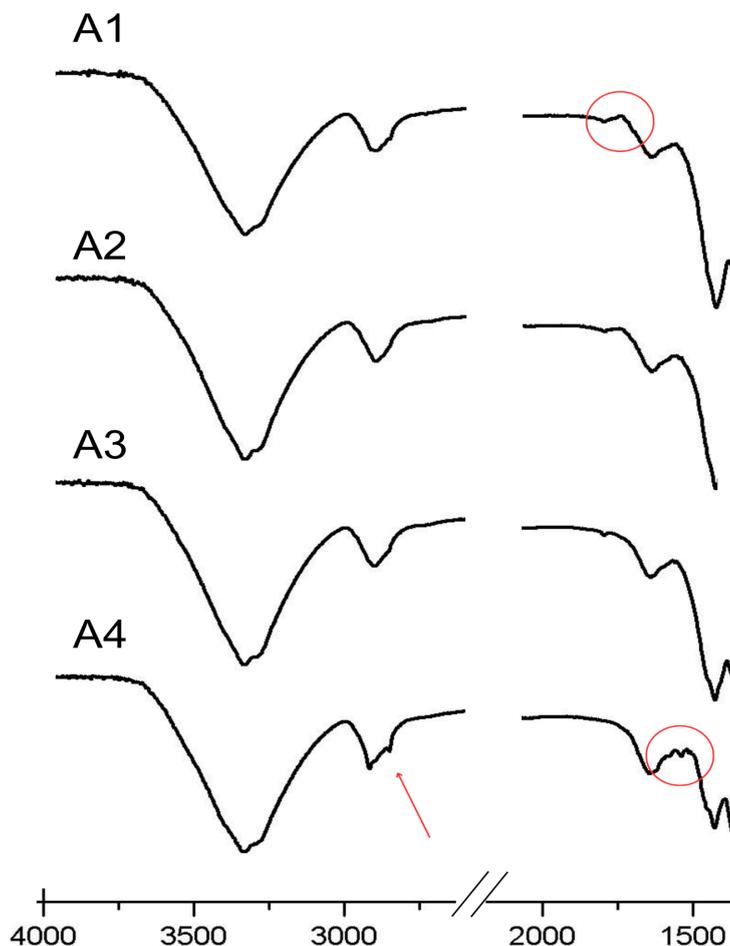
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A banda na faixa  $3000\text{-}3650 \text{ cm}^{-1}$  corresponde às vibrações de estiramento de grupos OH ligados por hidrogênio ( $\nu(\text{—OH})$ ) (FIERASCU *et al*, 2020; COSTA *et al*, 2023 no prelo) e ocorreu em todas as amostras. As bandas sobrepostas entre  $2820\text{-}2950 \text{ cm}^{-1}$  somente ocorreram em A4 ( $2850,27 \text{ cm}^{-1}$  e  $2915,84 \text{ cm}^{-1}$ , indicado na figura 8 por uma seta), ocorrendo nas demais amostras com apenas um pico. Estas bandas são atribuídas ao estiramento de grupos metil e metilenocelulose assimétricos e simétricos de celulose e hemicelulose ( $\nu(\text{—CH})$ ) (FIERASCU *et al*, 2020; COSTA *et al*, 2023 no prelo). Por fim, a banda entre  $1630\text{-}1640 \text{ cm}^{-1}$  é relativa ao estiramento  $\delta(\text{—OH})$  de moléculas de água adsorvidas na estrutura da celulose, e ocorreu em todas as amostras (FIERASCU *et al*, 2020; COSTA *et al*, 2023 no prelo).

Conforme sinalizado na Figura 8, além das bandas características da celulose observam-se, também uma banda em  $1796,37 \text{ cm}^{-1}$  em A1, e uma banda em  $1537,95 \text{ cm}^{-1}$  em A4.

Segundo Fierascu *et al* (2020), considerando dados históricos, bandas em torno de  $2515$ ,  $1795$ ,  $1430$  e  $875 \text{ cm}^{-1}$  podem ser atribuídas a carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), o que poderia indicar a presença deste em A1 (que apresenta banda em  $1796,37 \text{ cm}^{-1}$ ). Já a banda em  $1537,95 \text{ cm}^{-1}$  de A4 pode ser atribuída a  $\nu(\text{C—N})$  e  $\delta(\text{NH})$  do grupo Amida-II (VYSKOČILOVÁ *et al*, 2019) ou ao alongamento  $\text{COO—}$  assimétrico (FIERASCU *et al*, 2020), grupos que podem ocorrer devido a presença de gelatina ou ceras como o estearato de cálcio, utilizadas durante o processo de fabricação do papel (CALVINI; GORASSINI, 2002).

Figura 8 – Espectros FTIR das quatro amostras de papel analisadas com destaque para as bandas não características da celulose (circuladas)



Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Um ponto a se destacar é a ausência de bandas em  $1595\text{ cm}^{-1}$  e  $1505\text{ cm}^{-1}$ , bandas características para lignina, indicando que os papéis foram produzidos a partir de algodão ou passaram pelo processo de remoção da lignina (DRAGOJEVIĆ *et al*, 2021); e ausência de bandas na região de  $1700\text{ cm}^{-1}$ , região em que os produtos da oxidação da celulose são registrados (COSTA *et al*, 2023 no prelo).

Na região abaixo de  $1500\text{ cm}^{-1}$  encontramos informações quanto ao material celulósico e às cargas do papel (FIERASCU *et al*, 2020). A região da impressão digital da celulose encontra-se entre entre  $1190$  e  $900\text{ cm}^{-1}$  (COSTA *et al*, 2023 no prelo). No quadro 3 apresentam-se as bandas encontradas abaixo de  $1500\text{ cm}^{-1}$  para as amostras.

Quadro 3 – Valores de banda (em  $\text{cm}^{-1}$ ) registrados nos espectros das amostras para a região abaixo de  $1500 \text{ cm}^{-1}$

A1	<b>1426,1</b>	1370,18 1335,46 <b>1316,18</b>	<b>1203,36</b>	<b>1159,97</b> <b>1104,05</b>	<b>1051,01</b> <b>1028,84</b>	<b>896,737</b> 874,56	658,571	<b>554,434</b> 511,044 501,401
A2	<b>1426,1</b>	1370,18 <b>1316,18</b>	<b>1203,36</b>	<b>1159,97</b> <b>1105,01</b>	<b>1051,98</b> <b>1029,8</b>	<b>896,737</b> 874,56	655,679	<b>556,363</b> 523,57951 5,865 506,223
A3	<b>1426,1</b>	1370,18 <b>1316,18</b>	<b>1203,36</b>	<b>1159,01</b> <b>1105,01</b>	<b>1051,01</b> <b>1027,87</b>	<b>896,737</b> 871,667	—	<b>556,363</b> 534,185 515,865
A4	<b>1428,03</b>	1367,28 1334,5 <b>1316,18</b>	1280,5 1245,79 <b>1203,36</b>	<b>1159,01</b> <b>1105,01</b>	<b>1051,01</b> <b>1027,87</b>	<b>897,701</b>	660,5	<b>555,398</b> 519,722

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Todas as amostras apresentaram banda próximo de  $1420 \text{ cm}^{-1}$  ( $1426,1 \text{ cm}^{-1}$  para A1, A2, A3 e  $1428,03 \text{ cm}^{-1}$  para A4), que podem corresponder à flexão no plano  $\delta$  ( $\text{CH}_2$ ) (CALVINI; GORASSINI, 2002) ou ao estiramento  $\nu$ (C—O) do ânion  $\text{CO}_3^{2-}$  (CAUSIN et al, 2010). No primeiro caso, indicando presença de ácido carboxílico na forma de sais (o que evidenciaria a oxidação do papel) (FIERASCU *et al*, 2020); e no segundo caso, a presença de carbonato de cálcio, material utilizado no preparo do papel (COSTA *et al*, 2023 no prelo). A presença de bandas próximo de  $875 \text{ cm}^{-1}$  é outro indicativo da presença de carbonato de cálcio, que ocorre com uma forte absorção em  $1420 \text{ cm}^{-1}$  e duas bandas de absorção mais fracas em  $875$  e  $712 \text{ cm}^{-1}$  (DRAGOJEVIĆ *et al*, 2021). A confirmação do sal existente nas amostras dependeria da realização de outras técnicas analíticas, como MEV-EDS. A baixa intensidade do sinal de  $\delta$  ( $\text{CH}_2$ ) na região (próximo de  $1420 \text{ cm}^{-1}$ ) sinaliza uma molécula com estrutura amorfa ou com baixa cristalinidade (NA et al., 2004).

Outras bandas comuns à todas as amostras ocorreram próximo de:

- $1370 \text{ cm}^{-1}$  ( $1370,18 \text{ cm}^{-1}$  em A1, A2, A3 e  $1367,28 \text{ cm}^{-1}$  em A4), correspondendo a flexão no plano  $\delta$  (CH) (ASENSIO *et al*, 2009);
- $1315 \text{ cm}^{-1}$  ( $1316,18 \text{ cm}^{-1}$  em todas as amostras), banda que corresponde a vibrações de flexão  $\delta$  ( $\text{CH}_2$ ) relacionadas à celulose cristalizada I (DAI; FAN, 2010);
- $1202 \text{ cm}^{-1}$  ( $1203,36 \text{ cm}^{-1}$  em todas as amostras) banda que corresponde ao alongamento simétrico C-O-C em celulose e hemicelulose (FIERASCU *et al*, 2020);

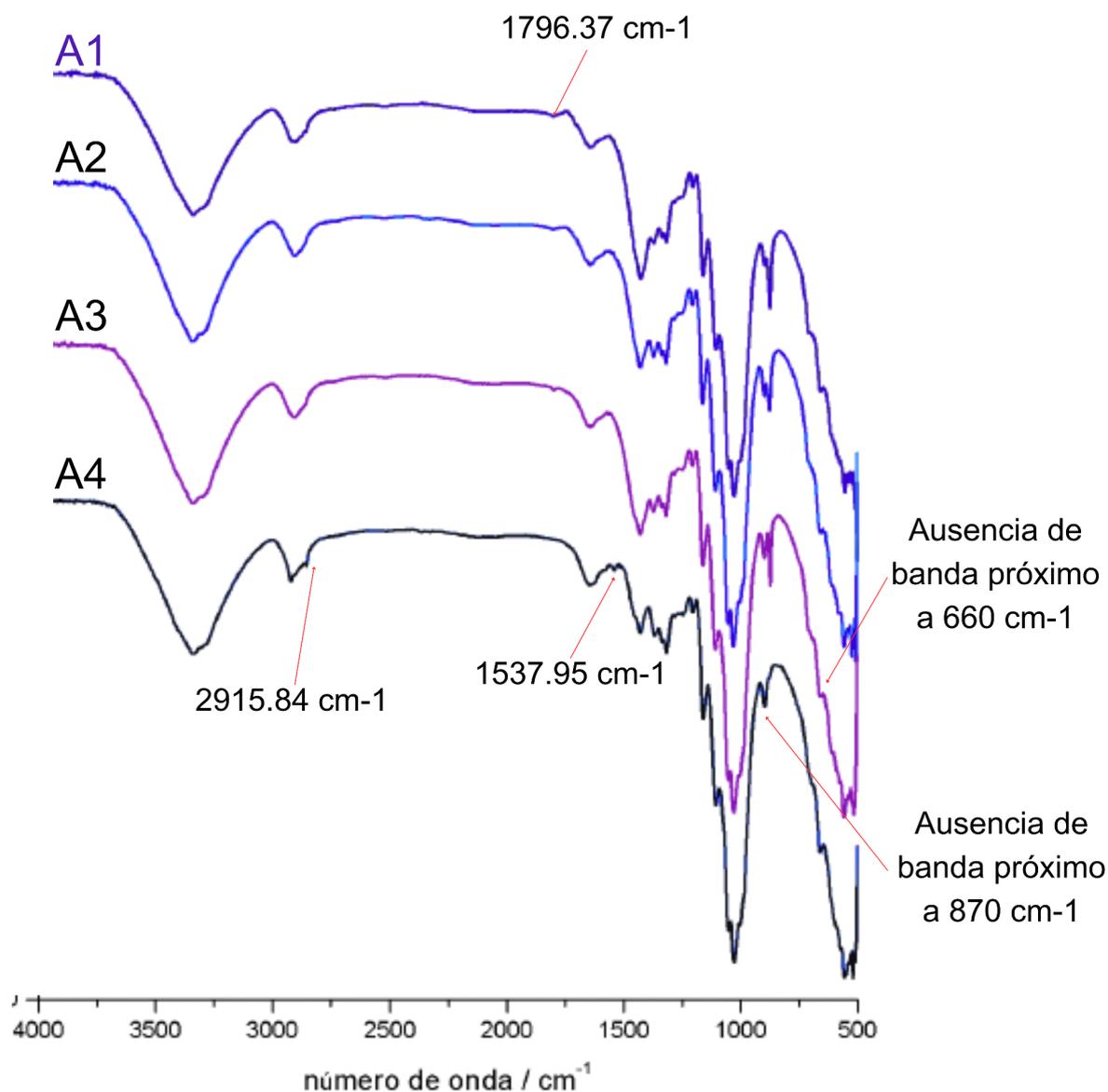
- 1155  $\text{cm}^{-1}$  (1159,97  $\text{cm}^{-1}$  em A1 e A2; e 1159,01  $\text{cm}^{-1}$  em A3 e A4) banda que pode ser atribuída ao estiramento  $\nu(\text{C-O-C})$  da ligação  $\beta$ -(1-4)-glicosídica (FIERASCU *et al*, 2020);
- 1105  $\text{cm}^{-1}$  (1105,01  $\text{cm}^{-1}$  em A2, A3, A4 e 1104,05  $\text{cm}^{-1}$  em A1) banda que é atribuída ao estiramento assimétrico do anel glicosídico (COSTA *et al*, 2023 no prelo);
- 1055  $\text{cm}^{-1}$  (1051,01  $\text{cm}^{-1}$  em A1, A3, A4 e 11051,98  $\text{cm}^{-1}$  em A2) atribuída ao estiramento  $\nu(\text{C-O})$  do álcool secundário (FIERASCU *et al*, 2020);
- 1026  $\text{cm}^{-1}$  (1028,84  $\text{cm}^{-1}$  em A1, 1029,8  $\text{cm}^{-1}$  em A2, 1027,87  $\text{cm}^{-1}$  em A3 e A4) atribuída a vibrações de estiramento  $\nu(\text{C-O})$  do álcool primário (FIERASCU *et al*, 2020);
- 896  $\text{cm}^{-1}$  (896.737  $\text{cm}^{-1}$  em A1, A2, A3 e 897,701  $\text{cm}^{-1}$  em A4) deformação e alongamento de C-O-C, CCO e CCH (DAI; FAN, 2010); e
- 555  $\text{cm}^{-1}$  (554,43  $\text{cm}^{-1}$  em A1, 556,363  $\text{cm}^{-1}$  em A2 e A3 e 555,398  $\text{cm}^{-1}$  em A4), atribuído ao silanol (Si-OH) (SCHMIDT ;FRÖHLICH, 2011).

Quanto às diferenças entre as amostras, todas as amostras novas (A1, A2, A3) apresentaram banda em 874,56  $\text{cm}^{-1}$ , relacionada ao aditivo carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (ASENSIO *et al*, 2009), ausente em A4. A4 apresentou banda suplementar à de 1240  $\text{cm}^{-1}$  (1245,79  $\text{cm}^{-1}$ ) que corresponde ao grupo arila C-O da lignina (GARSIDE; WYET, 2003) e banda próximo de 1280  $\text{cm}^{-1}$  atribuída à torção  $\delta(\text{CH}_2)$  (GARSIDE; WYET, 2003), ausentes nas amostras novas (A1, A2, A3). É curioso o registro da banda próximo a 660  $\text{cm}^{-1}$  em A4 (provável carga de sulfato de cálcio, com bandas em torno de 665  $\text{cm}^{-1}$ ) (FIERASCU *et al*, 2020) e sua ausência em A3, papel supostamente com reserva alcalina.

Ao comparar todos os espectros ATR-FTIR registrados, entretanto, percebe-se que há uma diferença muito pequena entre as amostras. Todas apresentam bandas muito próximas e similares. A exceção à similaridade ocorreu nas bandas 1796,37  $\text{cm}^{-1}$  apenas em A1 e 874,56  $\text{cm}^{-1}$  em A1, A2 e A3 (indicando possível presença de carbonato de cálcio); na banda próximo a 660  $\text{cm}^{-1}$  (possivelmente relacionada a carga de sulfato de cálcio, ausente em A3); e na

banda  $1537,95\text{ cm}^{-1}$  (que não corresponde a um grupo químico conhecido da celulose, possivelmente indicando a presença de amidas em A4).

Figura 9 – Espectros FTIR das quatro amostras de papel analisadas com destaque para as bandas que diferem as amostras



Fonte: Dados da pesquisa (2023)

Quanto à comparação entre os papéis analisados, parece não haver diferença considerável entre o papel com Reserva alcalina (A3) e papéis neutros (A1 e A2), pois todos possuem bandas muito próximas, com exceção da banda próximo a  $660\text{ cm}^{-1}$  ausente em A3.

Também parece não haver diferença considerável entre o papel neutro aberto há 15 anos (A2) e o papel neutro novo (A1), ambos com bandas similares. A1 pode conter maior reserva de carbonato de cálcio (dada a banda em  $1796,37\text{ cm}^{-1}$ ); entretanto, ambos possuem banda em  $874,56\text{ cm}^{-1}$ , relacionada ao aditivo carbonato de cálcio

Por fim, a degradação de A4 parece estar controlada, evidenciada apenas por alguns deslocamentos das bandas, presença de uma banda suplementar à de  $1240\text{ cm}^{-1}$  e ausência da banda próxima a  $870\text{ cm}^{-1}$ .

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Amostras de papéis (novos e usados) utilizados no armazenamento primário de acervos em papel foram estudadas, para verificar os aditivos encontrados e verificar e caracterizar a degradação química dos papéis de conservação já utilizados em ambiente de arquivo. Foram realizadas leituras em FTIR para obtenção do espectro das amostras e identificação de grupos presentes.

Os espectros mostraram-se bastante homogêneos com muito poucas variações entre as amostras. Bandas no FTIR típicas de celulose foram encontradas em todas as amostras. Foi possível verificar a presença de algumas bandas possivelmente relacionadas à carga alcalina adicionada aos papéis novos, bem como sua ausência no papel usado.

A pesquisa deve ser aprofundada com a utilização de outras técnicas analíticas para identificação da estrutura morfológica do papel e composição química.

## REFERÊNCIAS

AHN, Kyujin; BANIK, Gerhard; POTTHAST, Antje. Sustainability of Mass-Deacidification. Part II: Evaluation of Alkaline Reserve. **Restaurator**. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material, v. 33, n. 1, p. 48–75, 2012. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/res-2012-0003/html>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

AHN, Kyujin; ROSENAU, Thomas; POTTHAST, Antje. The influence of alkaline reserve on the aging behavior of book papers. **Cellulose**, v. 20, n. 4, p. 1989–2001, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10570-013-9978-3>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

AHN, Kyujin; ZACCARON, Sara; ZWIRCHMAYR, Nele S.; et al. Yellowing and brightness reversion of celluloses: CO or COOH, who is the culprit? **Cellulose**, v. 26, n. 1, p. 429–444, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10570-018-2200-x>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

ALBERTINI, V. Rossi; PACI, B.; GENEROSI, A. Energy dispersive x-ray reflectometry as a unique laboratory tool for investigating morphological properties of layered systems and devices. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 39, n. 23, p. R461, 2006. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1088/0022-3727/39/23/R01>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

ALI, M; EMSLEY, A. M; HERMAN, H; et al. Spectroscopic studies of the ageing of cellulosic paper. **Polymer**, v. 42, n. 7, p. 2893–2900, 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386100006911>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

APPELBAUM, Barbara. **Metodologia do tratamento de conservação**. Porto Alegre: ACORRS, 2017.

APPELBAUM, Barbara. **Preservar, proteger e defender: um guia prático para o cuidado de coleções**. Porto Alegre: ACORRS, 2023.

AREA, María Cristina; CHERADAME, Hervé. Paper aging and degradation: recent findings and research methods. **BioResources**, v. 6, n. 4, p. 5307–5337, 2011. Disponível em: <<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/issues/vol6-issue4/page/13/>>. Acesso em: 10 jun. 2023

ARTIOLI, Gilberto. **Scientific Methods and Cultural Heritage: An introduction to the application of materials science to archaeometry and conservation science**. Oxford: Oxford Academic, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199548262.001.0001>>. Acesso em: 10 jun. 2023

ASENSIO, Ruth Chércoles; SAN ANDRÉS MOYA, Margarita; DE LA ROJA, José Manuel; et al. Analytical characterization of polymers used in conservation and restoration by ATR-FTIR spectroscopy. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 395, n. 7, p. 2081–2096, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00216-009-3201-2>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

AUADA, Fernanda Mokdessi. **Papéis para imprimir e escrever vítimas de enchente real: recuperação por radiação gama de Co-60**. 2018. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. <https://doi:10.11606/T.85.2018.de-05072018-153352>. Acesso em: 10 jun. 2023.

BRASIL. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Ciência da Informação. **Regimento do curso de pós-graduação lato sensu conservação e restauração de**

**documentos em suporte de papel.** Florianópolis: UFSC, 2022. Disponível em: <<https://especorpapel.ufsc.br/files/2022/01/Ponto-3.-Regimento-do-curso.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

BRASIL. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Ciência da Informação. **Sobre o curso. Curso de Pós-Graduação lato sensu em "Conservação e Restauração de documentos em suporte de papel"**. Florianópolis: UFSC, 2022. Disponível em: <<https://especorpapel.ufsc.br/ocurso/>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

BAGLIONI, Piero; CHELAZZI, David. How Science Can Contribute to the Remedial Conservation of Cultural Heritage. **Chemistry – A European Journal**, v. 27, n. 42, p. 10798–10806, 2021. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/chem.202100675>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

BITOSSI, Giovanna; GIORGI, Rodorico; MAURO, Marcello; et al. Spectroscopic Techniques in Cultural Heritage Conservation: A Survey. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 40, n. 3, p. 187–228, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1081/ASR-200054370>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

BLAZNIK, Barbara; GREGOR-SVETEC, Diana; BRAČKO, Sabina. Influence of light and temperature on optical properties of papers. **Cellulose chemistry and technology**, v. 51, n. 7–8, p. 755–764, 2017. Disponível em: <[https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT7-8\(2017\)/p.755-764.pdf](https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT7-8(2017)/p.755-764.pdf)>. Acesso em: 9 jun. 2023.

ČABALOVÁ, Iveta; KAČÍK, František; GOJNÝ, Jan; et al. Changes in the Chemical and Physical Properties of Paper Documents due to Natural Ageing. **BioResources**, v. 12, n. 2, p. 2618–2634, 2017. Disponível em: <<https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/changes-in-the-chemical-and-physical-properties-of-paper-documents-due-to-natural-ageing/>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

CALVINI, P.; GORASSINI, A. FTIR – Deconvolution Spectra of Paper Documents. **Restaurator**, v. 23, n. 1, 2002. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/REST.2002.48/html>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

CARTER, Henry A. The Chemistry of Paper Preservation Part 2. The Yellowing of Paper and Conservation Bleaching. **Journal of Chemical Education**, v. 73, n. 11, p. 1068, 1996. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed073p1068>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

CARTER, Henry A. The Chemistry of Paper Preservation: Part 4. Alkaline Paper. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 5, p. 508, 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/ed074p508>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

CARTER, Henry A. The Chemistry of Paper Preservation. Part 5. Permanent Paper. **Journal of Chemical Education**, v. 84, n. 12, p. 1937, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/ed084p1937>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

CASSARES, Norma. **Como fazer conservação preventiva em arquivos e bibliotecas.** São Paulo: APSP, 2000.

CASSARES, Norma; TANAKA, Ana Paula. **Preservação de acervos bibliográficos.** São Paulo: ABER, 2008.

CAUSIN, Valerio; MAREGA, Carla; MARIGO, Antonio; et al. Forensic differentiation of paper by X-ray diffraction and infrared spectroscopy. **Forensic Science International**, v. 197, n. 1, p. 70–74, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037907380900557X>>. Acesso em: 14 jun. 2023.

CLARO, Paulo Ribeiro. Espectroscopia. **Revista de Ciência Elementar**, Porto, v. 5, n. 4, p. 1-4, 30 dez. 2017. ICETA. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.24927/rce2017.052>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

COPPOLA, Floriana; MODELLI, Alberto; STRLIČ, Matija; et al. Kinetics of degradation of non-recycled and recycled contemporary paper. **Cellulose**, v. 25, n. 9, p. 5337–5347, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10570-018-1951-8>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

COSTA, Thiago G.; DA SILVA, Beatriz Felix Pimenta; DE MATTOS, Lucas Palma; et al. Analysis of the constituent materials of 19th century paintings attributed to Louis-Auguste Moreaux belonging to the Historical Museum of Santa Catarina – Florianópolis, Brazil. **Forensic Chemistry**, v. 16, p. 100177, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468170919300748>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

COSTA, Thiago G.; KARPINSKI, Cezar; REGIANI, Anelise; CUNHA, Rita de Cássia Castro da; LEMOS, Leonardo Hermes. Análise instrumental em documentos históricos custodiados por museu municipal de nova veneza – sc. **Revista Eletrônica Ventilando Acervos**, Florianópolis, v. especial, n. 1, jul. 2023. No prelo.

COSTA, Thiago G.; MANGRICH, Antônio Salvio; DE MATTOS, Lucas Palma; et al. Pre-colonial culture and technology through elemental and molecular analysis of ceramics with decorative paintings found at Tapera beach, Florianópolis, Brazil. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 243, p. 118773, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386142520307526>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

COSTA, Thiago G.; RICHTER, Fábio Andreas; CASTRO, Elisiana Trilha; et al. Elemental identification of blue paintings traces present in historic cemeteries in the São Martinho region, southern Brazil. **Journal of Molecular Structure**, v. 1155, p. 434–442, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022286017315004>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

DAI, Dasong; FAN, Mizi. Characteristic and Performance of Elementary Hemp Fibre. **Materials Sciences and Applications**, v. 01, n. 06, p. 336–342, 2010. Disponível em: <<http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/msa.2010.16049>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmen Isse; MACHADO, Giovana. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. Disponível em: <<https://editora.pucrs.br/edipucrs/acessolivre/livros/microscopia.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

DERKACHEVA, O. Yu. Determination of Cellulose Fiber Structure Using IR Reflectance Spectroscopy of Paper. **Journal of Applied Spectroscopy**, v. 81, n. 6, p. 1037–1043, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10812-015-0047-6>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

DERRICK, Michele R.; STULIK, Dusan; LANDRY, James M. **Infrared Spectroscopy in Conservation Science**. Los Angeles: Getty Publications, 2000.

DEVENTER, Ronald Van; HAVERMANS, John; BERKHOUT, Sandra. A Comparison of Three Durability Standards for Paper. **Restaurator**. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material, v. 16, n. 3, p. 161–174, 1995. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/rest.1995.16.3.161/html>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

DONCEA, Sanda Maria; ION, Rodica Mariana; FIERASCUI, Radu Claudiu; et al. Spectral methods for historical paper analysis: composition and age approximation. **Instrumentation Science & Technology**, v. 38, n. 1, p. 96–106, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10739140903430271>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

DRAGOJEVIĆ, Andreja; GREGOR-SVETEC, Diana; VODOPIVEC TOMAŽIČ, Jedert; et al. Characterization of seventeenth century papers from Valvasor's collection of the Zagreb Archdiocese. **Heritage Science**, v. 9, n. 1, p. 35, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40494-021-00507-2>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

ELMETWALY, Tamer E.; DARWISH, Sawsan S.; ATTIA, Nour F.; et al. Cellulose nanocrystals and its hybrid composite with inorganic nanotubes as green tool for historical paper conservation. **Progress in Organic Coatings**, v. 168, p. 106890, 2022. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300944022001874>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

EL-SAIED, Houssni; BASTA, Altaf H.; ABDU, Mona M. Permanence of Paper 1. Problems and Permanency of Alum-Rosin Sized. **Paper Sheets from Wood Pulp**. v. 19, n. 3, p. 155–171, 1998. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/rest.1998.19.3.155/html>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

FEATHER, John. **Managing Preservation for Libraries and Archives: Current Practice and Future Developments**. Oxford: Routledge, 2018.

FIERASCU, Irina; FIERASCU, Radu Claudiu; STIRBAN, Alexandru; et al. Chemical and mineral characterization of Romanian book paper materials (XVII–XIXth century). **Microchemical Journal**, v. 152, p. 104307, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X19320867>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

FIGUEIREDO JUNIOR, João Cura D'Ars de. **Química aplicada à conservação e restauração de bens culturais: uma introdução**. Belo Horizonte: São Jerônimo, 2012.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FRASE, Robert W. Permanent Paper: A Progress Report. **IFLA Journal**, v. 17, n. 4, p. 366–370, 1991. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/034003529101700408>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

FRASE, Robert W. Preserving our Documentary Heritage: The Case for Permanent Paper. **IFLA Journal**, v. 23, n. 2, p. 140–143, 1997. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/034003529702300212>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

FRITOLI, Clara Landim. **Análise da Degradação de Amostras de Papel Expostas a Diferentes Condições Higrotérmicas**. 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia)

- Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/975>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

FRITOLI, Clara Landim; KRÜGER, Eduardo Leite; CARVALHO, Silmara Küster de Paula. História do papel: panorama evolutivo das técnicas de produção e implicações para sua preservação. **Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação**, v. 9, n. 2, p. 475–502, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/RICI/article/view/2424>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

GARSDIE, Paul; WYETH, Paul. Identification of Cellulosic Fibres by FTIR Spectroscopy: Thread and Single Fibre Analysis by Attenuated Total Reflectance. **Studies in Conservation**, v. 48, n. 4, p. 269–275, 2003. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1506916>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

GAVRILOV, D.; MAEV, R.Gr.; ALMOND, D.P. A review of imaging methods in analysis of works of art: Thermographic imaging method in art analysis. **Canadian Journal of Physics**, v. 92, n. 4, p. 341–364, 2014. Disponível em: <<https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/cjp-2013-0128>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

GIMAT, Alice; MICHELIN, Anne; BELHADJ, Oulfa; et al. Paper sizing with gelatine: from the macro-to the nano-scale. **Cellulose**, v. 28, n. 4, p. 2419–2432, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10570-020-03655-z>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

GIMAT, Alice; SCHÖDER, Sebastian; THOURY, Mathieu; et al. Degradation of historical paper induced by synchrotron X-ray technical examination. **Cellulose**, v. 29, n. 8, p. 4347–4364, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10570-022-04552-3>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

GIMAT, Alice; SCHOEDER, Sebastian; THOURY, Mathieu; et al. Impact of the Paper Degradation State and Constituents on Its Behavior During and After X-ray Exposure. **Research Square**, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1000597/v1>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

GOMES, Sônia de Conti; MOTTA, Rosemary Tofani. **Técnicas alternativas de conservação**: recuperação de livros, revistas, folhetos e mapas. Belo Horizonte: UFMG, 1997.

HOEL, Ivar. Standards for Permanent Paper. In: IFLA General Conference, 64th, 1998, Amsterdam. **Proceedings**. Disponível em: <<https://archive.ifla.org/IV/ifla64/115-114e.htm>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

HON, David; SHIRAISHI, Nobuo. **Wood and Cellulosic Chemistry**. New York: Marcel Dekker, 2001.

HORST, Tali; SMITH, Richard; POTTHAST, Antje; et al. Accelerated Aging of Deacidified and Untreated Book Paper in 1967 Compared with 52 Years of Natural Aging. **Restaurator. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material**, v. 41, n. 3, p. 131–152, 2020. Disponível em: <<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/res-2020-0006/html?lang=en>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

ICCROM. **A guide to risk management of cultural heritage**. Ottawa: ICCROM, 2016. Disponível em:

<[https://www.iccrom.org/sites/default/files/Guide-to-Risk-Management\\_English.pdf](https://www.iccrom.org/sites/default/files/Guide-to-Risk-Management_English.pdf)>. Acesso em: 9 maio 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9706**. Information and documentation. Paper for documents. Requirements for Permanence. Genève: ISO, 1994.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11108**. Archival paper – Requirements for permanence and durability. Genève: ISO, 1996.

IZDEBSKA, Joanna. Aging and Degradation of Printed Materials. In: IZDEBSKA, Joanna; THOMAS, Sabu (Orgs.). **Printing on Polymers: Fundamentals and Applications** New York: William Andrew Publishing, 2016, p. 353–370. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323374682000221>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

JABLONSKY, Michal; ŠIMA, Jozef. Oxidative degradation of paper – A minireview. **Journal of Cultural Heritage**, v. 48, p. 269–276, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207421000285>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

JEONG, Myung-Joon; DUPONT, Anne-Laurence; DE LA RIE, E. René. Degradation of cellulose at the wet–dry interface. II. Study of oxidation reactions and effect of antioxidants. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 671–683, 2014. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861713009727>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

KOVALEV, Iliia. **Unveiling Portuguese Modern Mural Painting: Multi-Analytical Analysis of a Pentecostes by Julio Resende (1917-2011)**. 2018. Dissertação (Master in Archaeological Materials Science) Universidade de Évora, Évora, 2018. Disponível em: <<https://www.proquest.com/docview/2592286403/abstract/B2A19B582B944205PQ/1>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

KRIEG, Till; MAZZON, Cristian; GÓMEZ-SÁNCHEZ, Elena. Material Analysis and a Visual Guide of Degradation Phenomena in Historical Synthetic Polymers as Tools to Follow Ageing Processes in Industrial Heritage Collections. **Polymers**, v. 14, n. 1, p. 121, 2021. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8747559/>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

LEHENY, Sophie; ROBBINS, Thomas C.; ROBBINS, Catherine K.; et al. Directional dependence of the mechanical properties of aged paper. **Mechanics of Materials**, v. 162, p. 104036, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167663621002623>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

LIU, Guan-Lin; G. KAZARIAN, Sergei. Recent advances and applications to cultural heritage using ATR-FTIR spectroscopy and ATR-FTIR spectroscopic imaging. **Analyst**, v. 147, n. 9, p. 1777–1797, 2022. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/an/d2an00005a>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

ŁOJEWski, Tomasz; ZIĘBA, Katarzyna; KNAPIK, Arkadiusz; et al. Evaluating paper degradation progress. Cross-linking between chromatographic, spectroscopic and chemical results. **Applied Physics A**, v. 100, n. 3, p. 809–821, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00339-010-5657-5>>. Acesso em: 6 abr. 2023.

- LOZO, Branka; VYÖRYKKÄ, Jouko; VUORINEN, Tapani; et al. Nondestructive Microscopic and Spectroscopic Methods for Depth Profiling of Ink Jet Prints. **Journal of Imaging Science and Technology**, v. 50, n. 4, p. 333–340, 2006. Disponível em: <<https://library.imaging.org/jist/articles/50/4/art00004>>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- LUO, Yujia; CIGIĆ, Irena Kralj; WEI, Quan; et al. Characterisation and durability of contemporary unsized Xuan paper. **Cellulose**, v. 28, n. 2, p. 1011–1023, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10570-020-03554-3>>. Acesso em: 9 jun. 2023.
- LYALL, Jan. Permanent paper: to be or not to be? **AICCM Bulletin**, v. 16, n. 4, p. 11–21, 1990. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1179/bac.1990.16.4.002>>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- MAŁACHOWSKA, Edyta; PAWCENIS, Dominika; DAŃCZAK, Jacek; et al. Paper Ageing: The Effect of Paper Chemical Composition on Hydrolysis and Oxidation. **Polymers**, v. 13, n. 7, p. 1029, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4360/13/7/1029>>. Acesso em: 9 jun. 2023.
- MALEŠIČ, Jasna; MARINŠEK, Marjan; KRALJ CIGIĆ, Irena. Evaluation of Bookkeeper mass deacidification based on historical book papers. **Cellulose**, v. 29, n. 12, p. 6889–6905, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10570-022-04681-9>>. Acesso em: 9 jun. 2023.
- MANGLIK, Saurabh. Role of acid-free paper in libraries: A survey. **International Journal of Library and Information Science**, v. 6, n. 2, p. 19–21, 2014. Disponível em: <<http://academicjournals.org/journal/IJLIS/article-abstract/792CAE946705>>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- MANSO, M.; CARVALHO, M.L. Application of spectroscopic techniques for the study of paper documents: A survey. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, v. 64, n. 6, p. 482–490, 2009. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0584854709000184>>. Acesso em: 9 jun. 2023.
- MEDEIROS, André Luiz de Vasconcelos; BOJANOSKI, Silvana. Análise morfológica das fibras de papéis utilizados na conservação e restauro de documentos. In: Congresso de Iniciação Científica, 20º, 2011, Pelotas. **Anais**. Disponível em: <[https://www2.ufpel.edu.br/cic/2011/anais/pdf/CH/CH\\_00328.pdf](https://www2.ufpel.edu.br/cic/2011/anais/pdf/CH/CH_00328.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- MENART, Eva; DE BRUIN, Gerrit; STRLIČ, Matija. Dose–response functions for historic paper. **Polymer Degradation and Stability**, v. 96, n. 12, p. 2029–2039, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez46.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0141391011002977>>. Acesso em: 9 jun. 2023.
- MENDES, Marylka; SILVEIRA, Luciana da; BEVILAQUA, Fátima; et al. **Conservação: conceitos e práticas**. Rio de Janeiro, UFRJ, 2011.
- MISSORI, M.; PULCI, O.; TEODONIO, L.; et al. Optical response of strongly absorbing inhomogeneous materials: Application to paper degradation. **Physical Review B**, v. 89, n. 5, p. 054201, 2014. Disponível em: <<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevB.89.054201>>. Acesso em: 22 maio 2023.
- MOHAMED, M. A.; JAAFAR, J.; ISMAIL, A. F.; et al. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. In: HILAL, Nidal; ISMAIL, Ahmad Fauzi; MATSUURA, Takeshi; et al (Orgs.). **Membrane Characterization**. Amsterdam: Elsevier, 2017, p. 3–29. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444637765000012>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

NA, Na; OUYANG, Qi-ming; MA, Hui; et al. Non-destructive and in situ identification of rice paper, seals and pigments by FT-IR and XRD spectroscopy. **Talanta**, v. 64, n. 4, p. 1000–1008, 2004. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003991400400222X>>. Acesso em: 14 jun. 2023.

NANDIYANTO, Asep Bayu Dani; OKTIANI, Rosji; RAGADHITA, Risti. How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. **Indonesian Journal of Science and Technology**, v. 4, n. 1, p. 97, 2019. Disponível em:

<<http://ejournal.upi.edu/index.php/ijost/article/view/15806>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

NATIONAL INFORMATION STANDARDS ORGANIZATION. American National Standards Institute. **ANSI/NISO Z39.48-1992**. Permanence of paper for publications and documents in libraries and archives. Bethesda, Md., U.S.A.: NISO Press, c1993.

NUNES, Sofia Alexandra Ribeiro. **Acetato de celulose em património cultural**: o grau de substituição como indicador da degradação. 2019. Dissertação (Mestrado em Conservação e Restauro). Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2019. Disponível em:

<<http://hdl.handle.net/10362/126752>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

PARSA SADR, A.; BOSCO, E.; SUIKER, A. S. J. Multi-scale model for time-dependent degradation of historic paper artifacts. **International Journal of Solids and Structures**, v. 248, p. 111609, 2022. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020768322001433>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

PAVIA, Donald; GARY, Lampman; KRIZ, George; et al. **Introdução à Espectroscopia**. São Paulo: Cengage do Brasil, 2010.

PINZARI, Flavia; ZOTTI, Mirca; DE MICO, Antonella; et al. Biodegradation of inorganic components in paper documents: Formation of calcium oxalate crystals as a consequence of *Aspergillus terreus* Thom growth. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 64, n. 6, p. 499–505, 2010. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830510001125>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

PITARCH MARTÍ, Àfrica. **Spectroscopic analytical methodologies for the study of Cultural Heritage materials**. 2011. Tese (Doutorado em Geologia). Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, 2011. Disponível em:

<[https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2014/hdl\\_10803\\_285774/apm1de1.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2014/hdl_10803_285774/apm1de1.pdf)>. Acesso em: 9 jun. 2023.

POTTHAST, Antje; AHN, Kyujin; BECKER, Manuel; et al. Acetylation of cellulose – Another pathway of natural cellulose aging during library storage of books and papers. **Carbohydrate Polymers**, v. 287, p. 119323, 2022. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861722002272>>. Acesso em: 22 maio 2023.

RAMÍREZ BARAT, Blanca; CANO, Emilio; MOLINA, María Teresa; et al. Design and validation of tailored colour reference charts for monitoring cultural heritage degradation. **Heritage Science**, v. 9, n. 1, p. 41, 2021. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1186/s40494-021-00511-6>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

ROVALETTI, Anna; DE GIOIA, Luca; FANTUCCI, Piercarlo; et al. Recent Theoretical Insights into the Oxidative Degradation of Biopolymers and Plastics by Metalloenzymes. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 7, p. 6368, 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1422-0067/24/7/6368>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

SANDY, Danielly Dias. **Iniciação à técnica de conservação e restauro: fundamentos teóricos**. Curitiba: InterSaber, 2020.

SANTOS, Jani Pereira dos. **A Preservação de Documentos Gráficos: estudo de dois livros dos séculos XVII e XVIII da Biblioteca Joanina da Universidade de Coimbra**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências da Conservação e Restauro). Universidade de Coimbra, Coimbra, 2015. Disponível em: <<https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/79346/1/2015-ConservRest-SantosJP.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2023

SAUSP. **Manual de conservação preventiva de documentos: papel e filme**. São Paulo: EDUSP, 2005.

SCHMIDT, Patrick; FRÖHLICH, François. Temperature dependent crystallographic transformations in chalcedony, SiO<sub>2</sub>, assessed in mid infrared spectroscopy. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 78, n. 5, p. 1476–1481, 2011. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1386142511000631>>. Acesso em: 14 jun. 2023.

SILVA, Deusanilde; D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero. Nanocristais de celulose. **O papel**, v. 70, n. 07, p. 34–52, 2009. Disponível em: <[http://revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311883542\\_1b4f1881c01129ce934b0cb4b4ebb9ab\\_343315426.pdf](http://revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311883542_1b4f1881c01129ce934b0cb4b4ebb9ab_343315426.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2023.

SPNHC. The Society for the Preservation of Natural History Collections. **Paper Conservation**. Topeka, KS, USA: SPNHC, 2023. Disponível em: <[https://spnhc.biowikifarm.net/wiki/Paper\\_Conservation](https://spnhc.biowikifarm.net/wiki/Paper_Conservation)>. Acesso em: 9 jun. 2023

SPINELLI JUNIOR, Jayme. **Conservação de acervos bibliográficos e documentais**. Rio de Janeiro: BN, 1997.

STRLIČ, Matija; KOLAR, Jana (Orgs.). **Ageing and stabilisation of paper**. Ljubljana: National and University Library, 2005.

STRLIČ, Matija; LIU, Yun; LICHTBLAU, Dirk Andreas; et al. Development and mining of a database of historic European paper properties. **Cellulose**, v. 27, n. 14, p. 8287–8299, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10570-020-03344-x>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

STUHRKE, Richard A. The Development of Permanent Paper. In: **Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value**. Washington, D.C.: AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, 1978, v. 164, p. 24–36. 0v. (Advances in Chemistry, 164). Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/ba-1977-0164.ch002>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

TITUBANTE, Mattia; MARCONI, Claudia; CITIULO, Lucia; et al. Analysis and diagnosis of the state of conservation and restoration of paper-based artifacts: A non-invasive approach. **Journal of Cultural Heritage**, v. 55, p. 290–299, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207422000711>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

VAHUR, Signe; EERO, Liisa; LEHTARU, Jaan; et al. Quantitative non-destructive analysis of paper fillers using ATR-FT-IR spectroscopy with PLS method. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 411, n. 20, p. 5127–5138, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00216-019-01888-x>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

VIBERT, Caroline; FAYOLLE, Bruno; DUPONT, Anne-Laurence; et al. Durability of permanent paper under storage conditions. In: ICOM-CC Working Group Graphic Documents, Interim Meeting, 2022a, Paris. **Proceedings**. Disponível em: <<https://iada-home.org/events/icom-cc-working-group-graphic-documents-interim-meeting-sustainability-and-diversity-in-conservation-practice-and-recent-advances-in-preventive-conservation/>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

VIBERT, Caroline; FAYOLLE, Bruno; RICARD, Denise; et al. Quantification of acids and chromophores in permanent paper upon accelerated ageing. In: International Conference Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments, 15th, 2022b, Lituania. **Proceedings**. Disponível em: <<https://hal.science/hal-03797469>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

VIBERT, Caroline; MOUCHARD, Hugo; FAYOLLE, Bruno; et al. Structure-properties relationship in artificially aged paper. In: European Solid Mechanics Conference, 11th, 2022c, Ireland. **Proceedings**. Disponível em: <<https://hal.science/hal-03798993>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

VIBERT, Caroline; FAYOLLE, Bruno; RICARD, Denise; et al. Decoupling hydrolysis and oxidation of cellulose in permanent paper aged under atmospheric conditions. **Carbohydrate Polymers**, v. 310, p. 120727, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861723001911>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

VIEIRA, Maria Eduarda Martins; SILVA, Mariana Leite Simões E; OLIVEIRA, Luiz Fernando Cappa De; et al. Espectroscopia 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, p. e262101018622, 2021. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18622>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

VOLPATO, Gilson. **Guia prático para redação científica**. Botucatu: Bestwriting, 2015

VYSKOČILOVÁ, Gabriela; EBERSBACH, Matthäa; KOPECKÁ, Radka; et al. Model study of the leather degradation by oxidation and hydrolysis. **Heritage Science**, v. 7, n. 1, p. 26, 2019. Disponível em: <<https://heritagesciencejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40494-019-0269-7>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

WORKMAN, Jerome J. Infrared and Raman spectroscopy in paper and pulp analysis. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 36, n. 2–3, p. 139–168, 2001. Disponível em: <<https://www.tandfonline.ez46.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1081/ASR-100106154>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

YAN, Yueer; WEN, Chenqing; JIN, Ming; et al. FTIR Spectroscopy in Cultural Heritage Studies: Non-destructive Analysis of Chinese Handmade Papers. **Chemical Research in Chinese Universities**, v. 35, n. 4, p. 586–591, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s40242-019-9026-4>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

YAN, Yueer; YAO, Jingjing; XU, Wenjuan; et al. Oxidative Degradation Mechanism and Antidegradation Strategy of Paper-Based Relics with Transition Metal Pigments: From the Cellobiose Model to Cellulose Paper. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 11, n.

14, p. 5325–5334, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c04248>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

ZHANG, Xu; LIU, Peng; YAN, Yueer; et al. Degradation of Chinese handmade papers with different fiber raw materials on molecular and supramolecular structures. **Polymer Degradation and Stability**, v. 211, p. 110330, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391023000824>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

ZHANG, Xu; YAN, Yueer; YAO, Jingjing; et al. Chemistry directs the conservation of paper cultural relics. **Polymer Degradation and Stability**, v. 207, p. 110228, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391022004062>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

ZOU, X.; GURNAGUL, N.; UESAKA, T.; et al. Accelerated aging of papers of pure cellulose: mechanism of cellulose degradation and paper embrittlement. **Polymer Degradation and Stability**, v. 43, n. 3, p. 393–402, 1994. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141391094900116>>. Acesso em: 11 jun. 2023.