

# Monitorização de gases poluentes em microclimas de museus: estratégia relevante para a conservação preventiva

## Monitoring pollutant gases in museum microclimates: a relevant preventive conservation strategy

KAREN BARBOSA<sup>1,\*</sup>  
TERESA FERREIRA<sup>2,\*\*</sup>  
PATRÍCIA MOREIRA<sup>1,3,\*\*\*</sup>  
EDUARDA VIEIRA<sup>1</sup>

1. CITAR, Escola das Artes, Universidade Católica Portuguesa, Porto, Portugal  
2. Departamento de Química da ECT & Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Évora, Portugal  
3. CBQF, Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa, Porto, Portugal

\* *kristine@yahoo.com*

\*\* *tasf@uevora.pt*

\*\*\* *prmoreira@porto.ucp.pt*

### Resumo

A exposição a uma atmosfera rica em poluentes voláteis pode colocar em risco as coleções de museus, galerias, bibliotecas ou arquivos. Monitorizar poluentes voláteis em museus é ainda hoje uma prática pouco habitual na maioria das instituições. Compostos orgânicos voláteis (COVs) podem ser libertados de diversas fontes, incluindo os materiais que compõem os próprios artefactos. A existência de poluentes em locais fechados, com inadequada renovação de ar, em simultâneo com valores elevados ou oscilações significativas de temperatura e humidade relativa (HR), pode conduzir à degradação acentuada dos materiais mais reativos. A tendência que se observa nos museus para enclausurar os artefactos em vitrinas ou caixas poderá potenciar a formação de microclimas com elevada concentração de COVs. Pretende-se neste trabalho alertar para o risco dos poluentes gasosos em ambiente museológico e traçar recomendações que incentivem as instituições detentoras de património a implementar um plano de monitorização destes poluentes, associado à prevenção de riscos.

### Abstract

Exposure to an atmosphere rich in volatile pollutants can endanger collections in museums, galleries, libraries or archives. Monitoring volatile pollutants in museum microclimates remains an unusual practice in most institutions. Volatile organic compounds (VOCs) can be released by many sources, including the artefacts' materials themselves. The presence of pollutants in an enclosed space with poor ventilation, adding to high temperature and relative humidity levels or significant fluctuations, may increase the risk of damage for the more susceptible materials. The tendency observed in museums to enclose artefacts in vitrines or boxes may contribute to the formation of microclimates with high VOCs concentration. Based on the studies developed in the last decades, this work intends to draw attention to the risks associated with gaseous pollutants in museum environment and outline some recommendations that encourage cultural heritage institutions to implement a pollutant monitoring plan associated with risk prevention.

### PALAVRAS-CHAVE

Qualidade do ar interior  
Acervo  
Prevenção de riscos  
Compostos orgânicos voláteis  
Conservação preventiva

### KEYWORDS

Indoor air quality  
Collections  
Risk prevention  
Volatile organic compounds  
Preventive conservation

## Introdução

Um poluente pode ser definido como um composto químico reativo, passível de ser encontrado no estado líquido, gasoso ou particulado [1]. Os poluentes são considerados primários quando são libertados diretamente para a atmosfera pelas fontes de emissão e secundários quando formados a partir de reações químicas em que participam os poluentes primários [2]. Identificar poluentes em ambiente museológico e avaliar os possíveis danos sobre os materiais que compõem os artefactos constitui uma metodologia ainda pouco utilizada nas instituições detentoras de coleções, nomeadamente os museus, embora, sob a perspectiva da investigação científica, muito se tenha feito nas últimas décadas.

No contexto internacional, principalmente em museus que dispõem de poucos recursos, as campanhas de monitorização de condições ambientais em espaço museológico encontram-se essencialmente focadas na avaliação de temperatura e humidade relativa (HR), seguidas com menor frequência pela monitorização de radiação visível e ultravioleta (UV) e de material particulado [3]. Os compostos gasosos tendem a ser pouco monitorizados e identificados, seja por falta de verba ou de profissionais capacitados nos museus para o fazer. Não raramente, os compostos voláteis só serão investigados após a deteção de alterações nos artefactos. Restringir a monitorização de danos à avaliação a nível macroscópico pode proporcionar uma resposta tardia, não obstante as alterações a nível microscópico serem já significativas [4]. Utilizar os objetos museológicos como sensores de poluentes não é, evidentemente, uma prática adequada. Um inquérito realizado em 2012 em museus europeus durante o projeto Europeu MEMORI (*Measurement, effect assessment and mitigation of pollutant impact on movable cultural assets – innovative research for market transfer*) mostrou que apenas 10,7 % das instituições europeias monitorizavam periodicamente gases poluentes e, mais raramente, os poluentes eram medidos em invólucros como vitrinas, molduras microclimáticas e caixas de armazenagem [3]. Avaliar e conhecer o espaço no qual uma coleção se encontra inserida estabelece o ponto de partida para qualquer estudo subsequente. A ventilação inadequada e filtragem ineficiente nos sistemas de ar condicionado são fatores que podem comprometer a qualidade do ar [5]. A dinâmica crescente de exposições temporárias na maioria dos museus induz à introdução dos mais diversos materiais de construção, nomeadamente, divisórias, tintas frescas, materiais de revestimento, massas de nivelamento, silicões de selagem, entre outros, em ambientes que muitas vezes estão próximos ou mantêm ligação direta com outras galerias expositivas. Prazos curtos para a instalação de exposições podem ser responsáveis pela introdução de artefactos em atmosfera com níveis elevados de COVs. Adicionalmente, pinturas que foram recentemente limpas e/ou restauradas para participar em exposições são, por vezes, fechadas com vidros ou em vitrinas antes que uma parte substancial dos

compostos voláteis resultantes dos produtos utilizados nas intervenções de restauro seja libertada.

Em 1972, estudos desenvolvidos pelo *British Museum* na pessoa de Andrew Oddy, resultaram no desenvolvimento do *Oddy Test*, um teste simples para avaliar fenómenos de corrosão acelerada, no qual se avalia se os materiais utilizados em museografia, em armazenagem ou no transporte, emitem gases voláteis que possam ser danosos para os artefactos museológicos [6]. Garry Thomson [7], em 1978, foi um dos primeiros autores a dedicar um capítulo inteiro do seu livro *The Museum Environment* aos poluentes do ar interior em museus. Pamela Hatchfield [1] é autora de uma das primeiras publicações direcionadas ao estudo de poluentes em ambiente museológico, com o objetivo de identificar os danos causados nos artefactos de museus, sua possível fonte e prevenção de danos, incluindo estratégias de mitigação. Posteriormente, em 2006, Cecily Grzywacz [8] esteve na origem de uma publicação bastante completa do *Getty Conservation Institute* direcionada especialmente para a monitorização de gases poluentes em museus. Tétreault [9], no seu livro *Airborne Pollutants in Museum, Galleries and Archives: Risk Assessment, Control Strategies and Preservation Management*, foi um dos autores a explorar o tema de forma exclusiva e exaustiva. Mais tarde, em 2011, Grzywacz conjuntamente com Tétreault e Maybee foram responsáveis pela elaboração do capítulo *Museums, Galleries, Archives and Libraries* na publicação de referência da ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineers*) onde desenvolveram o tema sobre a influência da qualidade do ar nas coleções [10]. Nos últimos trinta anos vários projetos europeus (AMECP, ERA, MIMIC, MASTER, SENSORGAN, PROPAINTE, MUSECORR, MEMORI) [11-18] tiveram como foco a investigação e monitorização de poluentes em ambientes que abrigam bens culturais. Como produto destas investigações e com o objetivo de facilitar a monitorização, diversos dispositivos de amostragem passiva foram desenvolvidos. No entanto, muitos destes amostradores ainda são financeiramente pouco acessíveis ou não estão disponíveis comercialmente.

Perceber o espaço, conhecer os principais poluentes, as suas fontes e possíveis reações, incentivar a prática de monitorização frequente de poluentes recorrendo a alternativas de baixo custo e estimular planeamentos estratégicos de mitigação do efeito nocivo dos gases poluentes em micro e macroclima museológico, são pontos relevantes na política de preservação dos acervos.

## Principais poluentes gasosos em atmosfera museológica

Entre o século XIX e a primeira metade do século XX, grandes cidades como Londres apresentavam níveis de poluição atmosférica muito elevados devido à queima de carvão proveniente das atividades industriais e sistemas

de aquecimento e iluminação em uso, com a produção de quantidades significativas de fuligem e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) [19]. Nos museus e arquivos começou a ser possível observar o depósito de fuligem nas pinturas e a fragilização de papéis e encadernações de couro dos livros [20]. Preocupada com o efeito nocivo de determinados poluentes na saúde humana, a Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou nos últimos vinte anos uma série de recomendações relacionadas com a qualidade do ar [21-25]. Com o objetivo de reduzir a poluição atmosférica, em 2008, o Parlamento Europeu (PE) e o Conselho da União Europeia (CUE) publicaram a Diretiva 2008/50/CE [26] no Jornal Oficial da União Europeia (UE), onde constam recomendações em relação à avaliação da qualidade do ar ambiente, no que se refere ao ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de enxofre, dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>) e outros óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), material particulado, chumbo (Pb), benzeno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) e monóxido de carbono (CO). Nas últimas décadas, a poluição diminuiu de forma significativa em muitas áreas urbanas, em particular, os níveis de SO<sub>2</sub> [2, 27]. Adicionalmente, muitos museus começaram a implementar a utilização de sistemas que impedem ou reduzem a entrada de poluentes externos, como filtros de gases e de partículas, além de proteger as obras mais frágeis com vitrinas ou vidros [28]. Os poluentes podem ter ação nociva sobre diversos materiais, nomeadamente, promover a corrosão de metais, reagir com pigmentos e aglutinantes ou catalisar reações de degradação de polímeros [29]. HR e temperatura elevadas ou oscilações significativas destes fatores podem intensificar a ação dos poluentes voláteis sobre os bens culturais [1].

Mais de quatrocentos compostos orgânicos e inorgânicos são considerados poluentes do ar interior de edifícios [30]. Os principais poluentes conhecidos como danosos para as coleções são os COVs, incluindo o ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH), o ácido fórmico (HCOOH), e o formaldeído (HCHO). Segundo a OMS [31], os COVs constituem um vasto e diverso grupo de compostos que volatilizam à temperatura ambiente e possuem ponto de ebulição no intervalo de 50-100 °C a 240-260 °C. A *Environmental Protection Agency* (EPA) dos EUA define COVs como compostos orgânicos que participam em reações fotoquímicas na atmosfera [32]. Na lista de poluentes estão ainda os compostos inorgânicos voláteis (CIV), grupo do qual fazem parte os óxidos de azoto, dióxido de enxofre, sulfureto de hidrogénio (H<sub>2</sub>S) e ozono, além do material particulado [7-8, 33] (Tabela 1). Porém a lista de poluentes nocivos é dinâmica, nomeadamente, no que se refere aos COVs, e cresce à medida que aumenta a variedade de materiais utilizados em contexto museológico [30].

O O<sub>3</sub> é um poluente secundário, sem fonte emissora direta, que se forma na troposfera por meio de reações fotoquímicas complexas nas quais a radiação solar interage com outros gases poluentes, como NO<sub>x</sub> e COVs. É um oxidante extremamente poderoso e, por isso, muito reativo, que tende a danificar os materiais orgânicos que fazem parte de uma coleção [1, 36]. Segundo o relatório de 2018 da *European*

*Environment Agency*, a emissão dos gases precursores (NO<sub>x</sub> e COVs) foi reduzida em cerca de 40 % entre 2000 e 2016 nos Estados-Membros da UE, mas os índices de O<sub>3</sub> ainda se encontram acima dos valores-limite recomendados pela OMS (100 µg m<sup>-3</sup>) [2].

Enquanto poluentes comuns do ar exterior como SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>S podem ser mais facilmente filtrados ou dificultada a sua entrada para o ar interior, outros poluentes têm a sua fonte em materiais de construção e de montagem de exposições (tintas, piso, paredes e divisórias, molduras, suportes e vitrinas), em atividades que decorrem no interior dos edifícios (materiais de limpeza, restaurantes), nas próprias pessoas (respiração) ou nos artefactos [8, 37]. Quando a circulação de ar no espaço interior é mínima, nomeadamente em vitrinas seladas, molduras microclimáticas ou mesmo pinturas com vidro frontal, os poluentes emitidos no interior destes invólucros tendem a ficar concentrados. Neste caso, a atenção deve ser dirigida às fontes emissoras como os materiais de construção das vitrinas e até mesmo os materiais de composição das próprias obras [38-39].

O formaldeído é considerado um importante composto danoso tanto para a saúde humana [40] como para os artefactos museológicos, principalmente para os metais [8, 37, 41-44]. A sua fonte principal são os aglomerados de madeira, como o MDF (*medium density fiberboard*), mas também é utilizado como componente de colas, adesivos, de algumas tintas e de produtos de revestimentos [44-45]. A oxidação do formaldeído a ácido fórmico foi considerada pouco importante em atmosferas que não contenham oxidantes, como peróxidos. No entanto, níveis elevados de compostos desta família podem ocorrer em espaços enclausurados durante o envelhecimento de revestimentos recentemente aplicados [37]. Estudos [46] sobre a ação do formaldeído em placas de chumbo expostas a este poluente, na ausência de peróxido de hidrogénio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ou de outros oxidantes, permitiram detetar a formação de formiatos. Cristais brancos de formiato de chumbo foram também observados em artefactos deste metal armazenados em armários de aglomerado de madeira, envernizados com uma resina de poliuretano, o que produziu elevados níveis de ácido acético e ácido fórmico na atmosfera interior do armário [1, 41]. O efeito sinérgico entre o formaldeído e o ácido acético ou o ácido fórmico sobre chumbo foi ainda investigado por Puglieri [47]. Os resultados dos ensaios indicaram que a presença concomitante de ácido acético e formaldeído levou a um aumento do aparecimento de óxido de chumbo (PbO) na superfície metálica enquanto o mesmo efeito sinérgico não foi observado em ambientes que continham formaldeído e ácido fórmico. Outro estudo [37] mostrou que o ácido fórmico reage com o chumbo até que se forme um filme estável.

Madeiras e subprodutos destas, independentemente da idade, podem contribuir negativamente para a atmosfera interior devido à emissão de ácidos orgânicos [44]. O ácido

**Tabela 1.** Principais poluentes, fontes emissoras e materiais passíveis de degradação [1, 8, 33-35].

Poluentes	Principais fontes emissoras	Materiais passíveis de degradação
Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)	Degradação de objetos de acetato de celulose, selantes de silicone, adesivos, madeira e subprodutos de madeira.	Metais (especialmente o chumbo, zinco e ligas de cobre com alto teor em chumbo), materiais calcários, papéis, têxteis, materiais à base de proteína e alguns pigmentos.
Ácido fórmico (HCOOH)	Produto da oxidação do formaldeído. Madeira e subprodutos da madeira.	Metais (especialmente o chumbo, zinco e ligas de cobre com alto teor em chumbo), materiais calcários, papéis, têxteis, materiais à base de proteína.
Óxidos de azoto (NO <sub>x</sub> )	Veículos motorizados, motores de combustão interna, centrais termoelétricas e siderúrgicas. Degradação de objetos de nitrato de celulose; materiais de construção.	Tintas ferrogálicas, corantes, pigmentos à base de sulfureto de arsénio, borracha, materiais fotográficos, plásticos, metais e têxteis.
Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	Queima de combustíveis fósseis; respiração humana; erupções vulcânicas; reações químicas na atmosfera; borracha vulcanizada; fogos-de-artifício.	Metais, pinturas, materiais fotográficos, couro, papéis, têxteis, materiais inorgânicos (vidro, pedra, pintura a fresco), materiais orgânicos (celulose, proteína, fibras de plantas).
Formaldeído (HCHO)	Subprodutos da combustão; fumo de tabaco; óleo de linhaça usado em pintura e óleos secativos; aglomerados de madeira (MDF); resinas que contenham formaldeído, como ureia-formaldeído ou fenol-formaldeído; colas; adesivos; produtos de revestimento; cloreto de vinilo; laminados e papel de parede; tintas alquídicas; látex; carpete.	Papel, celulose, pergaminho, couro, lã, seda, materiais calcários, pigmentos, óxidos metálicos e chumbo.
Sulfureto de hidrogénio (H <sub>2</sub> S)	Sulfuretos de ferro; respiração humana; borracha; materiais de soldadura; lã e têxteis; materiais contendo enxofre, utilizados em exposições e vitrinas de exposição; borracha vulcanizada; sítios arqueológicos.	Metais (especialmente a prata e o cobre), pinturas, pigmentos de chumbo, materiais fotográficos, materiais pétreos, couro.
Ozono (O <sub>3</sub> )	Poluente secundário gerado pela reação de óxidos de azoto ou de COVs não metânicos na presença de forte radiação solar.	Borracha, metais, têxteis, corantes orgânicos, materiais fotográficos, papéis.
Material particulado	Pessoas (através do transporte de partículas por meio dos sapatos e roupas e descamação da pele); abrasão; pólen; combustão (indústria e veículos motorizados); biodeterioração; insetos; carpetes; aerossóis marinhos; construção e renovação de espaços.	Materiais orgânicos, como têxteis e papéis (por abrasão mecânica).

acético é emitido por estes materiais, por alguns adesivos de silicone, tintas, linóleo e certos produtos de limpeza, sendo também ele um produto derivado da degradação do acetato de celulose [48]. Além disso, a produção de ácido acético aumenta com o aumento da temperatura e HR [49]. Estudos realizados durante o projeto europeu MEMORI mostraram que os vapores de ácido acético e de ácido fórmico, mesmo a baixas concentrações (>1.5 mg m<sup>-3</sup>), conduzem à degradação acelerada da celulose [50]. O ácido acético pode ainda ser formado a partir da hidrólise do acetato de etilo. Ensaio laboratoriais [34] identificaram elevadas concentrações de ácido acético sob a forma gasosa em ambientes em contacto com lacas e materiais de revestimento.

Conchas armazenadas em armários ou caixas de madeira podem apresentar eflorescências (cristais), facto conhecido como “doença de Byne”, e que se deve à formação de acetato e de formiato de cálcio [1, 8].

A prata sofre corrosão quando exposta a H<sub>2</sub>S em concentrações da ordem dos µg m<sup>-3</sup> [29, 51]. Adicionalmente, estudos [51] mostraram que o sulfureto de carbonilo (COS) contribui para o escurecimento da prata e pode ser, em alguns casos, o principal agente deste escurecimento. Elevadas concentrações de O<sub>3</sub> e NO<sub>2</sub>, em ambientes com

elevada HR, tendem a contribuir com a formação de óxidos e hidróxidos na prata [52].

A amónia (NH<sub>3</sub>) é emitida por produtos de limpeza, alguns silicões, betão e algumas tintas. Pode reagir com metais formando sais de amónio e causar eflorescências no nitrato de celulose. Também pode levar ao amarelecimento do óleo de linhaça [53].

O tolueno pode ser emitido a partir de solventes, tintas e lacas, enquanto o p-xileno e o m-xileno são utilizados em agentes de limpeza, vernizes e como diluente de tintas. Num estudo conduzido durante o projeto PROPAIN, onde foram medidos os poluentes voláteis em quinze vitrinas micro-climatizadas de diferentes museus europeus, o tolueno foi detetado dentro de praticamente todas as vitrinas, chegando a concentrações elevadas, da ordem de 1300 µg m<sup>-3</sup>. Contudo, é difícil avaliar o risco para as pinturas, uma vez que não existem relações de dose/efeito estabelecidas [54].

O policloreto de vinilo (PVC) pode ter diferentes formulações conforme o fabricante. É particularmente conhecida a sua ação danosa devida à formação de ácido clorídrico (HCl) quando o PVC é decomposto termicamente. Outros compostos libertados pelo PVC, como o

2-etilhexil-tioglicolato, foram igualmente identificados como responsáveis pelo escurecimento de objetos de cobre e prata [55].

Estudos realizados [56] no *Kunsthistorisches Museum* em Viena identificaram a presença de compostos de piperidinolo em eflorações cristalinas, formadas na parte interna dos vidros das vitrinas que protegiam as obras, e que o adesivo utilizado, embora previamente aprovado através da realização do *Oddy Test*, era o responsável pelo problema. Este caso mostra precisamente a necessidade de encontrar alternativas mais sensíveis e de maior amplitude para a deteção de gases libertados pelos materiais de construção introduzidos nas galerias. Outros museus relataram o mesmo problema de aparecimento de cristais brancos sobre artefactos enclausurados nas vitrinas, incluindo esculturas em bronze, madeira e objetos de cera, pinturas a óleo e a têmpera [56-59]. O produto responsável pela emissão do composto 2,2,6,6-tetrametil-4-piperidinolo (TMP-ol) foi o adesivo Terostat-9220 utilizado em grandes quantidades para unir o vidro às estruturas metálicas das vitrinas [58]. Outros estudos conduzidos no *Kunsthistorisches Museum* mostraram ainda que o TMP-ol pode causar corrosão e manchas na superfície de objetos em bronze e em cobre [56]. No *Rijksmuseum* em Amsterdão foram ainda observados cinco tipos de depósitos cristalinos quimicamente diferentes [58] num total de 180 vitrinas. Todos os cristais foram identificados como sais de piperidilo, resultado de uma reação ácido-base onde participa o TMP-ol e diferentes ácidos carboxílicos, sendo os compostos emitidos pelo adesivo Terostat-9220, utilizado para promover a adesão dos vidros à estrutura metálica das caixas, e por materiais de construção e produtos usados nas próprias peças, nomeadamente, juntas de silicone curadas com peróxido, painéis de MDF, adesivo curado por radiação UV, produtos contendo cera de abelha e um produto ácido utilizado na conservação, mas que não foi identificado. É importante destacar que até ao momento o TMP-ol não era considerado um composto poluente em ambiente museológico e, assim como ele, possivelmente outros compostos irão sendo identificados e classificados como tal nos próximos anos [29].

O embaciamento da parte interior dos vidros das vitrinas e dos vidros de proteção de pinturas é um fenómeno relatado amiúde pelos conservadores. Num estudo desenvolvido por Schilling e colaboradores [60] detetou-se a presença de compostos orgânicos semivoláteis (COSVs) que tendem a condensar na superfície do vidro, formando filmes de aparência gordurosa. Este fenómeno pode ser atribuído aos ácidos gordos resultantes da hidrólise de triglicéridos do óleo da própria pintura ou à libertação de compostos dos materiais de construção das vitrinas. Um exemplo são os ésteres do ácido ftálico, plastificante comum e retardador de chama, que ao migrar do polímero no qual foi usado para conferir certas propriedades, pode condensar na superfície do vidro [34].

Alguns pigmentos podem também ser muito suscetíveis a poluentes em atmosferas de museus. Pigmentos que contêm iões metálicos tendem a alterar a sua coloração na presença de ácido acético. O amarelo de chumbo e estanho ( $Pb_2SnO_4$ ) é estável em meio alcalino, mas tal como o branco de chumbo ( $PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ ) e o vermelho de chumbo ( $Pb_3O_4$ ), na presença de  $H_2S$ , reagem formando sulfureto de chumbo (PbS), com escurecimento da zona onde o pigmento foi usado [8, 61]. O pigmento azurite, que como o nome indica apresenta cor azul, pode escurecer para preto-azulado quando exposto aos vapores de  $H_2S$ , especialmente em pintura a fresco, com a formação de covelite (CuS) [61]. Lacas de antraquinona, como a alizarina, corantes como o índigo, sangue de dragão, curcuma, açafraão e pigmentos de arsénio e enxofre (auripigmento e realgar) tendem a ter sua cor alterada por interação com o ozono [8, 20, 62].

### Valores-limite de poluentes

Estabelecer protocolos sobre os níveis máximos recomendados para poluentes gasosos em coleções não é uma tarefa fácil. Muitos dos valores são ainda definidos com base na sua toxicidade para o Homem; porém, níveis considerados seguros para a saúde humana podem não sê-lo para os objetos de uma coleção. Em 1978, Garry Thomson, no seu livro *The Museum Environment*, recomendava níveis máximos de  $SO_2$ ,  $NO_2$  e  $O_3$  em ambientes que abrigavam coleções mistas semelhantes a valores obtidos na classificação do ar exterior como “bom”. A concentração de poluentes como  $SO_2$  e  $NO_2$  não deveria ultrapassar  $10 \mu g m^{-3}$ , enquanto para  $O_3$ , devido à sua elevada reatividade, não deveria ser superior a  $2 \mu g m^{-3}$  [41]. Materiais diferentes possuem reatividades distintas aos mais diversos poluentes gasosos e devem ser analisados com atenção. Como já mencionado anteriormente, fatores ambientais e as condições físicas dos artefactos podem também potenciar a ação degradante de determinados poluentes.

Muitas das especificações sobre os níveis máximos de poluentes recomendados para a salvaguarda de coleções foram desenvolvidas por instituições do Reino Unido e dos Estados Unidos e são adotadas por diversas instituições culturais internacionais. Normativas publicadas pelo Arquivo Nacional Americano, NARA [63], referente aos limites de gases poluentes para a conservação de coleções, mencionam que não há limite seguro conhecido abaixo do qual não exista dano causado.

Tétrault [41], em um estudo de revisão recente, especifica os documentos mais importantes desenvolvidos nos últimos 40 anos com o propósito de fornecer um guia de proteção para os museus e arquivos, no que se refere ao controlo de poluentes e seus valores-limite. Entretanto, destaca que muitos dados e evidências podem não refletir a realidade dos museus de forma consistente. Ainda nesse estudo inclui o trabalho desenvolvido pelo *Canadian Conservation Institute* (CCI) que utiliza o conceito de relação entre dose e resposta como LOAED (*Lowest Observable Adverse Effect*

**Tabela 2.** Valores-limite de poluentes gasosos em microclimas de museus definidos por CCI e coligidos por Tétreault [9].

Poluentes	Concentração máxima de exposição permitida para a generalidade dos objetos de uma coleção ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		
	1 ano	10 anos	100 anos
CH <sub>3</sub> COOH	1000	100	100*
NO <sub>2</sub>	10	1	0.1
SO <sub>2</sub>	10	1	0.1
H <sub>2</sub> S	1	0.1	0.01
O <sub>3</sub>	10	1	0.1
Material particulado (PM <sub>2.5</sub> )	10	1	0.1
Vapor de água	< 60 % HR		

\*O chumbo, o material mais sensível ao ácido acético, possui NOAEL de  $400 \mu\text{g m}^{-3}$ , pelo que o limite para este poluente foi estabelecido em  $100 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Level Dose) e NOAEL (*No Observable Adverse Effect Level*) para avaliar a vulnerabilidade de uma coleção aos poluentes. O CCI define seis principais poluentes (CH<sub>3</sub>COOH, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> e partículas finas) e estabelece o nível máximo de concentração permitida para esses poluentes, relacionando esse nível limite com o tempo de exposição a cada composto. Por exemplo, se o dióxido de azoto possui um limite máximo de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  num ano de exposição, o limite será de  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  para dez anos e assim sucessivamente. Os valores são sugeridos para materiais de sensibilidade média, ou seja, para a generalidade dos objetos de uma coleção e podem ser consultados na Tabela 2. Materiais particularmente sensíveis a determinados poluentes não estão incluídos.

Os valores-limite de concentração de poluentes publicados pela ASHRAE [10] são baseados nas recomendações da EPA e nos valores-limite ponderados no tempo definidos pela OMS, além dos níveis já mencionados trabalhados pelo CCI e coligidos e discutidos por Tétreault [9].

### Estratégias para a monitorização

A degradação de um artefacto segue uma função complexa que depende não só da presença de poluentes provenientes do ar exterior e originados no ar interior, mas também da temperatura, HR, exposição à radiação visível mas, sobretudo, à radiação UV, velocidade de circulação do ar, composição química dos materiais que constituem o objeto, estado de conservação, existência ou não de intervenção de conservação e restauro prévia, histórico de acondicionamento e da interação entre todas estas variáveis. Deste modo, a monitorização de poluentes é uma tarefa complexa que deve ter em conta todos estes parâmetros. Instituições diversas possuem recursos financeiros distintos e é importante que

dentro do orçamento destinado à conservação, uma parte possa ser dirigida à monitorização de poluentes.

Atualmente, por questões de saúde pública, muitas cidades possuem uma rede de estações dedicadas à monitorização da qualidade do ar, onde os dados são disponibilizados em tempo real [64]. Por outro lado, os museus carecem, frequentemente, de dispositivos adequados para a monitorização dos poluentes presentes nos microclimas interiores. Muitas instituições que não possuem sistema de climatização automatizada e contam com sistemas sustentáveis de circulação natural de ar e maior renovação do ar interior, recorrendo ao ar do exterior, tendem a ter maior incidência de poluentes do exterior nos seus espaços expositivos, enquanto instituições que possuem sistemas de ar condicionado apresentam, frequentemente, maior capacidade de filtragem do ar.

A monitorização pode ser feita de forma quantitativa ou qualitativa, sendo a amostragem realizada de modo ativo ou passivo. Um sistema de amostragem ativa consiste, em geral, numa bomba que aspira o ar para dentro de um determinado dispositivo, enquanto na amostragem passiva o ar é naturalmente difundido pelo dispositivo [8]. Os sistemas ativos requerem, em geral, habilitação técnica, possuem muitas vezes equipamentos de dimensão demasiado grande para medições em vitrinas e tendem a ter um alto custo. No entanto, a amostragem realizada é considerada bastante confiável e precisa. Os dispositivos de amostragem passiva tendem a ser preferencialmente usados nos museus pela sua funcionalidade, dimensão, custo e disponibilidade comercial.

Identificar os poluentes existentes em ambiente museológico é importante, mas conhecer sua fonte emissora é crucial para desenvolver qualquer tipo de estratégia e desenhar uma intervenção. O *British Museum*, como outras instituições congéneres, possui uma base de dados [65] com todos os materiais testados recorrendo ao *Oddy Test* e na qual os materiais foram classificados em três categorias, de acordo com os resultados obtidos: 1) seguro para uso permanente, 2) seguro para uso temporário e 3) inapropriado para uso em reservas, transporte, vitrinas e exposições.

### Identificação dos poluentes pelo odor

*A combination of grassy notes with a tang of acids and a hint of vanilla over an underlying mustiness, this unmistakable smell is as much part of the book as its contents* [66].

Muitos poluentes voláteis possuem um odor característico e a sua perceção olfativa pode constituir um sinal de alerta. Em ambientes fechados, com pouca renovação de ar, os poluentes tendem a concentrar-se e o odor torna-se mais evidente. Contudo, alguns gases como o monóxido de carbono (CO) ou o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) são inodoros [67].

Durante a degradação da celulose, alguns COVs como o ácido acético, o-xileno, fenol, benzaldeído, furfural, tolueno, vanilina e hexanal são emitidos e podem ser percebidos através do cheiro [68]. O ácido acético, nomeadamente, tem

um cheiro avinagrado característico enquanto o hexanal é relacionado com odores familiares, como roupa velha [69]. Outros compostos com cheiros característicos são, por exemplo, o sulfureto de hidrogénio que cheira a ovos podres e pode ser identificado em quantidades muito pequenas ( $0.2-2 \mu\text{g m}^{-3}$ ) [70] ou o ácido propiónico com um odor que remete para o lixo doméstico. A vanilina, o benzaldeído, o furfural e o undecanal são frequentemente associados a cheiros mais agradáveis como amêndoas, caramelos, biscoitos e chocolate, enquanto o tolueno e o xileno lembram fragrâncias adocicadas [68].

O formaldeído é provavelmente o aldeído mais conhecido com elevado poder de deterioração. É um gás incolor, com um cheiro desagradável, que pode ser detetado pelo olfato humano em concentrações da ordem dos  $60 \mu\text{g m}^{-3}$  [1]. Ainda da mesma família de aldeídos, encontra-se o etanal, de nome comercial, acetaldeído ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ ), um líquido incolor com um odor forte e sufocante [71].

O etanoato de etilo é um éster com cheiro agradavelmente adocicado. É usado principalmente como solvente ou diluente e pode estar presente em algumas lacas ou materiais de revestimento.

### Ferramentas usadas na avaliação de dano e dispositivos para amostragem passiva

Durante muito tempo, a única ferramenta disponível aos conservadores para avaliar o impacto do ar atmosférico circundante nos objetos de coleções foi a simples inspeção visual. De certa forma, os materiais das próprias obras foram usados como sensores dosimétricos [72]. Este conceito encontra-se hoje subjacente a muitos dos dosímetros contemporâneos, os quais contêm um ou mais materiais conhecidos por serem sensíveis a determinada classe de poluentes. Segundo o projeto MEMORI (2010-2013), os métodos para avaliação de poluentes interiores dividem-se em duas categorias: os de medição direta de poluentes e os métodos de medição indireta, que avaliam o dano causado no objeto pela ação de determinado(s) poluente(s) ou mesmo o efeito concomitante de vários fatores sobre o objeto [73].

O *Oddy Test*, já anteriormente referido, é uma ferramenta valiosa para a comunidade museológica porque, além de pouco dispendioso, pode ser facilmente utilizado por profissionais de museus sem outra formação técnica específica, considerando que a sua interpretação é feita através de avaliação visual. A desvantagem diz respeito ao tempo necessário para a obtenção dos resultados, de aproximadamente um mês. As placas de metal são introduzidas num recipiente de vidro selado juntamente com uma amostra do material a ser testado e mantidos com humidade relativa elevada, entre 95 % e 100 %, e temperatura de aproximadamente  $60^\circ\text{C}$ , durante 28 dias. Atualmente, algumas instituições desenvolveram os seus próprios protocolos de preparação do *Oddy Test* com algumas variantes, como a dimensão e o modo de preparação das placas de metal, o tamanho e peso das amostras, a existência

ou não de contato direto dos metais com as amostras, a forma de interpretar os resultados, entre outras [6, 74-75].

A utilização de placas metálicas para detetar a presença de certos poluentes é considerado um recurso de baixo custo e de diagnóstico simples, quando interpretado através da alteração de cor, resultante da formação de sais ou filmes finos à superfície do metal. Adicionalmente, é possível uma compreensão mais extensa do fenómeno de corrosão dos metais se forem usados métodos analíticos na sua avaliação [76]. O cobre é suscetível de ataque químico por parte de sulfuretos, ácidos orgânicos, cloretos e formaldeído. O chumbo é vulnerável aos ácidos voláteis, como o ácido fórmico ou o ácido acético. A prata reage com baixos teores de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{COS}$  e cloreto de hidrogénio ( $\text{HCl}$ ). Apesar de o cobre, o chumbo e a prata serem os metais mais utilizados como “sensores” de poluentes em acervos, outros metais também possuem reatividades específicas e podem ser usados em ações complementares para monitorização. Um exemplo é o ferro que reage com  $\text{SO}_2$  ou  $\text{NO}_2$  ou o zinco que sofre oxidação na presença de ácidos orgânicos, formaldeído, cloretos e  $\text{SO}_2$  [43].

As *A-D Strips* foram inicialmente desenvolvidas pelo *Image Permanent Institute* (IPI), Rochester, USA, para identificar a degradação de filmes fotográficos ou negativos de acetato de celulose que apresentavam o chamado “síndrome do vinagre”, uma degradação característica deste polímero. Atualmente são também usadas como indicadores de degradação ativa de objetos de acetato de celulose [77] ou como uma opção económica para monitorizar poluentes no interior de museus ou reservas técnicas [28]. O reagente ativo das tiras é o indicador ácido-base verde de bromocresol que muda de azul ( $\text{pH} > 5.4$ ) a verde ( $5.4 \leq \text{pH} \leq 3.8$ ) e, por fim, a amarelo ( $\text{pH} < 3.8$ ). Este indicador fornece informação aproximada sobre o pH, em particular em meio ácido, sem que seja possível identificar o próprio ácido. Por ser sensível à luz, as *A-D Strips* devem ser expostas em local escuro. Constituem uma forma de avaliação barata, rápida e fácil de usar.

A utilização de cristais piezoelétricos de quartzo (PQC) como sensores de gases poluentes foi estudada pela primeira vez no projeto MIMIC, *Microclimate Indoor Monitoring for Cultural Heritage Preservation*, (EVKV-CT-2000-00040) [78-79]. Os dispositivos foram cobertos com uma camada de verniz (resina mástique) ou de têmpera a ovo e o dano produzido por exposição a gases poluentes foi avaliado pela alteração da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e pela forma e intensidade da banda do carbonilo no espectro de infravermelho [78]. Posteriormente, no projeto PROPAIN, *Improved Protection of Paintings during exhibition, storage and transit* (FP6 SSPI n° 044254) [16], a seleção de vernizes foi ampliada, acrescentando-se também as resinas Damar (com e sem Tinuvin 292) e MS2A (com e sem Tinuvin 292) e o Paraloid B72 (copolímero de metacrilato de etilo). As amostras foram expostas aos poluentes  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  e  $\text{CH}_3\text{COOH}$  e foram introduzidas variações de HR e os resultados avaliados por cromatografia gasosa com deteção por espectrometria de

massa (GC/MS). No projeto SENSORGAN, *Sensor System for Detection of Harmful Environments for Pipe Organs* (n.º 022695) [15], este tipo de dispositivo foi utilizado numa igreja na Polónia para obter informação sobre a ação danosa de ácidos orgânicos, nomeadamente ácido acético e ácido fórmico, nos tubos de chumbo de um órgão, tendo os dispositivos sido posicionados de modo a não alterar o som do instrumento.

Posteriormente, no projeto MEMORI [80], foi desenvolvido um dispositivo composto por dois tipos de dosímetros: o GSD (*Glass Slide Dosimeter*), desenvolvido por Fraunhofer ISC, e o EWO (*Early Warning Dosimeter*), desenvolvido pelo NILU. O GSD é vocacionado para a deteção precoce da degradação de vitrais. O sensor é muito sensível ao ácido acético e ácido fórmico. O EWO é um dosímetro que mede o impacto do meio ambiente num polímero orgânico mas que, infelizmente, não se encontra atualmente disponível no mercado [41].

Considerando as imensas vantagens de poder realizar monitorização em tempo real, o *data logger* AirCorr foi desenvolvido durante o projeto MUSECORR, *Protection of Cultural Heritage by Real-time Corrosion Monitoring* (FP7/2007-2013 n.º 226539) [17]. O conceito subjacente à medição baseia-se no facto de que a resistividade elétrica de um metal é aumentada pelo aparecimento de uma camada de corrosão à sua superfície e, assim, a variação do valor desta propriedade pode ser interpretada como uma medida do grau de corrosão. O sensor consiste numa fina placa de metal, que pode ser de cobre, prata, chumbo, ferro, zinco, alumínio, bronze, estanho ou latão, depositado sobre um substrato isolante em cerâmica ou polímero.

Os museus que não dispõem de equipamentos, laboratórios ou profissionais qualificados para realizar as análises posteriores, necessárias para avaliar as amostras recolhidas nos dispositivos de amostragem, podem recorrer aos laboratórios dos próprios fornecedores destes dispositivos, pagando o serviço. A IVL, *Swedish Environmental Research Institute*, é uma empresa com este perfil. Os dispositivos de amostragem passiva de diferentes tipologias são fornecidos pela empresa e a amostragem pode ser feita com tubos adsorventes Tenax TA para a medição de um vasto grupo de compostos orgânicos voláteis e noutras tipologias de amostradores para medição de gases ácidos. Após a amostragem, os dispositivos são enviados para os laboratórios da IVL, onde é realizada análise qualitativa e quantitativa dos resultados [29, 54].

A Microextração em Fase Sólida (SPME) acoplada à deteção por GC/MS é uma técnica analítica que permite a deteção e quantificação de uma ampla variedade de COVs. O dispositivo SPME inclui uma agulha em cuja ponta é posicionada uma fibra coberta com um polímero ou um sólido adsorvente que extrai os analitos voláteis da amostra recolhida por absorção ou adsorção e que é depois introduzida no GC/MS para dessorção a temperatura elevada e análise [81]. Esta técnica de extração e pré-concentração prévia à análise por cromatografia gasosa

tem sido utilizada na análise qualitativa e quantitativa de COVs em microclimas de museus com resultados bastante satisfatórios, apresentando grande facilidade de execução do ponto de vista laboratorial. Alguns estudos recentes [82] mostraram a eficácia do método em substituição do *Oddy Test* ao analisar materiais selecionados para serem usados em exposições e reservas. Os materiais em estudo foram colocados em frascos fechados, aquecidos, e a amostra extraída por SPME e, posteriormente, analisada por GC/MS. Fibras de carboxen/polidimetilsiloxano (CAR/PDMS) [83] e de divinilbenzeno/carboxen/polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS) [84] para SPME mostraram ser adequadas para análises de ácido acético e ácido fórmico e de compostos voláteis provenientes da degradação de polímeros em museus, respetivamente.

### Estratégias para a mitigação

Desde meados do século XX que cientistas da conservação propõem técnicas de medição de níveis de poluentes gasosos em museus e sugerem alternativas para mitigar o efeito danoso que estes possam vir a ter sobre as coleções. Preocupados com a entrada de poluentes do exterior no ar interior, como o SO<sub>2</sub> e o NO<sub>2</sub>, os museus começaram a considerar a inclusão de filtros no sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) [41]. Por outro lado, em países de clima tropical, quente e húmido como o Brasil, onde muitas vezes não há recursos financeiros para manter um sistema integrado de ar condicionado com filtros apropriados, a ventilação natural ou mecânica com filtros de partículas é uma solução frequentemente indicada [85]. Para reduzir o contato dos poluentes com as coleções, seja nas vitrinas, reservas técnicas ou áreas expositivas, é essencial conhecer as suas fontes. Perceber os possíveis poluentes gasosos libertados pelos materiais de construção, materiais das próprias obras ou mesmo pelos visitantes, e traçar estratégias para eliminar as fontes ou minimizar os compostos emitidos, é um aspeto fundamental para uma análise de riscos adequada.

Como estratégia de controlo, Tétreault [9] sugere como medidas para prevenir os efeitos adversos de poluentes no ar: evitar, bloquear e diluir/filtrar/sorver. Evitar as fontes externas e internas, quer nas galerias, quer nos invólucros. Bloquear a infiltração dos poluentes no edifício, nas galerias e invólucros. Diluir, filtrar ou sorver os poluentes nas galerias, edifício e invólucros. Além disso, reduzir a exposição dos objetos a níveis elevados de HR e temperatura, radiação visível, UV e infravermelha, quando adequado.

Considerações para traçar um plano estratégico de mitigação de gases poluentes só serão possíveis após estudo da coleção e do seu espaço. Por exemplo, sabe-se que objetos feitos de chumbo são extremamente vulneráveis à presença de ácidos orgânicos e que a madeira e subprodutos desta são uma importante fonte de ácidos orgânicos. Desta forma,



seria bastante arriscado armazenar objetos de chumbo em caixas ou armários de madeira sem nenhuma precaução. Perceber a fragilidade de certos materiais a determinados poluentes voláteis é fundamental para minimizar os riscos. Ambientes fechados intensificam as concentrações de COVs, e HR e temperatura elevadas tendem a acelerar reações químicas que envolvam compostos voláteis. Estabelecer uma frequência adequada de renovação de ar no ambiente expositivo e reservas pode ser uma estratégia para a conservação preventiva [53]. Blades [86] adverte que a escolha de soluções adequadas para o controlo de poluentes está associada às características específicas dos diferentes locais e dos artefactos aí expostos ou guardados.

Vitrinas hermeticamente seladas, mesmo quando construídas com materiais considerados seguros, como vidro e metal, podem contribuir para concentrar elevados níveis de COVs no seu interior. Estes compostos podem ser libertados pelos materiais de revestimentos da vitrina, selantes, materiais de acabamento ou mesmo pelas próprias obras [54]. A remoção de poluentes de dentro das vitrinas pode ser feita com o auxílio de materiais adsorventes. A adição de adsorventes em vitrinas de museus, como carvão ativado puro, tem mostrado ser eficiente, mas é aconselhado que seja feita a monitorização dentro da vitrina e que o adsorvente seja criteriosamente selecionado. Ensaio laboratoriais [87] comprovaram a eficácia da utilização de carvão ativado RB4 e de zeólito NaX na redução das alterações observadas em sensores de chumbo expostos a vapores de ácido acético dentro de vitrinas. No entanto, estudos mais recentes [88] mostraram que vários dos adsorventes com potencial de utilização podem emitir COVs e é necessária cautela quanto ao seu uso.

A dinâmica crescente de exposições temporárias em museus faz com que os espaços sejam constantemente renovados e que novos materiais e revestimentos sejam introduzidos com frequência. Muitos dos revestimentos de paredes e divisórias expositivas são colocados temporariamente nos espaços expositivos e tendem a libertar diversos tipos de COVs. Minimizar a frequência de substituição de revestimentos das paredes, procurar instalar bases de vitrinas que tenham sido previamente pintadas ainda fora do museu, utilizar revestimentos de volatilização acelerada e que não emitam compostos voláteis, além de respeitar o tempo de secagem e volatilização considerados seguros para os museus, são estratégias a serem consideradas na mitigação da concentração de COVs. Adicionalmente, é aconselhado que cada instituição submeta todos os materiais introduzidos em áreas expositivas, reservas e embalagens ao *Oddy Test*. Apesar de algumas instituições disponibilizarem as suas bases de dados com esta informação, frequentemente materiais com o mesmo nome, mas provenientes de fabricantes diferentes, podem ter composição química distinta e, portanto, diferentes comportamentos quando utilizados *in situ*, ainda que na mesma aplicação.

## Conclusão

O primeiro passo para implementar qualquer plano de monitorização baseia-se na definição dos objetivos gerais. É vital que o plano traçado por cada instituição seja compatível com as condições existentes e que seja exequível e realista. Muitos são os métodos, dispositivos e sensores disponíveis no mercado para a monitorização de poluentes, mas antes de decidir “como” medir, deve ser amplamente analisado “o quê” e “porquê”. A monitorização de gases poluentes em ambiente museológico, quando inserida num plano adequado de gestão de riscos dentro de cada instituição, é um ponto fundamental para conciliar benefícios e custos. A sinergia entre os poluentes (promovendo reações químicas), fatores ambientais (temperatura, HR, radiação visível e UV) e os materiais que compõem os artefactos traduz uma complexidade de contexto que, por vezes, podem requerer uma análise detalhada envolvendo equipas multidisciplinares. Os danos causados por poluentes gasosos em artefactos de museus são cumulativos e irreversíveis. Todos os esforços para evitar a exposição de coleções aos poluentes já conhecidos são benéficos. O conhecimento e a investigação contínua são as melhores ferramentas no domínio da conservação preventiva.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia o financiamento concedido (CITAR UIDB/00622/2020, Laboratório HERCULES UIDB/04449/2020 e UIDP/04449/2020).

## REFERÊNCIAS

1. Hatchfield, P., *Pollutants in the museum environment. Practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage*, Archetype Publications Ltd, London (2002).
2. European Environment Agency, *Air quality in Europe – 2018 report EEA Technical Report*, European Environment Agency, Copenhagen (2018), <https://doi.org/10.2800/850018>.
3. Spiegel, E., ‘MEMORI Survey Report: The current situation and management of indoor air quality (IAQ) in European collections’, Köln (2011), [http://www.memori.fraunhofer.de/uploads/media/Summary\\_web\\_based\\_survey.pptx.pdf](http://www.memori.fraunhofer.de/uploads/media/Summary_web_based_survey.pptx.pdf) (acesso em 2021-04-27).
4. Tétreault, J., ‘Standards for levels of pollutants in museums Part.II’, in *Indoor Air Pollution: Detection and Prevention, Presentation Abstracts and Additional Notes*, eds. A. W. Brokerhof & L. Gibson, Instituut Collectie Nederland, Amsterdam (1999), [http://iaq.dk/iap/iap1999/1999\\_05.htm](http://iaq.dk/iap/iap1999/1999_05.htm) (acesso em 2021-04-27).
5. Barbosa, K.; Moreira, A. R., ‘Investigação sobre gases poluentes em ambientes museológicos’, in *The International Seminar on Conservation of Modern Bronzes*, MAC – USP, São Paulo (2012), [http://www.mac.usp.br/mac/conteudo/academico/publicacoes/boletins/escultura/pdfs/KAREN\\_ANNA\\_PORT.pdf](http://www.mac.usp.br/mac/conteudo/academico/publicacoes/boletins/escultura/pdfs/KAREN_ANNA_PORT.pdf) (acesso em 2021-04-27).
6. Lee, L. R.; Thickett, D., ‘Selection of Materials for the Storage and Display of Museum Objects’, in *Preventive Conservation in Museums*, ed. C. Caple, Routledge, New York (2011) 239-257.

7. Thomson, G., *The Museum Environment*, 2ª ed., Routledge, New York (1994).
8. Grzywacz, C. M., *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments, Tools for conservation*, Getty Conservation Institute, Los Angeles (2006), [http://hdl.handle.net/10020/gci\\_pubs/monitoring\\_gaseous](http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/monitoring_gaseous).
9. Tétreault, J., *Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives: Risk Assessment, Control Strategies and Preservation Management*, Canadian Conservation Institute, Ottawa (2003).
10. Grzywacz, C. M.; Maybee, P.; Tétreault, J., 'Museums, galleries, archives, and libraries', in *ASHRAE handbook: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning applications*, SI Edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, INC., Atlanta (2011).
11. Holden, A., 'The AMECP project: prevention is better than cure', *Conservation Journal - Victoria and Albert Museum* (1992), <http://www.vam.ac.uk/content/journals/conservation-journal/issue-05/the-amecp-project-prevention-is-better-than-cure/> (acesso em 2021-04-27).
12. Odlyha, M.; Boon, J. J.; van den Brink, O.; Bacci, M., 'Environmental Research for Art Conservation (ERA)', *Journal of Thermal Analysis* **49**(3) (1997) 1571-1584, <https://doi.org/10.1007/BF01983717>.
13. AA.VV., 'Microclimate indoor monitoring: damage assessment for cultural heritage preservation', in *14th triennial meeting, The Hague, 12-16 September 2005: preprints* Vol. II, Verger, ICOM-CC, The Hague (2005) 670-676, <https://www.icom-cc-publications-online.org/2111/Microclimate-indoor-monitoring--damage-assessment-for-cultural-heritage-preservation> (acesso em 2021-04-27).
14. Grøntoft, T., 'Derivation of a model for the calculation of impact loads of air pollutants to paintings in microclimate frames', *e-Preservation Science* **7** (2010) 132-140, <http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2010/Grontoft-06-04-2010.pdf> (acesso em 2021-04-27).
15. AA.VV., 'Sensor system for detection of harmful environments for pipe organs (SENSORGAN)', *E-Preservation Science* **7** (2010) 116-125, <http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2010/Bergsten-09-08-2010.pdf> (acesso em 2021-04-27).
16. Dahlin, E., 'PROPAIN-Improved Protection of Paintings during Exhibition, Storage and Transit: Final Activity Report', *Norwegian Institute for Air Research*, EU FP6 Supported Research Project: SSPI-O44254 (2010) 147.
17. Prosek, T.; Kouril, M.; Dubus, M.; Taube, M.; Hubert, V.; Scheffel, B.; Degres, Y.; Jouannic, M.; Thierry, D., 'Real-time monitoring of indoor air corrosivity in cultural heritage institutions with metallic electrical resistance sensors', *Studies in Conservation* **58**(2) (2013) 117-128, <https://doi.org/10.1179/2047058412Y.0000000080>.
18. Odlyha, M.; Bozec, L.; Dahlin, E.; Grøntoft, T.; Chelazzi, D.; Baglioni, P.; Bonaduce, M.; Comibini, P.; Marsen, R.; Scharff, M.; Hackney, S.; Thickett, D., 'Memori Project: Evaluation of Damage to Exposed Organic-Based Heritage Materials and Nanoforart: Evaluation of Nanoparticle-Based Conservation Treatment', *International Journal of Heritage in the Digital Era* **1**(1 suppl) (2012) 319-324, <https://doi.org/10.1260/2047-4970.1.0.319>.
19. Saunders, D., 'Pollution and the National Gallery', *National Gallery Technical Bulletin* **21** (2000) 77-94, <https://www.nationalgallery.org.uk/upload/pdf/saunders2000.pdf> (acesso em 2021-04-27).
20. Tétreault, J., 'Agent of Deterioration: Pollutants', *Canadian Conservation Institute*, Canada (2008), <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/pollutants.html> (acesso em 2021-04-27).
21. World Health Organization, 'Air Quality Guidelines for Europe', WHO Regional Publications, Copenhagen (2000).
22. World Health Organization, 'Formaldehyde', in *Air Quality Guidelines*, 2ª ed., WHO Regional Office for Europe, Copenhagen (2001) 396-404.
23. World Health Organization, 'WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants', WHO Regional Office for Europe, Copenhagen (2010).
24. World Health Organization, 'Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005', WHO Regional Office for Europe, Copenhagen (2005).
25. World Health Organization, 'Development of WHO Guidelines for Indoor Air Quality', WHO Regional Office for Europe, Bonn (2006) 1-27, [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0007/78613/AIQIAQ\\_mtgrep\\_Bonn\\_Octo6.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/78613/AIQIAQ_mtgrep_Bonn_Octo6.pdf) (acesso em 2021-04-27).
26. 'Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio de 2008', *Jornal Oficial da União Europeia* L 152 (2008) 44.
27. Tidblad, J.; Kreislová, K.; Faller, M.; de la Fuente, D.; Yates, T.; Verney-Carron, A.; Grøntoft, T.; Gordon, A.; Hans, U., 'ICP materials trends in corrosion, soiling and air pollution (1987-2014)', *Materials* **10**(8) (2017) 1-23, <https://doi.org/10.3390/ma10080969>.
28. Hackney, S., 'Colour measurement of acid-detector strips for the quantification of volatile organic acids in storage conditions', *Studies in Conservation* **61**(sup1) (2016) 55-69, <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1140935>.
29. Canosa, E.; Norrehed, S., 'Strategies for pollutant monitoring in museum environments', Swedish National Heritage Board, June (2019) 65, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24172.00640>.
30. González-Martín, J.; Kraakman, N.; Pérez, C.; Lebrero, R.; Muñoz, R., 'A State-of-the-Art Review on Indoor Air Pollution and Strategies for Indoor Air Pollution Control', *Chemosphere* **262** (2020) 128376, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128376>.
31. Jantunen, M.; Jaakkola, J.J.K.; Krzyzanowski, M., *Assessment of exposure to indoor air pollutants*, Series n° 78, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen (1997), [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/107300/euro\\_series\\_78.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/107300/euro_series_78.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (acesso em 2021-04-27).
32. EPA, *Technical Overview of Volatile Organic Compounds*, United States – Environmental Protection Agency, (n.d.) <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds> (acesso em 2021-04-27).
33. Brimblecombe, P., 'The composition of museum atmospheres', *Atmospheric Environment* **24B**(1) (1990) 1-8, [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(90\)90003-D](https://doi.org/10.1016/0957-1272(90)90003-D).
34. Schieweck, A., *Airborne Pollutants in Museum Showcases: Material Emissions, Influences, Impacts on Artworks*, Dissertação de Doutorado, Academy of Fine Arts, Dresden (2009), [https://www.hfbk-dresden.de/fileadmin/user\\_upload/](https://www.hfbk-dresden.de/fileadmin/user_upload/)

- Downloads/Lehre-Forschung/Studiengaenge/Restaurierung/Diss/Diss\_Schieweck\_2009.pdf.
35. Ankersmit, H. A.; Tennent, N. H.; Watts, S. F., 'Hydrogen sulfide and carbonyl sulfide in the museum environment - Part 1', *Atmospheric Environment* **39**(4) (2005) 695-707, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.10.013>.
  36. Krupińska, B.; Van Grieken, R.; De Wael, K., 'Air quality monitoring in a museum for preventive conservation: Results of a three-year study in the Plantin-Moretus Museum in Antwerp, Belgium', *Microchemical Journal* **110**(2013) 350-360, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.05.006>.
  37. Tétrault, J.; Cano, E.; van Bommel, M.; Scott, D.; Dennis, M.; Barthés-Labrousse, M.-G.; Minel, L.; Robbiola, L., 'Corrosion of Copper and Lead by Formaldehyde, Formic and Acetic Acid Vapours', *Studies in Conservation* **48**(4) (2003) 237-250, <https://doi.org/10.1179/sic.2003.48.4.237>.
  38. Grøntoft, T.; López-Aparicio, S.; Scharff, M.; Ryhl-Svendsen, M.; Andrade, G.; Obarzanowski, M.; Thickett, D., 'Impact Loads of Air Pollutants on Paintings: Performance Evaluation By Modeling for Microclimate Frames', *Journal of the American Institute for Conservation* **50** (2011) 105-122, <https://doi.org/10.1179/019713611804480953>.
  39. Grøntoft, T.; Schmidbauer, N.; Wisthaler, A.; Mikoviny, T.; Eichler, P.; Müller, M.; Hackney, S.; Sommer Larsen, A., 'VOC emissions from canvas and acetic acid deposition to canvas and glass', *e-Preservation science* **11** (2014) 22-28, [http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2014/ePS\\_2014\\_a4\\_Grontoft.pdf](http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2014/ePS_2014_a4_Grontoft.pdf) (acesso em 2021-04-27).
  40. EPA, *Facts about formaldehyde*, EPA United States Environmental Protection Agency (n.d.), <https://www.epa.gov/formaldehyde/facts-about-formaldehyde#whatisformaldehyde> (acesso em 2020/11/24).
  41. Tétrault, J., 'The Evolution of Specifications for Limiting Pollutants in Museums and Archives', *Journal of the Canadian Association for Conservation (J.CAC)* **43**(613) (2018) 21-37.
  42. Striegel, M. F., 'The effects of gas phase formaldehyde on selected inorganic materials found in museums', *Objects Specialty Group Postprints, Vol. One*, (1992) 1-12, <http://resources.culturalheritage.org/osg-postprints/wp-content/uploads/sites/8/2015/03/osg001-01.pdf> (acesso em 2021-04-27).
  43. Thickett, D.; Lee, L. R., *Selection of materials for the storage or display of museum objects*, British Museum Press, London (2004).
  44. Hatchfield, P.; Carpenter, J., *Formaldehyde: How great is the danger to museum collections?*, Center for Conservation and Technical Studies, Harvard University Art Museums, Cambridge (1987).
  45. Liu, Z.; Little, J. C., 'Materials responsible for formaldehyde and volatile organic compound (VOC) emissions', in *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Toxicity of Building Materials*, eds. F. Pacheco-Torgal, S. Jalali & A. Fucic, Woodhead Publishing, Cambridge (2012) 76-121, <https://doi.org/10.1533/9780857096357.76>.
  46. De Faria, D. L. A.; Cavicchioli, A.; Puglieri, T. S., 'Indoors lead corrosion: Reassessing the role of formaldehyde', *Vibrational Spectroscopy* **54**(2) (2010) 159-163, <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2010.09.002>.
  47. Puglieri, T. S., *Impacto da composição química de microambientes em bens culturais: reatividade e monitoramento*, Dissertação de Doutorado, Instituto de Química, Universidade São Paulo, São Paulo (2014), <https://doi.org/10.11606/T.46.2015.tde-20072015-140812>.
  48. Korenberg, C.; Bertolotti, G., 'Emissions from MDF: Governing Factors and Mitigation Strategies', *Studies in Conservation* **64**(5) (2019) 249-260, <https://doi.org/10.1080/00393630.2019.1565153>.
  49. Gibson, L. T.; Watt, C. M., 'Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments', *Corrosion Science* **52**(1) (2010) 172-178, <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.054>.
  50. Thickett, D.; Allen, S., 'Effect of temperature on off-gassing and corrosion', in *IAQ - Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments 2018*, Krakow (2018), <http://iaq.dk/iap/iaq2018/iaq2018.pdf> (acesso em 2021-04-28).
  51. Ankersmit, H. A.; Noble, G.; Ridge, L.; Stirling, D.; Tennent, N. H.; Watts, S., 'The protection of silver collections from tarnishing', *Studies in Conservation*, **45**(sup1) (2000) 7-13, <https://doi.org/10.1179/sic.2000.45.Supplement-1.7>.
  52. Homem, P. M., *Corrosão atmosférica da prata: Monitorização e perspectivas de conservação preventiva*, Dissertação de Doutorado em Museologia, Porto (2013), <https://hdl.handle.net/10216/72784>.
  53. Tétrault, J., 'Sustainable use of coatings in museums and archives: some critical observations', *e-Preservation science* **8**(June) (2011) 39-48, <http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2011/Tetrault-05-01-2011.pdf> (acesso em 2021-04-27).
  54. López-Aparicio, S.; Grøntoft, T.; Odlyha, M.; Dahlin, E.; Mottner, P.; Thickett, D.; Ryhl-Svendsen, M.; Schmidbauer, N.; Scharff, M., 'Measurement of Organic and Inorganic Pollutants in Microclimate Frames for Paintings', *e-Preservation Science* **7** (2010) 59-70, <http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2010/LopezAparicio-16-02-2010.pdf> (acesso em 2021-04-27).
  55. Samide, M. J.; Liggett, M. C.; Smith, G. D., 'The dose makes the poison: measuring harmful sulfurous VOCs emitted by rigid PVC used in museum construction', in *IAQ - Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments 2018*, Krakow (2018), <http://iaq.dk/iap/iaq2018/iaq2018.pdf> (acesso em 2021-04-28).
  56. Diehl, J.; Stanek, S.; Pitthard, V.; Hanzer, H.; Griesser, M.; Goldmann, B., 'Preventive conservation strategies in the re-opened collection of the Kunstkammer of the Kunsthistorisches Museum Vienna. Theory versus practice.', in *IAQ 2016 - Indoor air quality in heritage and historic environments*, Birmingham, (2016) 28-29, [http://iaq.dk/iap/iaq2016/Diehl\\_IAQ2016.pdf](http://iaq.dk/iap/iaq2016/Diehl_IAQ2016.pdf) (acesso em 2021-04-28).
  57. Newman, R.; Byrne, E.; Chiantore, O.; Poli, T.; Riedo, C., 'Strange Events Inside Display Cases at the Museum of Fine Arts, Boston, and Lessons to be Learned From Them - Part 1', in *Conservation and Exhibition Planning: Material Testing for Design, Display, and Packing*, Lunder Conservation Center, Smithsonian American Art Museum, Washington, D.C. (2015).
  58. van Iperen, J.; van Keulen, H.; Keune, K.; Abdulah, K.; van Langh, R., 'Crystalline Deposits in New Display Cases at the Rijksmuseum: Characterisation and Origin', *Studies in Conservation* **66**(5) (2021) 253-271, <https://doi.org/10.1080/00393630.2020.1811475>.
  59. AA.VV., 'Identifying VOCs in exhibition cases and efflorescence on museum objects exhibited at Smithsonian's National

- Museum of the American Indian-New York', *Heritage Science* **8**(1) (2020) 1-13, <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00454-4>.
60. Schilling, M. R.; Carson, D. M.; Khanjian, H. P., 'Evaporation of fatty acids and the formation of ghost images by framed oil paintings', *Newsletter (Western Association for Art Conservation)* **21**(1) (1999) 17-19.
61. Coccato, A.; Moens, L.; Vandenabeele, P., 'On the stability of mediaeval inorganic pigments: A literature review of the effect of climate, material selection, biological activity, analysis and conservation treatments', *Heritage Science* **5**(1) (2017) 1-25, <https://doi.org/10.1186/s40494-017-0125-6>.
62. Grosjean, D.; Salmon, L. G.; Cass, G. R., 'Fading of Organic Artists' Colorants by Atmospheric Nitric Acid: Reaction Products and Mechanisms', *Environmental Science and Technology* **26**(5) (1992) 952-959, <https://doi.org/10.1021/es00029a013>.
63. 'NARA 1571, Archival Storage Standards' (2002), in *National Archives*, <https://www.archives.gov/foia/directives/nara1571> (acesso em 2021-04-27).
64. 'Poluição Atmosférica Mundial: Índice de qualidade do ar em tempo real', in *World Air Quality Index project*, <https://waqi.info/pt/> (acesso em 2020-05-23).
65. 'Oddy Test: materials databases' (2013), in *AIC Wiki - A Collaborative Knowledge Resource*, [https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy\\_Test](https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy_Test) (acesso em 2021-01-08).
66. Strlič, M.; Thomas, J.; Trafela, T.; Cséfalvayová, L.; Kralj Cigić, I.; Kolar, J.; Cassar, M., 'Material Degradomics: On the Smell of Old Books', *Analytical Chemistry* **81**(20) (2009) 8617-8622, <https://doi.org/10.1021/ac9016049>.
67. Kubba, S., 'Chapter 7 - Indoor Environmental Quality', in *LEED Practices, Certification, and Accreditation Handbook* (2010) 211-269, <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-691-0.00007-2>.
68. Veríssimo, M. I. S.; Oliveira, J. A. B. P.; Evtuguin, D. V.; Gomes, M. T. S. R., 'Preserve Your Books through the Smell', *ACS Sensors* **4**(11) (2019) 2915-2921, <https://doi.org/10.1021/acssensors.9b01279>.
69. Bembibre, C.; Strlič, M., 'Smell of heritage: A framework for the identification, analysis and archival of historic odours', *Heritage Science* **5**(1) (2017) 2-11, <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0114-1>.
70. World Health Organization Regional Office for Europe, '6.6 Hydrogen Sulfide' in *Air Quality Guidelines*, 2<sup>a</sup> Ed., WHO regional publications, European series **91** (2000) 146-148, [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0019/123076/AQG2ndEd\\_6\\_6Hydrogensulfide.PDF](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0019/123076/AQG2ndEd_6_6Hydrogensulfide.PDF) (acesso em 2021-04-27).
71. National Institutes of Health (NIH), 'Acetaldehyde', in *PubChem Compound Summary*, National Center for Biotechnology Information, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/acetaldehyde> (acesso em 2020-05-11).
72. Agbota, H.; Mitchell, J. E.; Odlyha, M.; Strlič, M., 'Remote assessment of cultural heritage environments with wireless sensor array networks', *Sensors (Switzerland)* **14**(5) (2014) 8779-8793, <https://doi.org/10.3390/s140508779>.
73. Dahlin, E. (ed.), *MEMORI - Measurement, Effect Assessment and Mitigation of Pollutant Impact on Movable Cultural Assets - Innovative Research for Market Transfer* (2010), [https://nilu.brage.unit.no/nilu-xmlui/bitstream/handle/11250/2507694/15-2014-emd-memori-final\\_report.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://nilu.brage.unit.no/nilu-xmlui/bitstream/handle/11250/2507694/15-2014-emd-memori-final_report.pdf?sequence=2&isAllowed=y) (acesso em 2021-04-27).
74. 'Oddy Test Protocols', in *AIC Wiki - A Collaborative Knowledge Resource*, [https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy\\_Test\\_Protocols](https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy_Test_Protocols) (acesso em 2020-05-23).
75. Green, L. R.; Thickett, D., 'Testing Materials for Use in the Storage and Display of Antiquities: A Revised Methodology', *Studies in Conservation* **40**(3) (1995) 145-152, <https://doi.org/10.1179/sic.1995.40.3.145>.
76. Homem, P. M., 'Conservação preventiva em contextos culturais. Recursos tecnológicos para gestão de risco ambiental; poluição', *Revista da Faculdade de Letras - Ciências e Técnicas do Património* **XII**(1ic) (2013) 305-317.
77. Balcar, N.; Barabant, G.; Bollard, C.; Kuperholc, S.; Keneghan, B.; Laganà, A.; vo Oosten, T.; Segel, K.; Shashoua, Y., 'Studies in cleaning plastics', in *POPART: Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections*, eds. B. Lavédrine, A. Fournier & Graham Martin, CTHS (2012) 225-269, [http://popart-highlights.mnhn.fr/wp-content/uploads/5\\_Active\\_conservation/2\\_Studies\\_in\\_cleaning\\_plastics/5\\_2\\_StudiesInCleaningPlastics.pdf](http://popart-highlights.mnhn.fr/wp-content/uploads/5_Active_conservation/2_Studies_in_cleaning_plastics/5_2_StudiesInCleaningPlastics.pdf) (acesso em 2021-04-27).
78. Odlyha, M.; Jakiela, S.; Slater, J.; Bozec, L.; Bergsten, C.; Grøntoft, T.; Dahlin, E.; Colombini, M. P.; Bonaduce, I.; Thickett, D.; Larsen, M.; Scharff, M., 'Piezo-electric quartz crystal-based dosimetry and damage assessment of parchment and artists'varnish', in *European Workshop on Cultural Heritage Preservation - EWCHP 2011*, Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, Berlin (2011), 182-187.
79. Odlyha, M.; Theodorakopoulos, C.; Thickett, D.; Ryhl-Svendsen, M.; Slater, J. M.; Campana, R., 'Dosimeters for indoor microclimate monitoring for cultural heritage', in *Museum Microclimates*, eds. T. Padfield & K. Borchersen, National Museum of Denmark (2007) 73-79, [http://natmus.dk/fileadmin/user\\_upload/natmus/bevaringsafdelingen/billeder/far/Museum\\_Microclimate/Proceedings/musmic150.pdf](http://natmus.dk/fileadmin/user_upload/natmus/bevaringsafdelingen/billeder/far/Museum_Microclimate/Proceedings/musmic150.pdf) (acesso em 2021-04-27).
80. Grøntoft, T.; Dahlin, E.; Haland, S.; Vika Hoen, H.; Heltne, T.; Thickett, D.; Lankester, P.; Schieweck, A., 'The "Memori System"; measurements, effect assessment and mitigation of pollutant impact on movable cultural assets - Innovative research for market transfer', in *3rd European Workshop on Cultural Heritage Preservation*, ed. A. Troi & E. Lucchi Bolzano, EURAC (2013) 23-28, [www.3encult.eu/en/deliverables/Documents/EWCHP2013\\_04.pdf](http://www.3encult.eu/en/deliverables/Documents/EWCHP2013_04.pdf) (acesso em 2021-04-27).
81. Curran, K.; Underhill, M.; Gibson, L. T.; Strlic, M., 'The development of a SPME-GC/MS method for the analysis of VOC emissions from historic plastic and rubber materials', *Microchemical Journal* **124** (2015) 909-918, <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.08.027>.
82. Maines, C. A., 'Implementation of Solid-Phase Microextraction (SPME) for Assessment of Exhibition & Storage Materials Christopher A. Maines', in *Conservation & Exhibition Planning: Material Testing for Design, Display & Packing*, Lunder Conservation Center and the Foundation of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Washington, D.C. (2015) 14-15.
83. Glastrup, J.; Ryhl-Svendsen, M., 'Recent improvements in SPME-GC/MS detection of acetic and formic acid in air', in *IAQ 2001: 4th meeting of the Indoor Air Pollution Working Group*, ed. M. Ryhl-Svendsen, The National Museum of Denmark, Copenhagen (2001), [http://iaq.dk/iap/iap2001/2001\\_16.htm](http://iaq.dk/iap/iap2001/2001_16.htm) (acesso em 2021-04-03).

84. Curran, K.; Underhill, M.; Grau-Bové, J.; Fearn, T.; Gibson, L. T.; Strlič, M., 'Classifying degraded modern polymeric museum artefacts by their smell', *Angewandte Chemie – International Edition* **57**(25) (2018) 7336-7340, <https://doi.org/10.1002/anie.201712278>.
85. Maekawa, S.; Beltran, V. L.; Henry, M. C., *Environmental management for collections: Alternative preservation strategies for hot and humid climates*, ed. T. Ball, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (2015).
86. Blades, N.; Oreszczyn, T.; Bordass, B.; Cassar, M., *Guidelines on pollution control in heritage buildings*, Museum Association, London (2000), <http://discovery.ucl.ac.uk/2443/1/2443.pdf> (acesso em 2021-04-27).
87. Cruz, A. J.; Pires, J.; Carvalho, A. P.; Brotas de Carvalho, M., 'Comparison of adsorbent materials for acetic acid removal in showcases', *Journal of Cultural Heritage* **9**(3) (2008) 244-252, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2008.03.001>.
88. Schieweck, A., 'Adsorbent media for the sustainable removal of organic air pollutants from museum display cases', *Heritage Science* **8**(1) (2020) 1-18, <https://doi.org/10.1186/s40494-020-0357-8>.

RECEBIDO: 2020.10.5

REVISTO: 2021.3.19

ACEITE: 2021.3.26

ONLINE: 2021.5.22



Licenciado sob uma Licença Creative Commons

Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

Para ver uma cópia desta licença, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt>.