

Tópicos em Conservação Preventiva-5

Conservação Preventiva: Controle Ambiental

Luiz Antônio Cruz Souza



BELO HORIZONTE
ESCOLA DE BELAS ARTES – UFMG
2008

Copyright © LACICOR–EBA–UFMG, 2008

PROGRAMA DE COOPERAÇÃO TÉCNICA:

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL – IPHAN

Departamento de Museus e Centros Culturais – DEMU

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG

Escola de Belas Artes – EBA

Centro de Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis – CECOR

Laboratório de Ciência da Conservação – LACICOR

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – CEP: 31270-901 – Belo Horizonte – MG – Brasil

2008

www.patrimoniocultural.org

lacicor@eba.ufmg.br

PATROCÍNIO:

Departamento de Museus e Centros Culturais – DEMU/IPHAN

PROJETO:

Conservação preventiva: avaliação e diagnóstico de coleções

Luiz Antônio Cruz Souza, Wivian Diniz, Yacy-Ara Froner e Alessandra Rosado

COORDENAÇÃO EDITORIAL:

Luiz Antônio Cruz Souza, Yacy-Ara Froner e Alessandra Rosado

Revisão:

Ronald Polito

Projeto Gráfico:

Nádia Perini Frizzera

Ficha Catalográfica:

Maria Holanda da Silva Vaz de Mello

| | |
|------|--|
| S729 | Souza, Luiz Antônio Cruz, 1962— Conservação preventiva: controle ambiental/Luiz Antônio Cruz Souza. — Belo Horizonte: LACICOR — EBA — UFMG, 2008. 23 p. : il. ; 30 cm. — (Tópicos em conservação preventiva ; 5) Projeto: Conservação preventiva: avaliação e diagnóstico de coleções Programa de Cooperação Técnica: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional e Universidade Federal de Minas Gerais ISBN: 978-85-88587-06-9 1. Edificações - Controle ambiental 2. Métodos de conservação preventiva 3. Preservação de materiais I. Título II. Título: Conservação preventiva: avaliação e diagnóstico de coleções III. Série. |
|------|--|

CDD: 702.88

Conservação Preventiva: Controle Ambiental

Tópicos em Conservação Preventiva-5

INTRODUÇÃO

A conservação de objetos, obras de arte e documentos em ambientes museológicos, bibliotecas ou arquivos depende, em grande parte, de um ambiente estável. A maioria dos problemas de degradação que ataca as obras/documentos é decorrente de um ambiente inadequado, sendo, portanto, um problema de conservação. Para um melhor controle preventivo é necessário conhecer as causas e os fatores que deterioram os materiais, e desse modo propor medidas de controle.

Qualquer material, mesmo que possua todas as propriedades físicas e químicas para durar séculos, sofre influências que prejudicam sua durabilidade. Essas influências são classificadas como: agentes internos, que provêm da matéria-prima e dos métodos de confecção; e agentes externos, que ocorrem a partir do uso e dependem do meio ambiente, da guarda, do manuseio e das intervenções.

Não existe, com raríssimas exceções, nenhum material, natural ou sintético, orgânico ou inorgânico, que não se degrade com o passar do tempo. Contudo, o processo de envelhecimento depende de medidas de controle ambiental capazes de minimizar o impacto da predisposição intrínseca de degradação da matéria e eliminar os agentes potenciais de degradação extrínseca, ou seja, do ambiente externo.

Toda degradação é irreversível, pois nenhuma obra voltará ao estado original; porém, os processos de degradação podem ser estacionados e controlados.

1. O OBJETO: A TOLERÂNCIA DOS MATERIAIS ÀS MUDANÇAS AMBIENTAIS

Para a compreensão da tolerância dos materiais às variações ambientais, é indispensável conhecer os aspectos materiais das obras, objetos e documentos, explorando suas características e constituição química. Como visto no tópico anterior (Tópico 4), podemos dividir os

materiais museológicos em dois grandes grupos:

Materiais orgânicos: materiais constituídos por moléculas de compostos orgânicos, as quais contêm átomos de carbono em sua estrutura básica. A maioria das moléculas orgânicas podem também conter oxigênio, nitrogênio, enxofre, hidrogênio. O ramo da química que se ocupa dos compostos orgânicos é chamado de Química Orgânica.

Materiais inorgânicos: os materiais inorgânicos são materiais constituídos por compostos inorgânicos, os quais por sua vez são formados por elementos químicos como metais, gases e não estão primariamente constituídos por átomos de carbono.

Esta divisão de materiais em orgânicos e inorgânicos tem um marco histórico, pois até 1828 os químicos acreditavam que os compostos orgânicos apenas poderiam ser produzidos através de organismos vivos. Os alcoóis, óleos, ceras, resinas e muitos outros materiais naturais eram considerados como se fossem produzidos somente por organismos vivos e nunca em laboratório, pois eles supostamente teriam a chamada força vital. Este era o princípio básico da chamada Teoria da Força Vital.

Além desta divisão em materiais orgânicos e inorgânicos dos materiais constituintes de objetos museais, é preciso considerar que na maioria desses objetos os compostos materiais são mesclados ou compostos (como por exemplo, em uma pintura – Fig.1, onde o aglutinante é orgânico e o pigmento é inorgânico), ou se encontram distribuídos em camadas.

Figura 1 – Estrutura básica da seqüência das camadas pictóricas de uma pintura de cavalete (espessura fora de escala). Ver a complexidade da mistura de materiais orgânicos e inorgânicos.

| | |
|--|---|
| | Revestimento (resina natural etc.) |
| | Camada pictórica (pigmento + aglutinante) |
| | Preparação (pigmento, carga + aglutinante) |
| | Suporte (tábua, madeira, metal, pedra, papel, pergaminho) |

A complexidade de materiais e as combinações de objetos museais estão diretamente relacionadas ao seu comportamento em relação às variações das condições ambientais. Como exemplo, podemos observar a estrutura das camadas de uma escultura policromada (Fig. 2).

| Esgrafiado | Veladura | |
|--|----------|--|
| | | |
| Camada de esgrafiado (pigmento + aglutinante) ou (cor + aglutinante) | | |
| Folha metálica (ouro, prata, estanho) | | |
| Folha de alumínio (óxido de ferro + óxido + aglutinante orgânico) | | |
| Preparação - 2ª camada (cor + fixo + pigmento; preparação + aglutinante orgânico) | | |
| Preparação - 1ª camada (cor + pigmento + aglutinante orgânico) | | |
| Estrutura Módulo | | |

Figura 2 – Estrutura esquemática da seqüência das camadas em uma escultura em madeira policromada, com ênfase na técnica de esgrafiado e de veladura.

2.1. UMIDADE

Considerando a combinação de elementos, a ação da umidade nos materiais constituintes de objetos museológicos pode ser associada a três relações principais:

- Alterações na forma e tamanho por dilatação e contração;
- Reações químicas que ocorrem na presença de umidade;
- Biodegradação.

Assim, como discutido nos tópicos anteriores, a degradação dos objetos está intimamente relacionada a sua composição, bem como sua interação com o meio ambiente. Os materiais orgânicos utilizados como suporte – como madeira, couro, pergaminho ou papéis – são constituídos por fibras e/ou microfibras que podem ter sentidos ou orientações distintas. Na madeira, as fibras de celulose estão orientadas paralelamente entre si. No papel, pergaminho e couro, as microfibras estão distribuídas sem uma orientação preferencial. Estas características são muito importantes para a compreensão dos mecanismos de troca ou intercâmbio entre esses materiais e a água presente no meio ambiente.

Os materiais, independentemente de sua característica orgânica ou inorgânica, também podem ser, a partir de sua interação com a água:

- **Materiais higroscópicos:** aquele que têm afinidade com a água. Como exemplo desses materiais, podemos citar a madeira e seus derivados; fibras naturais como algodão, cânhamo, linho; colas animais; colas naturais como a cola de amido etc. Sua composição os faz sensíveis à umidade, seja esta em forma líquida ou sob a forma de vapor. As moléculas de água no estado gasoso podem interagir com a superfície das moléculas desses materiais, provocando, na maioria dos casos, sua dilatação e contração, dependendo do aumento ou diminuição da umidade do ar, respectivamente. No caso

dos materiais higroscópicos não fibrosos, ocorre dilatação devido a sua interação com as moléculas de água, ainda que esta dilatação não seja preferencialmente em uma direção. As colas animais, por exemplo, são muito sensíveis às mudanças de umidade relativa e apresentam dilatação em todas as direções

- **Materiais hidrófobos:** são materiais que não têm afinidade com a água.

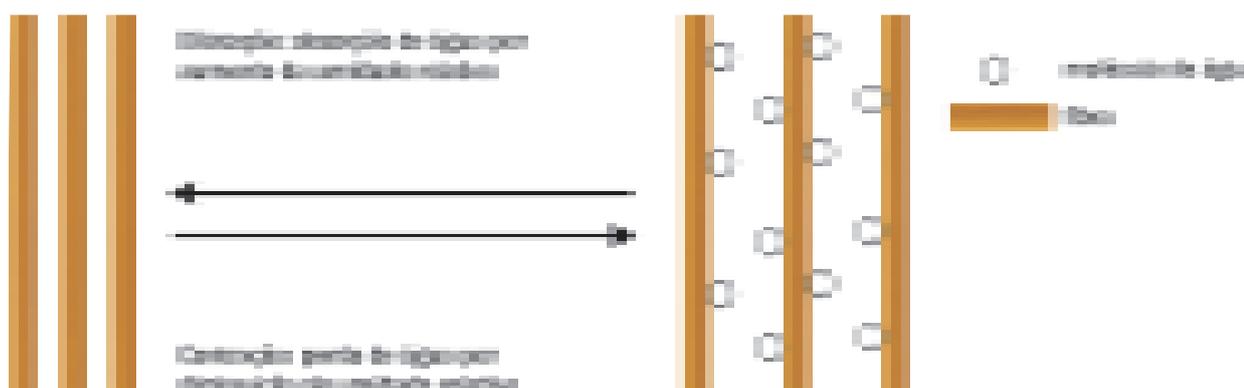


Figura 3 – Representação esquemática do efeito de dilatação e contração de materiais fibrosos higroscópicos sob a ação da variação de umidade relativa

A alteração dimensional provocada pelas interações aquosas é uma das causas principais de degradação de objetos museais. Por essa razão, um dos critérios da Conservação Preventiva estabelece que as variações de umidade relativa devam ser mínimas nesses ambientes, tanto nas salas de exposição quanto nas salas de guarda, pois são as oscilações da umidade relativa do ambiente que irão provocar danos nos objetos em função das alterações dimensionais de seus compostos materiais associados.

Associado à umidade, o ataque biológico ocorre em condições de umidade relativa acima de 70%, patamar em que a proliferação de fungos é elevada.

Porém, cabe ressaltar que os fatores de controle são associados. Por exemplo, no Museu Histórico Nacional do Rio de Janeiro a umidade relativa média é superior a 70%, mas a boa circulação de ar na reserva técnica, além da sistemática observação dos objetos e do controle rigoroso de limpeza e higiene garantem a estabilidade da coleção e o controle de microorganismos.

Atualmente, várias pesquisas têm avaliado os parâmetros ambientais em climas quentes e úmidos, pois a bibliografia corrente anterior relatava experiências de observação em contextos específicos de clima temperado.

2.1.1. O monitoramento da umidade relativa e da temperatura

A Umidade Relativa – U.R. – se define como a relação entre a quantidade de vapor de água existente em um volume dado e a quantidade de vapor de água necessário à sua saturação – em uma mesma temperatura.

O conhecimento do ambiente real de uma coleção é apenas possível por meio do monitoramento e registro das condições do ambiente. Um princípio básico que é muito importante é que monitoramento não é controle! Monitoramento é o conhecimento das condições ambientais nas quais se encontra uma coleção. Uma vez coletados, organizados e tratados esses dados, é então possível planejar um controle ambiental efetivo.

Não é raro encontrar em salas de exposição e áreas de guarda equipamentos adequados de monitoramento de umidade relativa e temperatura. Porém, quando se conversa com as pessoas responsáveis pelo acervo – conservadores ou não –, quase sempre descobrimos que nem sempre os equipamentos estão calibrados, ou as medidas, coletadas e tratadas; algumas vezes as pessoas se referem a esses equipamentos como equipamentos de controle, o que de fato não são, mas sim equipamentos de medição.

Basicamente, para o controle das condições ambientais das coleções são necessários três passos:

- **Monitoramento:** o registro, por meio de equipamentos de medição, das condições de umidade relativa e temperatura; coleta dos dados registrados por esses equipamentos;
- **Caracterização:** tratamento dos dados obtidos a partir dos equipamentos de monitoramento; comparação entre os diversos ambientes internos do museu e classificação das características climáticas, definindo cada ambiente em particular e o desempenho ambiental como um todo;
- **Avaliação:** interpretação dos resultados obtidos a partir da integração com os dados levantados no “Diagnóstico de Conservação” (Tópico 1). A avaliação dos resultados ocorre a partir da identificação das condições de manutenção do prédio (Tópico 6) e do desempenho de um determinado ambiente ou do espaço como um todo em relação aos materiais construtivos; localização geográfica e entorno da edificação; orientação do edifício em relação aos ventos; variações sazonais; ocupação do ambiente em relação à presença de visitan-

tes; características materiais das coleções; eventual presença de equipamentos e a relação da sala com os ambientes do entorno, elementos que caracterizam as fontes de umidade;

- **Relatório:** o relatório de monitoramento inclui todas as informações compiladas no diagnóstico. Particularmente, este diagnóstico específico é uma das principais ferramentas para a elaboração final de um plano de controle ambiental.

É fundamental ter em mente que esta ferramenta é importante para a definição de ações de médio e curto prazo. Porém, mesmo após a adoção de medidas de controle ambiental efetivo, esta prática deve ser continuada, pois a partir da análise constante dos dados de monitoramento é possível avaliar se as soluções propostas foram efetivas, se há necessidade de ajustes ou se os métodos não surtiram os efeitos esperados. Em um contexto de alteração climática constante, apenas a avaliação pautada por critérios de monitoramento é capaz de auxiliar no planejamento institucional.

2.1.2. Equipamentos para monitoramento de umidade relativa e temperatura

Como dito anteriormente, as modificações dimensionais ou na forma de objetos compostos por materiais higroscópicos – como madeira, celulose, cabelo – em função de variações da umidade relativa, podem servir positivamente para a construção de equipamentos para a medição de umidade relativa e temperatura, como é o caso de metais e fios naturais utilizados na construção dos termo-higrógrafos. É importante ter em mente que há instrumentos que necessitam ser calibrados regularmente para certificar a precisão dos valores medidos.

a) Psicrômetro

Quando a água evapora de uma superfície, a temperatura dessa superfície baixa, pois as moléculas de água ao se evaporar carregam consigo o calor da superfície onde se encontravam. Este é o princípio do funcionamento do psicrômetro, que mede a diferença da umidade relativa do ar mediante a diferença de temperatura de dois termômetros: um que mede a temperatura do ar ambiente (bulbo seco) e outro que tem a superfície de seu sensor coberta com água que se evapora em contato com o ar (bulbo úmido). Os dois valores são convertidos, com base em uma tabela, para encontrar a Umidade Relativa.

Este instrumento é utilizado para a calibração de outros equipamentos e pode ter desenhos diferentes. Os mais comuns são:

Psicrômetro de molinete (Fig. 4): a evaporação da água ocorre em função do movimento do ar causado pelo giro manual do instrumento;

Psicrômetro de aspiração (Fig. 5): possui um ventilador movido mecanicamente (mecanismo de corda) ou por motor elétrico. O ventilador promove um fluxo contínuo do ar que provoca a evaporação do bulbo úmido.

Os psicrômetros de molinete não são instrumentos confiáveis, pois dependem do esforço do operador que deve movimentar o instrumento distante do seu corpo para não afetar a medição. Os psicrômetros mecânicos ou elétricos são confiáveis, desde que calibrados. É indispensável o uso de água destilada ou deionizada na aferição do equipamento.



Figura 4
Psicrômetro de molinete

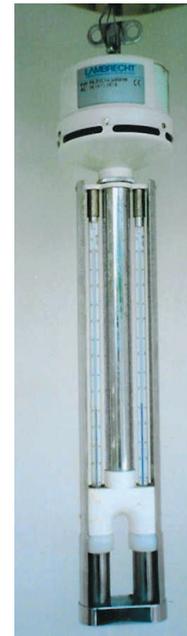


Figura 5
Psicrômetro de aspiração

b) Higrômetro

Os higrômetros são instrumentos que funcionam a partir das alterações dimensionais de seus sensores sensíveis à umidade. Como mencionado, os materiais utilizados como sensores podem ser: cabelos, crinas, membranas de animais ou madeira, polímeros e têxteis. As mudanças dimensionais do material acionam um ponteiro ou pena sobre um papel, indicando o valor da umidade relativa.

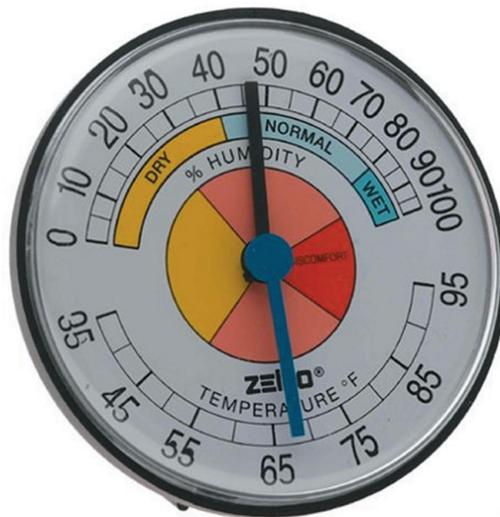
Os higrômetros mecânicos ou analógicos (Fig. 6) são lentos para responder às variações de umidade e são também muito sensíveis à vibração. O nível de umidade relativa para o qual este instrumento tem uma resposta linear é de 25 a 75% U.R. Estes equipamentos devem ser calibrados regularmente, a cada duas semanas ou de acordo com as orientações do fabricante.

Os termo-higrógrafos (Fig. 7) são instrumentos que registram em papel os valores de umidade relativa e temperatura, produzindo um gráfico em um papel quadriculado, grafado com os níveis específicos. Comumente usados nos museus da América Latina desde a

década de setenta, devem corresponder a um enorme o volume de papel gerado. Mas diversas questões colocam em dúvida a confiabilidade dos dados gerados: os aparelhos foram calibrados conforme indicação dos fabricantes? os mecanismos de corda foram acionados regularmente? os gráficos gerados foram datados, coletados, compilados e analisados?

Mais importante que acumular dados é tratar e interpretar esses dados, para que se possa ter um diagnóstico preciso do comportamento das variáveis ambientais de um espaço específico e de uma instituição. Também é necessário comparar esses dados com o ambiente externo, verificando em que grau e em qual medida o edifício interage com esse ambiente e constitui-se em um lugar favorável para o gerenciamento de coleções.

Figuras 6 e 7
- Higrômetro e
Termo higrógrafo



c) Higrômetros e termo-higrômetros eletrônicos

O sensor de umidade dos higrômetros eletrônicos é composto de um sal higroscópico que altera sua propriedade elétrica dependendo da umidade relativa. Normalmente é o cloreto de lítio que se encontra fixado em um gel ou em outra matriz do sensor. Os sensores podem alterar sua calibração em função das condições de saturação do ambiente; desta forma, é importante não respirar ou soprar sobre eles.

Os modelos de higrômetro e termo-higrômetro têm se desenvolvido muito nos últimos anos e hoje em dia são muito utilizados em conexão com instrumentos chamados *data-loggers*, equipamentos que têm a capacidade de armazenar os registros de umidade relativa e temperatura. Os *data-loggers* podem ser programados por um computador, e entre outras funções podem apresentar valores de umidade e temperatura definidos pelo operador, em intervalos de tempo regulares (de segundos a horas). Além disso, os dados podem ser transmitidos ao computador, seja por meio da conexão elétrica ou por sinais de rádio ou satélite. A eficiência desse sistema consiste na possibilidade

de produzir o tratamento dos dados a partir de programas específicos, gerando tabelas diárias, semanais, mensais e anuais; médias, máximas; mínimas e desvio padrão; além de tabelas comparativas entre ambientes e entre períodos distintos.

2.1.3. A análise dos registros de umidade relativa e temperatura

Uma característica comum na América Latina é que, em vários países, alguns dos museus mais importantes possuem equipamentos de medição, porém não os operam adequadamente, ou nem ao menos têm uma política ou metodologia que efetivamente analise os dados coletados.

Com a informatização dos sistemas de monitoramento, fica mais fácil levantar dados específicos. A metodologia corrente propõe gerar gráficos que apresentem amostras das flutuações sazonais. O primeiro gráfico deve ser o anual institucional, gerado pela média de todas as medições internas. A partir daquilo que chamaremos clima “tipo” (o clima mais característico em determinadas épocas do ano), definem-se as características de comportamento anual, além do mês e do dia típico daquela instituição, considerando-se as variações sazonais.

Esse modelo deve ser então analisado sob um gráfico psicrométrico (Fig. 8) para se avaliar o comportamento da edificação em relação ao entorno ou região. Nesse gráfico, define-se uma área de conforto a partir da qual podemos relacionar estratégias de *design* passivo, de modo a criar condições para o conforto. A representação do clima local é feita por linhas que correspondem à união entre pontos que representam as máximas e as

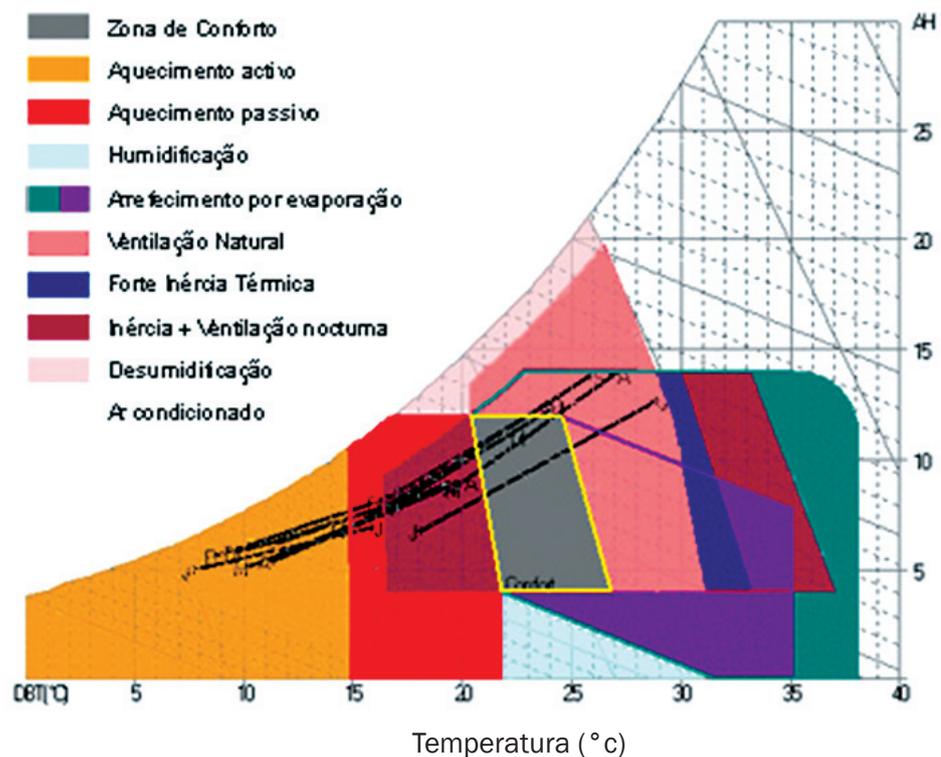


Figura 8 – carta psicrométrica

mínimas temperaturas (<http://www.ecoarkitekt.com/home/introducao-grafico-psicométrico-de-givoni/>).

A partir desse sistema global, é possível criar inúmeras comparações: de uma sala específica com o edifício; entre salas; entre o comportamento de um dia, mês ou ano de um espaço; entre o comportamento de uma área antes, durante e depois de reformas; entre os níveis máximos e mínimos. É possível também identificar as áreas de risco, os horários, meses ou estações mais problemáticas, e desse modo propor medidas que atendam às necessidades reais de controle, por meio de estratégias de *design*, arquitetura, engenharia e climatização.

Os meios de controle ambiental são de natureza diversa. Ponderando que cada caso é um caso, apenas apresentaremos os sistemas usualmente empregados.

MEIOS DE CONTROLE

| MEIOS | VANTAGENS | INCONVENIENTES |
|--|--|--|
| a) Mecânicos - climatização geral - ar condicionado | Sistema global - estabilização; conforto - controle de poluição | - não seletiva - risco de variações bruscas por pane - necessidade de manutenção constante - instalação cara e demorada |
| b) Mecânicos simples - desumidificadores - módulos de regulação | Sistema seletivo - utilização flexível - instalação simples - modulado em função das necessidades | - manutenção regular - risco de contaminação |
| c) Meios não mecânicos - materiais tampão - silicagel (*38%); alumina ativada (*20%) e sulfato anídrico de cálcio (*10%) * percentual de água absorvida | Sistema hiperseletivo - adaptação a cada volume e volumes pequenos | - necessidade de mobiliário e vitrinas seladas |

Tabela 1 - meios de controle ambiental, incluindo algumas vantagens e desvantagens

Todo e qualquer equipamento ou medida de controle propostos devem ser avaliados por um especialista na área de Conservação Preventiva. Normalmente as empresas não têm uma orientação focada para museus; desse modo transferem conceitos e pré-conceitos de uma área anterior, cometendo, não raramente, equívocos de avaliação. Sem o diagnóstico, nenhum sistema sofisticado deve ser introduzido, pois corre o risco de não ser eficaz ou gerar gastos além do suportável, principalmente em instituições públicas.

De qualquer modo, a partir da avaliação climatológica, medidas simples podem ser tomadas:

- a) Reorganizar o espaço interno, utilizando as áreas mais seguras para guarda e exposição de acervos;
- b) Organizar o espaço de visita e guarda a partir das características comportamentais dos acervos em relação ao excesso, carência ou flutuações de umidade e temperatura;
- c) Compreendendo o comportamento diário, mensal e anual do ambiente, propor medidas simples como controle de entrada dos visitantes, abertura e fechamento de portas e janelas etc;
- d) Gerar protocolos de manutenção predial que respeitem as épocas de chuva e estiagem;
- e) Investigar as fontes de umidade como vegetação, vazamentos, ascensão capilar (solo), limpeza, e propor medidas emergenciais.

2.2. RADIAÇÃO LUMINOSA E PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO

A luz é um fenômeno da natureza que sempre fascinou os seres humanos. A explicação científica sobre a constituição deste fenômeno também foi base de muitas discussões e controvérsias. Para a Conservação Preventiva, a luz deve ser entendida de várias maneiras: tanto como agente que permite ao observador apreciar uma obra de arte através de suas cores, textura e brilho, como também um dos mais importantes agentes de degradação.

Nesta seção discutiremos brevemente a natureza da luz e seus processos de interação com as substâncias, focando a atenção nas luzes visíveis, ultravioleta e infravermelha, que serão descritas com mais detalhes. As diferentes fontes de iluminação como o sol, as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e outras serão descritas com o objetivo de que o leitor se familiarize com as características dessas diferentes fontes luminosas e com as informações descritas pelos fabricantes.

2.2.1. A natureza eletromagnética da luz

A luz visível é uma parte muito pequena do espectro eletromagnético, que compreende radiações com características distintas em relação a sua interação com a matéria, desde as ondas de rádio até os raios cósmicos (Fig. 9). Na representação esquemática do espectro eletromagnético é importante verificar que não apenas a luz visível faz parte do espectro, mas também a luz infravermelha, ultravioleta, além de ondas de rádio, raios X e raios gama. Todos esses tipos de radiação têm uma interação característica com os átomos e as moléculas, e essa interação é definida pela energia de radiação. Os raios X e os raios gama, por exemplo, são tão energéticos que podem interagir com os

elétrons no interior dos átomos; a radiação microondas, por sua vez, é mais branda e apenas provoca a rotação das moléculas.

A interpretação científica moderna define a luz a partir de duas teorias: a corpuscular e a ondulatória. Essas teorias são importantes para a compreensão dos fenômenos relacionados à luz e à radiação de uma maneira geral.

No espectro eletromagnético é possível verificar que cada radiação corresponde a um determinado comprimento de onda e a uma frequência específica. Quanto maior o comprimento de onda, menor é a energia da radiação.

Assim, a energia da radiação é inversamente proporcional ao comprimento da onda. Observe-se que o comprimento da onda é medido em metros para radiações de baixa energia e em nanômetros (símbolo nm – um nanômetro corresponde a um milímetro dividido por um milhão).

A radiação visível ou luz visível está compreendida entre 400nm e 700nm. A radiação infravermelha encontra-se abaixo da luz visível, com um comprimento de onda entre 100.000nm e 700nm, e a radiação ultravioleta se encontra em uma zona que vai de 400 e 10nm.

Figura 9 – Representação esquemática do espectro eletromagnético, indicando a posição relativa da luz ultravioleta, visível e infravermelha em relação às outras radiações do espectro

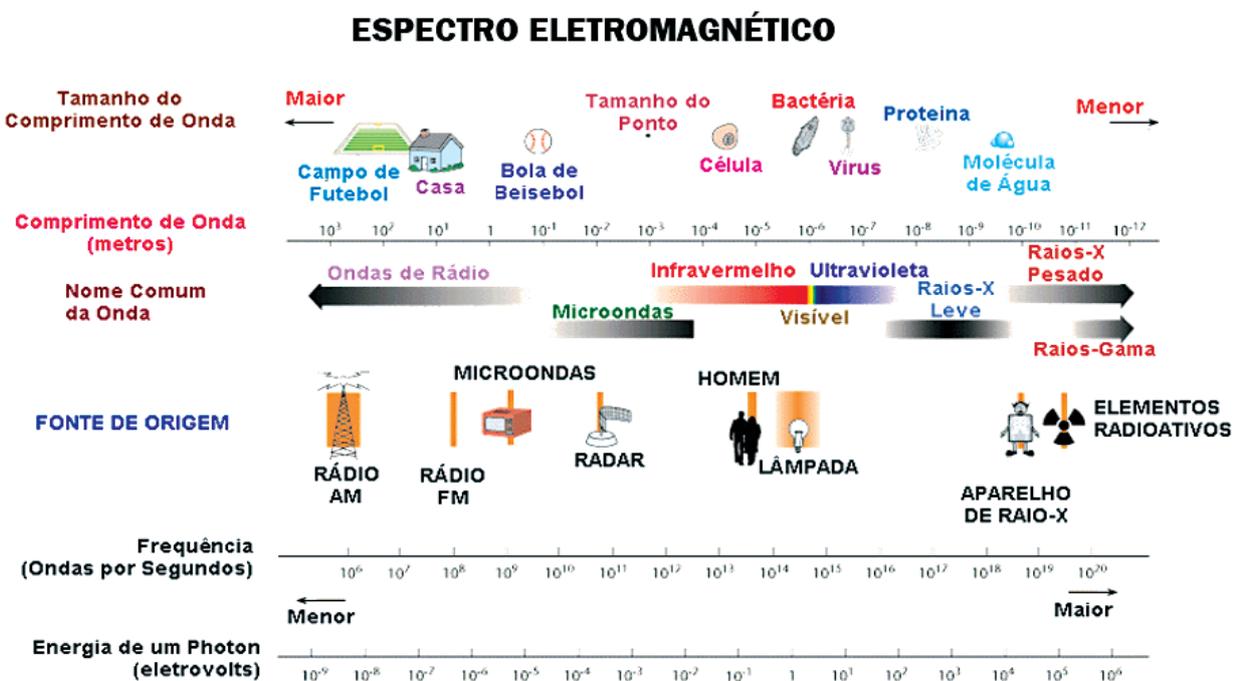
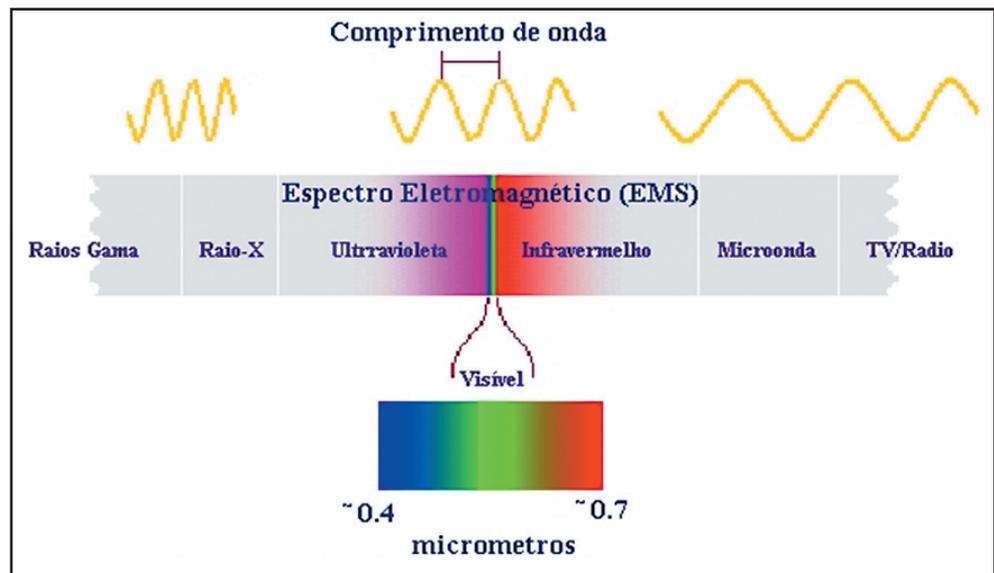


Figura 10 - Detalhes dos campos ultravioleta, visível e infravermelho do espectro eletromagnético no qual se pode ver a seqüência de componentes da luz ultravioleta, as cores do espectro visível e a seqüência da energia crescente em função do comprimento da onda.



Na figura 10 podemos observar com mais detalhes as características espectrais da radiação ultravioleta (de 10 a 400nm) e visível (de 400 a 700 nm). A radiação ultravioleta pode ser dividida em:

- Ultravioleta de vácuo (de 10 a 280nm): que está presente na radiação solar fora da atmosfera terrestre – filtrada pela camada de ozônio que envolve a terra;
- Ultravioleta A (UV-A) (de 280 a 320nm): que chega com a radiação solar até a superfície terrestre, porém não atravessa o vidro;
- Ultravioleta B (UV-B) (de 320 a 400nm): é a radiação ultravioleta que não é filtrada pelo vidro.

Todas essas características de radiação ultravioleta vão ser muito importantes para a compreensão da radiação emitida por diferentes fontes de luz como o sol, lâmpadas incandescentes, fluorescentes ou de vapores metálicos.

A radiação visível, como vemos na figura 10, está subdividida nas diferentes radiações coloridas do espectro visível. A radiação visível é menos energética que a radiação ultravioleta.

2.2.2. Classificação das fontes luminosas

A luz pode ser gerada por diversas formas. Em uma primeira tentativa de classificação podemos diferenciar as fontes luminosas em naturais e artificiais. No entanto, ambos os tipos seguem as mesmas leis físicas e químicas. Um aspecto importante das fontes luminosas é seu estado físico, sendo sólido, líquido ou gasoso. Nos museus, as principais fontes luminosas podem ser classificadas como:

- Incandescente: tungstênio, sol e chama;

- De descarga: fluorescente (baixa pressão), de mercúrio a alta pressão, de vapores metálicos, luz de sódio.



Fig. 11 - Tipos de lâmpadas: (A) incandescentes, (B) halógenas, (C) fluorescentes e de (D) descarga. Fonte: <http://www.luz.philips.com>

Cada tipo de fonte luminosa emite uma luz particular, que é a combinação das diferentes intensidades de energia emitidas pelas lâmpadas nas diversas partes do espectro eletromagnético (Fig. 12). Nos gráficos abaixo podemos verificar as diferenças entre os gráficos de distribuição espectral da luz de fontes luminosas distintas, como o sol, as lâmpadas incandescentes comuns e as lâmpadas fluorescentes.

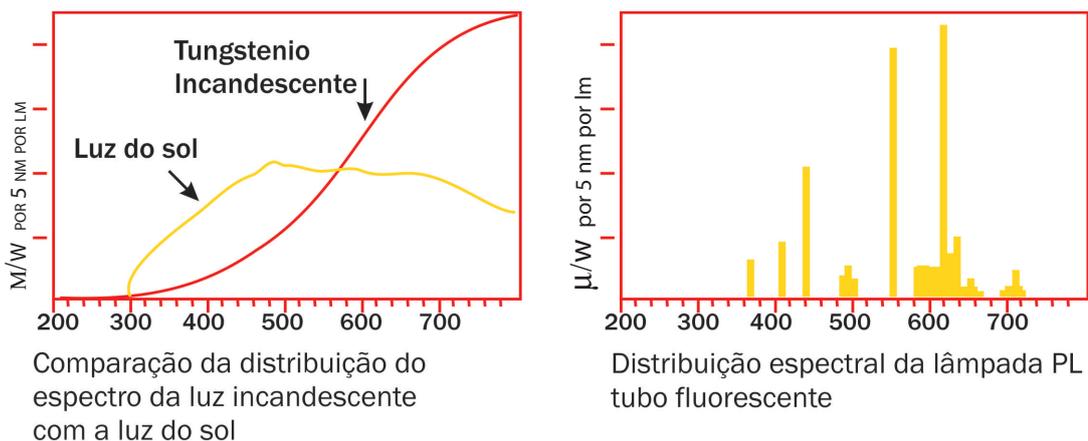
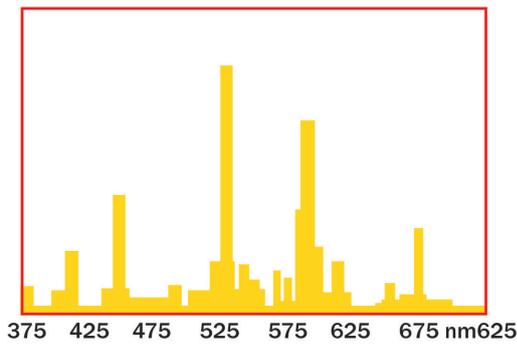
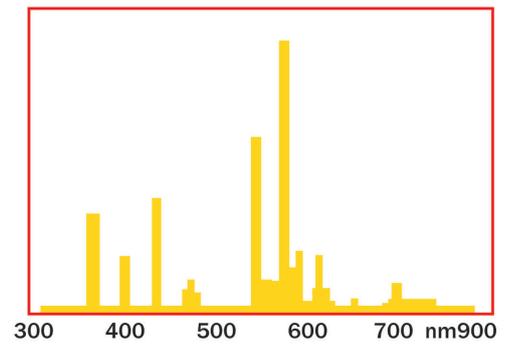


FIGURA 12 – COMPARAÇÃO ENTRE A DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DE FONTES LUMINOSAS



Distribuição espectral da lâmpada de vapores metálicos



Distribuição espectral da lâmpada de vapor de mercúrio em alta pressão

Lâmpadas incandescentes

As partes principais de uma lâmpada são: o filamento, o bulbo, o gás e a base. Seu funcionamento parte do princípio de que a emissão de radiação de luz visível ocorre quando os materiais são aquecidos a temperaturas mais altas (processo chamado de incandescência). A lâmpada incandescente, por exemplo, produz luz a uma temperatura de 2800K (ou 3173°C) . O filamento metálico aquece por meio da passagem dos elétrons e emite radiação de diversos comprimentos de onda, incluindo luz visível.

Quanto mais alta a temperatura de operação do filamento, mais branca é a luz, tornando-se azulada nas temperaturas em torno de 7000 K (7932°C). Este comportamento dos materiais incandescentes pode ser observado na figura 13. A lâmpada incandescente opera a 2800 K.

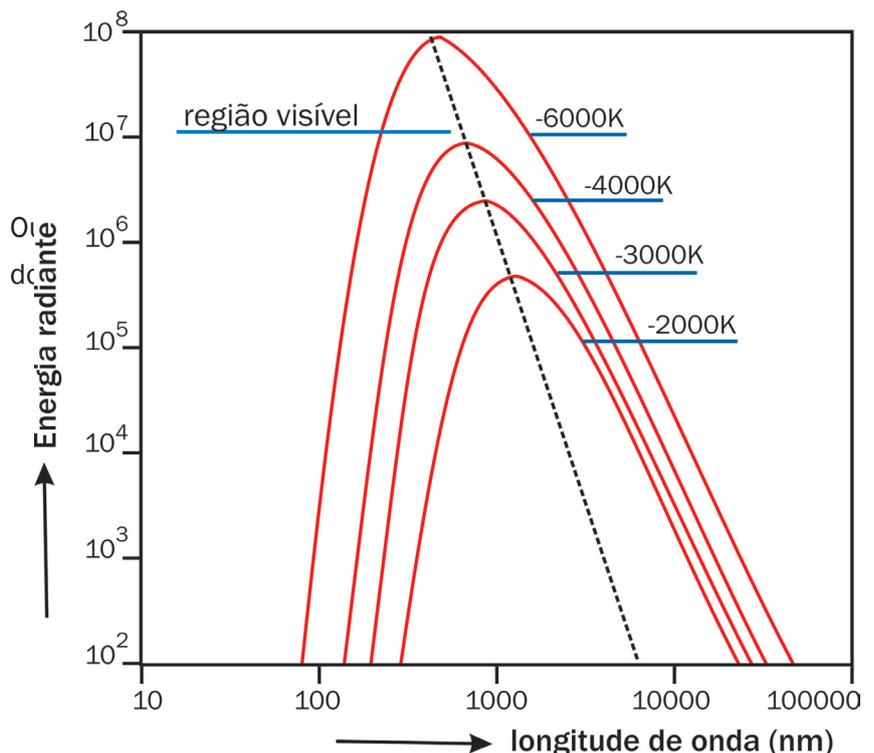


Figura 13 - Distribuição espectral de energia de corpos negros com temperaturas de cor entre 2000K e 6000K

corresponderia a uma temperatura de corpo negro de 5500K. Uma vela opera a temperatura de 2000K. As lâmpadas fluorescentes apresentam uma escala de temperatura equivalente à de um corpo negro, porém não exibem um espectro contínuo, como a luz do sol ou as lâmpadas incandescentes (ver Fig. 12 e comparar a forma contínua e os picos dos espectros).

Lâmpadas halógenas

Uma lâmpada incandescente comum não pode operar a temperaturas mais altas que 2800K devido à evaporação do tungstênio metálico de seu filamento. Este problema foi solucionado com o uso de gases halógenos (cloro, flúor) no interior do bulbo. Com esses gases a lâmpada pode operar a temperaturas mais altas (3000K), pois o tungstênio que se evapora do filamento reage com o gás halógeno e em seguida é redepositado sobre o filamento de tungstênio.

Porém, uma vez que sua temperatura de cor se aproxima mais ao centro da região de luz visível do espectro, ocorre também maior emissão de luz ultravioleta. Por essa razão, é muito importante ter sempre uma placa, anteparo, lustre, globo de vidro ou acrílico na frente da lâmpada halógena. Uma aplicação particular de lâmpadas halógenas são as lâmpadas dicróicas, que têm um sistema de refletores que concentram a radiação infravermelha da lâmpada na parte posterior.

Lâmpadas fluorescentes

A lâmpada fluorescente é uma lâmpada de descarga de baixa pressão, na qual a luz é predominantemente produzida pelo pó fluorescente distribuído ao longo de um tubo de vidro. Este tubo contém eletrodos em cada lado, vapor de mercúrio a baixa pressão e uma pequena quantidade de um gás inerte. A composição do pó que está distribuído na parede interna do tubo de vidro determina a cor da luz. O espectro das lâmpadas fluorescentes não é um espectro contínuo como o do sol ou da lâmpada incandescente porque dentro do tubo o vapor de mercúrio emite somente alguns picos específicos (ver figura 12.). Esta característica do espectro das lâmpadas fluorescentes compromete seriamente a capacidade de reprodução de cor dos objetos iluminados.

As lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão produzem um espectro mais contínuo que aquele obtido pelas lâmpadas fluorescentes, o que melhora seu índice de reprodução de cor. As lâmpadas de vapor metálico são muito similares às lâmpadas de mercúrio, porém têm

aditivos como iodetos de índio, tálio e sódio que proporcionam melhor reprodução de cor e maior eficiência.

2.2.3 A ação da radiação sobre os materiais

a) Qualidade da luz

Para a Conservação Preventiva, a compreensão das diferentes áreas do espectro eletromagnético é muito importante, especificamente as áreas de ultravioleta e de luz visível. A maioria dos materiais orgânicos é afetada pela luz, a qual pode promover vários danos, alterações químicas e físicas, como o amarelecimento dos vernizes de pinturas e da lignina do papel; a descoloração de veladuras e pigmentos; a deterioração de plásticos.

Na área do espectro eletromagnético que comporta radiação ultravioleta/visível/infravermelha, a radiação é mais prejudicial quanto maior a energia de seus raios (conseqüentemente, menor comprimento de onda). Assim, a radiação ultravioleta provoca mais danos que a luz visível e, nesta, as cores como violeta e azul são mais energéticas que as outras (verde, amarela, laranja e vermelha). Por essa razão, devemos ter em mente que não apenas a radiação UV é prejudicial, mas há muitos materiais que desbotam ou descolorem quando expostos apenas à luz visível.

O efeito mais preocupante da radiação infravermelha é unicamente o aumento da temperatura da superfície exposta a esta radiação. Os reatores que acompanham as lâmpadas halógenas e fluorescentes emitem muito calor e devem sempre permanecer fora das vitrinas e distantes das superfícies dos objetos para que estes não corram o risco de sofrer danos por fagulhas (que podem ser emitidas quando uma lâmpada estoura) ou calor.

b) A intensidade da luz e o tempo de exposição

A unidade que mede a proporção da radiação UV na luz visível é $\mu\text{W}/\text{lúmen}$ (microwatts por lúmen). As lâmpadas incandescentes, por exemplo, apresentam um valor máximo de UV de $75 \mu\text{W}/\text{lúmen}$. Este é o valor recomendado como o máximo para qualquer iluminação de objetos museológicos compostos por materiais sensíveis à luz. Todas as outras fontes de luz, como lâmpadas alógenas, fluorescentes, de vapor de mercúrio a alta pressão e vapores metálicos, emitem mais que $75 \mu\text{W}/\text{lúmen}$ e devem ser utilizadas com filtros ultravioleta. A luz solar, como visto na figura 12, também apresenta uma grande quantidade de radiação ultravioleta e, portanto, deve ser controlada sua incidência no ambiente interno.

A unidade para a medida de luminescência – a quantidade de radiação visível que chega a uma superfície – é o lux (lumens por m²). Há muitas publicações sobre os valores máximos recomendados para a iluminação de objetos em museus. Nesse tópico específico apresentaremos apenas recomendações, pois devemos ter consciência de que os danos provocados pela luz são cumulativos e mais cedo ou mais tarde tornam-se evidentes. Nosso trabalho é buscar dilatar ao máximo seus efeitos nocivos sobre os objetos. O luxímetro e o medidor de UV são os equipamentos necessários para análise das condições de radiação e luminescência de um ambiente.

Para materiais muito sensíveis como aquarelas, têxteis, tapeçarias, coleções de história natural (exsicatas e espécimes coloridos acondicionados em meio líquido, por exemplo), a recomendação é de um nível máximo de 50lux. Para outros objetos tão sensíveis como pinturas a óleo o nível é de 200lux. Um objeto exposto por dia a 200lux de iluminação sofre os mesmos efeitos cumulativos de uma radiação se submetido a 50lux por quatro dias:

$$200\text{lux} \times 1 \text{ dia} \times 8\text{horas/dia} = 200\text{lux.horas}$$

$$50\text{lux} \times 4 \text{ dias} \times 8\text{horas/dia} = 200\text{lux.horas}$$

É importante observar que se um museu realiza um controle total sobre o número de horas de exposição à luz dos objetos de sua coleção, pode fazer cálculos de exposição anual. May Cassar (1995) menciona, por exemplo, que para um museu aberto 52 semanas do ano, seis dias por semana, sete horas por dia (total de 2.184 horas), uma recomendação seria uma exposição total de 450.000 lux.horas para os objetos iluminados a 200; para os objetos iluminados a 50 lux, o total seria de 100.000 lux.horas.

2.2.4. Recomendações e controle

Para proteger os objetos devemos:

- Cortar radiação ultravioleta;
- Eliminar a radiação infravermelha (calor em excesso);
- Restringir as radiações visíveis em tempo e intensidade.

Neste sentido, devemos procurar uma iluminação adequada, pesquisando as lâmpadas mais indicadas existentes no mercado.

Através de medições periódicas, várias vezes ao dia, no mesmo horário, podemos conhecer as condições reais do ambiente. Para atender as recomendações descritas acima, algumas atitudes básicas são necessárias:

- Diminuir a luz ambiente, expondo o menor tempo possível os objetos;
- Diminuir sua intensidade e seu período;
- Colocar filtros nas janelas, vidros, vitrinas, globos. Os raios ultravioleta são os mais nocivos; para tanto as lâmpadas fluorescentes são as menos aconselháveis, a não ser aquelas protegidas por um difusor (acrílico leitoso) ou uma barreira (filtro U.V.);
- Lâmpadas incandescentes são muito quentes e devem ficar distantes dos objetos;
- Jamais expor qualquer objeto ao sol;
- Observar sempre a luz natural incidente e a posição das janelas, evitando-se que estantes, prateleiras, mesas de estudo e vitrinas de exposição recebam os raios solares diretamente (em qualquer hora do dia);
- Acondicionar os documentos e as obras, quando não expostos, em caixas e envelopes próprios.

CONCLUSÃO

Equipamentos de monitoramento, diagnóstico de risco, planejamento e bom senso são indispensáveis para a redução dos danos potenciais causados pelo meio ambiente.

Medidas de controle nem sempre significam impacto financeiro ou aumento dos gastos institucionais. Ao contrário, medidas simples como remanejamento das coleções a partir de avaliação ambiental, alteração dos horários de exposição e visita, manutenção predial e troca de lâmpadas podem reduzir esses gastos.

De todo modo, qualquer medida mais onerosa sempre deve ser tomada levando-se em conta a capacidade institucional de arcar a longo prazo com a manutenção de equipamentos mais sofisticados e a avaliação de um profissional específico na área de Conservação Preventiva em Museus.

REFERÊNCIAS

ANTOMARCHI, C. e GUICHEN, G. de. Pour une nouvelle approche des normes climatiques dans les musées. In: CONSELHO INTERNACIONAL DE MUSEUS. COMITÊ PARA CONSERVAÇÃO. MEETING, 8., 1987. Sidnei, Austrália. *8th triennial meeting: preprints...* Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1987. v. 3, p. 847-851.

BERGER, G. A. e RUSSEL, W. H. Investigation into the reactions of plastic materials to environmental changes. Part 1. The mechanics of the decay of paint films, *Studies in Conservation*, London, v. 31, n. 2, p. 49-64, maio 1986.

BRILL, T. B. *Light: it's interaction with art and antiquities*. New York: Plenum Press, 1980.

CASSAR, May. *Environmental management: guidelines for museums and galleries*. London: Rutledge, 1995.

CORNELIUS, F. du P. Movement of wood and canvas for paintings in response to high and low cycles. *Studies in Conservation*, London, v. 12, n. 2, p. 76-80, maio 1967.

DEAN, David. *Museum exhibition: theory and practice*. London: Rutledge, 1994.

GERHARD, C. *Preventive conservation in the tropics: bibliography*. Nova York: Conservation Center, Institute of Fine Arts, 1990.

GHICHEN, Gael de. *El clima en los museos*. Roma: ICCROM, PNUD/ UNESCO, 1984.

LAFONTAINE, R. H. Environmental norms for Canadian museums, art galleries and archives. *Canadian Conservation Institute Technical Bulletin*, Canada, n. 5, abr. 1981.

MECKELENBURGH, M. F. The Effects of Atmospheric Moisture on the Mechanical Properties of Collagen Under Equilibrium Conditions. *Preprints of the 16th Annual AIC Meeting*. New Orleans, 1988. p. 231-244.

MECKELENBURGH, Marion F. Some Mechanical and Physical Properties of Gilding Gesso. In: WOOD, Gilded. *Conservation and History*. Connecticut: Sound View Press, 1991. p. 163-170.

MICHALSKI, S. Directrices de humedad relativa y temperatura: ¿que esta pasando? *Apoyo*, Washington, D. C., v. 6, n. 1, p. 4-5, 1995.

MICHALSKI, S. Towards specific lighting guidelines. In: CONSELHO INTERNACIONAL DE MUSEUS. COMITÊ PARA CONSERVAÇÃO. MEETING: 9., 1990. Dresden, Alemanha. *9th triennial meeting: preprints*. Los Angeles: ICOM, 1990. v. 2, p. 583-588.

MICHALSKI, Stefan. An overall framework for preventive conservation and remedial conservation. In: CONSELHO INTERNACIONAL DE MUSEUS. COMITÊ PARA CONSERVAÇÃO. MEETING, 9., 1990. Dresden, Alemanha. *9th triennial meeting: preprints*. Los Angeles: ICOM, 1990. v. 2, p. 589-591.

MICHALSKI, Stefan. *Conservación de las colecciones de museos: enfoque sistemático*. Madri: ICC, 1992.

STAMBOLOV, T. *The corrosion and conservation of metallic antiquities and works art*. Amsterdam: Central Research Laboratory for Objects of Art and Science, 1985.

STOLOW, N. *Conservation and exhibitions: packing, transport, storage and exhibitions*. London: Butterworths, 1987.

THOMPSON, G. *The museum environment*. 2. ed. Londres: Butterworths, 1994.

TRETHEWEY, K. R. *Corrosion for students of science and engineering*. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1992.

WALSTON, S. Techniques for minimizing environmental damage to wooden objects moved from Papua New Guinea to Australia with particular reference to seasoning. In: *ICOM 7th triennial meeting: preprints*. Paris: ICOM, 1984. v. 1.