

Alessandra Rosado

**CONSERVAÇÃO PREVENTIVA DA ESCULTURA
COLONIAL MINEIRA EM CEDRO:
um estudo preliminar para estimar flutuações
permissíveis de umidade relativa**

**Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da
Escola de Belas Artes da Universidade Federal de
Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título
de Mestre em Artes Visuais.**

Área de concentração: Arte e tecnologia da Imagem

**Belo Horizonte
Escola de Belas Artes/UFMG
2004**

Rosado, Alessandra, 1967-

Conservação preventiva da escultura colonial mineira em cedro : um estudo preliminar para estimar flutuações permissíveis de umidade relativa / Alessandra Rosado. - 2004. -

129 f. : il. -

Orientador: Luiz Antônio Cruz Souza

Co-orientador: Abdias Magalhães Gomes

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Belas Artes

1. Escultura colonial – Minas Gerais – Teses 2. Escultura em madeira – Conservação preventiva - Teses 3 Escultura em cedro – Conservação preventiva – Teses 4. Umidade em madeira - Teses 5. Madeira – Deterioração – Teses I. Souza, Luiz Antônio Cruz, 1962- II. Gomes, Abdias Magalhães III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Belas Artes IV. Título

CDD : 702.88

CDU : 7.025

Dedico este trabalho, com todo amor, a meus pais, Glória e Newton, as minhas irmãs Viviane e Márcia e a meu querido sobrinho Linus.

Agradecimentos

Ao professor Dr. Luiz Antônio Cruz Souza, pela competente orientação, confiança e por ter me aceito para o desenvolvimento de um tema complexo e inovador.

Ao professor Dr. Abdias Magalhães Gomes pela valiosa co-orientação e por fornecer importantes subsídios técnicos.

Aos membros da banca, pelo exame detalhado do trabalho.

A Zina Pawilovsk pela eficiência no seu cargo de secretaria, pelo carinho e atenção.

A querida professora Maria Regina Emery Quites, pelo incentivo, amizade e pelos inúmeros empréstimos de seus livros.

A Anamaria Ruegger Almeida Neves, diretora do Centro de Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis, por permitir meu acesso irrestrito ao banco de dados desta instituição.

A querida Selma Oflia, pelo carinho, estímulo e auxílio indispensável nas práticas laboratoriais.

Aos funcionários, professores e amigos do Centro de Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis e da equipe do Laboratório de Ciências da Conservação, Betânia Reis Veloso Moema Queiroz, Paulo Batista, Mário Anacleto, Claudio Nadalin, Maura, Marco, Fábio e Alice pelo apoio e ajuda em todos os momentos.

Aos meus colegas do Curso de Pós-graduação: Soraya, Marina, Deise, Dulce e Carolina pela convivência e amizade durante estes dois anos de curso.

Aos meus queridos amigos e irmãos de alma: Carlinhos, Guilherme e Rita.

A Gilca Flores, pela amizade.

A Lucienne Elias e Wivian Diniz pelas importantes discussões teóricas, amizade e carinho.

Aos funcionários do laboratório da Engenharia de Materiais Sr. Machado e Sr. Marcos pela atenção e auxílio com os equipamentos

A Fernanda orientanda do prof.Dr. Abdias pela disponibilidade e apoio técnico durante os ensaios do Módulo de Elasticidade do cedro.

Ao Sr. Antônio, pela ajuda nos trabalhos de marcenaria.

Aos alunos do 15º curso do CECOR pela simpatia e apoio.

Aos senhores Carlos Antonio, Sr. Anísio, Sr Antônio Edson e José Eustáquio pela doação do cedro e por disponibilizarem o meio de transporte desse material e o seu desdobro.

A CAPES e CNPQ pelo suporte financeiro.

E a todos que, aqui não foram citados, mas que possibilitaram direta ou indiretamente a efetivação desse trabalho, agradeço o apoio e carinho.

Sumário

Resumo.....	XIII
Abstract.....	XIV
Introdução.....	15
Estado da Arte.....	17
Objetivo.....	21
Capítulo 1 - Escultura colonial mineira: o fazer e a técnica.....	23
1.1 Imagens de culto mineiras: uma breve contextualização histórica.....	23
1.2 O artista colonial mineiro e o mercado da fé.....	26
1.3 O cedro e a técnica escultórica	30
1.4 O ato de esculpir.....	33
1.5 A policromia escultórica.....	40
Capítulo 2 - A umidade relativa e a escultura em cedro.....	43
2.1 Generalidades.....	43
2.2 O local da obra.....	45
2.3 A degradação física das esculturas devido ao comportamento higroscópico do cedro.....	49
2.3.1 Danos ao suporte.....	54
2.3.2 Craquelês e desprendimento da camada pictórica.....	57
Capítulo 3 - Aspectos teóricos e metodológicos.....	65
3.1 Introdução e definição dos objetivos.....	65
3.2 O comportamento higroscópico da madeira e a definição dos critérios na escolha das técnicas analíticas dos experimentos	68
3.3 Metodologia e técnicas de análise.....	74

3.3.1 Teor de umidade de equilíbrio do cedro.....	75
3.3.2 Estudos sobre barreiras redutoras da velocidade de absorção de umidade da madeira.....	76
3.3.3 O comportamento elástico do cedro.....	79
Capítulo 4 - Experimental.....	82
4.1 Identificação botânica da madeira.....	82
4.2 Obtenção do teor de umidade de equilíbrio do cedro e avaliação do seu comportamento higroscópico em função da variação da UR e das camadas de douramento, cera de abelha, cera microcristalina e Osmocolor.....	82
4.2.1 Objetivo.....	83
4.2.2 Esclarecimentos.....	83
4.2.3 Materiais e equipamentos.....	83
4.2.4 Câmara de controle de umidade.....	84
4.2.5 Amostragem.....	88
4.2.6 Procedimento.....	93
4.2.7 Pesagens.....	95
4.2.8 Resultados e discussão.....	96
4.3 Módulo de elasticidade do cedro.....	108
4.3.1 Objetivo.....	108
4.3.2 Definições.....	108
4.3.3 Materiais e equipamentos.....	109
4.3.4 Amostragem.....	109
4.3.5 Procedimento.....	110
4.3.6 Resultados e discussão.....	113
Considerações finais.....	118
Bibliografia.....	120
Anexos.....	130

Lista de figuras

Figura 1- N. S. da Conceição. Escultura em cedro policromada.....	28
Figura 2- Cedro (<i>cedrela</i> sp.)	31
Figura 3- Tronco do cedro serrado transversalmente.....	31
Figura 4- N. S. das Dores, escultura em cedro policromada.....	33
Figura 5- Evolução dos martelos e formões.....	34
Figura 6- Evolução das ferramentas de trabalho de superfície.....	35
Figura 7- Banco de carpinteiro. Gravura de Hans Sebald Beham.....	36
Figura 8- N. S. das Dores, escultura em cedro policromada.....	37
Figura 9- Radiografia da cabeça da escultura de N. S. da Piedade.....	38
Figura 10- Escultura de Nossa Senhora das Dores.....	39
Figura 11- Representação esquemática das camadas constituintes de uma técnica pictórica (douramento aquoso e esgrafiado).....	41
Figura 12- Carta psicrométrica.....	44
Figura 13- Mapas das médias mensais da UR para o Estado de Minas Gerais.....	47
Figura 14- Mapas do teor de umidade de equilíbrio médio da madeira de várias regiões do Brasil.....	48
Figura 15- Perspectiva do desvio dos tecidos lenhosos do tronco causados por um ramo.....	50
Figura 16- Corte transversal do tronco com fendas (rachaduras).....	51
Figura 17- Detalhe da base da escultura de São João Nepomuceno.....	52
Figura 18- Direções geométricas definidas pelo tipo de corte efetuado na madeira.....	53
Figura 19- Esquema dos perfis das seções transversais das bases das esculturas.....	55
Figura 20- Variações dimensionais e volumétricas da madeira.....	56
Figura 21- Detalhe do desprendimento dos pinos da base da escultura de vestir (Nossa S. das Dores).....	56

Figura 22- Representação esquemática do rompimento entre a camada pictórica e a madeira.....	58
Figura 23- Desenho esquemático do estrato pictórico com craquelês originados da dilatação do suporte.....	58
Figura 24- Desenho esquemático do craquelê resultante da sobreposição da camada pictórica.....	59
Figura 25- Craquelês originados do deslocamento de blocos ou rachaduras do suporte.....	59
Figura 26- Craquelê paralelo à fibra da madeira presente na escultura de Santo Inácio de Loyola.....	60
Figura 27- Detalhe do craquelê longitudinal presente na policromia do manto da escultura de N. S. das Dores (área posterior).....	61
Figura 28- Detalhe do craquelê perpendicular a fibra da madeira.....	62
Figura 29- Craquelê de linha presente na carnação da escultura de Nossa Senhora das Dores.....	63
Figura 30- Detalhe do desprendimento da policromia nos rostos das imagens: Nossa Senhora das Dores e Santana.....	63
Figura 31- Deslocamento de blocos (escultura de N. S. do Rosário).....	87
Figura 32- Desenho esquemático do sistema de controle de umidade.....	87
Figura 33- Sistema de controle de umidade em funcionamento.....	88
Figura 34- Dimensão dos corpos-de-prova.....	88
Figura 35- Grupo de amostra número 1.....	89
Figura 36- Grupo de amostra número 3.....	89
Figura 37- Grupo de amostra número 4.....	90
Figura 38- Grupo de amostra número 6.....	90
Figura 39- Grupo de amostra número 7.....	91
Figura 40- Grupo de amostra número 8.....	91
Figura 41- Detalhe do douramento do corpo-de-prova com bolha.....	92
Figura 42- Curva característica do teor de umidade de equilíbrio da madeira.....	99

Figura 43- Isotermas higroscópicas mostrando a relação entre a umidade relativa, umidade de equilíbrio da madeira e a temperatura.....	99
Figura 44- Isotermas higroscópicas de adsorção (UE) para as madeiras : mogno e pinho.....	100
Figura 45- Gráficos dos corpos-de-prova 3A a 5C preparados com base, bolo e douramento.....	103
Figura 46- Gráficos dos corpos-de-prova 6A a 8 C	106
Figura 47- Desenho esquemático do corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras.....	109
Figura 48- Teor de umidade de equilíbrio do cedro medido com medidor elétrico.....	110
Figura 49- Câmara de climatização FANEM.....	111
Figura 50- Arranjo de ensaio para o módulo de elasticidade do cedro.....	112
Figura 51- Detalhe do corpo-de-prova submetido ao ensaio na máquina EMIC PC 200.....	113

Lista de tabelas

1 – Valores médios da variação dimensional de algumas madeiras utilizadas no Brasil.....	69
2 – Pressão de vapor d'água.....	71
3 – Classes de umidade.....	80
4 – Lista dos sais usados na formulação das soluções salinas e suas respectivas porcentagens.....	85
5 – Duração dos ciclos de UR	95
6 – Teor de umidade de equilíbrio do cedro.....	97
7 – Módulo de elasticidade do cedro	114
8 – Umidade relativa X média do módulo de elasticidade (MPa).....	115

Lista dos quadros

1 - Técnicas de decoração e de acabamento.....	41
2 – Estudo do comportamento higroscópico dos corpos-de-prova 2A a 8C.....	107
3 – Parâmetros de umidade relativa propostos para conservação de objetos em madeira.....	117

Lista dos gráficos

1 - Teor de Umidade de equilíbrio do cedro submetido a variações de umidade relativa de 18% a 74%.....	98
2 - Percentual da variação de massa dos corpos-de-prova 2A, 2B e 2C.....	101
3 – Característica do inchamento da madeira.....	104
4 – Módulo de elasticidade do cedro X umidade relativa.....	115

Resumo

Este trabalho teve como objetivo contribuir para a estimativa de valores de umidade relativa permissíveis para esculturas coloniais mineiras, a partir de experimentos que determinam o teor de umidade e a caracterização elástica do cedro submetido a variações de umidade relativa.

Foi adotada uma abordagem interdisciplinar através da qual, além dos ensaios, estudaram-se aspectos históricos sobre a técnica escultórica setecentista e caracterizaram-se as tipologias de degradação relacionadas ao comportamento higroscópico da madeira através da análise comparativa entre 71 esculturas policromadas esculpidas em cedro.

A madeira cedro (*cedrela sp*) utilizada nos experimentos foi originária da cidade São João Evangelista, Minas Gerais, tendo idade aproximada de 21 anos. Toda a metodologia experimental seguiu, no geral, as normas técnicas prescritas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) -- NBR 7190/97.

Considerando ser este um trabalho referencial inicial, os resultados obtidos nos ensaios estabelecidos para a conservação preventiva de objetos em madeira, permitiram um estudo sobre a possibilidade do emprego de flutuações de UR (entre 45% e 65%) especificadas neste estudo para a conservação das esculturas mineiras em cedro.

Palavras-chave: escultura em cedro, teor de umidade de equilíbrio, módulo de elasticidade, flutuações permissíveis de UR.

Abstract

This paper looks to contribute to an estimate of the relative permissible humidity levels for colonial sculptures from the state of Minas Gerais, Brazil. Experiments were carried out to determine humidity levels and the elasticity of cedar when subjected to variations in relative humidity.

An interdisciplinary approach was adopted by which, beyond the experiments themselves, historical aspects of eighteenth century sculpture techniques were studied and typologies of degradation related to the hygroscopic behavior of wood were characterized through a comparative analysis of 71 polychromatic cedar sculptures.

The cedar wood (*cedrela sp*) used in the experiments came from the city of São João Evangelista, Minas Gerais and was approximately 21 years old. All of the methodology used in the experiments followed the technical norms prescribed by the Brazilian Association of Technical Norms (ABNT) — NBR 7190/97.

This project can be considered a work of baseline reference. The results obtained in the experiments, established for the preventive preservation of wood objects, permitted the study of the possibility of using the fluctuations in relative humidity (from 45% to 65%) for the preservation of cedar sculptures from the state of Minas Gerais.

Key words: cedar sculpture, humidity equilibrium level, module of elasticity, permissible fluctuations in relative humidity

Introdução

Um dos conceitos referentes aos séculos XX e XXI é o de mobilidade. É notável a tendência de disseminação cultural e artística, como podemos observar nos inúmeros eventos nacionais e internacionais (exposições, seminários e festivais) que quase sempre ocorrem nas principais capitais mundiais.

Seguindo essa tendência, os acervos dos museus, igrejas e colecionadores não ficam expostos somente nas suas respectivas salas de origem. Através de acordos culturais entre os responsáveis pela guarda de bens móveis e integrados, esses objetos viajam e são expostos em várias regiões do país e do mundo assumindo o papel de instrumentos do conhecimento e difusores de culturas diversas.

Minas Gerais participa de exposições estaduais, nacionais e internacionais enviando, principalmente, obras em madeira pertencentes aos períodos barroco e rococó. A madeira utilizada como suporte para talha, escultura (dourada e policromada) ou para pinturas à têmpera ou a óleo, desempenhou, sem dúvida alguma, o papel de ser a alma da arte produzida pelos escultores, entalhadores e pintores do setecentos.

Um importante estudo publicado por Pedro Lisboa¹ sobre o tipo de madeira usada no barroco e rococó mineiro revela que a espécie mais utilizada pelos artesãos dessa época foi o cedro, por ser uma madeira facilmente encontrada e possuir características (físicas, químicas e biológicas) que facilitam o trabalho de escultura e permitem grande diversificação nas suas aplicações.

As obras em madeira, como todo material orgânico, são vulneráveis às variações das condições ambientais (principalmente referentes a mudanças de umidade e temperatura), por isso, requerem cuidados especiais quando são retiradas do seu ambiente de origem.

O controle do microclima do ambiente, ao qual as obras ficam expostas, está diretamente ligado ao conhecimento das alterações físicas da madeira na qual a peça foi construída; no entanto, não existem experimentos específicos sobre o comportamento higroscópico do cedro relacionado à sua utilização como suporte para esculturas douradas e policromadas.

¹ LISBOA, 1994, p.18-20.

A madeira é um material higroscópico², sendo a variação de umidade sempre acompanhada da variação dimensional; os efeitos desse comportamento podem provocar tensões internas nas esculturas, causando deslocamento de encaixes, aparecimento de rachaduras no suporte e conseqüentemente danos à camada pictórica.

Uma escultura em madeira, sem policromia, não perde seu valor estético. Contudo, no caso da imaginária barroca, a perda da policromia significa a supressão de um relevante dado histórico para a sua compreensão.

As esculturas setecentistas mineiras (como toda imaginária barroca) eram concebidas para receberem douramento e policromia, adequando-se à necessidade estética da época de conferir-lhes um aspecto real e natural. O uso da policromia dava a esses objetos um significado simbólico e iconográfico maior, própria do universo religioso barroco.

Não se pode deixar de mencionar que determinados tipos de perda do suporte (como face, mãos e atributos) também dificultam a identificação histórica, iconográfica e iconológica da imaginária barroca.

Diante desse contexto, propõe-se uma análise do comportamento higroscópico do cedro em função da variação da umidade relativa (UR). Uma análise que procura pensar algumas questões mais abrangentes da conservação preventiva que enriqueçam a compreensão desse problema de uma forma interdisciplinar, ciente, contudo, que o próprio foco do trabalho representa limites estabelecidos, adequados ao tempo previsto para a efetivação dessa pesquisa.

Nesse sentido, o objeto deste trabalho encontra-se relacionado com a história da técnica construtiva das esculturas coloniais mineiras, com o estudo das tipologias de degradação em função da movimentação mecânica do cedro, com os experimentos laboratoriais realizados com essa madeira (em parceria com o departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais) e com a estimativa de flutuações permissíveis de umidade relativa adequadas a essa tipologia de material.

A seguir apresenta-se o estado da arte que contextualiza o desenvolvimento dos aspectos técnicos e científicos geradores de parâmetros de umidade relativa com a finalidade de promover a preservação de acervos culturais.

² A madeira, sendo um material higroscópico, pode continuar indefinidamente a absorver e eliminar água, trocando-a com o meio ambiente. Esta característica depende das variações da umidade relativa (UR), da temperatura, da ventilação, das dimensões da peça e do seu estado superficial.

Estado da Arte

O controle dos fatores ambientais é uma das principais ações adotadas na preservação de objetos patrimoniais — como o controle da umidade relativa, temperatura e da incidência de luz.

No caso da preservação dos objetos em madeira, um dos fatores ambientais que merece maior atenção é a umidade relativa (UR) dos ambientes onde esses objetos ficam expostos. Variações inadequadas de UR podem provocar danos físicos irreversíveis a esses objetos devido ao comportamento higroscópico da madeira.

O estudo para o estabelecimento de flutuações permissíveis de UR considerando o material com o qual o objeto é constituído, o seu estado de conservação, a característica climática da região e do local onde ele fica exposto e a utilização de sistemas de controle ambientais mais efetivos, práticos e economicamente viáveis, é um tema relativamente novo na área de conservação preventiva.

No século XX, as observações sobre o comportamento das peças de coleções de museus em função da UR demonstravam que valores extremos de umidade desencadeavam processos de degradação biológicos, químicos³ e mecânicos dos materiais (como o desenvolvimento de microorganismos, corrosão, fissuras e rachaduras).

Essas constatações práticas indicavam aos conservadores que a prevenção dos danos dos objetos seria possível se houvesse a manutenção de um ambiente climático moderado e constante nos ambientes de exposição.

A principal justificativa para a adoção dessa política de controle ambiental surgiu a partir de um fato ocorrido na década de 40: durante a Segunda Guerra Mundial, a Galeria Nacional de Londres transferiu parte de seu acervo para um depósito subterrâneo; a umidade relativa desse depósito foi mantida constante entre 55 e 60% através de um sistema de aquecimento do ar. Enquanto permaneceram nesse local, as obras alcançaram um grau de estabilidade que reduziu a necessidade de intervenções. Problemas como fissuras, rachaduras, empenamentos e craquelês causados aos objetos devido à variação de UR, só reapareceram quando a coleção foi novamente devolvida ao espaço de exposição da Galeria, após o término da Guerra (PLENDERLEITH, 1971).

³ Os efeitos químicos e biológicos causados aos objetos patrimoniais em função da variação de temperatura e umidade relativa já eram estudados desde o século XIX (PRICE, 1996).

A experiência da Galeria de Londres, combinada com a falta de conhecimento sobre os possíveis danos que pequenas flutuações de UR podiam causar aos objetos, firmou a tendência, nos anos 60 e 70, das instituições de guarda de bens patrimoniais e artísticos manterem uma UR, nos ambientes de exposição, constante todo o ano (com valor de 50%), permitindo-se apenas uma flutuação mínima de mais ou menos 5% (MICHALSKI, 1995 a).

Esses valores de UR, apesar de não serem procedentes de evidências comprovadas cientificamente, transformaram-se em normas seguidas pelos profissionais dos museus europeus e americanos cuja infra-estrutura (como sistemas de aquecimento, desumidificadores, ar condicionado e condições financeiras para manter esse aparato tecnológico) permitiam tal controle.

Poucas instituições tinham condições de cumprir essas especificações inflexíveis. Contudo, somente na década de 90 é que os conservadores começaram a discutir a aplicabilidade dessa norma a partir de investigações científicas. Os estudos nessa área passaram a observar a possibilidade de estimar flutuações de UR e temperatura ajustados às realidades financeiras, climatológicas, históricas dos museus compatíveis com a tipologia e estado de conservação de suas coleções e edifícios (MICHALSKI, 1995; ERHARDT e MECKLENBURG, 1994).

A conservação preventiva, a partir desses estudos, adotou uma linha multidisciplinar (permitindo trocas de experiências entre as diversas instâncias da ciência e da tecnologia) objetivando a definição das umidades permissíveis para cada tipo de material (metais, papéis, tecidos, madeira, rochas, etc.) para, juntamente com o conhecimento das condições climatológicas dos locais onde esses objetos culturais ficam expostos, possibilitar o planejamento criterioso das condições ambientais favoráveis à conservação desses acervos.

CASSAR (1997) ampliou ainda mais essa discussão, pois além de afirmar a utilização de uma investigação criteriosa do acervo, da edificação e do entorno dos museus⁴, ressaltou a necessidade do gerenciamento dos recursos disponíveis para aplicá-los de maneira eficaz.

Na América Latina, o Laboratório de Ciência da Conservação (LACICOR), da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), coordenado pelo professor Dr. Luiz Antônio Cruz Souza, merece destaque como pioneiro na elaboração de metodologias de controle ambiental envolvendo a colaboração de vários departamentos científicos estaduais, nacionais e internacionais.

⁴ Essas investigações definem os parâmetros de conservação preventiva através da utilização de métodos passivos e ativos. O método ativo de controle ambiental (sempre envolvendo consumo de energia elétrica) é feito através do uso de equipamentos elétricos como desumidificadores, ar condicionado e ventiladores. O método passivo depende do uso de materiais hidrófilos naturais ou sintéticos para o controle da umidade relativa do ambiente (ex.: soluções salinas saturadas e sílica gel) e dispensa mecanismos eletrônicos (CASSAR, 1997, p.114, 115 e 116).

O LACICOR iniciou as pesquisas para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento e controle ambiental adequados à realidade brasileira no ano de 1997, em parceria com o Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT), do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina e com o Centro de Pesquisas em Conservação e Durabilidade (CPCD), do Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia da UFMG, coordenado pelo professor Dr. Abdias Magalhães Gomes. O CPCD tem colaborado principalmente através de uma abordagem que verifica a influência dos materiais de construção na dinâmica climática dos edifícios.

A atuação do LACICOR na realização de trabalhos na área de conservação preventiva, através da adoção dessa metodologia interdisciplinar foi definitivamente operacionalizada em 2001 com a criação da Rede Ciências, Tecnologia e Conservação Integrada de Bens Culturais (RECICOR). A rede possibilitou a intercâmbio de metodologias, informações, experiências e resultados de pesquisas entre os integrantes do grupo (anexo à lista dos integrantes da rede RECICOR).

Através de ações como essa, o LACICOR vem despertando cada vez mais o interesse da comunidade científica nacional pelo desenvolvimento de pesquisas nessa área.

O objetivo deste trabalho, por exemplo, originou-se a partir de uma consultoria realizada pelo LACICOR, no ano de 2001, ao processo de conservação e restauração do Altar-Mor pertencente à Igreja do Mosteiro de São Bento da cidade de Olinda, Recife.

O altar e suas esculturas (feitos em cedro, como a maioria das esculturas e talhas coloniais brasileiras) foram exibidos na mostra *Brazil Body and Soul* no Museu Guggenheim de Nova York, no mês de outubro do ano de 2001. Durante o processo da elaboração da estratégia do traslado desse acervo, verificou-se a inexistência de estudos sobre o comportamento higroscópico de objetos culturais em cedro. A existência desses dados seria de suma importância para ratificar os processos de intervenção usados na restauração e a definição das flutuações de umidade relativa propostas para garantir a segurança física desse bem patrimonial.

Essa constatação, aliada ao estudo realizado pelo LACICOR da técnica pictórica das esculturas coloniais mineiras e ao estudo das tipologias de degradação, causadas pela movimentação higroscópica das esculturas coloniais mineiras em cedro (restauradas no Centro de Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis da Escola de Belas Artes UFMG) foi o elemento norteador para a efetivação dessa pesquisa.

O desenvolvimento desse projeto fundamentou-se na premissa básica da rede RECICOR, que é a cooperação interdisciplinar fomentadora das interações técnicas e científicas cujo resultado (agregado aos conhecimentos oriundos da produção científica da Escola de Engenharia de Materiais) será uma alternativa para otimizar os esforços na elaboração de uma metodologia brasileira de conservação preventiva específica para a conservação dos bens culturais feitos em cedro.

Objetivos do Projeto

Os objetivos deste trabalho, através de uma metodologia baseada na experiência do Laboratório de Ciência da Conservação da EBA-UFMG, em parceria com a Escola de Engenharia de Materiais da UFMG são:

Geral:

- Estimar experimentalmente níveis de UR para a preservação de esculturas coloniais mineiras em cedro.

Específico:

- Estudo das tipologias de degradação das esculturas em cedro decorrentes da movimentação mecânica do mesmo em função da variação da UR;
- Obtenção do teor de umidade de equilíbrio do cedro;
- Especificação de parâmetros metodológicos, através de uma análise experimental prévia sobre o comportamento higroscópico do cedro em função da variação da UR e dos fatores: presença de douramento e de aplicação de camadas de proteção (cera de abelha, cera microcristalina e o Osmocolor[®] usados na restauração de esculturas como camadas de proteção hidrófobas), para possibilitar a prática de ensaios futuros que irão estimar flutuações de UR para esculturas que apresentam estes tratamentos superficiais;
- Analisar o comportamento elástico do cedro em função da variação da umidade relativa.

Segundo GUICHEN e TAPOL (1998), para estimar níveis de UR apropriados à conservação de objetos culturais é necessário, primeiramente, a observação de quatro critérios básicos: estudo da técnica de fabricação do objeto; identificação da natureza do material de que o objeto é constituído; análise das condições climáticas do local de exposição dos objetos; análise das tipologias de degradação.

Tais critérios são determinantes para que as instituições responsáveis pela guarda de bens culturais não adotem normas de controle climático determinadas por padrões descritos, na literatura básica de conservação preventiva, de forma indiscriminada. Assim, organizamos este projeto seguindo os critérios propostos por GUICHEN e TAPOL (1998), acrescentando a eles a realização de ensaios com o cedro que irão otimizar a determinação de flutuações permissíveis de UR para as esculturas barrocas mineiras.

O desenvolvimento do trabalho está dividido em quatro capítulos.

O primeiro capítulo trata da investigação histórica da técnica escultórica barroca mineira que elegeu o cedro como principal fonte de matéria prima.

No segundo capítulo apresentou-se o conceito de umidade relativa, ressaltando a importância do conhecimento da carta psicrométrica como ferramenta indispensável na definição de flutuações permissíveis de UR nas coleções patrimoniais. Ainda nesse capítulo, identificou-se a tipologia de construção dos locais que abrigam grande parte do acervo das esculturas coloniais mineiras relacionando-a à influência que exerce na dinâmica climática desses edifícios; após a definição do local da obra, analisamos as tipologias de degradação das esculturas causadas pela movimentação mecânica do cedro em função da variação de UR.

O terceiro capítulo trata dos aspectos teóricos e metodológicos que geraram as análises do teor de umidade de equilíbrio do cedro, dos parâmetros para a realização de ensaios futuros com o cedro preparado com camadas superficiais e do módulo de elasticidade do cedro em função da variação de UR.

No quarto capítulo desenvolveram-se os ensaios para estimativa de UR permissíveis às esculturas barrocas em cedro, com apresentação das análises dos resultados e as considerações finais do trabalho.

Capítulo 1

Escultura colonial mineira: o fazer e a técnica

Neste capítulo abordam-se aspectos históricos sobre a escultura colonial mineira, sobre os artistas (escultores e pintores) e sobre a técnica utilizada por eles na feitura da imaginária religiosa.

1.1 - Imagens de culto mineiras: uma breve contextualização histórica

Até o século XVII, o Brasil possuía uma cultura moldada praticamente dentro de padrões portugueses, devido à influência das ordens religiosas que se estabeleceram, sobretudo, na faixa litorânea do território colonial (NEVES, 1986). Nesse período, a arte escultórica em madeira era originária e elaborada nas oficinas conventuais que, também, estabeleciam os padrões formais e estilísticos da talha sacra.

Em Minas Gerais ocorreu uma modificação social, política e religiosa que inaugurou um novo rumo na arte religiosa setecentista.

Os primeiros povoados das Minas Gerais do século XVIII surgiram em consequência do descobrimento e exploração do ouro e diamante. Para preservar e fortalecer seus interesses mercantilistas, Portugal implantou, nessas terras, uma política vigilante e fiscalizadora, restringindo a vinda de estrangeiros, o comércio e o desenvolvimento de outras atividades econômicas.

A igreja não saiu ileso da política econômica lusitana. Para a Coroa, com a descoberta do ouro, era fundamental manter o controle absoluto do funcionamento dos sistemas social e colonial de trabalho. Por isso, criou meios para que a Igreja Católica ficasse ainda mais comprometida com a obra colonizadora.

Em 1709, por Ordem Régia, Portugal proibiu o estabelecimento, na região mineradora, de ordens primeiras e segundas⁵, controlando as diretrizes da Igreja.

O envolvimento de clérigos em negociatas, contrabando do ouro, concubinato, revoltas populares, incitamento do povo ao não pagamento de impostos e outras atividades consideradas

⁵ São ordens conventuais ou regulares (padres, freiras, monges) como a dos carmelitas, franciscanos e jesuítas.

ilegais serviram como justificativa para que o Estado Absolutista português proibisse a permanência das Ordens de monges e freiras em Minas Gerais.

Em decorrência dessa proibição, os leigos moradores das cidades mineiras organizaram-se em irmandades, atuando como substitutos das ordens religiosas.

Segundo HOLANDA (1963), a igreja Católica no Brasil ficou estreitamente sujeita ao poder civil, seguindo-lhe as vicissitudes e circunstâncias. Essa união entre leigos e clérigos tornou-se um eficaz instrumento administrativo do poder real. A Igreja exerceu um papel central na legitimação da estratificação e formação moral da sociedade e as irmandades religiosas de leigos exerceram, principalmente, uma função social. Neste contexto, Boschi lembra que:

As irmandades coloniais mineiras surgiram como instituições nas quais as pessoas buscavam apoio mútuo e solidariedade. Em seus primórdios, diante de uma realidade instável e insegura, elas serviam como ponto de apoio tanto para indivíduos, como para os aglomerados urbanos que se formavam. Num momento em que o Estado ainda não se fizera presente, foi no interior dessas associações que o habitante da região mineradora encontrou ajuda espiritual e material. Mesmo quando o Estado se implantou e se consolidou, elas não perderam a sua função social. Pelo contrário solidificaram-na. (BOSCHI, 1986, p.177)

Os leigos organizavam-se em confrarias, irmandades e ordens terceiras e, através de recursos próprios, foram responsáveis pela construção e manutenção de edificações religiosas em Minas Gerais (atuação que permaneceu durante o declínio das minas de ouro na segunda metade do século XVIII).

Segundo Boschi, “*a história das confrarias, irmandades e ordens terceiras se confunde com a própria história social das Minas Gerais do Setecentos*” (BOSCHI, 1986, p.1). A atuação das Ordens terceiras, nas atividades religiosas sociais e culturais mineiras, serviu como modelo para proporcionar uma primeira forma de conformação social, com o objetivo de proporcionar amparo espiritual (como por exemplo, a garantia de uma sepultura no cemitério da ordem e a missa às almas) e também amparo material àquelas populações (por exemplo, auxílio aos irmãos doentes, em dificuldades financeiras) ALVES, (1999).

As procissões realizadas pelas irmandades e ordens terceiras destacavam-se no cotidiano da época e envolviam gastos com a música, fogos, alfaias, incensos e pessoal especializado para a confecção de adereços, pois tinham como objetivo impressionar através dos sentidos. Para realizá-las

necessitavam convocar pessoas de diversos níveis culturais e sociais, promovendo dessa forma, uma troca de experiências entre os diferentes estratos comunitários. Assim abriram espaço também para os entalhadores, escultores e pintores leigos, nascidos na própria colônia, para que manifestassem nas obras suas tendências formais. Como escreve Neves:

O artesão mineiro soube valer-se de sua liberdade na interpretação a seu modo, das ilustrações e informações trazidas da Europa. As soluções técnicas e estilísticas foram criadas por estes artistas com suas condições materiais locais, sem contudo negar a universalidade do barroco. (NEVES, 1986, p.33).

As esculturas religiosas barrocas tinham suas características formais e iconográficas determinadas pelo teor das encomendas efetuadas pelas Ordens leigas, ou seja, a imagem era construída de acordo com a função que iria desempenhar. Oliveira assinala quatro funções principais às esculturas barrocas que definem tipologias diferenciadas:

A exposição em retábulos de igrejas ou capelas (imagens retabulares), o uso em procissões e outros rituais católicos a céu aberto (imagens processionais), os conjuntos cenográficos reunindo várias imagens para constituição de uma cena e as imagens de culto doméstico. (OLIVEIRA, 2000, p.263).

Dentre as tipologias apresentadas acima, grandes conjuntos de imagens processionais eram exigidas nas celebrações quaresmais como, por exemplo, nas das quartas-feiras de Cinza. Algumas dessas procissões organizadas pelas ordens terceiras, no século XVIII, podiam apresentar nove a onze andores (CAMPOS, 2001). Estes números nos dão a idéia da grandiosidade das festas religiosas barrocas e de como era grande a produção de esculturas sacras das devoções celebradas em cerimônias que mesclavam o sagrado e o profano em suas representações

Nos dias atuais, as esculturas dos séculos XVIII e XIX que permanecem expostas nas igrejas são cultuadas por seus fiéis e em muitos casos são ainda utilizadas nas procissões religiosas em que podemos detectar a presença do jogo cênico entre as duas esferas antagônicas (o sagrado e o profano) constituindo, assim, um exemplo vivo do legado barroco. Evidentemente essas esculturas não são

admiradas apenas pelo seu valor místico, mas também pelo seu valor estético oriundo das técnicas utilizadas pelos artistas setecentistas, as quais estudaremos a seguir.

1.2 - O artista colonial mineiro e o mercado da fé

A elite colonizadora portuguesa considerava o trabalho manual como sendo uma atividade insignificante, que deveria ficar ao encargo dos pobres e iletrados. Esta atitude gerou a valorização social do trabalho produtivo de oficiais mecânicos, especialmente de artesãos e artífices oriundos de classes menos favorecidas.

A sociedade da Minas Colonial era eminentemente urbana. A exploração aurífera favoreceu a formação de uma expressiva gama de trabalhadores livres e escravos que desempenhavam funções mecânicas diversas, construindo objetos que abasteciam as necessidades do corpo e da alma da população que aqui se formou. Havia os que se dedicavam a agricultura e pecuária, os que produziam artigos de uso pessoal (vestimenta, utensílios domésticos e ferramentas) e os que executavam a construção de casas, igrejas, talhas, esculturas e pinturas.

Os trabalhadores livres não eram apenas homens brancos, mas também negros forros e mestiços (mais precisamente mulatos) que formavam o maior contingente de trabalhadores que atuaram no exercício das artes manuais.

A principal particularidade dos profissionais que exerciam os ofícios manuais era a de não estarem submetidos a normas ou regulamentos⁶; podiam vender sua força de trabalho ou produto livremente (BOSCHI, 1988). Outra importante característica era a pluralidade de funções, ou seja, muitos tinham a habilidade para exercer funções diversas (como a de escultores, entalhadores, marceneiros e arquitetos). Tais características dificultam a distinção do campo de atuação dos artistas. Aleijadinho, por exemplo, consagrado no século XX como escultor, exerceu também as funções de carpinteiro, aparelhador, imagineiro, entalhador, construtor, fez diversos riscos e prestou serviços de louvação (MARTINS, 1974). No *Dicionário de Artistas e Artífices dos séculos XVIII e XIX em*

⁶ Havia, em Minas Gerais, as corporações de ofício regulamentadas pelas Câmaras Municipais. Essas corporações elegiam Juizes de ofício, que eram responsáveis na avaliação dos exames de qualificação exigidos de um candidato ao exercício de determinado ofício. Atestada a sua qualificação, ele recebia um documento que lhe dava direitos de estabelecer oficinas e contratar serviços de terceiros. No entanto, poucos candidatos prestavam esses exames, e mesmo assim não eram impedidos de exercerem sua profissão (VASCONCELOS, 1940).

Minas Gerais, de Judith Martins, encontramos a transcrição de um documento que nos informa sobre a atuação de Aleijadinho como marceneiro:

Em 1761, Aleijadinho recebe em Vila Rica a quantia de “trinta mil pela fatura p a (sic) Secretaria deste Governo de hua Meza (sic) de Jacarandá preto com suas gabetas (sic) e assim mais dous (sic) bancos de emcosto (sic) pequenos p a mesma Sacretaria na mesma forma fez dous bancos grandes p a Sala dos ofciaes sobalternos (sic) tudo justo como Exmoº Snrº Gº E Thezoureiro da Fazdº p preço de vinte e sinco oitavas (sic) de ouro.(MARTINS, 1974, p.368).

A qualificação de escultor praticamente inexistia na Minas Colonial. Os trabalhos de escultura eram atribuídos também a carpinteiros, entalhadores, carapinas e marceneiros (BOSCHI, 1988). Outro fator importante que devemos ressaltar é que o trabalho de imaginária constituía-se, muitas vezes, em uma atividade realizada por um grupo de oficiais colaboradores de um determinado mestre que recebia encomendas, principalmente, das ordens leigas para a construção de imagens religiosas. O caráter coletivo do trabalho escultórico não deixava de revelar as características individuais do artista que imprimia um estilo a esse grupo. Para Dias,

O trabalho artístico na Minas do ouro estava inserido numa economia da “qualidade”: aquela em que cada grupo de profissionais assumia um estilo próprio; enfim, trata-se da economia oposta à produção em série. Daí, segundo entendemos, a possibilidade de identificação de peças produzidas, segundo um estilo, pela equipe, por exemplo, de Antônio Francisco Lisboa. (DIAS, 1969, p.67).

Diferentemente da escultura, o trabalho de pintar, dourar, retocar as esculturas, altares ou capelas era realizado por um único artesão que se dedicava, principalmente, à função de finalizar as obras produzidas pelos escultores (BOSCHI, 1988).

Os pintores raramente dedicavam-se a outros afazeres. Joaquim José da Natividade (FIG. 1) foi um exemplo do trabalho exclusivo legado aos pintores. Imagens esculpidas por artistas diversos como Antonio Francisco Lisboa, Mestre Piranga e Valentim Correa Paes foram policromadas por esse artista no século XVIII, atestando o reconhecimento do apuro técnico deste pintor pelos seus contratantes (ARAUJO, 2001).



FIGURA 1 – Nossa Senhora da Conceição. Escultura em cedro dourada e policromada. Autor: Mestre Cajuru; policromador: Joaquim José da Natividade.

Fonte: Arquivo CECOR, 2001.

A produção das obras em madeira, como referido anteriormente, era feita geralmente por um grupo de pessoas lideradas por um oficial. Esse grupo era formado por aprendizes, auxiliares livres ou escravos. O aprendiz livre não possuía nenhuma obrigação em relação ao oficial para o qual prestava serviços, por isso ele podia se habilitar à contratação de obras quando se considerava apto. O aprendiz escravo podia comprar sua alforria com seu trabalho ou então a conquistava quando seu senhor falecia (BOSCHI, 1988).

O aprendizado dos ofícios na Minas setecentista se dava, principalmente, através dos amos que ensinavam seus escravos e auxiliares ou então através da hereditariedade, ou seja, os pais artesãos ensinavam seus ofícios a seus filhos.

O sistema de aprendizagem das artes de esculpir e pintar não era feito, como na Europa, através de corporações. Porém, nossos artistas herdaram a técnica da produção de imagens religiosas dos oficiais e religiosos europeus (principalmente portugueses e espanhóis) que aqui se estabeleceram.

A produção artística dos artesãos, em Minas Gerais, não se concentrava apenas nos principais núcleos urbanos como Sabará, Diamantina, Mariana e Ouro Preto; ela foi disseminada em diversos povoados da capitania mineira. Era comum o deslocamento dos artesãos para locais onde seus serviços eram solicitados.

Outra característica importante, comum entre os artistas mineiros, foi a utilização de matéria-prima, necessária ao exercício de seus trabalhos, retirada do próprio ambiente que os cercavam — daí a ampla utilização do cedro (*Cedrela* sp.), árvore que nessa época era abundante nas matas do interior de Minas Gerais (LISBOA, 1994). Era significativo que conhecessem os recursos naturais da realidade local, por isso, cabia ao escultor conhecer bem as reservas florestais e conforme Boschi:

Não só para acertar na escolha da espécie adequada ao trabalho e na definição de época para o corte, como também para saber dar a ela o tratamento adequado. (BOSCHI, 1988, p.23).

Os pintores também utilizavam recursos regionais como sementes, folhas, raízes, flores, terras e animais para obterem pigmentos para suas obras (ALVES, 2003; VASCONCELOS, 1979).

A recorrência do uso de certos materiais e técnicas na produção de esculturas religiosas mineiras, nos séculos XVIII e XIX, demonstravam que o conhecimento da obtenção da matéria-prima (proveniente da natureza regional) não era estático. Os artistas utilizavam-na de acordo com seus objetivos, cuja finalidade em comum era atender à demanda do mercado de arte religiosa, sustentado pelas receitas das irmandades leigas, sem comprometer a qualidade e a beleza de suas obras.

1.3 - O cedro e a técnica escultórica

Na Minas Colonial o escultor projetava, construía e obtinha o material que seria trabalhado. A escolha da madeira para a escultura era feita pelo próprio artista (MARTINS, 1974) que lhe dava a forma de acordo com a função destinada ao objeto: uma imagem de culto, um retábulo ou um simples banco.

Devido às dificuldades de transporte e de ferramentas na época, era importante que a madeira estivesse o mais próximo possível do local de produção. Nossas matas ricas em grandes variedades de madeira forneciam a matéria prima em abundância. Apesar da diversidade das espécies arbóreas tropicais, os artesãos selecionavam uma árvore que era amplamente utilizada na produção de esculturas: o cedro.

A espécie de cedro mais comum encontrada nas matas do interior de Minas Gerais era a *Cedrela* sp (ANDRADE-LIMA, 1972). Esta madeira somente foi descrita pela ciência botânica no início do século XIX por Frei Mariano da Conceição Velloso (LISBOA, 1994). No século XVIII, contudo, suas características físicas já eram conhecidas e apreciadas pelos entalhadores de esculturas religiosas. Os livros de receitas e despesas das igrejas coloniais, por exemplo, geralmente mencionam a compra do cedro para ser entalhado como recomendação ou exigência dos escultores, demonstrando a preferência por essa madeira (SMITH, 1979; MARTINS, 1974).

O cedro ocorre com mais freqüências em solos em que há uma boa drenagem; é uma árvore de porte elevado, podendo alcançar de 10 a 25 metros de altura, com tronco de até 1 metro de diâmetro (LORENZI, 1998; ANDRADE-LIMA, 1972).

Ao examinarmos um exemplar de cedro (FIG.2) podemos observar que seu tronco é alongado pouco tortuoso, sua casca de cor marrom acinzentada é de textura rugosa, fendida com losangos alongados e salientes. Suas folhas são grandes e penadas e suas flores são rosadas com um leve tom esverdeado. Após a floração, seu fruto (de formato capsular) se abre e libera as sementes que são delgadas, aladas e de cor castanho-avermelhado (ANDRADE-LIMA, 1972).

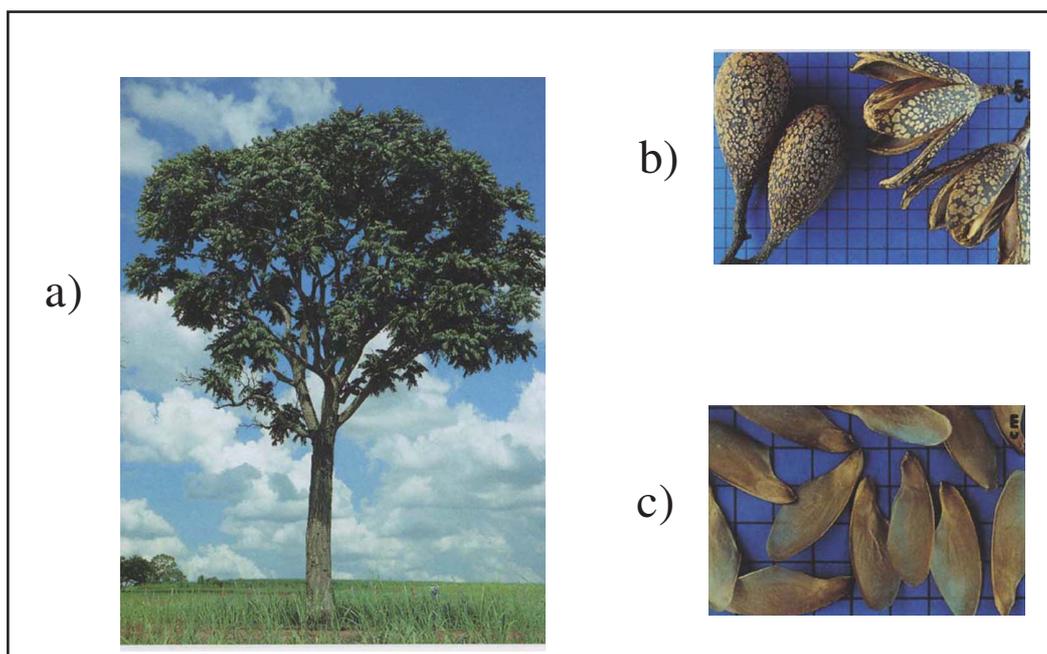


FIGURA 2 – O cedro (*cedrela* sp., Meliaceae).

a) Cedro; b) fruto; c) sementes.

Fonte : LORENZI,1998,p.211.

Quando serramos, transversalmente, o tronco do cedro verificamos áreas distintas, visualmente, pelo aspecto e diferença de cor : casca, albarno, cerne e medula (FIG.3).

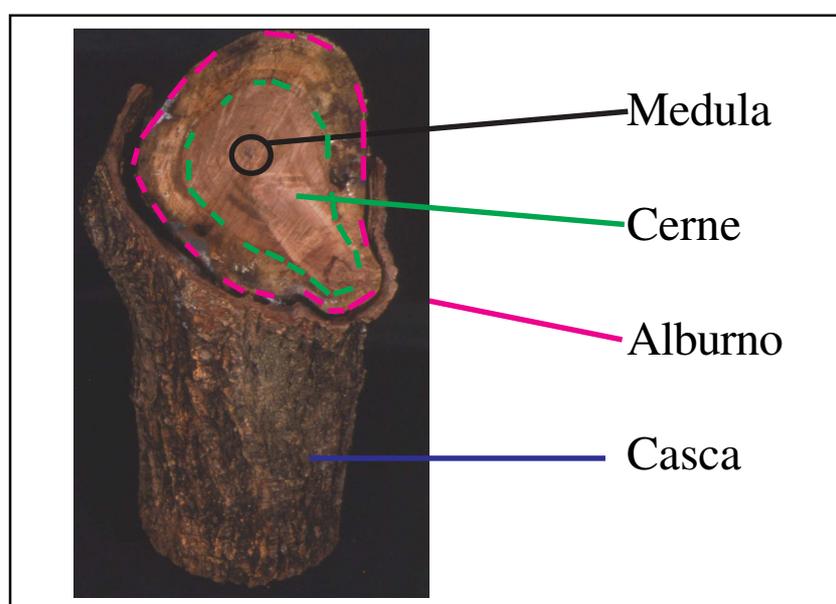


FIGURA 3 - Tronco do cedro serrado transversalmente.

O alborno possui uma coloração branca ou levemente rosada e na árvore tem a função de conduzir a seiva das raízes às folhas e armazenar substâncias nutritivas. É uma área que retém mais umidade que o cerne, sendo pouco resistente ao ataque de fungos e insetos xilófagos.

O cerne é formado das células mortas transferidas das camadas internas do alborno. Apresenta-se de cor vermelho-claro a rosa claro, tem gosto amargo e exala odor agradável. É uma madeira leve, branda, macia ao corte e fácil de serrar (SANTOS, 1987).

A porção central da madeira é a medula que, na estrutura primária da árvore, tinha a função de armazenar e distribuir as substâncias nutritivas. A madeira dessa área é muito dura e propensa a abrir gretas radialmente.

O cedro, por ser uma madeira resinosa, resiste bem ao apodrecimento e ao ataque de insetos xilófagos (LISBOA, 1994); porém, a tora cortada, com o passar dos anos, vai perdendo suas propriedades resinosas, tornando-se mais suscetível aos ataques biológicos.

A história oral nos revela que os escultores coloniais tinham o cuidado de abater o cedro nas noites de lua minguante e no inverno. Artesãos mineiros contemporâneos, que utilizam o cedro como matéria prima, ainda conservam esta prática para o abate da madeira; além disso, procuram cortá-la nos meses sem “r” (ou seja, maio, junho, julho e agosto). Esses períodos apresentam baixa pluviosidade, portanto, a seiva da árvore não está com a função de ascensão e descensão tão intensa (conseqüentemente, o teor de umidade dessas árvores é menor do que as abatidas nos meses chuvosos).

Segundo Camí e Santamera

A lua influi no crescimento das plantas. O empirismo popular não põe em dúvida esta afirmação. O momento do corte da árvore é decisivo no rachar posterior da madeira e na sua resistência ao caruncho(...) As luas minguantes de inverno, quando a atividade da árvore é praticamente nula, serão mais adequadas para podar ou cortar uma árvore (CAMÍ e SANTAMERA, 1997, p.33).

Os períodos mais secos do ano também facilitam a secagem natural da madeira abatida, devido à baixa umidade relativa (UR) do ambiente.

1.4 – O ato de esculpir

Para trabalhar a madeira, os escultores coloniais contavam com ferramentas que influíam no desenvolvimento da técnica usada nos seus trabalhos. Observando algumas áreas das esculturas como, por exemplo, a parte interna da base e de junções de blocos é possível verificar marcas de algumas delas como a do formão e da goiva (FIG.4).

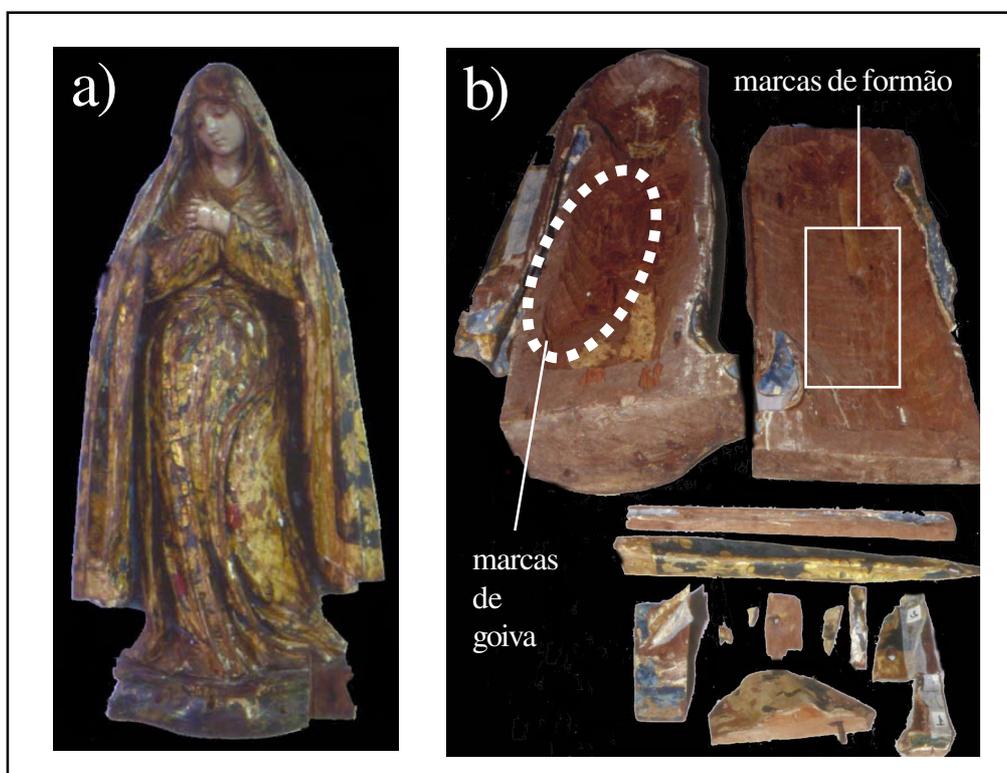


FIGURA 4– Nossa Senhora das Dores, escultura em cedro policromada (pertence ao acervo do Museu de Arte Sacra de Mariana, Minas Gerais).

a) Foto frontal; b) Foto da imagem desmontada.

Fonte: arquivo CECOR, 2001.

As figuras 5 e 6 ilustram modificações que algumas dessas ferramentas como o martelo, formão, enxó, plaina e serrotes sofreram ao longo dos séculos.

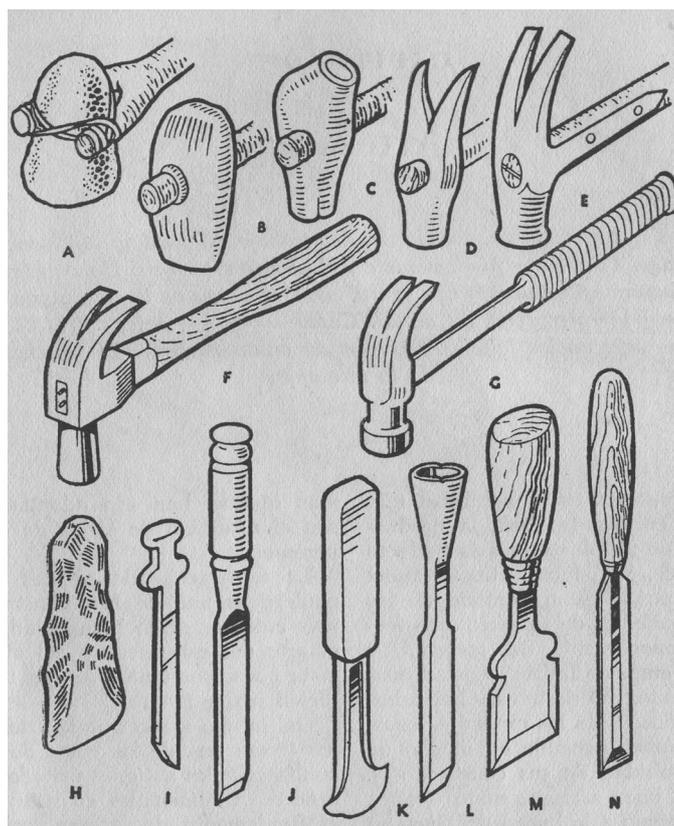


FIGURA 5 – Evolução dos martelos e formões.

Martelos: A, B) de pedra polida;
C) de chifre de cervo; D) de bronze
E) de ferro (romano); F, G) de ferro,
séc. XX.

Formões: H) de sílex; I) romano;
K) de bronze; L) de ferro;
M) do séc XVI; N) moderno.

Fonte: KAY, 1954. p.4

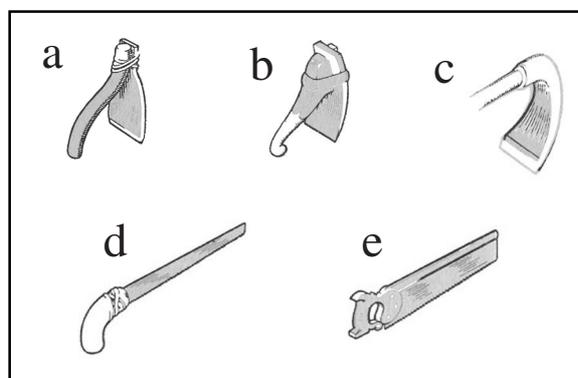


FIGURA 6 – Evolução das ferramentas de trabalho de superfície.

a) Enxó (egípcio); b) Enxó (séc. XVI);
c) Enxó (séc. XVIII); d) serrote (egípcio); e) serra de mão (moderna)

Fonte: KAY, 1954,p.5.

Através das ferramentas usadas pelos artistas dos séculos XVI, XVIII e XIX para trabalhar a madeira podemos concluir que era um trabalho lento e árduo que exigia, também, a força física do escultor. Uma madeira macia ao corte e ao mesmo tempo leve, certamente, facilitava este trabalho (fato que justifica mais uma vez a preferência pelo cedro, madeira que apresenta estas características).

O escultor utilizava principalmente o cerne da árvore, desbastando com o auxílio do enxó ou formão, a casca e o alburno da madeira.

Para facilitar o trabalho BAUDRY (1984) e KÜHN (1986) citam que os escultores medievais utilizavam, como apoio, uma bancada de trabalho (FIG.7) onde o bloco de madeira era disposto horizontalmente e suspenso. Para isso, suas extremidades eram fixadas entre duas tabuas paralelas presas na bancada (ou banco de carpinteiro). Este modo de fixação permitia a rotação do bloco de madeira (como se estivesse trabalhando num torno horizontal, imaginário, de oleiro) e o escultor podia trabalhar facilmente todas as faces do bloco.

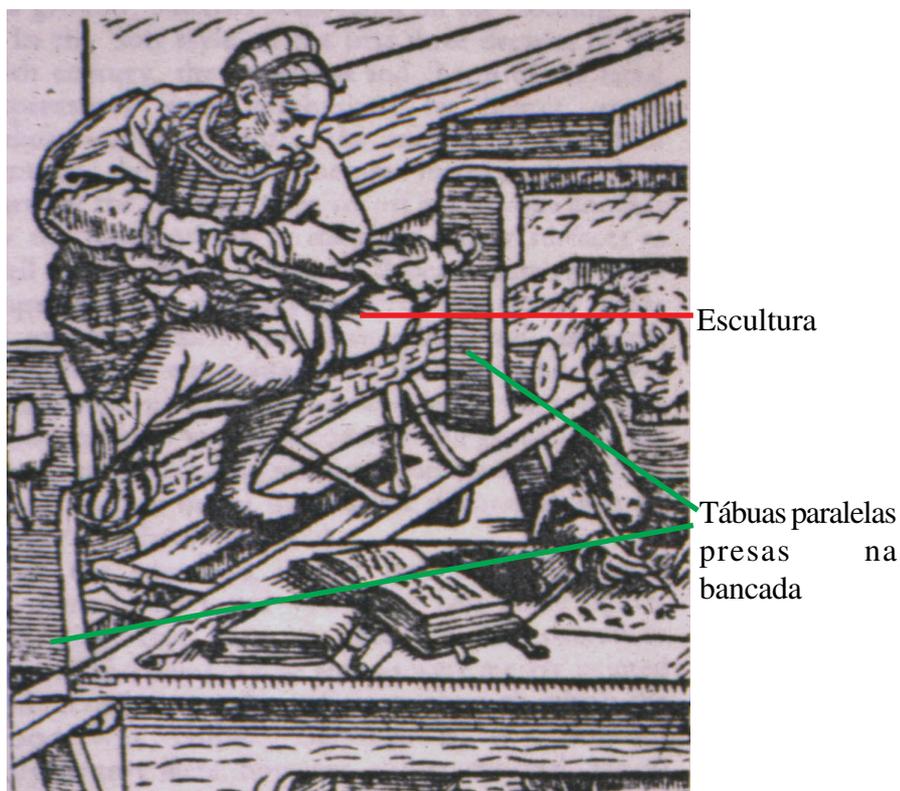


FIGURA 7 – Banco de carpinteiro, gravura de Hans Sebald Beham, 1531.

Fonte: BAUDRY, 1984, p. 164.

Provavelmente nossos artistas coloniais também utilizavam essa bancada de trabalho, pois grande parte dos escultores mineiros atuais, que trabalham de acordo com os moldes das esculturas produzidas no século XVIII, tem em suas oficinas esse tipo de elemento de fixação.

As esculturas de talha inteira e esculturas de vestir⁷ eram esculpidas em um único bloco de madeira ou em vários blocos. Elas podiam ser maciças ou ocadas (totalmente ou parcialmente) por dentro. Normalmente o procedimento de ocar as esculturas era feito na parte posterior da imagem, sendo fechadas por um tampo da mesma madeira.

A técnica de ocar a madeira era uma prática comum na Europa medieval e tinha, como objetivo, a tentativa de evitar rachaduras causadas pela movimentação mecânica do lenho devido à perda ou ganho de umidade da madeira em função da umidade e temperatura do ambiente (KÜHN,

⁷ Esculturas de talha inteira: esculpidas em uma única posição e totalmente policromadas. Esculturas de vestir: imagens de talha inteira, articuladas e vestidas com roupas de tecidos elas podem apresentar um gradeado de ripas em substituição aos membros inferiores, aticulações nos braços e podem ser totalmente ou parcialmente policromadas (QUITES, 1997).

1986; BAUDRY, 1984; PERUZINI, 1994). Existe também a hipótese que a prática de ocar as esculturas tinha a função de diminuir seu peso para facilitar o seu manuseio (QUITES 1997).

A união dos blocos das esculturas era obtida através de encaixes, ensamblagens, colas, cravos e pinos.

As mãos das esculturas coloniais geralmente eram esculpidas em separado (presumivelmente para facilitar o trabalho da talha) e unidas ao antebraço através do encaixe macho e fêmea. O detalhe do panejamento das mangas tornava essa junção quase imperceptível.

As falanges dos dedos das mãos também podiam ser esculpidas em separado e unidas com cola, pinos (na parte central interna das falanges) ou com cravos.

Para a fixação de atributos (símbolos que reforçam a iconografia da imagem), as esculturas recebiam adornos como espadas, palmas, flechas, coroas, aureolas. Esses atributos podiam ser feitos em metal (geralmente prata) ou em madeira e encaixavam-se através de orifícios feitos em regiões específicas nas peças. A imagem de Nossa Senhora das Dores, da cidade de Paracatu, por exemplo, apresenta um orifício na cabeça para a fixação do resplendor e outro no tórax para fixação das espadas de prata (FIG.8).

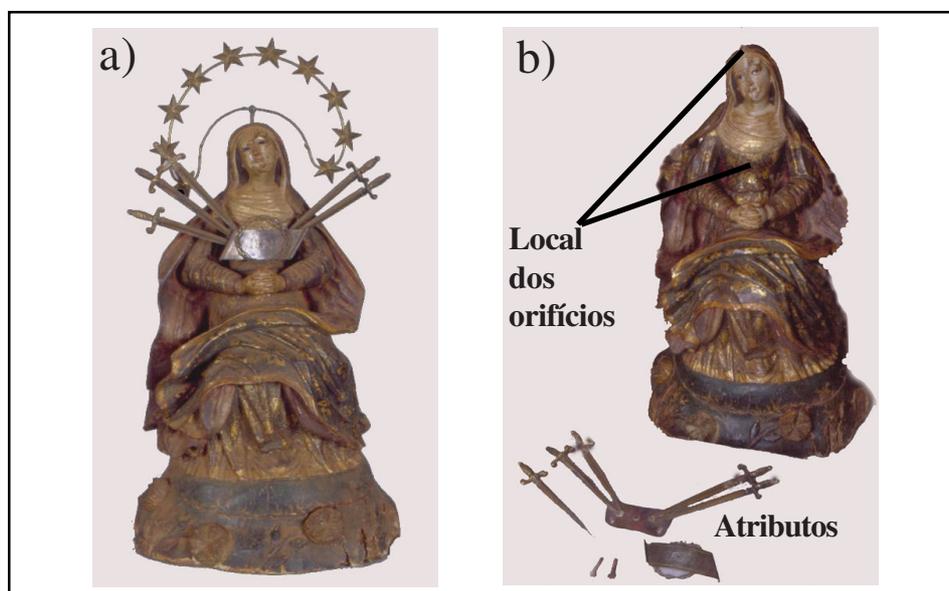


FIGURA 8 – Nossa Senhora das Dores, escultura em cedro policromada (pertencente ao acervo da Arquidiocese de Paracatu, M. G.).
 a) Foto da escultura com os atributos: tarja, espadas e resplendor;
 b) Foto da escultura sem os atributos.

Fonte: CECOR, 2002.

No Barroco, popularizaram-se as imagens com olhos de vidro, que lhes davam realismo teatral de acordo com o gosto da época. Para a colocação desses olhos, a cabeça da escultura recebia, geralmente, um corte no sentido vertical destacando a região frontal da face por completo. A face destacada era escavada na região do globo ocular abrindo orifícios para a adaptação dos olhos, que ficavam aparentes sob as pálpebras.

A face era fixada, novamente, à cabeça através de cola, cravos ou pinos de madeira conforme podemos verificar através da radiografia da imagem de Nossa Senhora da Piedade (FIG. 9).

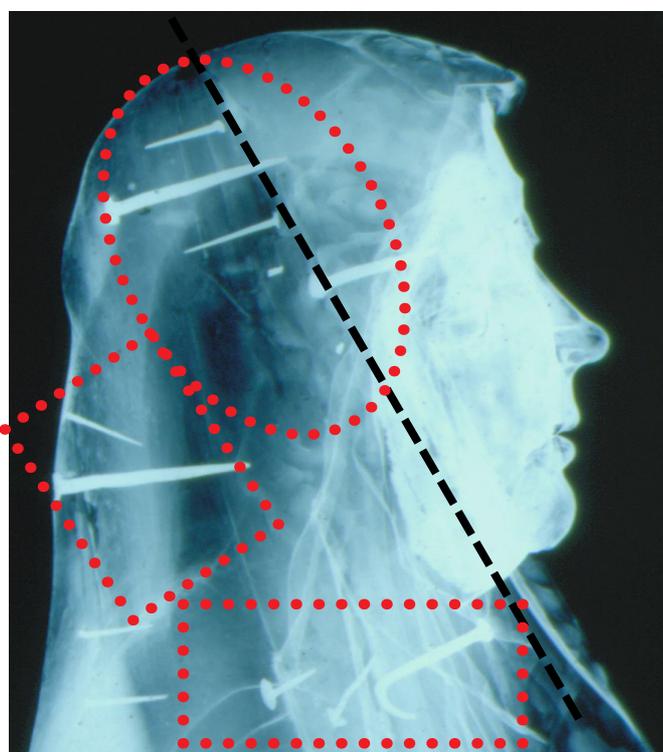


FIGURA 9 - Radiografia da cabeça da escultura de Nossa Senhora da Piedade. (pertencente ao Santuário de Nossa Senhora da Piedade/Felixlândia/M.G.).

- ■ ■ ■ Corte facial para colocação dos olhos de vidro
- ● ● ● Utilização de cravos como elementos de fixação dos blocos

Fonte: Arquivo CECOR, 2001.

O tipo de corte facial para a colocação dos olhos de vidro era feito também de outras formas como, por exemplo, na parte anterior da cabeça. A imagem de Nossa Senhora das Dores ilustra essa tipologia de corte (FIG. 10).



FIGURA 10 - Escultura de Nossa Senhora das Dores
a) foto frontal; b e c) detalhe da parte posterior da cabeça ocada

Fonte: Arquivo CECOR, 2002.

Normalmente, a figura esculpida era apresentada sobre uma estrutura, também esculpida, denominada base. A base podia apresentar-se como parte do bloco principal ou então era feita em um bloco separado.

A parte interna do corte transversal da base das esculturas, geralmente, recebia um orifício central com a finalidade de proporcionar a fixação dessas imagens em um andor. Em alguns casos encontramos, fixa sobre esse tipo de orifício, uma chapa de ferro com uma abertura circular no meio. Presumivelmente, esse recurso era utilizado para proporcionar maior segurança na prática de prender a escultura no andor.

Quando o trabalho da talha terminava, a escultura era preparada para receber a policromia. De acordo com Cami e Santamera os acabamentos dados pelos escultores à escultura eram cuidadosos.

Concluída a talha fazia-se o aparelho. Este consistia em corrigir, com pasta e cola, as pequenas falhas. Também se eliminavam os nós extraíndo-os pela raiz ou queimando-os. Não sendo possível, picava-se a sua superfície para deixar mordente ou untavam-se com alho para impedir que sangrassem. (CAMI e SATAMERA, 1997 p.81).

Após esse acabamento a escultura era polida para receber a policromia.

1.5 - A policromia escultórica

A técnica pictórica empregada nas esculturas⁸ encontra-se descrita nos manuais artísticos produzidos nos séculos XII, XIV, XVI, XVIII, XIX por autores como Monge Teófilo, Cennino Cennini, Philippe Nunes e Watin (MOTTA, 1976). A metodologia no preparo da madeira para receber a policromia, contida nesses manuais, constituía-se basicamente na aplicação de encolagem, base de preparação (gesso grosso e gesso fino), bolo (no caso de douramento aquoso) e pintura, que podia ser a tempera ou oleosa (MEDEIROS, 1997).

A encolagem era aplicação de cola protéica sobre todo o suporte com a finalidade de fechar os poros da madeira preparando-a para receber camadas de gesso grosso feito de Carbonato de Cálcio, sulfato de Cálcio ou caulim misturado a cola de origem animal. Sobre o gesso grosso seco era aplicada camada de gesso fino ou *sotille*⁹ que por resultar em uma camada muito lisa e fina era ideal para receber aplicação do bolo.

O bolo era constituído de caulim e óxidos de ferro (que lhe dava as tonalidades amarelo ocre ou vermelho ocre) misturados à cola protéica. Era o tipo de preparação para receber o douramento feito com aplicação de folhas de ouro, chamado de douramento a base d'água ou a têmpera (SOUZA, 1996). Essa técnica de douramento era a mais utilizada pelos policromadores/douradores coloniais.

Sobre o douramento a base d'água os policromadores usavam técnicas de decoração como esgrafiado, pintura a pincel, punção, aplicação de lacas ou veladuras e de acabamento, como vernizes (SOUZA, 1996; MEDEIROS, 1997). O Quadro 1 apresenta de forma sucinta como era o preparo de cada uma dessas técnicas mencionadas e a FIG. 11 apresenta o esquema estratigráfico das camadas presentes em uma policromia com douramento e esgrafiado.

⁸Para obter mais informações sobre a técnica e os materiais usados nas pinturas das esculturas coloniais mineiras consultar: MORESI (1994); COELHO (1994); SOUZA (1996) e MEDEIROS (2000).

⁹Esse gesso requeria um tempo de quinze a 30 dias para seu preparo. Em um recipiente contendo água limpa, o gesso era colocado aos poucos sendo misturado ininterruptamente até que a mistura adquirisse a consistência de uma calda um pouco mais grossa; nesse ponto era acrescentado um pouco mais de água nessa mistura e deixava-se decantar. Durante quinze ou vinte dias, a água do gesso decantada era trocada, diariamente, por outra. Após esse processo, o gesso era coado em retalhos de linho e colocado para secar ao ar livre. Esse gesso era hidratado e coado novamente para ser usado. A cola protéica aquecida era misturada a essa massa de gesso hidratada que era aplicada sobre o gesso grosso.

QUADRO 1

Técnicas de decoração e de acabamento

Técnicas	Definição
Esgrafiado	Aplicação de uma ou duas camadas de têmpera sobre a folha de ouro que depois de seca era retirada em áreas pré-determinadas para formar um desenho que deixava a mostra a folha de ouro subjacente
Pintura a pincel	Pintura sobre a base de preparação ou douramento
Punção	Marcação das partes douradas feita com o auxílio de um instrumento metálico em forma de bastão contendo na extremidade desenhos em alto relevo
Veladura	Acabamento translúcido com baixo poder de cobertura (aplicado sobre a pintura, douramento ou sobre folha de prata) deixando entrever a camada subjacente
Verniz	Acabamento feito com a utilização de resinas naturais (obtidas de vegetais específicos) como Damar, Copal, Mastique, Jatobá, etc. aplicadas sobre a policromia.

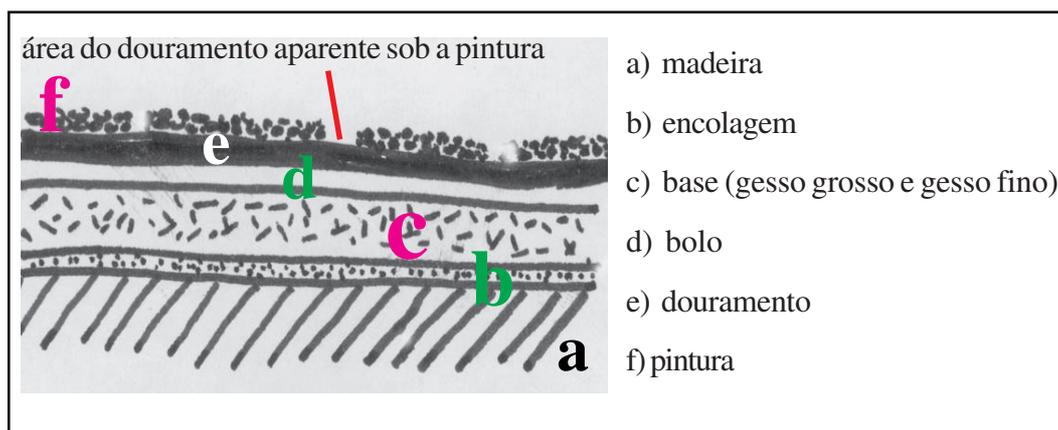


FIGURA 11 - Representação esquemática das camadas constituintes de uma técnica pictórica (douramento aquoso e esgrafiado) usada nas esculturas em madeira.

É importante salientar que o douramento das esculturas mineiras em alguns casos podia ser efetuado com a aplicação das folhas deixando um espaçamento entre elas, processo chamado de douramento de reserva (COELHO, 1994).

As áreas de carnação das esculturas (onde o artista representava a pele como, por exemplo, regiões do rosto, colo, mãos e pés) também não eram douradas. A carnação era feita geralmente a óleo ou têmpera oleosa, aplicada diretamente sobre a camada de encolagem (MORESI, 1994).

Neste capítulo estudou-se como os materiais (cedro e técnica pictórica) eram combinados para a construção de uma escultura colonial. As interações entre esses elementos determinam o grau de estabilidade ou a degradação de uma peça escultórica quando sujeita a variações da umidade relativa do ambiente.

No próximo capítulo serão apresentados os principais danos causados às esculturas devido ao comportamento higroscópico do cedro em função da umidade relativa.

Capítulo 2

A umidade relativa e a escultura em cedro

Definire-se neste capítulo o conceito de umidade e apresentam-se as alterações de natureza mecânica ocorridas nas esculturas policromadas em função da variação de UR do ambiente.

2.1- Generalidades

As condições climáticas influenciam a dinâmica do meio ambiente e a umidade e a temperatura estão entre os principais fatores que desencadeiam processos de degradação dos objetos culturais. No caso das esculturas em cedro, a UR é a principal causadora de danos mecânicos devido à característica higroscópica desses objetos.

Para conceituar umidade é importante lembrarmos dos estados em que a água se encontra na natureza: sólido, líquido e gasoso. A umidade se manifesta no ambiente em que as esculturas estão acondicionadas através desses dois últimos estados (o líquido e o gasoso), podendo gerar condições ambientais danosas a esses objetos se não for controlada.

A expressão utilizada para designar a quantidade de água que uma determinada parcela da atmosfera possui é *umidade*. As grandezas mais utilizadas para se mensurar a umidade do ar são: umidade absoluta e umidade relativa.

A umidade absoluta é determinada pela quantidade de vapor de água (massa) contida em um dado volume de ar. Sua unidade é usualmente expressa em gramas de vapor de água por metro cúbico de ar (GUICHEN e TAPOL, 1996).

A umidade relativa (indicada normalmente em porcentagem) é definida pela razão existente entre a pressão de vapor de água presente no ar (a uma determinada temperatura) e a pressão de vapor saturado à mesma temperatura. Quando a temperatura é elevada, a capacidade do ar de absorver mais água, em forma de vapor, aumenta; em consequência, a umidade relativa do ambiente será menor (WILLIAMS, 1988).

Para medir as condições climáticas (UR e temperatura) no interior dos ambientes que abrigam acervos patrimoniais, são utilizados, geralmente, aparelhos de registro contínuo — como o termohigrógrafo e o data logger (com sensores de temperatura e umidade), ou de registro pontual — como o termohigrômetro eletrônico, psicrômetros ou higrômetros mecânicos (GUICHEN e TAPOL, 1996; THOMSON, 1986).

O acompanhamento dos registros dos medidores climáticos internos não são suficientes para a tomada de decisões em relação à conservação preventiva do acervo. É necessário, também, o conhecimento das condições climáticas da região onde esses prédios estão localizados, da tipologia de construção desses edifícios, e também do estado de conservação e grau de flutuação de UR que potencializa danos aos materiais constitutivos das obras.

Um importante recurso que possibilita a leitura global dos fatores climáticos do ambiente interno do edifício (em função do clima local) é a Carta Psicrométrica — que é um gráfico da relação entre a temperatura, umidade absoluta e umidade relativa medidos periodicamente durante um período pré-determinado (semanas, meses ou anos).

A ciência da conservação utiliza a Carta Psicrométrica para investigar e planejar possibilidades de controle da temperatura e UR de acordo com os limites de tolerância recomendáveis para a especificidade dos acervos, conforme podemos observar na FIG. 12.

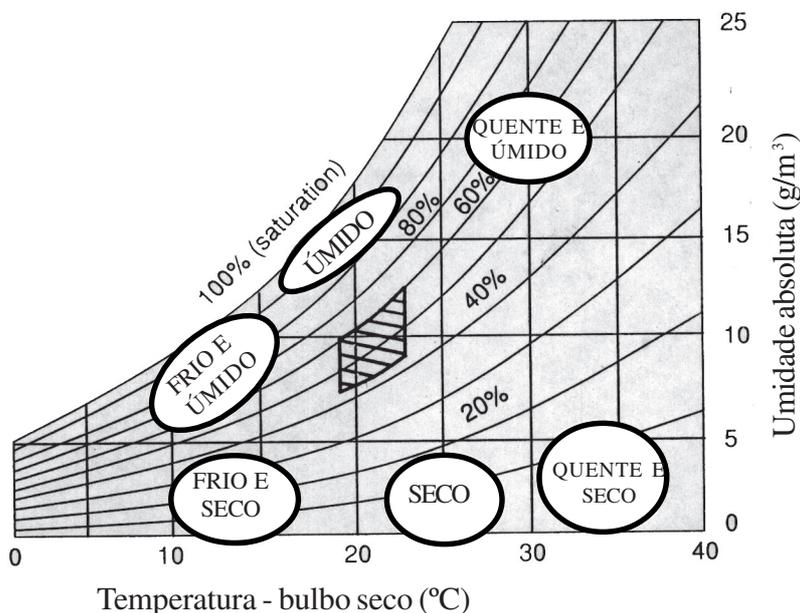


FIGURA 12 - Zonas ambientais ideais para objetos higroscópicos e mistos grafadas na carta psicrométrica.

A zona rachurada no centro indica as flutuações de UR e Temperatura permissíveis a esses objetos : 45 a 60% (UR), 19° C a 23° C (temperatura)

Fonte: CASSAR, 1997. p. 20-46.(tradução nossa)

Os parâmetros de UR e temperatura, grafados nesta carta e recomendados pela associação inglesa de engenheiros, denominada *Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE)* foram usados por CASSAR (1997) para elaborar um exemplo de carta psicrométrica

A carta permite identificar, a partir dos parâmetros de UR e temperatura pré-estabelecidos, as áreas climáticas que representam risco para o acervo e o que pode ser feito para alcançar as condições ambientais mais adequadas como, por exemplo, aumentar a temperatura do ambiente para obter o valor de umidade relativa que atenda ao parâmetro estabelecido. Quando há necessidade de se modificarem as condições climáticas de um ambiente, ela deve ser feita de acordo com as necessidades do acervo relacionados ao tipo de construção e ao clima da região que o abriga.

2.2 - O local da obra

O espaço onde os objetos culturais ficam expostos não é definido pela ciência da conservação, simplesmente, através do seu endereço, mas pela tipologia de construção do prédio e sua interação com o ambiente externo que caracteriza sua dinâmica microclimática e, conseqüentemente, o comportamento do acervo frente a esses fatores.

Grande parte das esculturas coloniais mineiras em cedro estão expostas em prédios do século XVIII e XIX (igrejas e museus) que, apesar de apresentarem uma ampla variedade de técnicas e materiais construtivos¹⁰, possuem, segundo ROMO (1995), semelhanças quanto aos seus desempenhos térmico, dentre os quais podemos assinalar:

- inércia térmica: definida pelo atraso e amortecimento da onda térmica e também pela capacidade térmica da envoltória, que é produto do calor específico do material usado na sua construção pela sua densidade e espessura (RIVERO, 1986);

- permeabilidade: a característica comum dos materiais empregados nessas construções (como madeira, barro e cal) é a porosidade, que permite a passagem de vapor d'água através deles.

Há, portanto, uma manutenção da temperatura interna a níveis constantes e agradáveis ao conforto humano e de uma UR mais elevada, pois normalmente os sistemas de ventilação desses prédios (janelas e portas) são mantidos fechados a maior parte do dia, devido a uma questão de segurança. A ventilação, no interior desses espaços, fica reduzida — favorecendo a manutenção de um ambiente mais úmido.

¹⁰ Paredes estruturais feitas em adôbos, taipa de pilão, pedra e cal, pedra e barro, tijolos; vedações de estuque, pau a pique, tabiques, adôbos; forros de esteiras, tabuado, estuque; coberturas em telhas de barro cozido; janelas e portas em madeira; pisos de seixos rolados, terra batida, ladrilhos de barro, tabuado corrido (madeira), lajes de pedra assentadas com massa de barro (VASCONCELOS, 1979).

As esculturas aclimatadas a esses ambientes possuem um grande potencial de sofrerem danos mecânicos, em função de transferências súbitas para locais onde os níveis de umidade relativa são menores ou das variações das estações do ano. Por isso, é importante fazermos uma leitura geral a respeito dos aspectos climatológicos do Estado de Minas Gerais; esse conhecimento é um dos requisitos para especificarmos medidas de conservação preventiva adequadas às várias regiões mineiras.

Situada na zona intertropical entre os meridianos 39° e 42° oeste de Greenwich e paralelos 14° e 24° sul do Equador, Minas Gerais, apesar de ser o estado mais montanhoso do Brasil, possui vales amplos muito rebaixados como o São Francisco, o Jequitinhonha, o Doce e o Paranaíba (MARTINS, 1991). Esse caráter geográfico é um dos fatores que marcam a sua diversificação climática onde é possível, de acordo com NIMER (1979), reconhecer quatro categorias climáticas:

- superúmido e úmido: presentes na região meridional do Estado e nas áreas mais elevadas da Serra da Mantiqueira: apresentam curta estação de seca durante o inverno (duração de um a três meses secos);

- semi-úmido: característico do centro oeste de Minas Gerais e Zona da Mata, com estação seca (bem caracterizada durante o inverno) atingindo em média a duração de quatro a cinco meses;

- o semi-árido brando: característico da região norte (Vale do São Francisco, Médio Jequitinhonha e Montes Claros), com seis meses secos.

Através dos mapas da FIG. 13, contendo as médias mensais da umidade relativa do Estado de Minas Gerais, é possível visualizar os períodos do ano em que há uma maior queda da umidade (maio a outubro) e os meses em que há um equilíbrio (novembro e dezembro e de janeiro a abril).

Comparando os mapas da FIG. 13 com os mapas do teor de umidade de equilíbrio médio da madeira, em função da umidade relativa (UR) do ar, precipitação e temperatura de várias regiões do território brasileiro (FIG. 14), verificamos que Minas Gerais (durante, principalmente, os meses de maio a outubro) apresenta uma grande variação do teor de umidade de equilíbrio (UE) da madeira em geral (MARTINS, 2003). A UE é o ponto em que a madeira exposta a determinada condição de UR e temperatura cessa praticamente da troca de água com o meio.

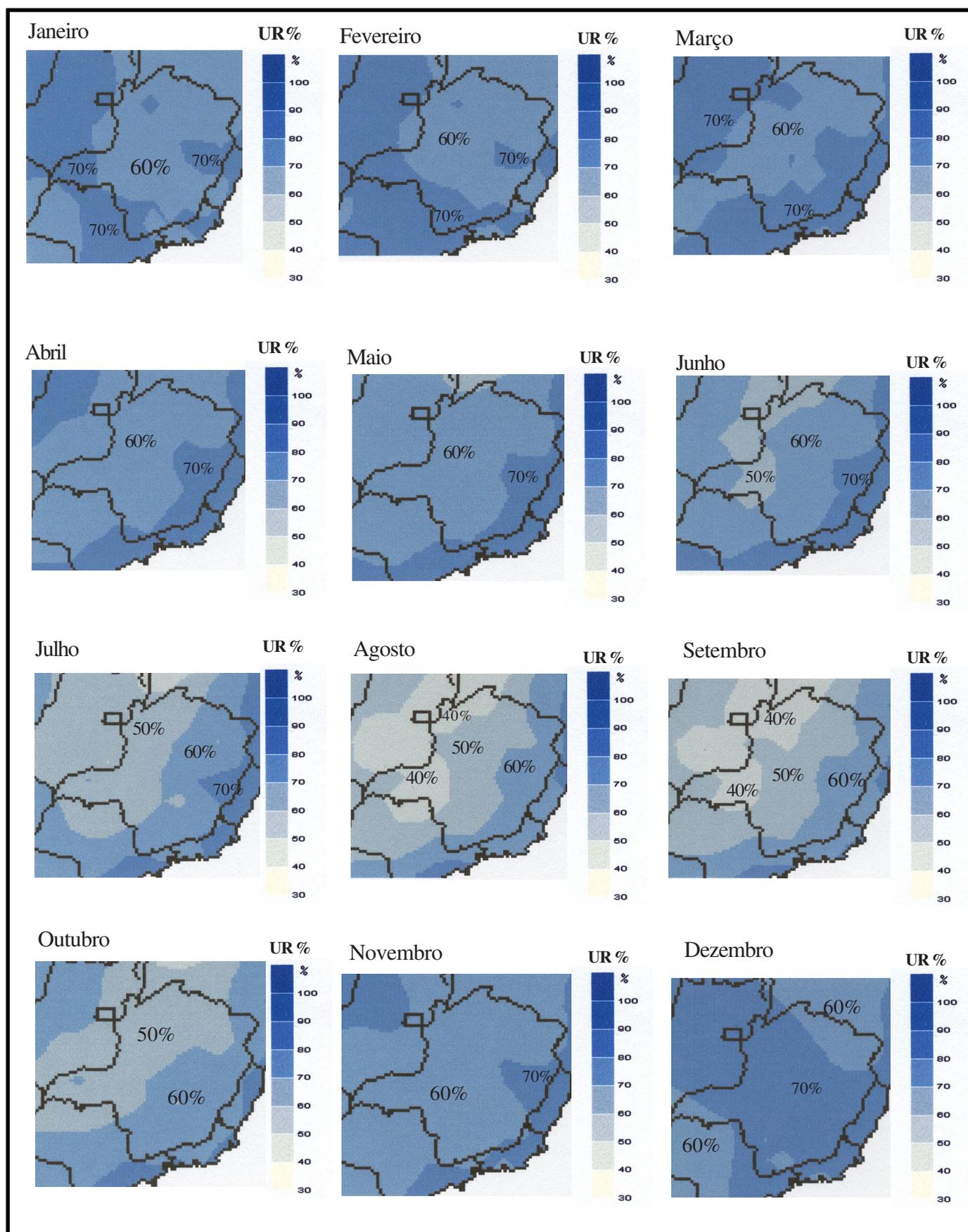


FIGURA 13 - Mapas das médias mensais da UR para o Estado de Minas Gerais.

Anos de referência das leituras climatológicas 1931/1990

Fonte: INMET (2004).

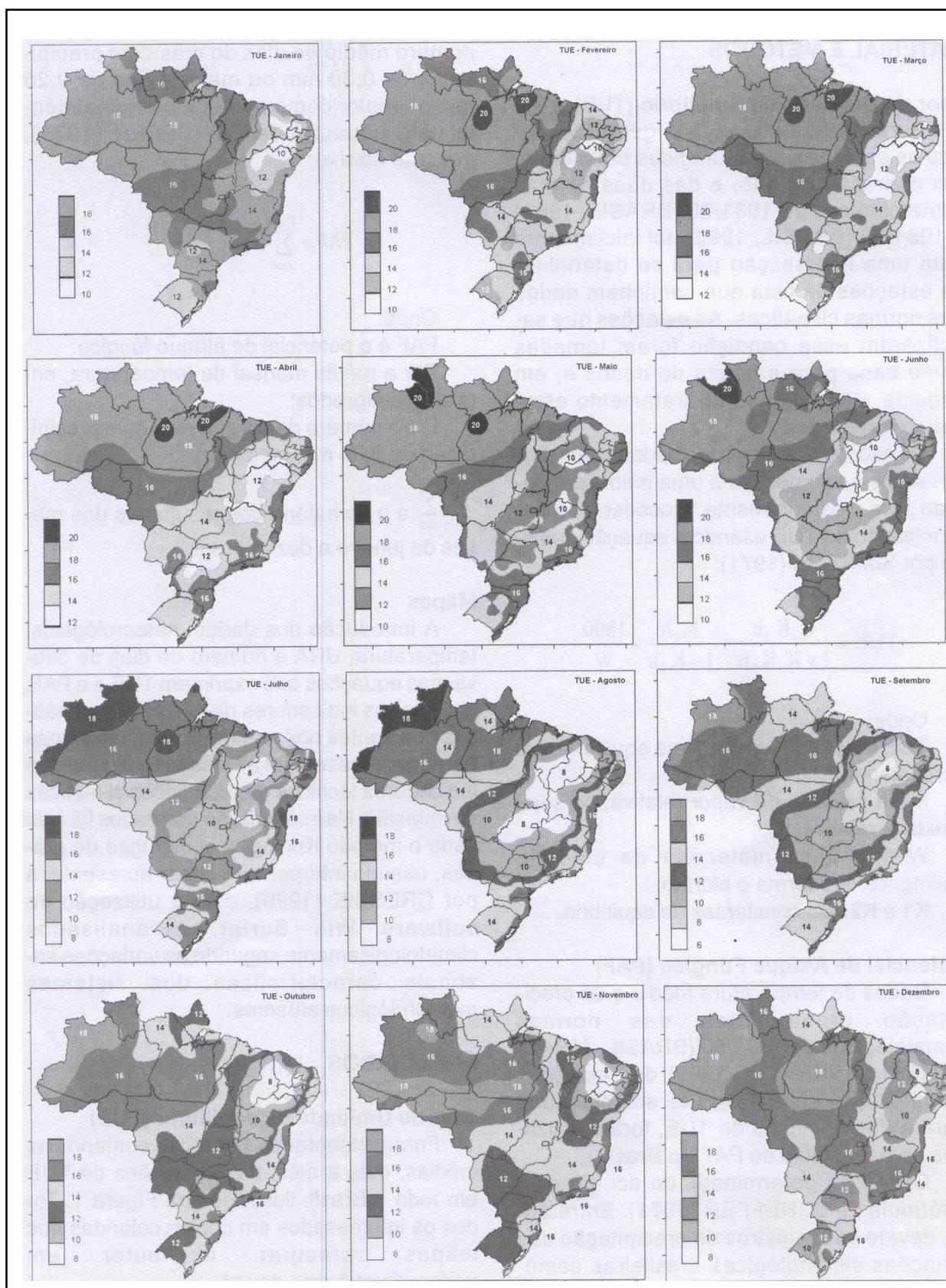


FIGURA 14 – Teor de umidade de equilíbrio médio da madeira para os meses de janeiro a dezembro em todo o Brasil nos períodos de 1931 a 1990.

Fonte: MARTINS, 2003 p. 32.

Como podemos observar, as diferenças climáticas são fatores geradores das variações de umidade de equilíbrio da madeira e por exemplo, se uma escultura em madeira for deslocada da região do Vale do São Francisco para uma região mais ao sul de Minas Gerais, principalmente nos meses mais secos, a probabilidade de sofrer danos mecânicos é maior.

Fatores como altitude, latitude, orografia e os derivados de processos antropogênicos (como poluição, urbanização descontrolada, mineração e construção de lagos artificiais) são também responsáveis pelas inconstâncias climáticas encontradas no Estado. Por isso, os valores de UR traçados nos mapas devem ser considerados como aproximados. Ciente disso, o conservador deve ter, além da visão geral do clima do Estado, dados sobre o clima da região onde o acervo encontra-se exposto para obter um diagnóstico mais preciso com o auxílio da carta psicrométrica.

A dificuldade encontrada nos estudos dos climas regionais mineiros está na falta de dados climatológicos disponíveis (em Minas, a única publicação específica sobre o clima do Estado é o *Atlas Climatológico do Estado de Minas Gerais*, organizado em 1982 e direcionado para solução de problemas agropecuários) e na falta de estações climatológicas em grande parte das cidades que abrigam acervos culturais (GOULART et al, 1998).

Diante desse quadro, alertamos para a necessidade do desenvolvimento de uma climatologia mineira direcionada para a solução dos problemas relacionados à conservação preventiva dos bens patrimoniais.

2.3 - A degradação física das esculturas devido ao comportamento higroscópico do cedro

A umidade relativa, como foi dito anteriormente, é um dos principais fatores climáticos que, quando oscila alcançando valores extremos, gera condições ambientais favoráveis aos mecanismos de degradação física, biológica e química das esculturas.

Abordou-se especificamente a deterioração física das esculturas devida à solicitação mecânica do cedro em função das variações de UR do ambiente.

Para estudar essa tipologia de degradação nas imagens barrocas mineiras, pesquisou-se o arquivo do Centro de Especialização em Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis

(CECOR), da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais (EBA/UFMG), analisando, especificamente, as fichas cadastrais de esculturas em cedro policromadas restauradas por essa instituição nos anos de 1990 a 2004.

Além desse arquivo, estudou-se o Inventário de Bens Culturais Móveis do Museu Arquidiocesano de Arte Sacra de Mariana, realizado pelo Instituto do Patrimônio Histórico Artístico Nacional (IPHAN), em parceria com a EBA/UFMG, durante o ano de 2002 (anexo o quadro com a lista de esculturas analisadas).

A gravidade dos danos causados pelo comportamento higroscópico de uma escultura em cedro está relacionada ao histórico da obra (técnica de construção, estado de conservação, local de exposição, etc.) e também aos defeitos naturais da madeira¹¹.

A madeira, como todo material orgânico, possui grande variabilidade em suas propriedades fisiológicas devido a diversas circunstâncias — como irrigação do solo, ocorrência de incêndios e clima do local onde a árvore cresceu. Essas variabilidades segundo CAMÍ e SANTAMERA (1997); PAULA (1960); PERUSINI (1997) e SANTOS, (1987), podem apresentar-se principalmente das seguintes formas:

- Nós: tecidos que formam os ramos das árvores. Nessas áreas a fibra da madeira é orientada de maneira diferente e é mais dura que o resto do tronco (FIG. 15). Por isso, em fase de secagem, a madeira do nó contrai diferentemente da que está em seu redor (podendo destacar-se por inteiro). Os nós também são resinosos, podendo liberar a resina durante muito tempo provocando, assim, craquelês prematuros na policromia das esculturas.

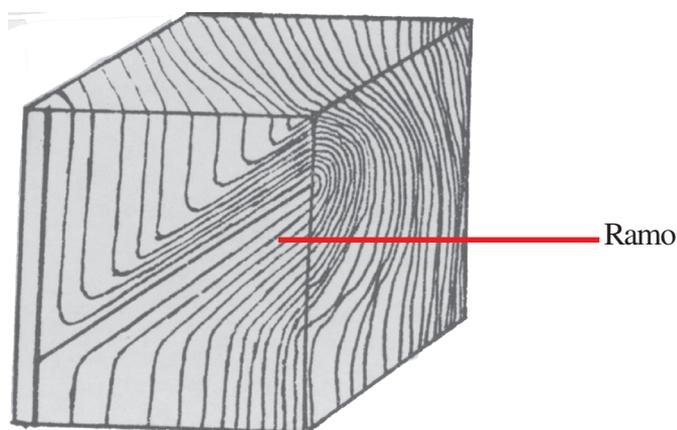


FIGURA 15 - Perspectiva do desvio dos tecidos lenhosos causados por um ramo.

Fonte: PAULA, 1960,p.39.

¹¹ São chamados defeitos sob o ponto de vista do usuário, pois, na árvore, essas propriedades chamadas de defeitos são características fisiológicas naturais decorrentes do meio em que cresceu.

- Nódulos: protuberâncias derivadas de algum tipo de cicatrização do tronco devido a uma lesão (queimadura, intrusão de um corpo estranho, etc.), sofrida pela árvore, durante o seu crescimento. Esses nódulos, da mesma forma que os nós, provocam desvios das fibras internas do tronco.

- Bulbos: presença de bolhas de ar no interior do tronco devido ao revirado das fibras que crescem de forma irregular e não paralelamente ao eixo do troco.

- Fendas ou rachas: gretas que se formam na madeira devido a uma dissecação rápida. (FIG. 16).

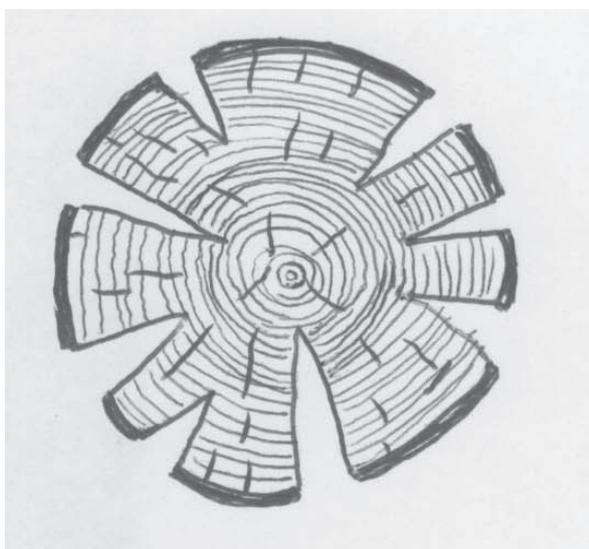


FIGURA 16 - Corte transversal do tronco da árvore com fendas

Esses defeitos dificultavam o trabalho do escultor e contribuía no processo de degradação das esculturas; porém, tais madeiras não eram dispensadas. Por exemplo, segundo CAMÌ e SANTAMERA (1997) os escultores extraíam os nós dos troncos vedando-os, posteriormente, com cunhas para protegerem a policromia de possíveis perdas.

No caso das esculturas em cedro, encontramos algumas com grampos de metal fixos sobre as rachaduras ou cunhas entre a abertura da fenda, recurso usado pelo escultor para, presumivelmente, retê-las ou amenizá-las (FIG. 17).

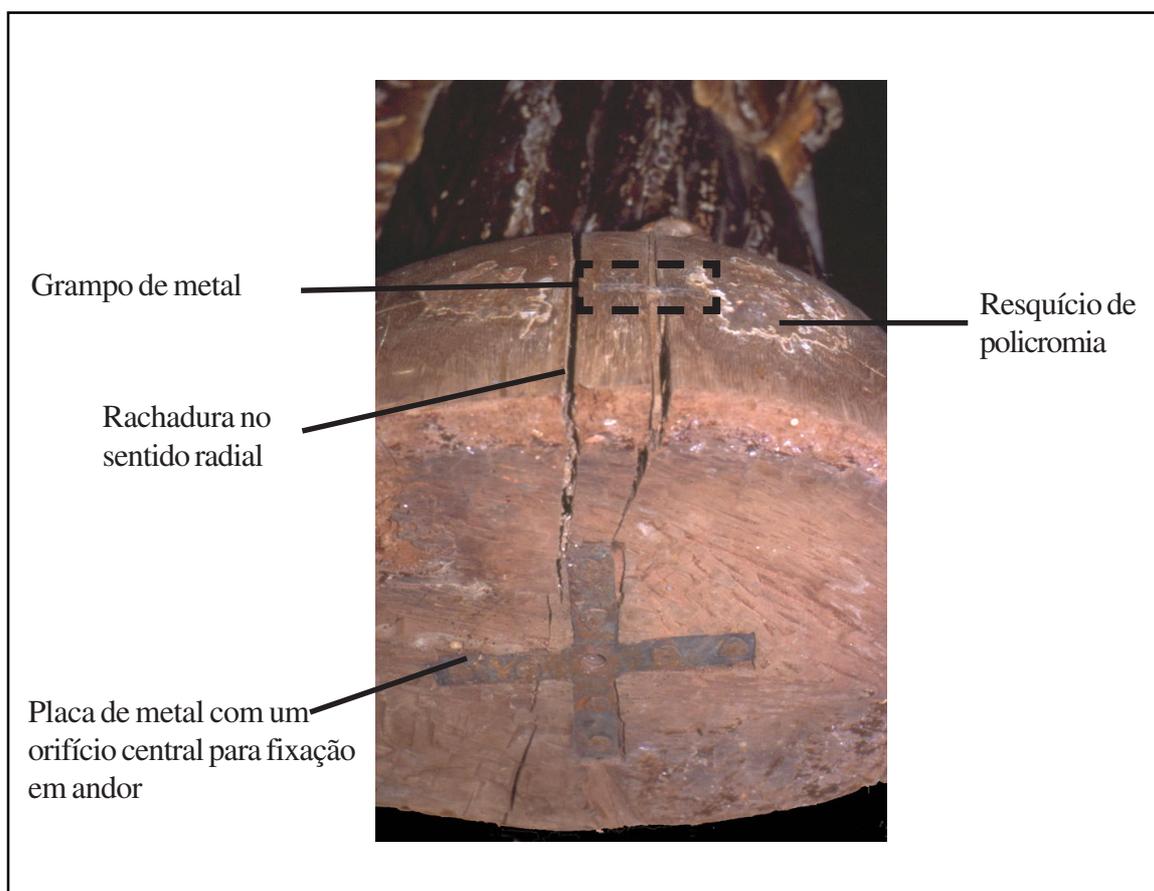


FIGURA 17 - Detalhe da base da escultura de São João Nepomuceno (acervo da Casa Paroquial de Paracatu, M. G.)

Fonte: Arquivo CECOR, 2002.

Sabemos, contudo, que esses procedimentos não solucionavam esses problemas, pois a restrição do movimento da madeira (devido a sua absorção e desorção de umidade do ar) provocam tensões, aumentando o risco de danos às esculturas.

O ganho de umidade de uma determinada escultura, em madeira, causa o seu inchamento e a perda causa retração; essas variações volumétricas e dimensionais diferem segundo o plano de corte do tronco (FISCHESSER, 1981). São três as direções geométricas da madeira definidas pelo corte:

o transversal, que é perpendicular ao eixo do tronco; o radial obedece a um plano longitudinal que se estende pelo eixo do tronco e o tangencial paralelo ao eixo do tronco (FIG. 18).

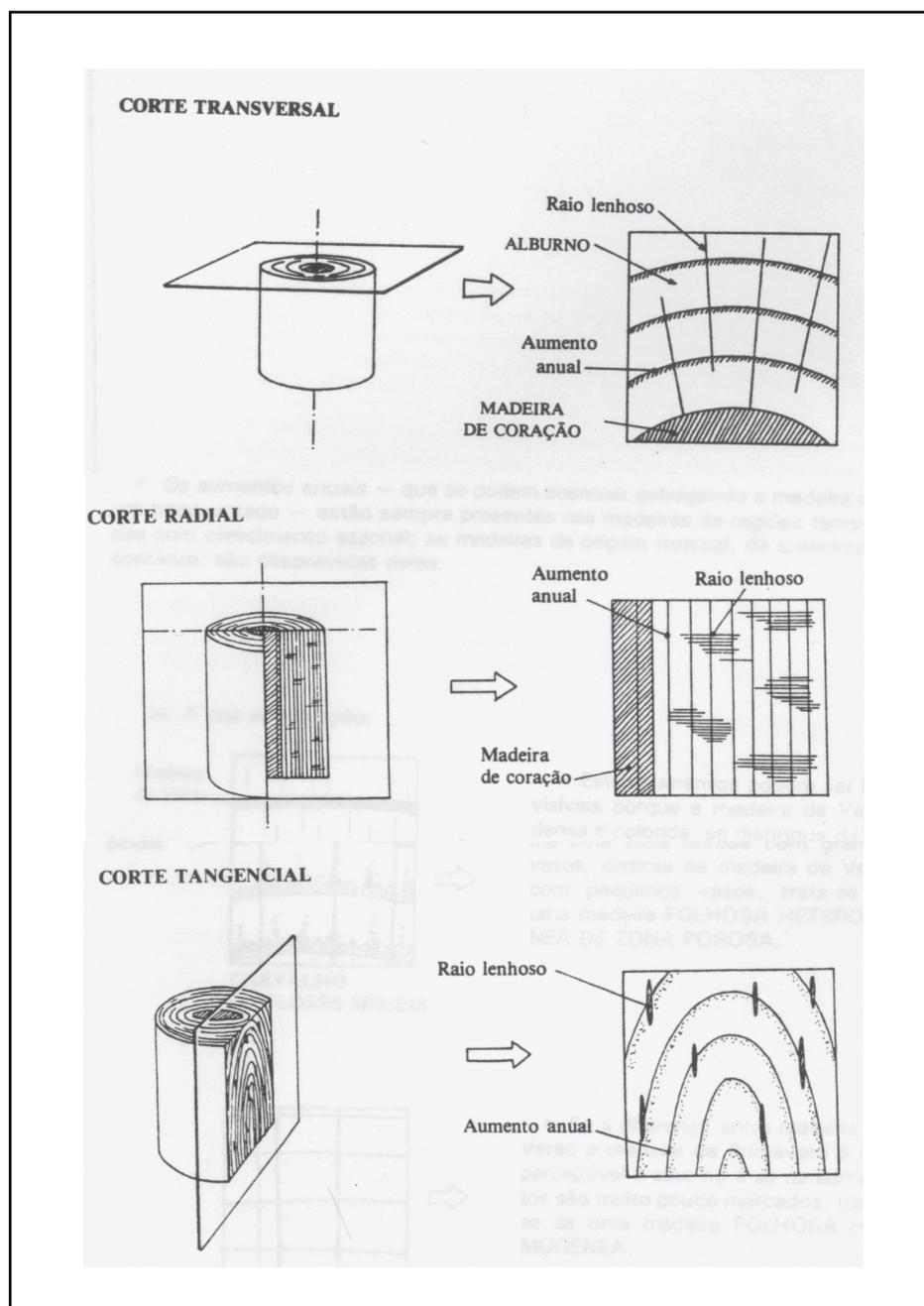


Figura 18 - Direções geométricas definidas pelo tipo de corte efetuado na madeira.

Fonte: FISCHESSE, 1981.p.75-76.

Uma escultura em cedro apresenta estes três planos de corte e talhos intermediários entre eles, além disso, também é composta geralmente pela união de dois ou mais blocos cujas respectivas fibras podem apresentar direções de corte opostas uma a outra. Essa técnica de construção aliada à característica anisotrópica da madeira determina as tipologias de degradação das esculturas que se manifestam principalmente das seguintes formas:

- Danos ao suporte: rachaduras, fissuras, deformações (empenamentos e nós), separações dos blocos constituintes das esculturas, desprendimentos de cravos e ou pinos, travamentos de articulações (nas esculturas de vestir);

- Danos a camada pictórica: craquelês e perdas do estrato pictórico.

Essas degradações de origem mecânica, devido ao comportamento higroscópico do cedro, podem ser verificadas conjuntamente; mas para facilitar a distinção de cada uma delas achamos oportuno analisá-las separadamente.

2.3.1- Danos ao suporte

Nas esculturas analisadas observamos que existe a predominância da utilização do tronco no sentido vertical. Longitudinalmente, a madeira é formada, principalmente, por fibras que não absorvem umidade; assim sendo, a movimentação mecânica nessa direção é mínima — portanto, o comprimento de uma escultura não varia muito quando perde ou ganha umidade (CLÉRIN, 2001).

Os efeitos da contração e dilatação na madeira, como foi dito anteriormente são sentidos de uma forma mais intensa na direção perpendicular (tangencial e radial). As rachaduras e fissuras, portanto, ocorrem, sobretudo, no sentido do centro (área da medula) para a região externa abrindo-se em forma de “V” devido à prevalência da contração tangencial sobre a radial — quando perde umidade para o ambiente (PERUSINI, 1997). Nas esculturas ocadas, verifica-se também essa mesma tendência no posicionamento das rachaduras e fissuras.

Observando o corte transversal da base das esculturas feitas em bloco único e das constituídas por um bloco principal (correspondente ao corpo e base) foi possível fazer esquemas da disposição estrutural das fibras do cedro facilitando o entendimento dessa tipologia de degradação. Salientamos

que os perfis dos cortes das bases não são sempre retangulares, usamos esse formato apenas para facilitar o desenho (FIG. 19).

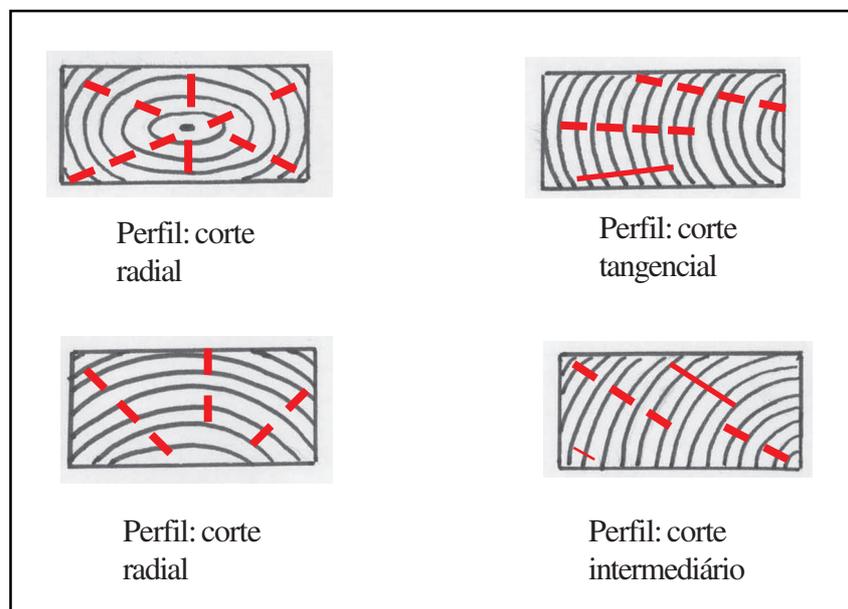


FIGURA 19 - Esquemas dos perfis das seções transversais da base das esculturas em cedro.
 — — direção predominante da rachadura (sentido radial)

As rachaduras e fissuras podem ser superficiais, ou seja, ocorrendo apenas nas regiões periféricas da escultura ou mais profundas.

Deformações nas esculturas, de forma côncava ou convexa, chamadas de empenamentos, podem ocorrer nos blocos das esculturas cortados em forma de tábua — como os tampos feitos para cobrir a área aberta na parte posterior da peça para ocá-la ou as bases de espessura fina presentes principalmente nas esculturas de roca.

Esse tipo de corte, devido à anisotropia da madeira, tende a encurvar-se com o lado côncavo oposto à face policromada, porque durante a troca de umidade com o ambiente o estrato posterior tende a absorver ou eliminar umidade mais rapidamente que o anterior, com policromia (UZIELLI; CASAZZA, 1997).

A separação dos blocos das esculturas é devida à anisotropia da madeira, cuja tensão mecânica é potencializada nessas áreas de união, especialmente, quando os blocos são de procedências diversas do tronco, ou seja, com cortes que apresentam perfis da direção da fibra opostas — tendo,

conseqüentemente, trabalho de contração e dilatação diferentes. Essa diferença também pode provocar rachaduras. A FIG. 20 ilustra as tipologias das variações dimensionais em função da forma e localização do plano de corte da peça na tora.

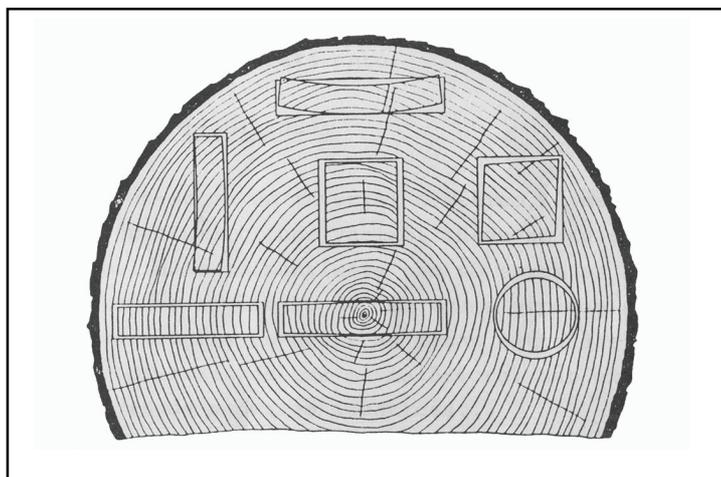


FIGURA 20 – Variações volumétricas e dimensionais em função das direções estruturais ao corte dado a peça de madeira
Fonte: LEPAGE , 1986. p. 12.

No caso das ligações dos blocos feitas com pinos de madeira ou cravos eles também podem soltar-se, principalmente, nas esculturas que são submetidas a ciclos constantes de variações de umidade FIG. 21.

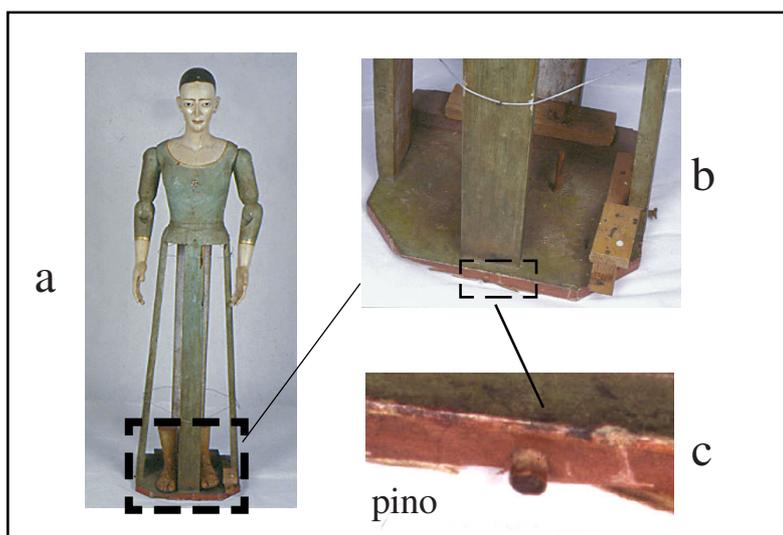


FIGURA 21 – a) Escultura de vestir Nossa Senhora das Dores da Igreja do Carmo de Sabará, Sabará Minas Gerais. b; c) Detalhe desprendimento do pino de fixação da base.

Fonte: Arquivo CECOR, 2002.

As articulações das imagens de vestir, geralmente, travam com a movimentação da madeira em função da absorção de umidade. Não se identificou nenhuma escultura com indícios de defeitos derivados da presença de nós ou nódulo; como o cedro adulto é uma árvore de tronco longo, com ramos e galhos predominantemente na parte superior (copa), presume-se que essa característica facilitava o uso principalmente do tronco — conseqüentemente, livre de nós. Porém, como as esculturas são policromadas e impedem a visão geral do lenho, não se eliminou a probabilidade da existência de esculturas com nós.

É importante salientar também que as esculturas feitas com a utilização do cerne e alborno são mais propensas a deformações, porque a madeira do alborno é mais susceptível às variações de umidade do que a do cerne (e essas diferenças de tensões promovem danos com maior rapidez).

2.3.2- Craquelês e desprendimento da camada pictórica

Todas as esculturas estudadas apresentavam a policromia com craquelês e desprendimento. A causa desse tipo de dano não deve ser atribuída apenas ao envelhecimento do pigmento os chamados craquelês de idade (KNUT, 1999), mas também ao comportamento higroscópico da madeira no transcorrer do tempo.

Segundo SOUZA,

“As variações dimensionais do suporte, tais como contração e dilatação em condições diversas de umidade relativa, são rapidamente sentidas pela base de preparação que, na maioria dos casos, não apresenta as mesmas características de resposta dimensional às variações ambientais. Estas variações são na maioria das vezes, as responsáveis pelo deslocamento de camadas de pintura e também pelo aparecimento de rachaduras e craquelês uniformes na policromia” (SOUZA 1996, p.27).

Verifica-se que todo o tipo de craquelê resultante da deformação da madeira (contração ou dilatação) atinge todas as camadas da policromia.

O deslocamento, total ou parcial, da base de preparação e pintura pode ocorrer com a contração do suporte em função de uma brusca queda de umidade relativa do ambiente. Quando isso acontece, há o rompimento da interface entre a madeira e a base de preparação e conseqüentemente da pintura (FIG. 22).

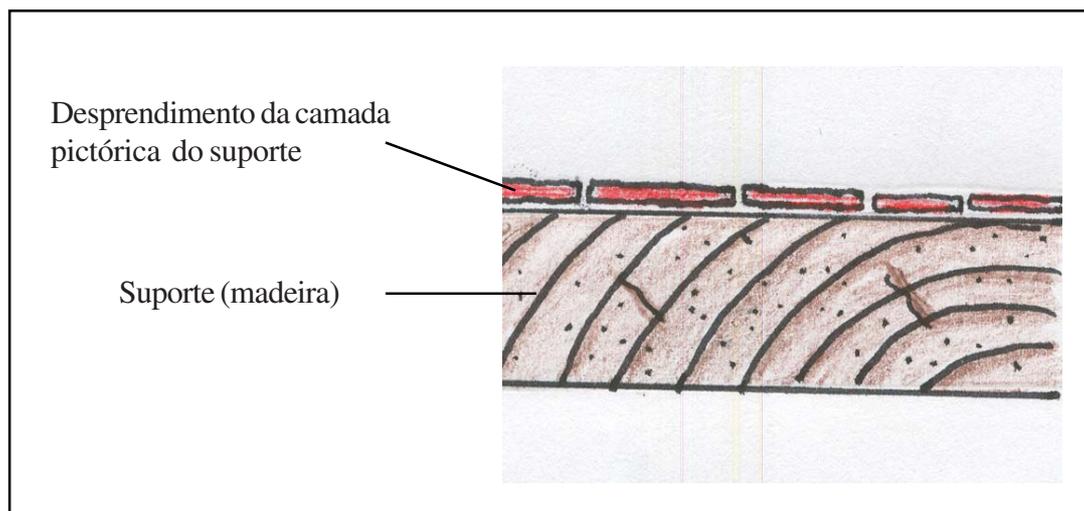


FIGURA 22 - Representação esquemática do rompimento entre a camada pictórica e a madeira.

Quando a madeira dilata, em função da absorção de umidade do ambiente, o estrato pictórico é submetido a uma força de tração que resulta na formação de craquelês (FIG. 23).

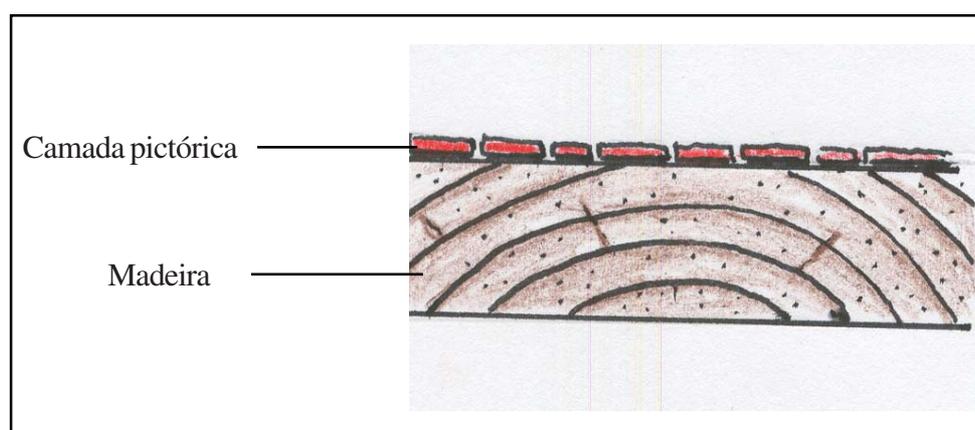


FIGURA 23 - Representação do estrato pictórico com craquelês originados da dilatação do suporte

O estrato pictórico que apresenta craquelês, resultantes da dilatação da madeira, pode sofrer o levantamento ou sobreposição se houver a contração da madeira (FIG. 24).

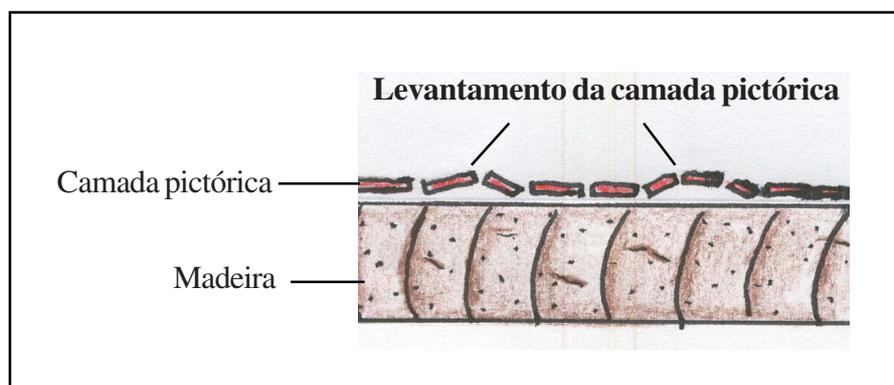


FIGURA 24 - Desenho esquemático do craquelê resultante da sobreposição da camada pictórica

A contração e dilatação constante da madeira, em função da flutuação de UR, promove o deslocamento dos blocos constituintes de uma escultura e o aparecimento de fissuras ou rachaduras, resultando na formação de craquelês (FIG.25).

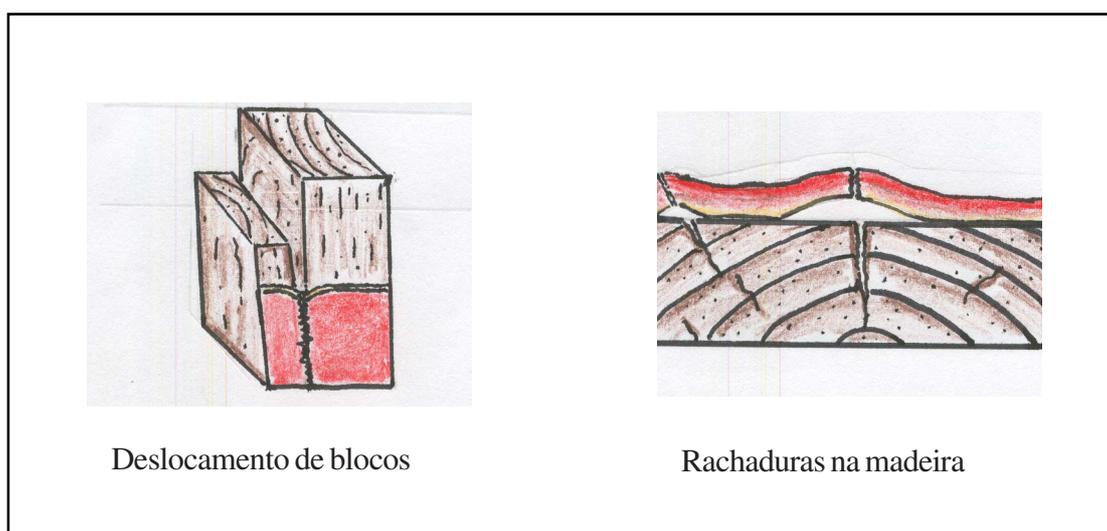


FIGURA 25 – Craquelê originado do deslocamento de blocos ou rachaduras do suporte.

O desenho desses craquelês (ou seja, a forma como eles ficam dispostos na escultura) é determinado pela direção da madeira subjacente à camada pictórica (a superfície longitudinal da madeira é mais estável e a superfície perpendicular a grã¹² é instável) e da existência de fissuras, rachaduras ou junções de blocos. Diante do exposto foi possível identificar a recorrência de três tipos de craquelês:

- craquelê paralelo à fibra da madeira: ocorre principalmente nas áreas das esculturas com a madeira talhada no sentido longitudinal e sem ondulações, como é encontrado, geralmente, na parte de trás das esculturas feitas para serem expostas em altares¹³ (FIG. 26, 27).

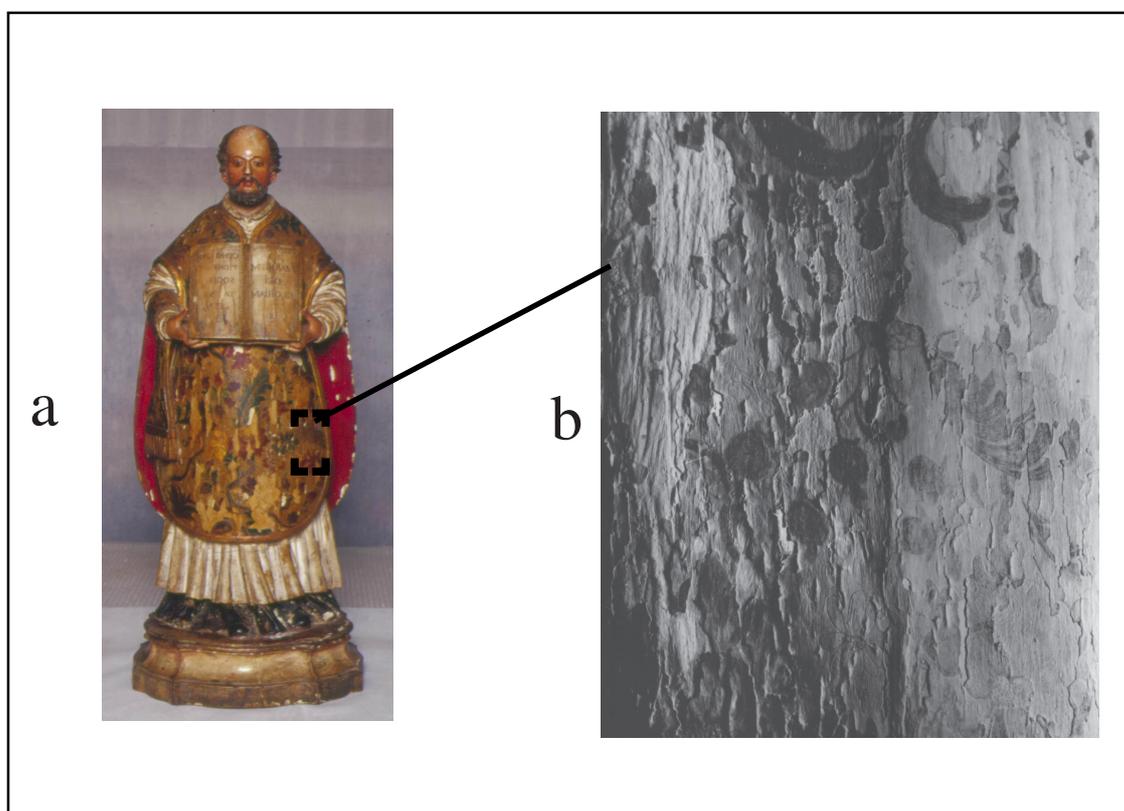


FIGURA 26 - a) Escultura de Santo Inácio de Loyola (pertencente ao Museu de Arte Sacra de Mariana localizado na cidade de Mariana, M.G.); b) Detalhe do craquelê paralelo à fibra do cedro presente na policromia da escultura (foto preto e branco).

Fonte: Arquivo CECOR, 1990.

¹² Grã é a disposição geral na direção dos elementos axiais constitutivos da madeira (ABNT-NBR12551, 2002,p.4)

¹³ O escultor não dava um tratamento mais elaborado da talha nessa área posterior por que ficava oculta pelo altar.

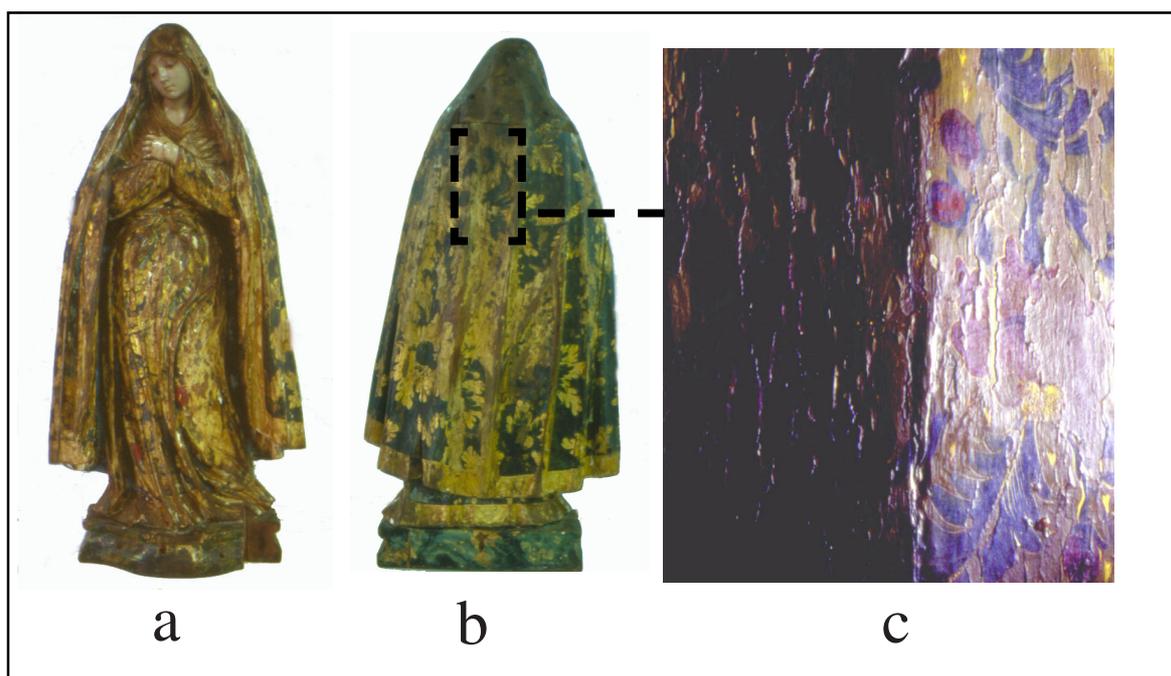


FIGURA 27 - a ; b) Escultura de Nossa Senhora das Dores (frente e verso), pertencente ao acervo do Museu de Arte Sacra de Mariana, MG. c) Detalhe do craquelê paralelo as fibras do cedro (fotografia com luz rasante).

Fonte: Arquivo CECOR, 2001.

- Craquelê perpendicular à fibra da madeira: ocorre principalmente nas áreas que possuem ondulações como, por exemplo, nas representações do panejamento das vestes ou na face (FIG.28).

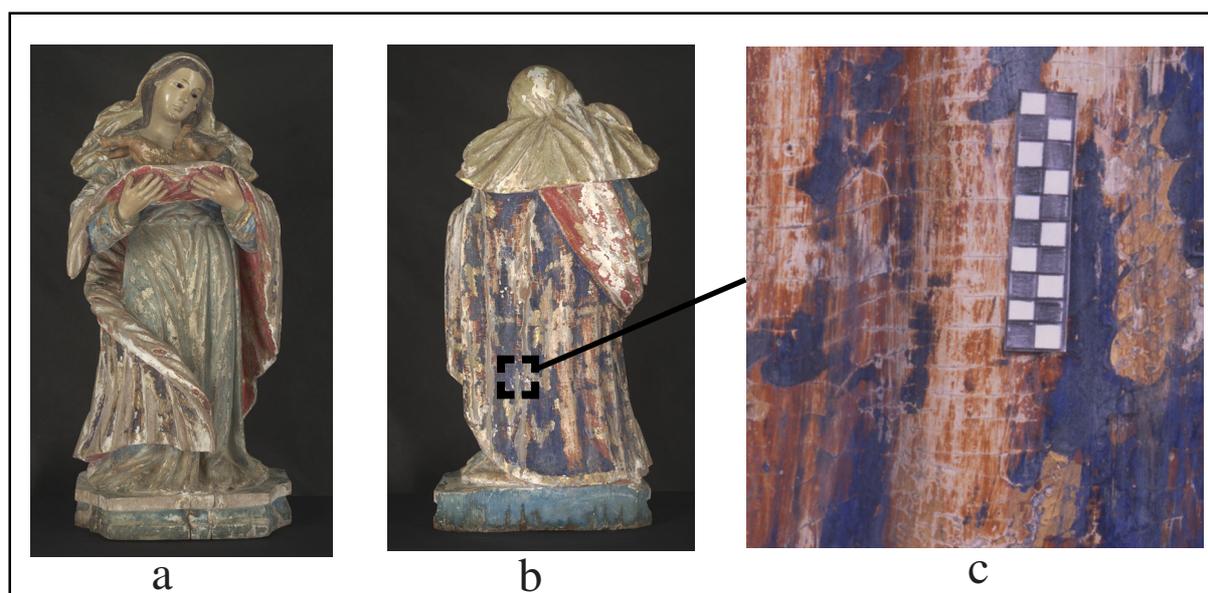


FIGURA 28 - a,b) Nossa Senhora do Parto (acervo Mitra Diocesana de Araçuaí, M.G. c) Detalhe do craquelê perpendicular à fibra do cedro (foto macroscópica). Escala: 5cm.

Fonte: Arquivo CECOR, 2003.

- Craquelê de linha: ocorre sobre as áreas onde há deslocamento das junções de blocos (como no corte facial para a colocação dos olhos de vidro; encaixes dos braços ou nas áreas complementares do panejamento). O craquelê de linha também pode ser originado pela existência de pequenas fissuras no suporte (FIG. 29).

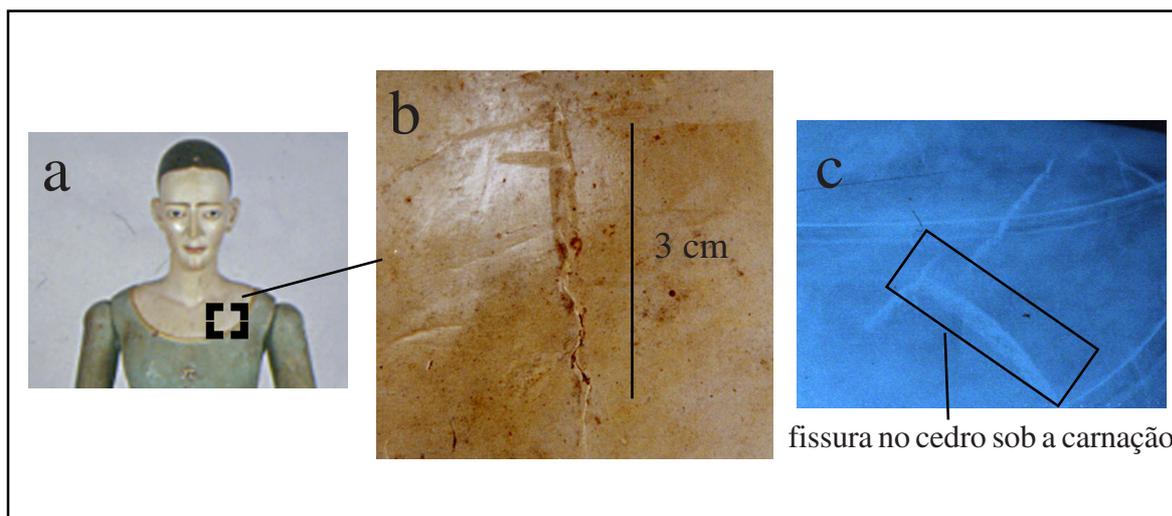


FIGURA 29 - a) Detalhe do busto da escultura de vestir Nossa Senhora das Dores (acervo Igreja de Nossa Senhora do Carmo, Sabará, MG.) ; b) Detalhe do craquelê de linha presente na carnação; c) Detalhe da radiografia da região onde foi detectado o craquelê.

Fonte: Arquivo CECOR, 2002

Verifica-se que as áreas das esculturas com espessura mais fina e as regiões de união dos blocos constituintes da peça são as mais propensas a apresentarem perdas da camada pictórica em função da movimentação higroscópica do cedro. As perdas da policromia, nesse caso, concentram-se, principalmente, nas seguintes localidades da escultura: extremidades da testa, nariz, queixo, dedos das mãos e pés, das pregas e barras das vestimentas FIG. 30.

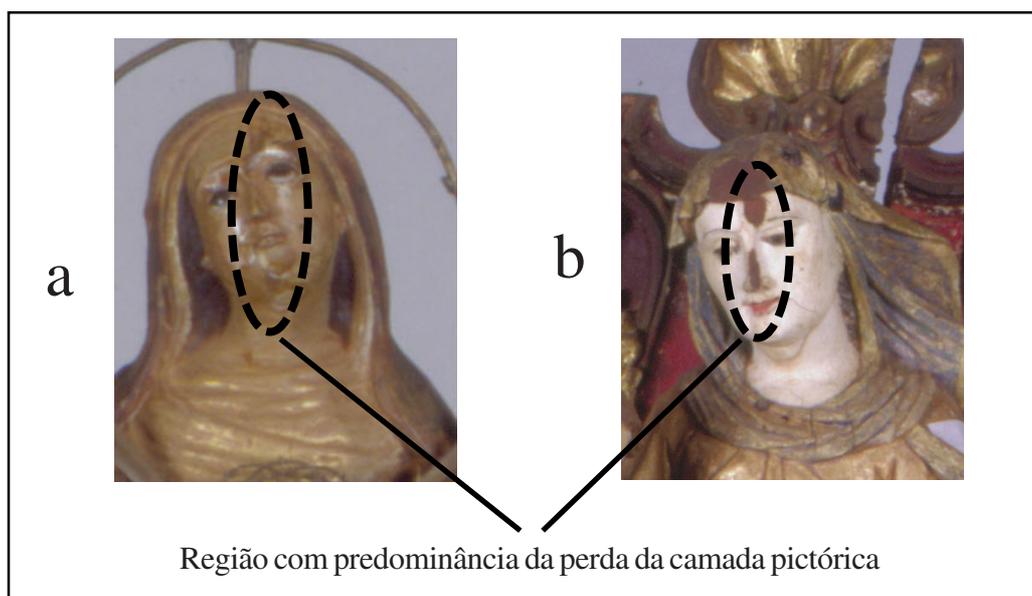


FIGURA 30 – Detalhe do rosto da imagem de Nossa Senhora das Dores (a) e do rosto da escultura de Santana Mestreira (b) pertencentes a Casa Paroquial de Paracatu, Minas Gerais.

Fonte: Arquivo CECOR, 2002.

Os blocos das esculturas que apresentam desprendimento (com conseqüente perda) são normalmente os correspondentes às junções das articulações dos braços, dedos das mãos e áreas complementares ao panejamento (FIG. 31).

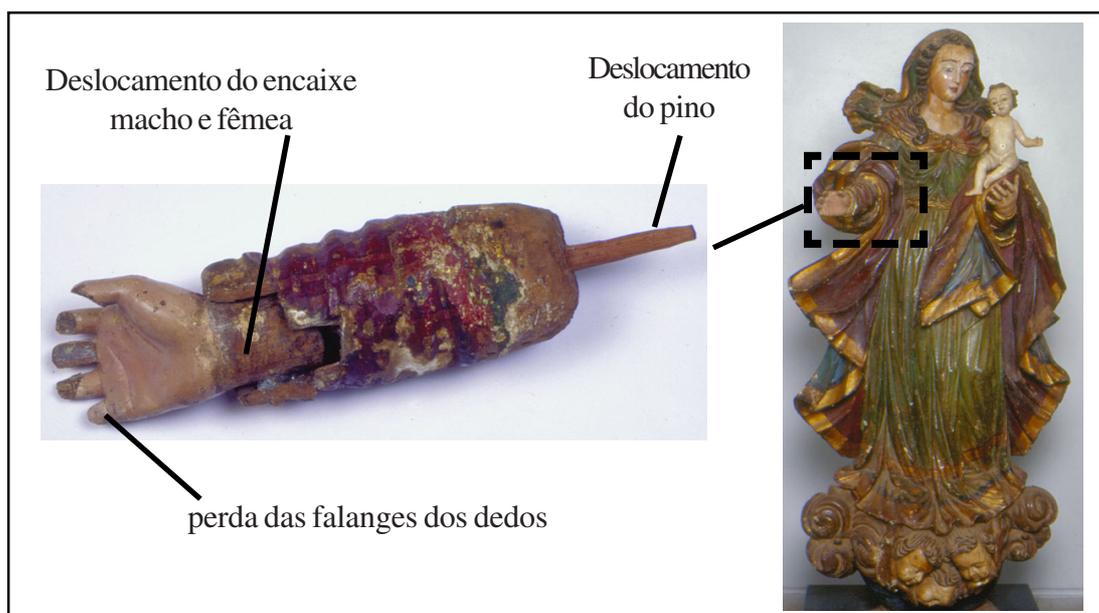


FIGURA 31 - Detalhe do braço direito da escultura de Nossa Senhora do Rosário da Casa Paroquial de Paracatu (cidade de Paracatu, Minas Gerais).
Fonte: CECOR, 2002.

Para aumentar o tempo de preservação dessas esculturas é necessário minimizar os efeitos do comportamento higroscópico em função da variação da UR do ambiente no qual estão expostas. Isso pode ser alcançado conhecendo o comportamento higroscópico do cedro para estabelecer as flutuações de UR permissíveis a esses objetos — assunto que será discutido no capítulo seguinte.

Capítulo 3

Aspectos teóricos e metodológicos

Neste capítulo abordamos aspectos teóricos e metodológicos referentes às análises do comportamento higroscópico do cedro em função das variações de umidade relativa, do douramento e das camadas de proteção utilizadas para retardar sua absorção de umidade.

3.1- Introdução e definição dos objetivos

É consenso entre os profissionais de conservação e restauração que o comportamento higroscópico e anisotrópico da madeira (em função da flutuação da umidade relativa do ambiente) é uma das maiores causas da deterioração das obras construídas com esse suporte — principalmente para obras que são retiradas do seu ambiente de origem para serem expostas em outros locais.

Cada espécie de madeira apresenta um comportamento dimensional diferenciado em relação à adsorção e desorção de umidade que são, respectivamente, responsáveis pelas suas propriedades de dilatação e contração.

O cedro, apesar de apresentar retrabilidade linear e volumétrica baixas e propriedades mecânicas entre baixa e médias (MAINIERI, 1989), não fica imune às mudanças de UR — especialmente quando é submetido a uma variação de umidade diversa do ambiente no qual mantinha uma umidade de equilíbrio constante. Esta madeira responde a essas variações, ganhando e perdendo umidade conforme as condições do ambiente em que esta exposta.

Tal comportamento higroscópico é verificado tanto nas esculturas feitas com cedro novo, isto é, nas madeiras abatidas há poucos anos (que foram secas antes de serem utilizadas) quanto nas esculturas feitas com cedro antigo (BUCK, 1952; CECOTTI; UZIELLI, 1990 e UZIELLI; CASAZZA, 1994). Por isso, o melhor tratamento preventivo em relação às degradações decorrentes das mudanças dimensionais das esculturas em madeira é o controle da umidade relativa do ambiente em que está exposta. O controle deverá ser feito segundo parâmetros específicos para a espécie de madeira da qual o objeto de arte foi feito (ERHARDT, MECKLENBURG 1994).

Um dos fatores relevantes na obtenção desses parâmetros é a presença da policromia sobre a superfície das esculturas, que é feita incorporando materiais como gesso, cola protéica¹⁴, diferentes tipos de pintura, douramentos e vernizes. Estes materiais possuem propriedades mecânicas e respostas variáveis às flutuações de umidade que são diferentes das propriedades mecânicas da madeira sobre a qual estão aplicados.

Alguns estudos publicados na área de conservação preventiva apontam para a necessidade de se investigarem as propriedades mecânicas de cada um dos materiais constitutivos dos objetos feitos em madeira policromada em função das flutuações de umidade relativa (MECKLENBURG; TUMOSA; ERHARDT, 1994; MECKLENBURG, 1991; MICHALSKI, 1991).

MECKLENBURG (1991), por exemplo, analisou as propriedades mecânicas do gesso e cola (que são materiais higroscópicos) utilizados na formulação das bases de preparação dos douramentos em suportes de madeira. Para realizar seus ensaios reproduziu, em laboratório, algumas receitas das camadas de base de preparação utilizadas pelos artistas. Em seus ensaios comprovou que diferenças na proporção de gesso e cola dessas camadas influenciavam seu comportamento mecânico em relação a variações de temperatura e UR do ambiente.

MICHALSKI (1991) chamou a atenção para os substratos de madeira dourados com a técnica de aplicação de folhas de ouro. De acordo com seus estudos, o objeto de madeira dourado ficará protegido das flutuações sazonais de umidade se os acabamentos forem bem selados, por exemplo, com aplicação de folha de ouro ou cera.

A folha de ouro¹⁵ é, segundo MICHALSKI (1991), uma boa barreira hidrófoba e por isso promove estabilidade às camadas subjacentes ao douramento, que são mais suscetíveis a ação da umidade. Esta estabilidade previne a formação de craquelês e concheamentos, contribuindo para a conservação do objeto.

No Brasil os trabalhos desenvolvidos, até então, na área de conservação preventiva para objetos artísticos (feitos em madeira policromada), referem-se principalmente à composição do material e tecnologia de execução.

Não encontramos, contudo, publicações sobre experimentos dos desempenhos mecânicos do suporte, das bases de preparação, bolo armênio, camadas pictóricas e douramentos presentes em

¹⁴Os principais tipos de cola protéicas são: a cola animal (derivada do colágeno proteína estrutural dos tecidos animais presente, por exemplo, na pele, ossos e cartilagem) a caseína (proteína retirada do leite) e as proteínas dos ovos presentes na clara e gema (SOUZA, 1996).

¹⁵O ouro (o mais maleável e dúctil dos materiais) é inalterável quando em contato com o ar e a água. Funde-se por volta de 1.100°C e isoladamente é pouco atacado pelos ácidos nítrico, sulfúrico e clorídrico, porém dissolve-se na água régia (mistura dos ácidos nítrico e clorídrico), ENCICLOPÉDIA BRITÂNICA (1994, Vol.8).

esculturas barrocas mineiras. Do ponto de vista experimental, além da UR e temperatura do ambiente, o comportamento mecânico do substrato, das bases de preparação, bolo e camadas pictóricas dependem também dos seguintes fatores:

- espécie da madeira usada como suporte;
- espessura do suporte;
- espessura das camadas pictóricas;
- concentração de pigmento por volume;
- grau de envelhecimento das camadas (devido ao decorrer dos anos);
- ataque de insetos xilófagos e/ou microorganismos;
- incidência de luz (natural e/ou artificial);
- ação de gases (ar atmosférico e poluentes);
- incompatibilidade física e química das camadas.

Neste trabalho foram elaborados os experimentos com o objetivo de destacar o comportamento mecânico do cedro em função da umidade relativa do ambiente, pois, como foi apresentado no capítulo anterior, essa característica é responsável por tipologias de danos específicos ao suporte que promovem detrimientos à camada pictórica. Além disso, considerou-se que decisões corretas sobre a adoção de políticas de conservação preventiva devem ser baseadas em conclusões de estudos precisos, com a melhor confiabilidade possível, o que demanda a elaboração de parâmetros e normas de avaliação das medidas de conservação preventiva aplicadas para cada caso analisado.

Para investigar o efeito dinâmico da umidade sobre as propriedades mecânicas do cedro desenvolvemos então os seguintes experimentos:

- Determinação do teor de umidade do cedro em função da variação de UR;
- Observação do comportamento higroscópico das amostras, em cedro, preparadas com a técnica do douramento aquoso, com cera de abelha, cera microcristalina e Osmocolor no intuito de determinarmos, através da análise dos dados do experimento, parâmetros metodológicos que servirão como base para a realização de ensaios futuros;
- Estudo do comportamento elástico do cedro submetido a rápidas variações de UR.

3.2 - O comportamento higroscópico da madeira e a definição dos critérios na escolha das técnicas analíticas dos experimentos

A velocidade da troca higroscópica entre a madeira e o ambiente no qual está exposta pode ser rápida ou lenta dependendo, principalmente, da espécie da madeira, do corte da madeira (corte transversal, radial, tangencial ou intermediário), da temperatura, ventilação, espessura e da presença de estratos sobre a superfície do objeto de madeira (como cera, verniz, policromia e a pátina acumulada no tempo) que podem funcionar como barreiras redutoras da velocidade de absorção de umidade pela madeira (UZIELLI, 1994).

A madeira é um material orgânico, possui uma constituição anatômica variável de espécie para espécie e até entre partes distintas de uma mesma árvore (GARCIA, 1995). Existe uma grande dependência entre as propriedades físicas e mecânicas e o padrão morfológico das estruturas anatômicas da madeira. As determinações experimentais são por esse motivo, subordinadas à identificação botânica da madeira.

Sabe-se que sob a influência das variações de umidade a madeira pode modificar suas dimensões. Esse fenômeno é denominado de retração e inchamento higroscópico da madeira em função da umidade relativa ambiental. Essa movimentação dimensional, conforme se verifica no capítulo dois, é variável de acordo com a direção estrutural da madeira que define sua anisotropia (as contrações lineares apresentam-se em três direções dominantes que estão relacionadas com a orientação das fibras e camadas de crescimento, por isso existem três tipos de contração: contração longitudinal ou axial, que ocorre no sentido das fibras; contração radial, segundo os raios das camadas de crescimento; contração tangencial, que se ajusta tangencialmente a essas mesmas camadas). A madeira contrai ou expande mais na direção tangencial e radial e pouco na direção axial.

A Tabela 1 demonstra a variação valores médios da variação de umidade de algumas madeiras mais utilizadas no Brasil.

TABELA 1
Valores médios da variação dimensional de algumas madeiras utilizadas no Brasil

Madeira	Variação dimensional (%)		Relação (T/R)
	Tangencial (T)	Radial (R)	
Ipê	5,5	4,0	1,4
Cedro	6,3	4,3	1,5
<i>E. Citriodora</i>	9,6	6,5	1,5
Virola	7,0	4,7	1,5
<i>E. maculata</i>	9,4	5,9	1,6
Jequitibá	5,5	3,0	1,8
Peroba-rosa	7,7	4,0	1,9
Pinho-do-paraná	7,8	4,0	1,9
Pau-marfim	9,9	5,2	1,9
Imbuia	6,3	2,7	2,3
<i>E. tereticornis</i>	16,7	7,3	2,3
Jatobá	6,5	2,7	2,4

Fonte: GALVÃO e JANKOWSKY (1985, p. 51)

A Tabela 1 mostra que a diferença entre as variações tangencial e radial é superior a um. Como podemos observar há um desequilíbrio entre os valores de retrabilidade tangencial e radial. Esse fator anisotrópico é medido pela relação entre a variação dimensional na direção tangencial (T) pela variação dimensional na direção radial (R). As madeiras que apresentam valores da relação (T/R)

próximos a 1 são consideradas mais estáveis como é o caso do cedro, Ipê e *E. Citriodora*; contudo, variações dimensionais absolutas elevadas determinam maior movimentação da madeira como, por exemplo, pau marfim e *E. tereticornis* (GALVÃO e JANKOWSKY 1985; SIAU, 1971).

A diferença entre as contrações radiais e tangenciais é para BROTERO (1935) resultado da existência dos raios medulares onde as células se dispõem com seus eixos maiores seguindo, normalmente, o sentido radial da madeira. Como a contração segundo seu eixo maior é pequena, impede até certo ponto que a retração das fibras ocorra de forma livre no sentido radial.

GALVÃO e JANKOWSKY (1985) afirmam que, de acordo com os resultados obtidos pela maioria dos cientistas que estudaram o assunto, a influência dos raios é apontada como um dos fatores responsáveis pela anisotropia¹⁶ observada na madeira.

A velocidade da resposta dimensional (inchamento e contração) da madeira, resultante da mudança de umidade do ambiente, pode variar em função da espessura do objeto (BUCK, 1961). Objetos de tamanhos pequenos e espessuras finas respondem mais rapidamente à troca de umidade com o ambiente que aqueles maiores e mais grossos.

A espessura reduzida de uma escultura em cedro não possui efeito sistemático sobre a quantidade de umidade absorvida por ela, mas, provavelmente, assinalará influência na velocidade da sua resposta dimensional. Peças escavadas respondem mais rapidamente às trocas de umidade com o ambiente do que as maciças, da mesma forma que orifícios e galerias causadas por ataque de insetos xilófagos e a presença de rachaduras e fissuras contribuem para a velocidade dessa troca, pois, aumentam a proporção de exposição da madeira com o ambiente.

A temperatura alta em um ambiente com uma dada umidade relativa pode influenciar a velocidade da transferência de umidade para a madeira devido ao aumento de pressão do vapor d'água. Conforme demonstrado na Tabela 2, a pressão de vapor em temperaturas baixas pouco modifica com o aumento da temperatura. Com a elevação da temperatura, a pressão de vapor mostra uma taxa de variação que aumenta continuamente.

¹⁶ Existem outras teorias que explicam o motivo da anisotropia da madeira cujos interessados poderão encontrar em GALVÃO e JANKOWSKY, 1985 e STAMM, 1960.

TABELA 2
Pressão de vapor da água

Temperatura °C	Pressão de vapor da água [cm de Hg]
00	0,46
05	0,65
10	0,92
12	1,05
14	1,20
16	1,36
18	1,55
20	1,75
22	1,98
24	2,24
26	2,52
30	3,18
35	4,22
40	5,53
50	9,25
60	14,94
70	23,37
80	35,51
90	52,58

Fonte: CROCKFORD e KNIGHT (1977). p.31.

O vapor d'água movimenta-se facilmente pelo interior das cavidades das células da madeira e entre as aberturas que fazem a ligação entre elas. Entretanto, a maior parte do movimento ocorre através da parede celular, onde se encontra a água higroscópica¹⁷. A água higroscópica movimenta-se através do fenômeno de difusão, devido ao efeito dos gradientes de umidade que se instalam, de forma geral, nas paredes celulares ou na madeira. As alterações dimensionais ocorrem, principalmente, como resultado da variação no teor da água higroscópica, então podemos desprezar quantitativamente a água em forma de vapor na madeira (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985).

A adaptação de uma escultura, em madeira, a novas condições ambientais não ocorre de maneira uniforme. Primeiro o estrato superficial irá se adequar à condição do ambiente externo e,

¹⁷ A madeira quando é abatida apresenta em seus vasos, canais e lumem das células a água de capilaridade ou água livre que evapora durante o tempo em que fica exposta ao meio ambiente. A água que permanece na madeira, localizada no interior de suas paredes celulares, depois que ela perde a água livre é a água higroscópica.

depois, essa variação irá propagar em profundidade. Camadas de pintura, cera, vernizes, etc. aplicadas sobre a madeira diminuem a velocidade dessa propagação. Entretanto, elas só são eficientes no caso da peça em madeira não apresentar degradação como rachaduras, craquelês e fissuras que permitem, praticamente, a livre troca de umidade com o ambiente.

Devido a esses fatores, as técnicas analíticas que foram utilizadas nos ensaios observaram os seguintes critérios:

- Identificação macroscópica do cedro (*Cedrela* sp.) que foi seccionado para a confecção dos corpos-de-prova.
- Secção dos corpos-de-prova estabelecidos pela Norma Brasileira NBR 7190, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que aborda a caracterização completa da resistência da madeira serrada (NBR 7190:1997).
- Utilização de temperatura constante entre 20°C e 25°C (NBR 7190,1997).

Apresentam-se a seguir as definições de cada um dos critérios que foram adotados:

A primeira análise que se deve praticar antes de qualquer ensaio sobre a madeira é a sua identificação botânica que permite conhecer suas características gerais. Para a identificação botânica são utilizados dois tipos de análise: a identificação macroscópica e a microscópica. Na identificação macroscópica são observadas as características organolépticas da madeira (como cor, odor, gosto, textura, brilho, grã e densidade aparente) e as características anatômicas (tipos de poros, parênquima e raios). Na identificação microscópica são observadas as características dos tecidos e das células constituintes do lenho, como a presença de cristais, dimensões celulares, etc (ZENID e CECCANTINI, 2001).

Para a determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira, através de ensaios laboratoriais, a NBR 7190 (1997) determina o tipo de seção que os corpos-de-prova devem ter e a forma como devem ser analisados. Publicações brasileiras referentes ao estudo das propriedades das madeiras fazem o uso ou referência a essa norma. Como não existem parâmetros de corpos-de-prova definidos para análise das propriedades físicas das esculturas em madeira, decidimos utilizar as normas da NBR 7190 (1997), que fixam as condições gerais básicas, determinadas nas análises da madeira, cujas prescrições adaptam-se ao objetivo proposto em nosso trabalho.

O efeito da variação da temperatura sobre o coeficiente de dilatação térmica da madeira é mínimo (UZIELLI, 1994). Segundo a NBR 7190 (1997) a influência da temperatura nas propriedades de resistência e rigidez da madeira deve ser considerada apenas quando for submetida a temperaturas fora da sua faixa usual de ambientação por um período longo. Dessa forma, admite-se como desprezível a influência da temperatura na faixa usual de utilização entre 10° C e 60° C.

Segundo THOMSON (1986), variações razoáveis de temperatura ($\pm 5^\circ \text{C}$) não implicam na mudança da umidade de equilíbrio da madeira se houver a manutenção de uma umidade relativa constante do ambiente dentro de limites aceitáveis entre 50% a $\pm 60\%$.

Tanto a temperatura como a umidade relativa são fatores que não podem ser eliminados instantaneamente e, por isso, como medida de conservação preventiva, precisam ser mantidas em níveis satisfatórios pré-determinados para cada uma.

A determinação do grau da temperatura para objetos que ficam expostos em museus (exceto para situações especiais como vitrines e reservas técnicas) é limitada a flutuações que devem ser confortáveis às pessoas que freqüentam essas instituições. Esta flutuação é limitada a mais ou menos 5°C e 10°C (ERHARDT, 1994).

Os prédios que abrigam as esculturas barrocas em Minas Gerais, como foi visto no capítulo anterior, geralmente são construções do mesmo período (séc. XVIII e XIX). A temperatura no interior desses prédios tende a manter valores agradáveis ao conforto humano, ou seja, mantém faixas de temperaturas que não exercem mudanças substanciais no comportamento mecânico da madeira.

Dentro desse contexto, pode-se afirmar que a determinação do valor da umidade relativa para os ambientes onde esculturas em cedro ficam expostas é um fator importante na preservação e conservação desses objetos, pois é a variável principal no ambiente para a qual não existe valor favorável ou limites óbvios específicos.

Através dos resultados dos ensaios será possível observar se os parâmetros de UR para conservação de objetos em madeira (estabelecidos pela literatura internacional de conservação preventiva) são adequados na prevenção de danos mecânicos causados pela adsorção e desorção de umidade das esculturas em cedro.

3.3- Metodologia e técnicas de análise

Para a realização dos ensaios estudou-se a Norma Brasileira NBR 7190 (1997), da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que aborda a caracterização completa da resistência da madeira serrada (resistência à compressão paralela às fibras, resistência à tração paralela às fibras, resistência à compressão normal às fibras, resistência à tração normal às fibras, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, resistência de embutimento paralelo às fibras e densidade básica) para se estabelecerem condições padrões de feitura, temperatura e porcentagem de umidade dos corpos de prova.

Os ensaios estabelecidos para madeira nessa Norma são propostos para elaboração de projetos estruturais (construções de prédios, pontes, etc.) não existindo normas específicas para esculturas em madeira. Por isso, foram utilizadas a metodologia e as medidas dos corpos de prova propostos pela NBR 7190 (1997) para os ensaios de determinação do teor de umidade e de determinação do módulo de elasticidade da madeira e também os métodos executados nos artigos de BREWER J.A. (1991), DANTI, BODDI *et al.* (1990), BUCK (1961), ERHARDT e MECKLENBURG (1994), LIGTERINK e PIETRO (1999), MICHALSKI (1991), OLVERA (2001), RICHARD (1978) adaptando-os aos nossos objetivos.

A seguir, para melhor apreciação das metodologias e técnicas dispensadas aos nossos ensaios, decidiu-se abordá-los de forma separada.

3.3.1 – Teor de umidade de equilíbrio do cedro

O teor de umidade da madeira corresponde à relação entre o peso inicial da madeira, em gramas e o peso da madeira seca, em gramas (NBR 7190:1997), dada pela seguinte fórmula:

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad [1]$$

Em que:

m_i é o peso inicial da madeira em gramas

m_s é o peso da madeira seca em gramas.

OLVERA (2001), indica esse método de análise do conteúdo de umidade da madeira para objetos nos quais é possível retirar uma amostra sem danificar sua estrutura e aparência; caso contrário ela recomenda o uso de medidores elétricos. Os medidores elétricos possuem agulhas que são cravadas paralelamente à direção das fibras da madeira determinando o teor de umidade que ela apresenta.

De acordo com GALVÃO E JANKOWSKY (1985), os medidores elétricos dão resultados menos acurados que o método citado anteriormente, no entanto eles determinam o teor de umidade da madeira de forma imediata e fornecem leituras com precisão correspondente a $\pm 1\%$, dentro da faixa de 7% a 25% de umidade (se forem aparelhos mantidos em boas condições de uso e se possuírem curvas distintas para determinados tipos de madeira com correção de temperatura).

A madeira, como é um material de natureza higroscópica, perde ou ganha umidade até entrar em equilíbrio com o grau de umidade do ambiente. Essa umidade é denominada de “umidade de equilíbrio”. O teor de umidade de equilíbrio adequado para determinada espécie de madeira depende do clima do ambiente em que está exposta.

Segundo LEPAGE (1986), como orientação prática, a umidade de equilíbrio da madeira pode ser aproximadamente determinada pela equação:

$$UE = UR/5$$

Onde: UE = umidade de equilíbrio da madeira(%)

UR= umidade relativa do ar (%)

Por exemplo, se a umidade relativa do ar estiver a 60%, a UE da madeira será aproximadamente igual a 12%, que corresponde aproximadamente a 1/5 de umidade relativa do ar.

Os valores da umidade de equilíbrio também podem ser estimados pela equação elaborada por Simpson¹⁸, em função da temperatura e umidade relativa (ELEOTÉRIO *et. al.*, 1998; GALVÃO, 1975; JANKOWSKY, 1979 e MARTINS *et al.*, 2003):

$$UE = [K_1 K_2 H + K_2 H / 1 + K_1 K_2 H - K_2 H] (1800/W) \quad [2]$$

¹⁸ Essa equação envolve um grande número de interpolações e deve ser efetuada com auxílio de computadores que possuem programas específicos e com orientação de engenheiros agrônomos em parceria com meteorologistas.

Onde: UE = umidade de equilíbrio da madeira (%); K_1 e K_2 são constantes de equilíbrio; H é a pressão de vapor relativa (UR/100); e W é o peso molecular da madeira por mol de sítio de adsorção.

A equação de SIMPSON (1971), muito usada por engenheiros florestais brasileiros, foi desenvolvida baseando-se em estudos de diversos modelos teóricos existentes na literatura sobre a adsorção e desorção da água pela madeira. Foi através dessa fórmula, por exemplo, que MARTINS (2003) estimou os valores da UE da madeira brasileira em geral para a elaboração dos mapas de umidade de equilíbrio da madeira (FIG. 14) apresentados no capítulo anterior.

Contudo, o método de SIMPSON (1971) foi desenvolvido para as madeiras norte-americanas em condições específicas daquela região. Por isso, TRUGILLO, et al. (2003) e GALVÃO (1975) sugerem que é necessário cuidado com o seu uso indiscriminado, pois, podem-se cometer erros de estimativa dependendo da espécie de madeira e das condições ambientais pré estabelecidas. Segundo esses autores é necessário o desenvolvimento de um estudo para cada espécie de madeira comumente utilizada no Brasil.

Devido a esses fatores utilizou-se o método clássico de medir a umidade de equilíbrio da madeira recomendado pela norma NBR 7190 (1997), pois é um método confiável que não apresenta restrições.

3.3.2 - Estudos sobre barreiras redutoras da velocidade de absorção de umidade da madeira

Conforme foi estudado, as camadas de pintura, douramento e substâncias hidrofóbicas (ceras e vernizes) são consideradas barreiras redutoras da velocidade de absorção de umidade da madeira. Como as esculturas barrocas possuem policromia e em alguns casos apresentam camadas de vernizes ou ceras, estudou-se uma bibliografia que abordasse o comportamento da madeira em função destas camadas para realização de um ensaio prévio, cujos resultados forneceram elementos norteadores na elaboração de uma metodologia para ensaios futuros.

Nos ensaios realizados por cientistas da conservação (BREWER, 1991; BUCK, 1961; DANTI, BODDI et al. 1990; LIGTERINK e PIETRO, 1999 e RICHARD, 1978), para avaliar o

uso de barreiras hidro-repelentes em madeiras, verificamos uma variação na preparação dos corpos-de-prova: em cada estudo encontramos dimensões distintas e números de amostras que atendiam as variantes determinadas nos seus experimentos (por exemplo, espécie da madeira e camada de proteção).

Como esses estudos eram direcionados para pintura em painéis de madeira¹⁹, os cortes dos corpos-de-prova obedeciam dois sentidos: uns eram cortados no sentido tangencial e outros no sentido radial.

As ambientações, com determinadas porcentagens de UR às quais as amostras eram submetidas foram obtidas nos ensaios com a utilização de câmaras úmidas, contendo soluções salinas saturadas, cuja função era manter a umidade relativa no seu interior em equilíbrio.

BREWER (1991) descreveu a construção de uma câmara de umidade controlada com a utilização de uma *glove-box* (caixa vedada e com luvas adaptadas para permitir a manipulação de objetos em seu interior). A caixa tinha um suporte de plataforma perfurada sob a qual eram colocadas as bandejas contendo soluções de sais saturados (nitrato de magnésio para 57% de UR; brometo de potássio para 82% de UR e cloreto de cálcio para 36% de UR; todos dissolvidos em água deionizada). No interior dessa câmara era mantido um ventilador pequeno para permitir a circulação de ar, um higrometro de mão e uma balança de precisão onde os corpos de prova eram pesados (evitando dessa forma que eles absorvessem a umidade do ambiente externo).

No estudo de BUCK (1961) foi montada uma sala contendo um umidificador portátil de alta capacidade para aumentar a UR do ambiente — e para diminuí-la era utilizado o sal cloreto de cálcio seco.

Os corpos-de-prova eram acondicionados dentro dessas câmaras onde permaneciam durante ciclos de UR alternados (a alteração da umidade do interior das câmaras era feita com a troca revezada de soluções salinas saturadas, dessa forma era possível obter um ciclo de variação de umidade durante um tempo pré-determinado). As variações de peso e/ou dimensões das amostras, em função da alteração da umidade do ambiente eram registradas em gráficos.

Antes das amostras receberem as camadas de proteção (vernizes, ceras e policromia) elas eram mantidas em um ambiente com umidade relativa controlada até que adquirissem um valor de umidade de equilíbrio constante, que era constatado através de pesagens diárias. O tempo para que

¹⁹ Os painéis aqui referidos são aqueles produzidos nos séculos XVI, XVII e XVIII na Europa. Segundo PERUSINI (1994) Raffaello usava tábuas cortadas no sentido tangencial e de espessura consistente de 12 a 35 milímetros, pintores da Europa central usavam tábuas radiais com espessuras de 5 a 12 milímetros.

adquirissem tal umidade de equilíbrio variava de acordo com a espécie da madeira e espessuras das amostras.

Após esse período, elas tinham a superfície tratada com os materiais hidro-repelentes e eram submetidas ao ciclo de umidade relativa. No ensaio de DANTI, BODDI *et al.* (1990) além das substâncias hidrófobas os corpos de prova, cortados em sentido tangencial, receberam em uma das faces base de preparação e policromia.

Na maioria dos ensaios, uma amostra era mantida sem receber nenhum tipo de tratamento sobre sua superfície para servir de comparação às que tinham sido preparadas com algum tipo de película protetora.

Para medir as variações de massa dos corpos-de-prova em todos os ensaios foram usadas balanças de precisão.

O peso inicial das amostras considerado nestes ensaios era o equilíbrio de umidade das mesmas (acondicionadas na temperatura entre 22 °C e 25°C e umidade entre 45% e 55%) antes de serem submetidas ao ciclo de variação de UR²⁰.

As esculturas em madeira abrangem os três tipos de cortes (radial, tangencial e axial), com variações intermediárias entre eles. Por isso, decidiu-se utilizar também a mesma tipologia de corpo-de-prova padronizado pela NBR 7190 (1997) para a determinação do teor de umidade da madeira, pois apresenta as três direções preferenciais. Os corpos de prova receberam os seguintes tratamentos superficiais: aplicação de base, bolo, douramento aquoso, cera microcristalina, cera de abelha e Osmocolor para se obter um número maior de variantes que aproximassem mais da característica estrutural das esculturas. A variante que se interessou nesse estudo foi o peso das amostras medido com o auxílio da balança de precisão.

Uma câmara úmida foi construída, adequada às especificações do nosso ensaio e ao espaço reservado no laboratório para a sua colocação. O desenho do projeto da câmara teve como modelo básico às câmaras elaboradas pelos autores BREWER (1991); BUCK (1961); DANTI, BODDI *et al.* (1990); LIGTERINK e PIETRO, (1999) e RICHARD (1978).

²⁰ Essa abordagem aproxima-se da realidade dos objetos de arte, ou seja, um objeto em madeira irá apresentar um valor do conteúdo de umidade de equilíbrio em função da UR do ambiente em que esta exposta. Nesse caso nunca encontraremos a madeira a 0% de umidade de equilíbrio, em estado anidro

3.3.3- O comportamento elástico do cedro

ERHARDT & MECKLENBURG (1994) realizaram experimentos abordando o comportamento elástico e plástico do pinho, em função da variação de umidade relativa (UR), registrando os resultados em um gráfico. Esse estudo foi feito para observar as zonas de variação de umidade relativa, onde ocorre a deformação elástica (que é reversível) e a plástica (que é irreversível).

Os princípios da elasticidade e plasticidade e suas relações com a mudança de umidade relativa assumem uma importância particular na contração e dilatação das esculturas em madeira.

A habilidade da madeira para movimentar sob ação da umidade é significativamente crescente em ciclos de níveis altos e baixos de UR. O simples fato da movimentação de umidade na estrutura da madeira facilita, segundo BUCK (1952), a deformação plástica. Esse movimento de umidade apresenta-se em graduações desiguais no interior da madeira, produzindo esforço local (o esforço de uma parte da peça de madeira impõe uma conformação da madeira adjacente) e conseqüentemente uma deformação, provavelmente, irreversível.

A chave para a obtenção de limites seguros de UR para exposições de objetos em madeira é evitar as variações que produzem deformações plásticas na madeira (ERHARDT; MECKLENBURG, 1994).

A umidade da madeira varia entre 0% (estado anidro) e 30-32% (que é o ponto de saturação das paredes celulares). Nesse intervalo higroscópico, segundo UZIELLI (1994) as moléculas de água se instalam nas paredes celulares provocando o inchamento e, acima do ponto de saturação, a madeira não comporta a variação dimensional. Portanto é nesse intervalo que podem ocorrer deformações plásticas ou elásticas da madeira. A seguir, reproduz-se a tabela de classes de umidade da madeira em função da umidade relativa do ambiente elaborada pela norma NBR 7190(1997).

TABELA 3
Classes de umidade

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	umidade de equilíbrio da madeira U_{eq}
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

FONTE : ABNT NBR 7190 (1997)

Os valores de classe de umidade apresentados na TAB. 3 foram estimados para a madeira em geral, não considerando as características específicas de cada espécie de madeira. Porém, essas classes têm por objetivo ajustar as propriedades de resistência e rigidez da madeira em função das condições ambientais onde estão expostas. Nesse caso, a norma NBR 7190 (1997) admite como condição padrão de referência para a determinação da caracterização do valor médio do módulo de elasticidade, na compressão paralela às fibras, o teor de umidade de equilíbrio da madeira a 12%, adaptado para projetos estruturais. Contudo, como se avaliou o comportamento elástico do cedro submetido a variações de UR, admitem-se outras classes de umidade.

De acordo com as Normas NBR 7190 (1997) a determinação do módulo de elasticidade da madeira atesta a sua resistência na direção paralela às fibras.

A resistência à compressão paralela às fibras da madeira é designada pelo esforço necessário para comprimir as amostras até sua ruptura. Se o conteúdo de umidade da madeira for alto, a sua resistência mecânica decresce, especialmente, em relação à compressão axial (BROTERO, 1935).

Para se obterem as curvas de resistência à compressão do cedro (em função da UR do ambiente que indicaram as zonas de deformações plásticas e elásticas) foi utilizado uma série de corpos-de-prova, com o teor de umidade de equilíbrio da madeira seca ao ar, que foram submetidos a uma variação crescente de UR compreendida entre 30% a 80%.

Foi realizado um ensaio para verificarmos a variação dimensional dos corpos-de-prova. Foi usada a metodologia para determinação da expansão por umidade proposta na Norma Técnica Brasileira NBR 13818 (1997) intitulada *Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios*. Essa Norma, NBR 13818:1997, prescreve a utilização do aparelho Acômetro para medir a variação de expansão das placas de cerâmica em função da umidade absorvida; como a madeira é um material higroscópico concluiu-se que seria possível adaptar esse equipamento aos nossos propósitos.

Entretanto, como não foi realizado, para efeitos comparativos, o ensaio específico para determinar a variação volumétrica da madeira definida pela a Norma Brasileira NBR 7190 (1997) na intenção de se analisar a viabilidade da adaptação do Acômetro, bem como não foi possível um número maior de corpos-de-prova²¹ decidiu-se apresentar os procedimentos e os resultados desse experimento em anexo para que sirvam de parâmetros em ensaios futuros.

²¹Os corpos-de-prova utilizados foram os excedentes do lote preparado para o ensaio do módulo de elasticidade.

Capítulo 4

Experimental

Neste capítulo foram tratados os aspectos referentes aos equipamentos; à preparação das amostras e aos procedimentos utilizados nos ensaios.

As amostras dos experimentos foram extraídas de um único tronco de cedro, com idade aproximada de 23 anos, proveniente da cidade de São João Evangelista, localizada no Estado de Minas Gerais (segundo informações do doador do tronco, a árvore havia sido derrubada no ano de 2001).

4.1 - Identificação botânica da madeira

Para a identificação macroscópica do cedro (*cedrela* sp., Meliaceae) obtido para os ensaios foi utilizada a “*Chave de iniciação macroscópica*” elaborada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo IPT (em anexo).

4.2 - Obtenção do teor de umidade de equilíbrio do cedro e avaliação do seu comportamento higroscópico em função da variação da UR e das camadas de douramento, cera de abelha, cera microcristalina e de Osmocolor

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Ciência da Conservação da Escola de Belas Artes/UFMG.

4.2.1 - Objetivo

Obter o teor de umidade de equilíbrio do cedro e observar o seu comportamento higroscópico (em função da variação de UR do ambiente interno da câmara, da presença de douramento e de três tipos camadas de proteção utilizadas como barreiras hidrófobas) com a finalidade de elaborar uma metodologia de ensaio específica, para obtenção de isotermas de equilíbrio, para esculturas com esse tipo de tratamento sobre sua superfície.

Os três tipos de materiais hidrófobos usados no experimento (cera de abelha e cera microcristalina e Osmocolor[®]) foram escolhidos por serem comumente utilizados, em trabalhos de conservação e restauração, como camadas de proteção às esculturas. No Brasil, a cera de abelha foi muito usada, até a década de 80, em procedimento de restauro que imergia a escultura, em madeira, em uma cuba contendo a cera liquefeita misturada, em alguns casos, a outros produtos — como cera de carnaúba e parafina (RESCALA, 1985). Após esse período, ela passou a ser usada de forma mais apropriada não oferecendo riscos aos objetos passíveis de intervenção. A cera microcristalina e o Osmocolor começaram a ser usados, aproximadamente, a partir da segunda metade do século XX até os dias atuais (OLIVEIRA, 2002).

4.2.2- Esclarecimentos

O comportamento higroscópico do cedro (sem nenhum tipo de estrato sobre sua superfície e com camadas específicas aplicadas sobre a mesma) foi expresso em gráficos que apresentam valores do teor de umidade de equilíbrio e da variação da massa, proporcional ao ganho e perda de umidade dos corpos-de-prova submetidos a regimes de UR controladas.

4.2.3 – Materiais e equipamentos

- Cedro
- Serra de fita
- Paquímetro digital
- Água deionizada
- Cola de coelho
- Gesso grosso
- Gesso sotille
- Bolo armênio
- Folha de ouro
- Cera de abelha
- Cera microcristalina
- Osmocolor ST[®]incolor/Montana Química S.A.
- Termohigrômetro (marca Rotronic Instrument Corp., modelo PA1 W/0: 26650 Powew 9VCD 0..100% RH
- Data Logger (marca Betha Eletrônica, modelo Umm[®] com sensores indicadores de temperatura e umidade relativa)
- Balança de precisão (marca Mettler Toledo modelo AG 245)
- Câmara de controle de umidade

4.2.4 - Câmara de controle de umidade

Foi proposta a construção de um equipamento que permitisse o controle da UR do ar, através da utilização de soluções salinas saturadas. Para sua construção, foram utilizados os seguintes materiais:

- Câmara feita em acrílico (medindo 24 cm de altura, 40 cm de largura e 40 cm de comprimento (as dimensões da câmara foram condicionadas ao espaço que ela poderia ocupar no laboratório e ao orçamento previsto para construção da mesma);
- Termohigrômetro;

- Data Logger (marca Betha Eletronica, modelo Ummi ®);
- Compressor de ar para aquários (marca Vigo Ar, modelo 200);
- Cilindro de Ar sintético (composição: Oxigênio e Nitrogênio; fornecedor: White Martins);
- Processador de Atmosfera controlada (máquina da White Martins);
- Garrafas lavadoras de gás;
- Pérolas de vidro;
- Mangueiras de borracha;
- Soluções salinas saturadas ($\text{LiCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$ - Cloreto de Lítio Monohidratado; $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - Cloreto de Magnésio Hexahidratado; $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - Nitrato de Magnésio Hexahidratado e NaCl - Cloreto de Sódio) preparadas conforme recomendações de LAFONTAINE (1984).

As soluções salinas foram usadas para obter as umidades relativas requeridas para a realização do ensaio. A TAB.4 apresenta a lista dos sais usados no preparo das soluções salinas e as porcentagens de umidade relativa mantidas por cada uma, segundo LAFONTAINE(1984).

TABELA 4

Lista dos sais usados na formulação das soluções salinas e suas respectivas porcentagens de UR mantidas em função da temperatura ambiente

SAL	TEMPERATURA °C	UMIDADE %
$\text{LiCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$	20	12, 4
	25	12, 0
$\text{Mg Cl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	20	33, 6
	25	33, 2
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	20	54, 9
	25	53, 4
NaCl	20	75, 5
	25	75, 8

Fonte: LAFONTAINE, 1984. p.7

Contudo, como não foi usado nenhum mecanismo para manter a temperatura das soluções, conforme as recomendações de LAFONTAINE (1984), foram obtidas as seguintes umidades relativas, com as soluções salinas, em função da temperatura ambiente do LACICOR:

- solução salina saturada Cloreto de Lítio Monohidratado: umidade relativa de 41%/temperatura ambiente entre 22 e 23°C;
- solução salina saturada Cloreto de Magnésio Hexahidratado: umidade relativa de 34%/temperatura ambiente entre 21,8 e 22,4°C;
- solução salina saturada Nitrato de Magnésio Hexahidratado: umidade relativa de 53%/temperatura ambiente entre 22 e 23°C;
- solução salina saturada de Cloreto do Sódio: umidade relativa 74%, temperatura entre 23 e 24°C.

Após o preparo, as soluções salinas saturadas foram colocadas dentro de garrafas lavadoras de gás identificadas com uma etiqueta, na parte externa, indicando o tipo de solução que continham.

O compressor de ar foi usado para bombear ar para dentro da garrafa, para adquirir a UR da solução (para aumentar a superfície de contato do ar com a solução foram colocadas pérolas de vidro dentro das garrafas).

A saída do ar de dentro da garrafa com a UR controlada foi conectada à câmara de acrílico com auxílio de mangueira de borracha.

A câmara de acrílico foi construída com uma janela na parte frontal para permitir a colocação e retirada dos corpos-de-prova no momento das pesagens (o sistema de vedação da janela foi feito com o uso de borracha fixa sobre suas bordas internas e seu fechamento foi obtido através do uso de quatro parafusos de mão).

No interior da câmara foi fixado um suporte de acrílico (perfurado para a sustentação dos corpos-de-prova) e um tubo de acrílico conectado ao orifício para entrada de ar, na lateral inferior esquerda, medindo 37 cm de comprimento e 3cm de diâmetro com perfurações, na parte superior, para distribuir de uma forma mais homogênea o ar, com UR controlada, dentro da câmara.

Na lateral direita da câmara foram feitos dois orifícios: um (vedável) localizado na parte inferior, com a função de admitir o sensor do termohigrômetro para checagem da umidade e temperatura do ambiente e o outro, localizado na parte superior central, para permitir a vazão do ar que entrava dentro da câmara (a vazão obtida foi da ordem de 0,0031 litros por minuto). A FIG. 32 apresenta um

desenho esquemático do sistema de controle de umidade e a FIG. 33 mostra a câmara em funcionamento.

Sensores do Data Logger foram fixos no interior da câmara para o registro contínuo da umidade relativa e temperatura.

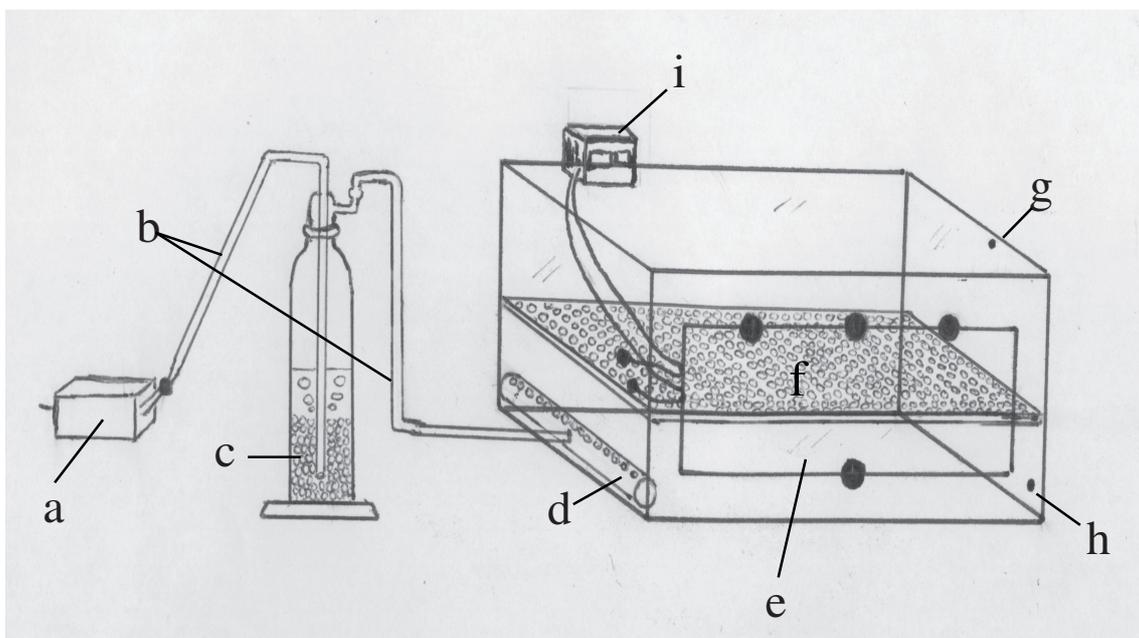


FIGURA 32 - Sistema aberto de controle de umidade

Legenda:

- a) compressor de ar para aquário
- b) mangueiras de borracha
- c) garrafa lavadora de gás (com pérolas de vidro e solução salina saturada)
- d) cano de acrílico perfurado
- e) janela
- f) bandeja perfurada (removível)
- g) orifício para saída de ar
- h) orifício vedável para entrada do sensor do termohigrômetro de mão
- i) Data Logger

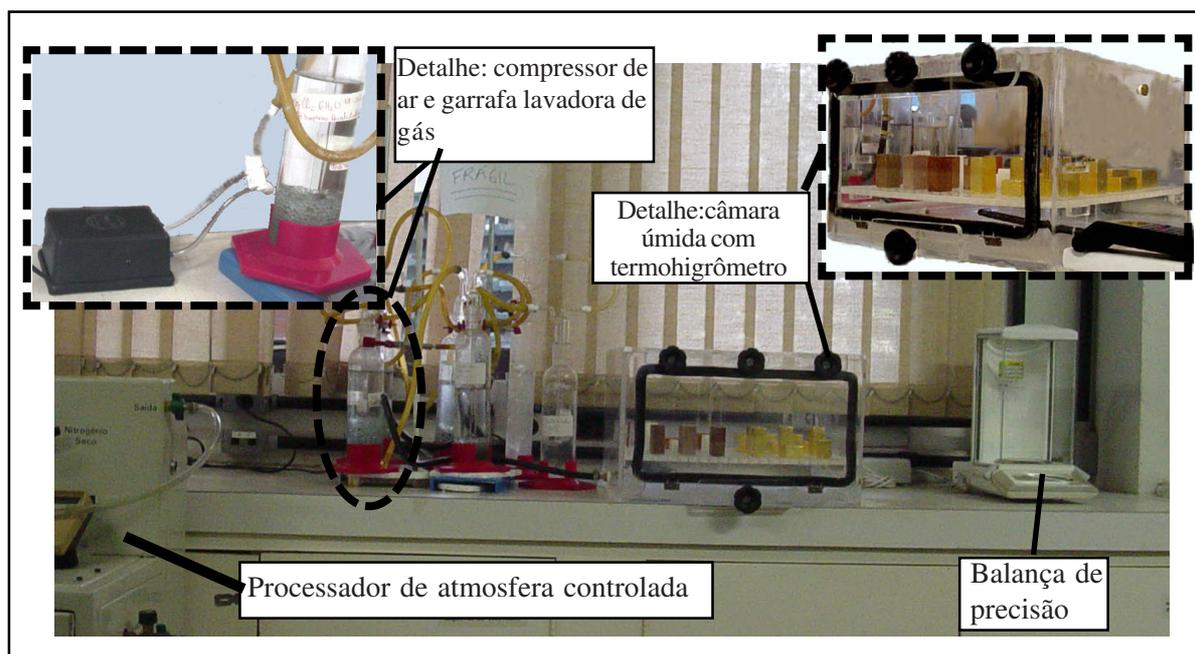


FIGURA 33 – Sistema de controle de umidade em funcionamento.

4.2.5- Amostragem

Vinte e quatro corpos de prova (Cps) foram cortados com serra de fita, com seção transversal retangular, com dimensões nominais de 2,0 cm por 3,0 cm na base e comprimento ao longo das fibras de 5,0 cm — como indicado na FIG. 34.

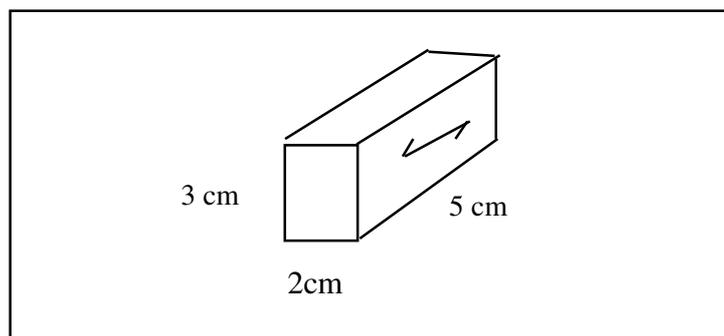
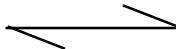


FIGURA 34 – Dimensão em cm dos corpos-de-prova .

Nota : o símbolo  indica a direção das fibras da madeira

As amostras foram cortadas em temperatura e umidade relativa ambiente (25°C, 60% UR). Após o corte foram lixadas, divididas em grupos de 3 e tiveram suas superfícies tratadas da seguinte forma:

- grupo de amostras número 1, correspondente às amostras 1A, 1B e 1C: foram mantidas sem nenhum tipo de tratamento (FIG.35);

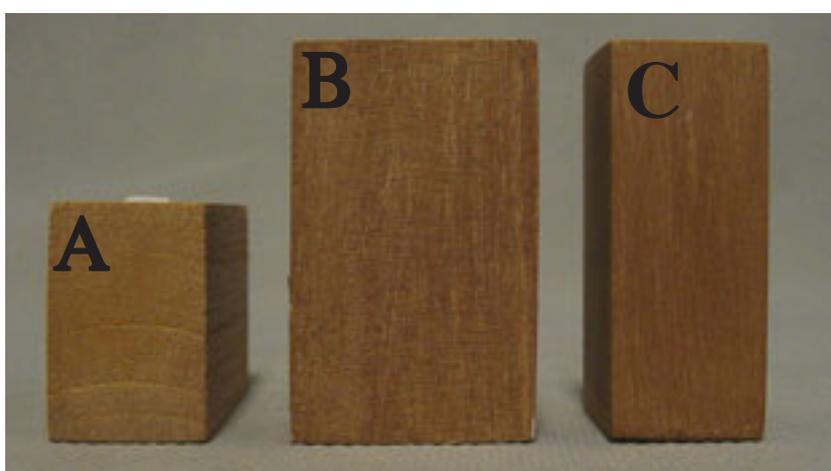


FIGURA 35 - Grupo de amostra número 1. A) corte transversal; B) corte radial; C) corte tangencial

- grupo de amostras número 2, correspondente às amostras 2A, 2B e 2C: amostra 2A recebeu duas camadas de cera de abelha em todas as seis faces, amostra 2B recebeu duas demãos de cera microcristalina em todas as seis faces e amostra 2C recebeu duas demãos de Osmocolor em todas as seis faces;

- grupo de amostras número 3, correspondente às amostras 3A, 3B e 3C: apresentam cinco faces com base de preparação. A sexta face de cada uma das amostras ficou aparente (sem base de preparação), conforme descrito a seguir: a amostra 3A com uma face transversal aparente, a amostra 3B com uma face radial aparente e a amostra 3C com uma face tangencial aparente (FIG 36);



FIGURA 36 - Grupo de amostra número 3 (com base de preparação)

- grupo de amostra número 4, correspondente às amostras 4A, 4B e 4C: apresentam cinco faces com base de preparação cobertas por 3 camadas de bolo. Cada amostra ficou com a sexta área aparente, ou seja, sem base e sem bolo. A amostra 4A ficou com um lado transversal aparente a 4B com um lado radial aparente e a 4C com um lado tangencial aparente (FIG.37);



FIGURA 37 - Grupo de amostra número 4 (preparadas com bolo)

- grupo de amostra número 5, correspondente às amostras 5A, 5B e 5C: apresentam cinco faces douradas com a técnica do douramento aquoso. Deste grupo cada amostra ficou com a sexta área aparente (sem douramento). Amostra 5A lado transversal aparente, 5B lado radial aparente e 5C lado tangencial aparente;

- grupo de amostra número 6, correspondente às amostras 6A, 6B e 6C: apresentam cinco faces douradas com a técnica do douramento aquoso. Cada amostra deste grupo ficou com uma área transversal aparente (sem douramento) que foram cobertas da seguinte forma: amostra 6A recebeu duas demãos de cera de abelha, amostra 6B recebeu duas demãos de cera microcristalina e amostra 6C recebeu duas demãos de Osmocolor® (FIG. 38);



FIGURA 38 - Grupo de amostra número 6 preparada com douramento aquoso

- grupo de amostra número 7, correspondente às amostras 7A, 7B e 7C: apresentam cinco faces douradas com a técnica do douramento aquoso. Cada amostra deste grupo ficou com uma área radial aparente (sem douramento), que foram cobertas da seguinte forma: 7A com duas demãos de cera de abelha, 7B com duas demãos de cera de microcristalina e 7C com duas demãos de Osmocolor (FIG. 39);



FIGURA 39 - Grupo de amostra número 7 preparada com douramento aquoso

- grupo de amostra número 8, correspondente às amostras 8A, 8B e 8C: apresentam cinco faces douradas com a técnica do douramento aquoso. Cada amostra deste grupo ficou com uma área tangencial aparente (sem douramento) que foram cobertas da seguinte forma: 8A com duas demãos de cera de abelha, 8B com duas demãos de cera microcristalina e 8C com duas demãos de Osmocolor (FIG. 40).



FIGURA 40 - Grupo de amostra número 8 (preparada com douramento aquoso)

Devido a necessidade de um tempo maior para a preparação dos corpos-de-prova com tratamento superficial (a doação do cedro para os experimentos só ocorreu no mês de março de 2004), não foram confeccionados 63 corpos-de-prova para receberem tratamento superficial (número ideal para se fazer uma avaliação estatística mais acurada para essas tipologias de amostras). Além disso, o arranjo das amostras, dentro da câmara, deve obedecer um espaço mínimo entre elas para permitir a circulação de umidade de uma forma mais equilibrada. Esse fator implicaria na necessidade de se avaliarem os grupos de corpos-de-prova separadamente (o que requer um tempo ainda maior para observação).

Os objetivos desse ensaio foram adequados ao calendário previsto para a finalização desta dissertação de mestrado e determinados para avaliar os resultados alcançados sobre esse grupo específico de 21 amostras (grupos de 2A até 8C), definidas para se obter a maior semelhança possível em relação à técnica de construção e as áreas das esculturas em cedro, expostas ao ambiente (devido, por exemplo, à perda da policromia que as recobriam ou à perda de blocos), com a finalidade de se obter uma metodologia de análise para servir de parâmetro para a formulação de novos estudos.

4.2.6- Procedimento

A preparação e aplicação das camadas de gesso grosso, gesso fino, bolo e douramento foram feitas conforme as descrições encontradas no trabalho de MEDEIROS (2000). Durante o processo de aplicação dessas camadas, a temperatura e umidade relativa do laboratório foi monitorada. As amostras eram expostas ao ambiente externo, para este procedimento, somente quando a umidade estava aproximadamente entre 59% e 60%. Foi improvisada uma câmara com Melinex para que os corpos-de-prova ficassem acondicionados, para evitar que trocassem umidade com o ambiente do laboratório nos dias em que apresentava uma umidade relativa acima de 60% (foram necessários 75 dias para o preparo das amostras).

Quando as coberturas secaram (base de preparação, bolo e douramento) decidiu-se colocar os corpos-de-prova dentro da estufa, a 50°C, durante um período de 24 horas, para se acelerar o processo de desorção de umidade do cedro.

Durante o dia foi feito um monitoramento visual dos corpos-de-prova, abrindo a estufa após 12 horas de exposição. O período noturno, contudo, ficou sem monitoramento. No dia seguinte, ao se abrir a estufa verificou-se que o douramento dos corpos-de-prova apresentava bolhas devido à rápida desorção de umidade da madeira. Como o ouro é um material dúctil e maleável as bolhas não romperam²² (FIG 41).



FIGURA 41 - Detalhe do corpo-de-prova dourado (pertencente ao grupo de amostra número 8) com bolha.

²² Verificamos que 75% dos corpos-de-prova, com o corte tangencial exposto, apresentaram bolhas localizadas, preferencialmente, nas faces tangenciais e radiais e 25% com bolhas sobre todas as faces; 60% dos corpos-de-prova, com corte radial exposto, apresentaram as bolhas localizadas, preferencialmente, nas faces tangenciais e 25% dos corpos-de-prova, com o corte transversal exposto, apresentaram bolhas sobre todas as faces.

Os corpos-de-prova foram retirados da estufa, examinados minuciosamente com auxílio de uma lupa binocular, fotografados, pesados e acondicionados dentro da câmara úmida, climatizada com a solução salina saturada de Cloreto de Lítio Monohidratado ($\text{LiCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$). De acordo com a literatura pesquisada, esta solução (a uma temperatura ambiente de aproximadamente 20°C e 25°C) fornece uma umidade relativa de 12,4% e 12% respectivamente. Porém, a umidade no interior da câmara estabilizou a 41%, provavelmente, porque a temperatura ambiente ficou entre 22 a 23°C durante o ensaio com essa solução. Os corpos de prova eram retirados da câmara para serem pesados a cada período de 24 horas (RICHARD, 1978). Após doze dias, a massa dos corpos-de-prova não apresentou variação, ou seja, as amostras entraram em equilíbrio com a umidade relativa da câmara a 41%.

A sala do laboratório foi fechada e o ar condicionado ligado. Monitorou-se a UR do ambiente com o auxílio do termohigrômetro até que atingisse uma umidade de 41,3% e temperatura a 18°C . Os corpos-de-prova foram retirados da câmara e receberam as camadas de proteção: cera de abelha, cera microcristalina e Osmocolor em regiões específicas, conforme descrito anteriormente.

A cera de abelha²³ e a cera microcristalina²⁴ foram liquefeitas em banho-maria e aplicadas sobre a superfície das amostras com o auxílio de um pincel de cerdas macias. O Osmocolor, verniz hidrófobo para madeiras vendido no mercado (composto de resinas, pigmentos, cargas, tribomofenol e solventes) foi aplicado sobre os corpos-de-prova conforme recomendações do fabricante: duas demãos com auxílio de um pincel de cerdas macias.

Um dado importante é que as coberturas finais das amostras ficaram com uma espessura uniforme. O peso da cera microcristalina, da cera de abelha, do Osmocolor, da cola, do gesso e do bolo usados em cada etapa do procedimento foram controlados — desse modo foi possível certificar que cada tipologia de amostra recebeu, aproximadamente, o mesmo peso de camada.

Os corpos-de-prova foram distribuídos seqüencialmente dentro da Câmara Úmida a 18% de UR com espaço de, aproximadamente, 5cm entre eles.

A câmara havia sido planejada para obter 4 ciclos sucessivos de variação crescente de UR, de acordo com a solução salina utilizada, a uma temperatura ambiente entre 20 a 25°C aproximadamente. O primeiro ciclo seria obtido com o auxílio da solução salina Cloreto de Lítio monohidratado. Porém, conforme foi relatado, não se obteve a umidade desejada; por isso foi utilizado

²³ Cera de abelha: com ponto de fusão a 63°C , é pouco dura e apresenta um índice de acidez de 19 (PERUZINI, 1997).

²⁴ Cera microcristalina: é derivada do petróleo, sua estrutura lhe confere plasticidade tornando-a resistente e elástica. Seu índice de acidez é zero e seu ponto de fusão é a 70 a 75°C (PERUZINI 1997).

o ar sintético. O controle da sua vazão foi feito com auxílio do Processador de Atmosfera controlada (máquina da White Martins).

A mudança de umidade relativa no interior da câmara (através da troca das soluções salinas) era feita somente quando a massa dos corpos-de-prova sem nenhum tipo de tratamento não apresentava variação, entrando em equilíbrio com a umidade da câmara.

4.2.7- Pesagens

As pesagens dos corpos-de-prova foram efetuadas, a cada 24 horas, com balança de precisão, conforme RICHARD (1978). Os resultados obtidos foram registrados em tabelas e gráficos.

Os ensaios com o uso da câmara de controle de umidade foram realizados durante um período de 80 dias. A TAB.5 apresenta o número da duração dos ciclos para cada UR obtida em função das soluções salinas usadas e do ar sintético.

TABELA 5
Duração dos ciclos de UR

Umidade relativa	Número de dias
(Cloreto de Lítio Monohidratado)41%	12 dias
(ar sintético)18%	9 dias
(Cloreto de Magnésio Hexahidratado)34%	8 dias
(Nitrato de Magnésio Hexahidratado)53%	10 dias
(Cloreto de Sódio) 74%	41 dias

4.2.8- Resultados e discussão

Na discussão e análise deste ensaio três aspectos devem ser considerados:

- O gráfico 1 possui os eixos das ordenadas (y) e das abscissas (X) que apresentam os valores do teor de umidade (%) e variações de UR;
- Todos os demais gráficos, resultantes das análises, possuem dois eixos: o eixo das ordenadas (y) que apresenta os valores percentuais de massa dos corpos-de-prova, o eixo dos segundos valores de y que expõe as variações de UR no interior da câmara e o eixo das abscissas (x) que mostra o número de dias da duração dos ciclos de UR. As linhas relacionam esses eixos indicando as variações percentuais de massa sofridas pelos corpos-de-prova em função do tempo durante os ciclos de UR;
- A umidade de equilíbrio (UE) alcançada pela madeira é influenciada pela forma como é exposta a diversas umidades relativas, por exemplo: “a UE segundo uma adsorção é maior quando uma amostra seca é exposta diretamente a uma UR de 88% do que uma exposição à mesma UR através de uma série de etapas intermediárias de adsorção” (GALVÃO; JANKOWSKY 1985.p.35). Presume-se que a condição de equilíbrio estabelecida para os corpos-de-prova, antes de serem expostos a ciclos de UR crescente, favoreceu para que entrassem em equilíbrio num período de tempo menor com os ciclos de umidade relativa baixos (18%, 34%, 41% e 53%) conforme verificado na TAB.5.

Os gráficos enfatizam que a variação percentual da massa está relacionada com a permeabilidade do cedro em função das tipologias de corpos-de-prova ensaiados e que o douramento, a cera de abelha a cera microcristalina e o Osmocolor variam em suas propriedades hidrófobas.

Para facilitar a compreensão, os gráficos foram analisados seguindo a ordem das tipologias dos corpos-de-prova ensaiados.

Sabe-se que modificações do teor de umidade da madeira causam alterações do seu peso (massa) e volume. De acordo com SCHNIEWIND (1989), o conteúdo de umidade da madeira é freqüentemente expresso em termos de percentagem. Dessa forma, o teor de umidade do cedro em função das variações de UR (obtidas na câmara de controle de umidade) foi estimado conforme a norma NBR 7190(1997), que é expressa através de base percentual:

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad [3]$$

Onde: m_i é a massa do corpo-de-prova em gramas após entrar em equilíbrio com a UR da câmara; m_s é a massa em gramas do corpo-de-prova seco em estufa a, aproximadamente, 103°C.

Os resultados obtidos foram registrados na TAB.6 e usados para elaboração do GRAF 1 que permitiu uma visualização geral da variação da massa do cedro em relação a alteração do seu teor de umidade.

Os valores da variação do teor de umidade do cedro em função da UR a 60% foram obtidos na pesagem dos corpos-de-prova 1A, 1B e 1C durante o período em que ficaram expostos ao ambiente do laboratório com variação entre 59,7% e 60% de UR e temperatura entre 23 e 24 °C, enquanto era realizado o procedimento de aplicação das camadas de gesso bolo e douramento nos demais corpos-de-prova separados para este fim.

Observando o gráfico do teor de UR do cedro, verifica-se que os intervalos da isoterma (entre 18% e 34% de UR acima de 60% de UR) apresentam uma inclinação mais acentuada. Essa tendência implica que, apesar de os valores de UE seguirem uma ordem crescente, o processo de adsorção do cedro é maior nesses intervalos.

TABELA 6

Teor de umidade de equilíbrio do cedro

UR (%)	UE (%)
18	4,21
34	6,11
41	7,09
53	8,60
60	11,04
74	13,24

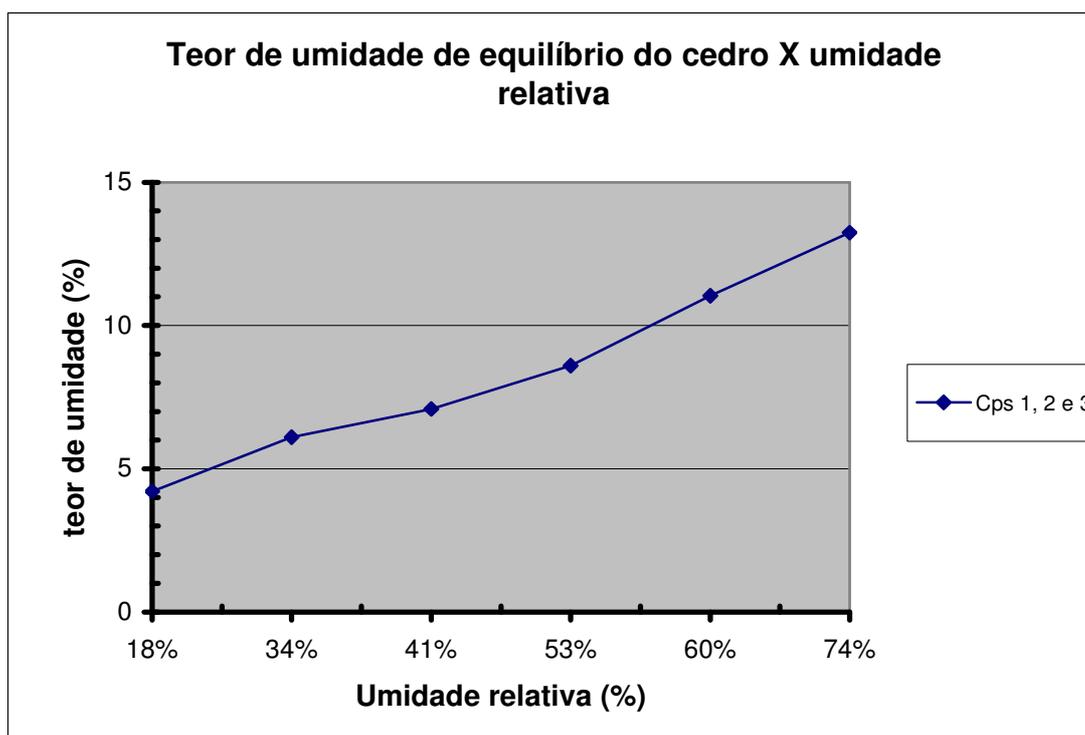


GRÁFICO 1 - Teor de umidade de equilíbrio do cedro submetido a variação de UR de 18% a 74%. Corpos de prova (Cps) 1,2 e3.

A isoterma de equilíbrio do cedro foi comparada à curva característica do conteúdo de umidade de equilíbrio da madeira (FIG. 42) e à isoterma higroscópica da influência da temperatura e UR sobre a umidade de equilíbrio da madeira (FIG. 43). A comparação é apenas qualitativa, pois os dados das FIG. 42, 43 são estimativas para madeiras em geral, ou seja, não especificam a espécie.

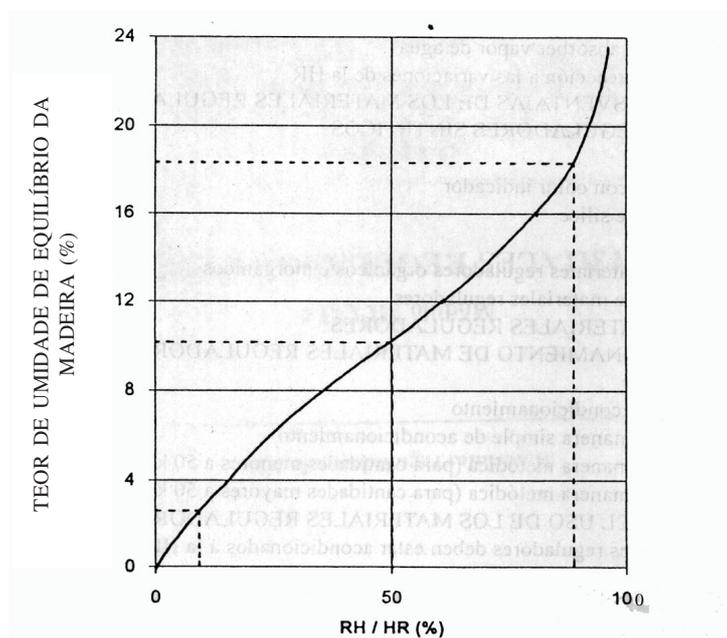


FIGURA 42 - Curva característica do teor de umidade de equilíbrio da madeira

Fonte: GUICHEN et al. 1998. p.6

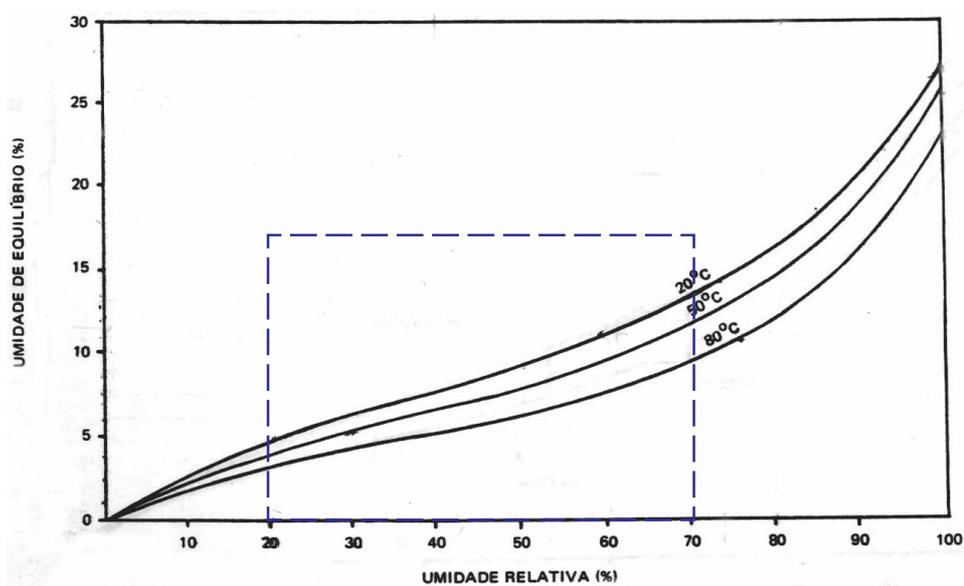


FIGURA 43 - Isotermas higroscópicas mostrando a relação entre a UR, a umidade de equilíbrio da madeira e a temperatura

— — — — área destacando as isotermas (UE) entre a variação de 20% a 70% de UR

Fonte: GALVÃO et. al, 1985. p.33

Verificamos que as curvas dos gráficos apresentam uma característica sigmóide, com inclinação mais acentuada no gráfico da FIG. 42. Pode-se avaliar, também, que temperaturas mais baixas, como as que foram obtidas durante o ensaio (23°C a 25°C), não influenciam na diminuição da UE do cedro. O gráfico da FIG 43 mostra que aumentos da temperatura acima de 50°C provocam diminuição do teor de umidade de equilíbrio da madeira. Tais temperaturas não são compatíveis com o ambiente climático onde, normalmente, as esculturas em cedro ficam expostas (conforme estudado no capítulo 2). O conservador deve, no entanto, ficar atento para casos excepcionais em que há o risco de se exporem as esculturas a temperaturas acima de 40°C.

Salienta-se contudo, que a curva resultante da relação entre a umidade de equilíbrio da madeira e a umidade relativa sempre apresentará característica sigmóide quando a temperatura é mantida constante conforme ilustrado na FIG. 44.

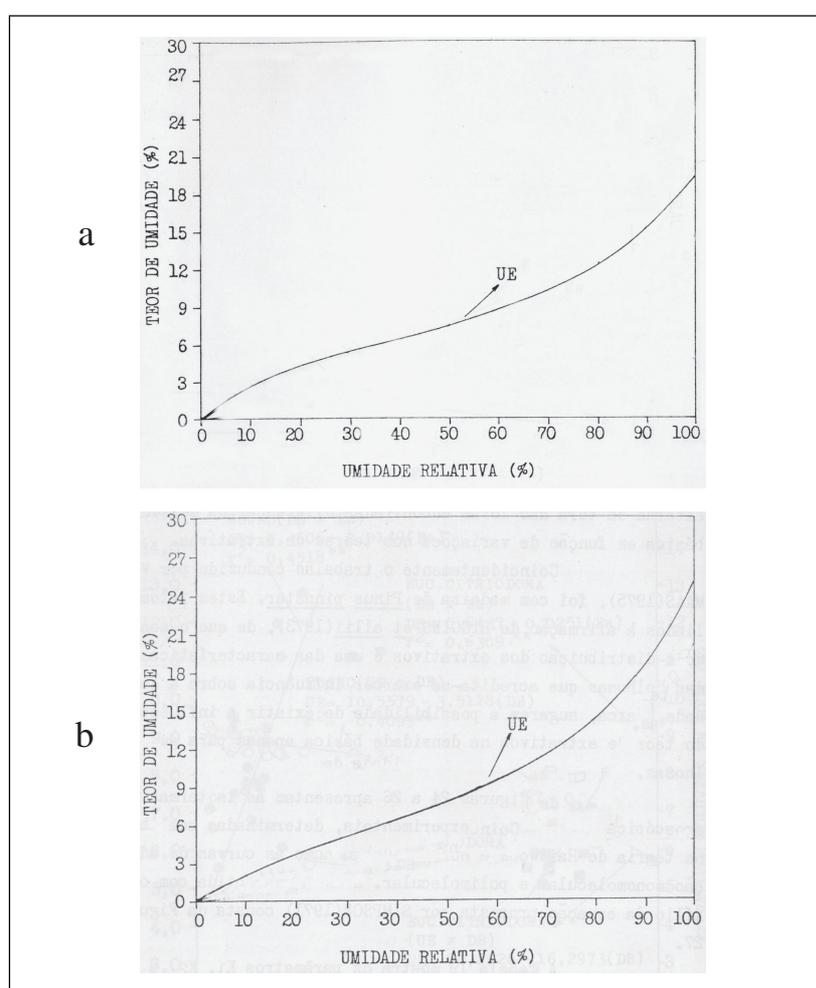


FIGURA 44 - Isotermas higroscópicas de adsorção (umidade de equilíbrio -UE) para as madeiras: mogno (a) e pinho (b)

Fonte: JANKOWSKY ,1979. p.68; 69.

A avaliação do teor de umidade do cedro (substrato) é importante para elaboração de um diagnóstico referente ao comportamento dessa espécie de madeira em função da UR. Contudo, como grande parte das esculturas são policromadas é necessário estudar, também, como o cedro se comporta em função dos estratos que o recobrem. Outra questão importante para ser analisada é o comportamento do cedro com base, bolo, douramento e camadas hidrófobicas (cera microcristalina, cera de abelha e Osmocolor) apresentando áreas sem policromia expostas. Como não foi encontrada uma metodologia específica para analisarem esses fatores achou-se prudente fazer-se um estudo prévio de cada um deles para que se estabelecessem parâmetros que pudessem ser usados em ensaios futuros.

O gráfico 2 apresenta as isotermas do percentual da variação da massa dos corpos-de-prova 2A,2B e 2C cobertos, totalmente, com cera de abelha, microcristalina e Osmocolor®.

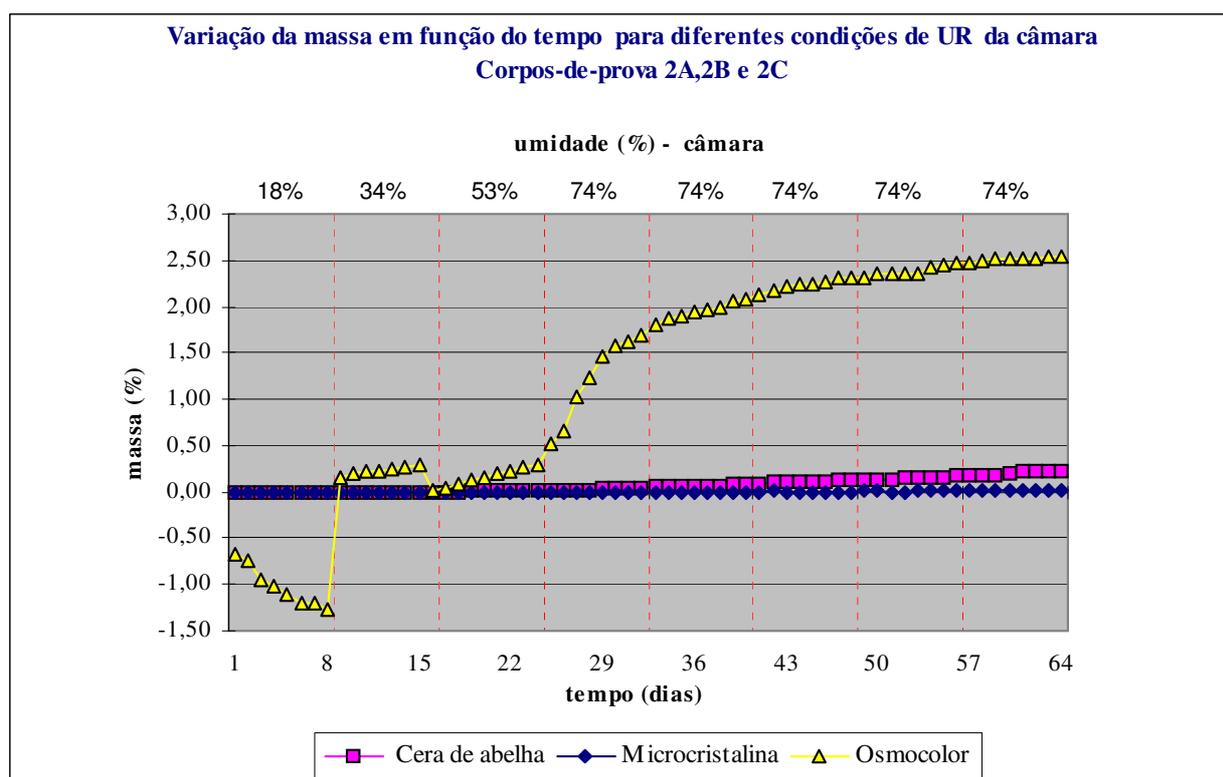


GRÁFICO 2 - Percentual da variação de massa dos corpos-de-prova 2A, 2B e 2C. Camadas hidrófobicas usadas: cera de abelha, cera microcristalina e Osmocolor® em todas as 6 faces.

Observou-se que as linhas representantes dos corpos-de-prova com cera de abelha e cera microcristalina estão horizontais (contínuas). O resultado, com a amostra totalmente revestida por essas camadas hidrófobas, permaneceu estável frente à variação de UR dentro da câmara.

A curva 2C, da amostra recoberta com Osmocolor, mostrou uma variação decrescente da massa, devido à desorção do cedro (que estava acondicionado a 41% de UR) ao ser exposto a UR de 18%. Durante a exposição às UR de 34% e 53% a curva adquiriu uma característica linear e a partir de 74% apresentou uma variação crescente. Esse resultado preliminar evidenciou que esse produto (como barreira higroscópica) foi eficiente apenas durante os ciclos 34% e 53% de UR.

A forma como as ceras de abelha e microcristalina e o Osmocolor são usados, atualmente, na conservação de esculturas policromadas não compromete a leitura histórica/estética da peça. Geralmente essas camadas hidro-repelentes são aplicadas em áreas da escultura não aparentes e que não apresentam policromia, como a parte interna do corte transversal da base, parte interna de junção de bloco e áreas posteriores.

Devido a esse procedimento foi analisada também a eficiência desses produtos aplicados sobre uma face nua (transversal, radial ou tangencial) dos corpos-de-prova dourados. Os corpos-de-prova foram dourados para se avaliarem também o douramento como barreira a umidade.

Para efeito comparativo foram analisados, primeiramente, os corpos-de-prova com base e bolo (que são etapas preliminares da técnica do douramento aquoso com folha de ouro) em relação ao comportamento dos corpos-de-prova dourados sem camada de proteção.

A FIG. 45 apresenta os gráficos A, B e C da variação de massa expressa em percentagem dos corpos-de-prova 3A, 3B e 3C, 4A, 4B, e 4C, 5A, 5B e 5C.

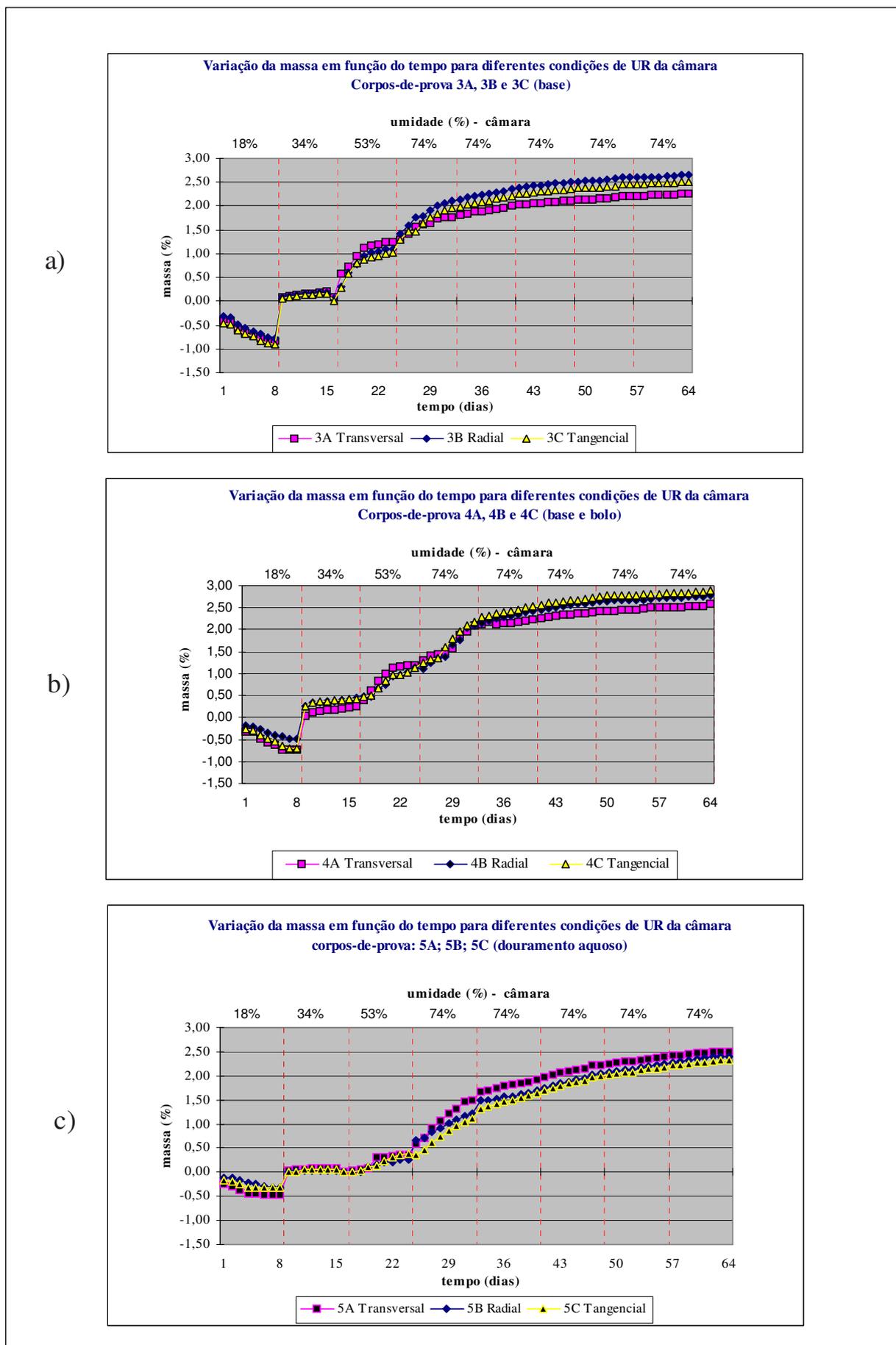


FIGURA 45 - Gráficos: corpos-de-prova 3A a 5C preparados com: a) base (gesso grosso e gesso fino); b) corpos-de-prova com base e bolo; c) corpos-de-prova com douramento aquoso

Os gráficos A e B referentes aos corpos-de-prova preparados com base e bolo, respectivamente, mostraram que essas camadas permitiram praticamente a livre adsorção de umidade do cedro. No intervalo da UR a 18% desses gráficos as curvas são descendentes, tornando-se estáveis durante o ciclo da UR a 34%, e a partir da UR a 53% apresentam-se ascendentes.

A inclinação da curva de desorção do gráfico C (corpos-de-prova com douramento) referente ao intervalo de UR a 18% é menor — comparada às inclinações curvas do mesmo intervalo de UR dos gráficos A e B; pode-se presumir que a desorção do cedro ocorreu de forma mais equilibrada. No intervalo de 34% de UR e no início da UR a 53% a curva apresenta-se retilínea, assumindo uma inclinação menos acentuada até a UR de 74%. O douramento em relação às amostras com base e bolo, retardou a absorção de umidade dos corpos-de-prova nos intervalos de 18% a 53% de UR.

A variação dimensional da madeira está relacionada ao ganho ou perda de massa em função da adsorção e desorção de umidade. A magnitude dessa variação depende, também, da direção estrutural considerada na madeira (JANKOWSKY e GALVÃO, 1985). Comparando os gráficos da FIG. 45 com o gráfico 3, que nos mostra a característica do inchamento da madeira, não se verifica uma possível influência das direções estruturais tangenciais e radiais expostas (sem base, bolo e douramento) no comportamento das amostras dos gráficos da FIG. 43.

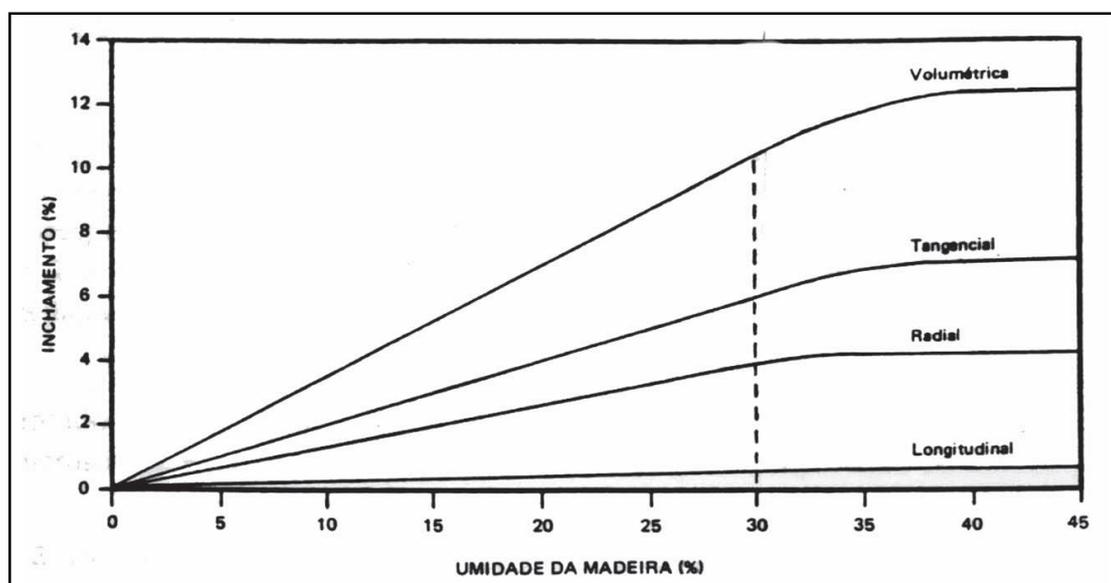


GRÁFICO 3- Característica do inchamento da madeira (volumétrica e nas direções longitudinais, radiais e tangenciais em função da umidade).

Fonte: GALVÃO et. al., 1985. p.43.

Segundo MICHALSKI (1991), o douramento com folha de ouro contribui como uma perfeita barreira higroscópica, exceto para os locais onde o gesso e o bolo, subjacentes ao douramento, apresentam orifícios que são provenientes da formação de bolhas no preparo e aplicação dessas camadas (MEDEIROS, 2001).

As esculturas coloniais mineiras podem apresentar douramento total ou parcial, sendo que as áreas de carnação e parte interna do corte transversal da base nunca recebem douramento. A eficiência do douramento, como barreira higroscópica, depende da área dourada (douramento parcial ou total) e da presença ou não de orifícios nas camadas de gesso e bolo. Por isso, a conservação dessas esculturas depende, também, de outros meios de proteção como o uso de ceras e vernizes hidrófobos.

A FIG.46 apresenta os gráficos dos ensaios com os corpos-de-prova dourados que receberam cera de abelha, cera microcristalina e Osmocolor sobre as extremidades sem douramento. Nesses gráficos foram incluídos os resultados obtidos com o ensaio dos corpos-de-prova dourados sem camada de proteção para efeito comparativo.

É interessante notar que as linhas representativas dos corpos-de-prova com Osmocolor e dos sem tratamento apresentaram um efeito similar: tendência retilínea entre o intervalo do ciclo de 34% de UR e ascendentes após 53% de UR, ratificando a característica pouco hidro-repelente do Osmocolor observada no grupo dos corpos-de-prova 2A, 2B e 2C, da FIG.45, analisados anteriormente.

As linhas dos gráficos referentes aos corpos-de-prova dourados com a camada de cera de abelha e microcristalina mostraram que o efeito hidrófobo dessas camadas é excluído na umidade de 74%.

Com relação ao tipo de corte exposto (transversal, radial e tangencial), sem douramento, sobre o qual foram aplicados um tipo de barreira hidrófoba (cera de abelha, microcristalina ou osmocolor), não foi observado também comportamento higroscópico diferenciado, dos corpos-de-prova, que pudesse caracterizar a influência desses cortes no processo de desorção e adsorção de umidade.

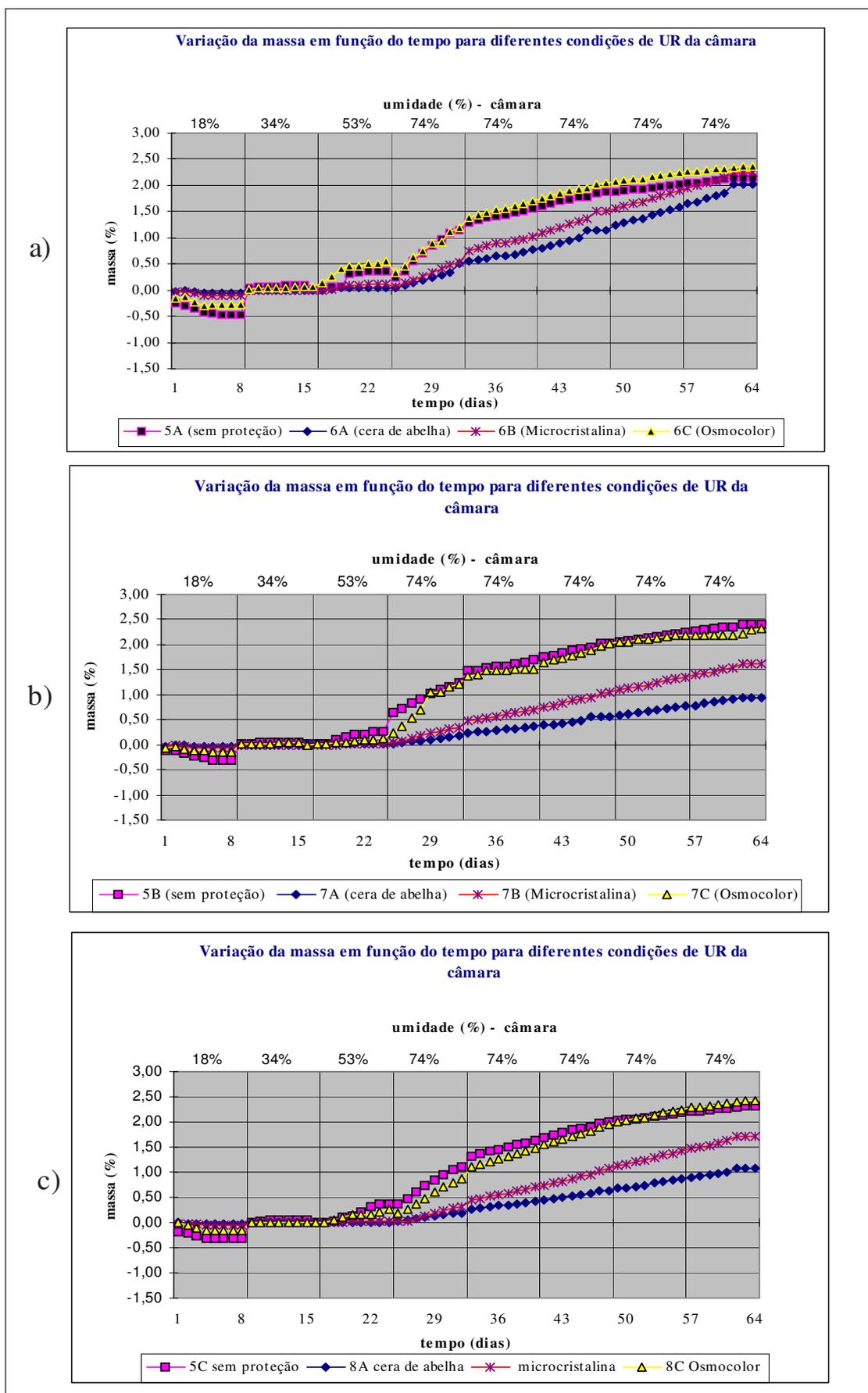


FIGURA 46 - Gráficos: a) corpos- de-prova 6A, 6B e 6C com corte transversal tratado com cera de abelha, cera microcristalina e Osmocolor respectivamente; b) corpos- de-prova 7A, 7B e 7C com corte radial tratado com cera de abelha, cera microcristalina e Osmocolor respectivamente; c) corpos- de-prova 8A, 8B e 8C com corte tangencial tratado com cera de abelha, cera microcristalina e Osmocolor respectivamente.

Para se visualizar, de maneira global, o comportamento higroscópico dos corpos-de-prova analisados no GRAF. 2 e nos gráficos das FIG. 45 e 46 apresentam-se resultados obtidos no Quadro 2.

QUADRO 2

Estudo do comportamento higroscópico dos corpos-de-prova 2A a 8C

Tipologias de corpos-de-prova	Ciclos de umidade relativa			
	18%	34%	53%	74%
base / bolo	18%	34%	53%	74%
douramento sem camada de proteção	18%	34%	53%	74%
ceras: abelha/microcristalina	18%	34%	53%	74%
Osmocolor	18%	34%	53%	74%
douramento com camada de proteção microcristalina cera de abelha	18%	34%	53%	74%
douramento com camada de proteção Osmocolor	18%	34%	53%	74%

 Zonas de equilíbrio

Esses resultados demonstraram que a metodologia usada para análise do comportamento higroscópico do cedro (em função do tamanho dos corpos-de-prova e das tipologias de camadas aplicadas sobre sua superfície) foi satisfatório, pois a variação de massa dos corpos-de-prova apresentou-se diferenciada, coerente com a bibliografia estudada sobre a propriedade hidrófoba do douramento, ceras e vernizes (MICHALSKI 1991; OLIVEIRA, 2002; PERUSINI, 1997).

Para a avaliação da influência das direções estruturais tangenciais e radiais expostas (sem base, bolo e douramento), no comportamento das amostras, conclui-se que uma nova tipologia de corpo-de-prova deve ser testada, considerando que as direções estruturais de todos devem ter a mesma dimensão, ou seja, o tamanho dessas áreas devem ser iguais.

Salienta-se que os resultados referentes às zonas de equilíbrio do cedro, obtidos nesse ensaio, não devem ser usados como parâmetros para aplicações práticas porque, como já foi alertado anteriormente, será necessário a realização de um estudo com um número de corpos-de-prova suficiente para uma avaliação estatística.

4.3 - Módulo de elasticidade do cedro

Este trabalho foi realizado no Laboratório do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

4.3.1- Objetivo

Determinar do módulo de elasticidade do cedro submetido à variação de umidade relativa (UR).

4.3.2- Definições

Para o estudo do módulo de elasticidade do cedro, submetido a variações de umidade, foram utilizados os critérios elaborados pela Norma Brasileira NBR 7190(1997) adaptando-a aos nossos objetivos.

Segundo essa norma, o módulo de elasticidade é determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação, definida pelos pontos ($\sigma_{10\%}$; $\epsilon_{10\%}$) e ($\sigma_{50\%}$; $\epsilon_{50\%}$), correspondentes a 10% e 50% da resistência à compressão paralela às fibras, através da equação:

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad [4]$$

Em que:

E - módulo de elasticidade

c- espaçamento

$\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$ - tensões de compressão correspondentes a 10% e 50% da resistência do material

$\epsilon_{10\%}$ e $\epsilon_{50\%}$ - deformações específicas medidas no corpo-de-prova, correspondentes às tensões de

$\sigma_{10\%}$ e $\sigma_{50\%}$

4.3.3- Materiais e equipamentos

- Cedro
- Paquímetro digital
- Serra de fita
- Câmara climatização (máquina FANEM modelo 345)
- Compressor hidráulico (máquina EMIC modelo PC 200)
- Medidor elétrico de umidade para madeiras (marca Digisystem modelo DL 2000)

4.3.4- Amostragem

As dimensões das amostras atenderam às especificações da Norma Brasileira NBR 7190, (1997).

O cedro isento de defeitos²⁵ foi serrado com serra de fita para obtenção de corpos-de-prova contendo as seguintes seções: seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e comprimento de 15 cm como representado na figura abaixo.

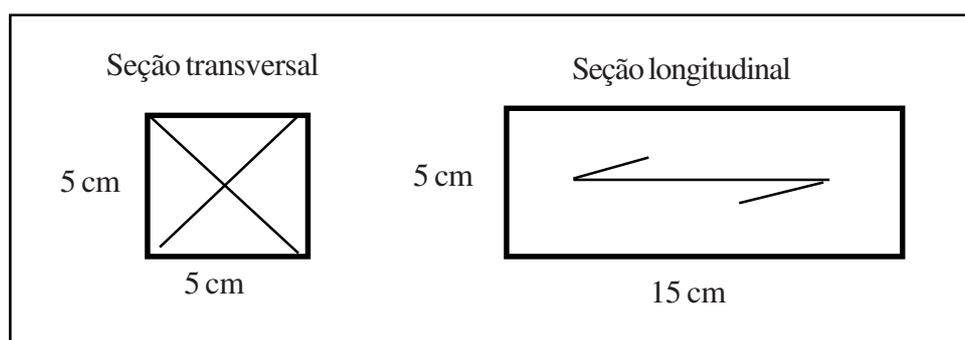


FIGURA 47 - Corpo-de-prova (CP) para ensaio de compressão paralela às fibras para obter o módulo de elasticidade do cedro. Nota: o símbolo \longleftrightarrow indica a direção das fibras da madeira.

²⁵ Corpos-de-prova com defeitos como rachaduras, presença de nós, medula e porções degradadas, não são admissíveis na realização dos ensaios, pois interferem negativamente nos resultados dos mesmos.

As amostras foram confeccionadas em um ambiente com umidade aproximadamente a 60% e temperatura a 25°C. Depois de prontas, foram selecionadas 3 amostras e medidos o teor de umidade com o medidor elétrico de umidade, para madeiras, da marca Digisystem (modelo DL2000). Verificou-se que apresentavam um teor médio de umidade de 11% (FIG.48).



FIGURA 48 - Teor de umidade do cedro a 60% de UR medido com medidor elétrico

Foram confeccionados 29 corpos-de-prova em cedro dentre os quais foram escolhidos, aleatoriamente, 14 para serem submetidos aos ensaios.

4.3.5- Procedimento

As amostras selecionadas para o ensaio foram colocadas dentro de uma câmara de climatização (máquina FANEM, modelo 345), regulada a 60% UR e temperatura 25°C, até alcançarem umidade de equilíbrio constante verificado através de pesagens diárias (FIG.49).



FIGURA 49 - Câmara de climatização aberta para colocação dos corpos-de-prova

Após esse período foi estimada a resistência da madeira através do ensaio destrutivo de dois corpos-de-prova, para o estabelecimento do carregamento que foi aplicado nas amostras durante o ensaio do módulo de elasticidade (a taxa de carregamento obtida nesse ensaio foi de 10 MPa/min).

As doze amostras restantes foram divididas em grupos de dois, identificadas e acondicionadas dentro de uma caixa de plástico, hermeticamente fechada, para não trocarem umidade com o ambiente.

Cada grupo foi submetido a uma variação de UR dentro da câmara climática. No momento em que dois corpos-de-prova eram retirados da caixa hermética e colocados dentro da câmara climática, ela era regulada para simular uma condição de umidade relativa a uma temperatura constante de 25°C (foram simuladas seis condições de UR: 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80%).

Após o período de vinte e quatro horas, as amostras eram retiradas da câmara climática e imediatamente submetidas ao ensaio no compressor hidráulico (máquina EMIC PC 200).

As medidas das deformações específicas foram feitas em duas faces do corpo-de-prova com extensômetros de exatidão mínima de $50 \mu\text{m}/\text{m}$ fixados, no corpo-de-prova, por meio de duas cantoneiras metálicas presas com elásticos, com distância nominal, aproximadamente, de 5 cm entre as duas linhas de fixação, conforme podemos observar nas FIG.50 e 51.



FIGURA 50 - Arranjo de ensaio para módulo de elasticidade do cedro

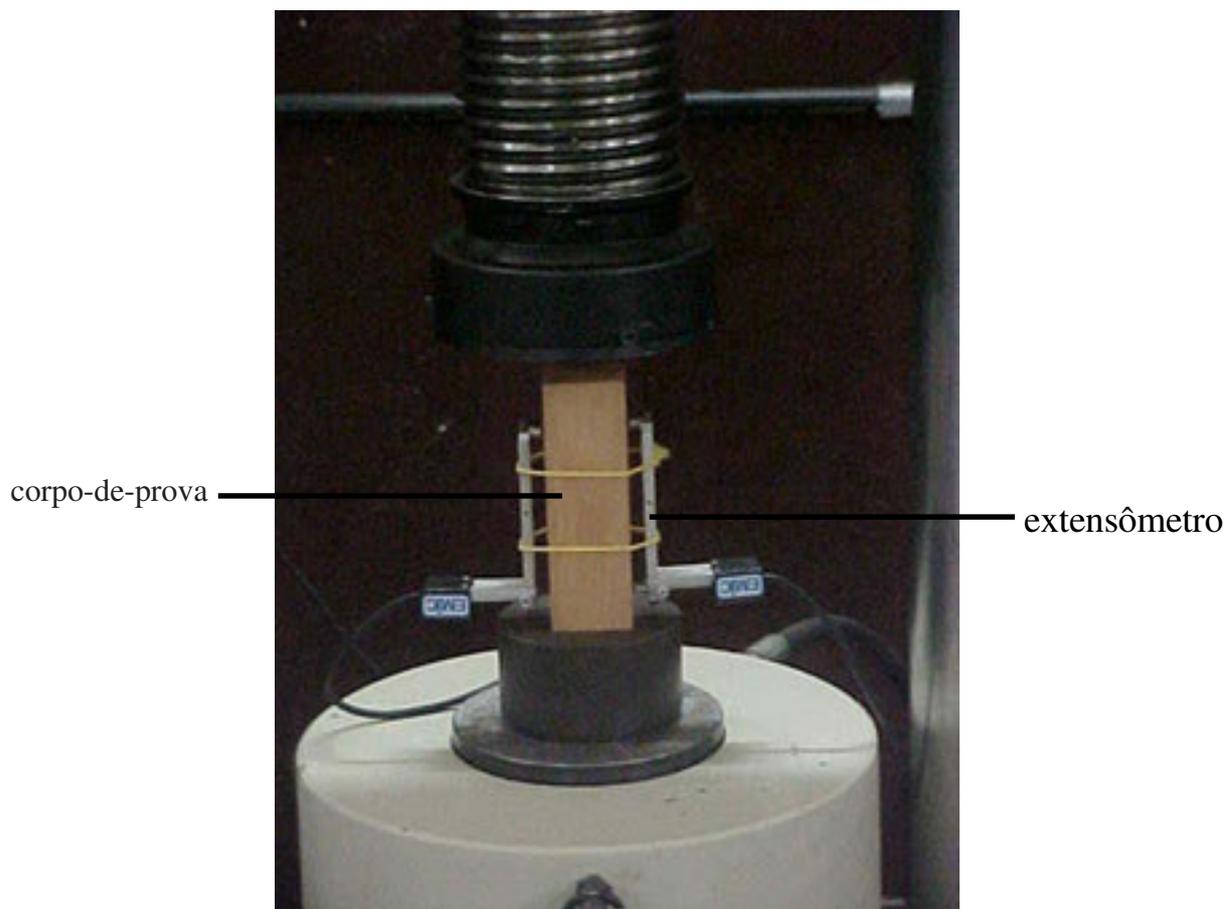


FIGURA 51- Detalhe do corpo-de-prova submetido ao ensaio na máquina EMIC PC 200

Convém lembrar que as compressões foram aplicadas na direção paralela às fibras na área da seção transversal dos corpos-de-prova.

4.3.6 – Resultados e Discussão

Os resultados obtidos nos ensaios do módulo de elasticidade dos corpos-de-prova submetidos à variação de UR foram apresentados na TAB.7.

TABELA7
Módulo de elasticidade do cedro em função da variação de UR

Umidade (%)	Módulo de Elasticidade (MPa) CP1	Módulo de Elasticidade (MPa) CP2
30	8610	10053
40	7068	7183
50	6991	6717
60	7958	6902
70	9702	7027
80	7048	8768

Os valores médios do módulo de elasticidade apresentados na TAB. 7 foram visualizados no GRAF. 4.

Conforme foi estudado no capítulo três, a quantidade de umidade adsorvida pela madeira (até o ponto de saturação das fibras) é função da umidade relativa do ambiente e da temperatura.

A uma temperatura constante, a relação entre a umidade relativa (UR) e a umidade de equilíbrio (UE) da madeira resulta uma curva sigmóide (JANKOWSKY, 1979), conforme foi observado no GRAF 1 referente ao ensaio realizado no LACICOR/EBA.

Entretanto, a relação entre a média do Módulo de Elasticidade e a umidade relativa (expressa em porcentagem) resultou em uma curva de padrão polinomial de 2º grau com a concavidade voltada para cima (GRAF. 4).

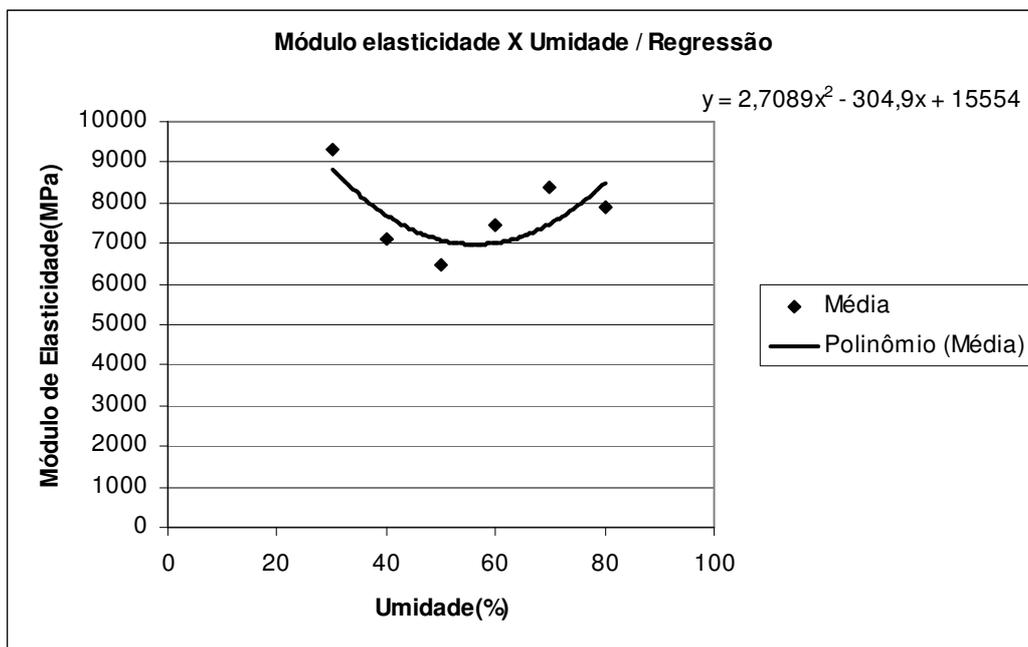


GRÁFICO 4 - Módulo de Elasticidade X Umidade relativa

Os dados expressos no gráfico Modulo X Umidade/regressão correspondentes aos valores de UR e a média módulo de elasticidade (MPa) foram registrados na TAB 8.

TABELA 8

Umidade relativa X média módulo de elasticidade (MPa)

Umidade (%)	Módulo de Elasticidade (MPa) Média
30	9331
40	7125
50	6454
60	7430
70	8364
80	7908

Através do GRAF 4 foi possível observar a amplitude das mudanças do módulo de elasticidade do cedro, em função da variação de UR do ambiente interno da câmara úmida, a uma temperatura constante de $25^{\circ}\text{C} \pm 2,7$.

As mudanças mais significativas do Módulo de Elasticidade (MPa) foram para os valores referentes às seguintes umidades relativas: 30%, 70% e 80%.

A curva descendente dos valores, entre 30% e 40% UR, representa a desorção sofrida pelo corpo-de-prova (que estava previamente acondicionado a 60% de UR) ao ser submetido a uma UR de 30%, a uma temperatura de 25°C , durante um período de 24 horas dentro da câmara climática.

O traço da curva descendente tende a ficar horizontal (acima de 40% de UR até 60 % de UR). Constatou-se que, nesse intervalo, os corpos-de-prova (acondicionados, previamente, a 60% de UR) não sofreram uma variação significativa do módulo de elasticidade ao serem submetidos às UR de 45, 50 e 65%. As alterações foram mais brandas, caracterizando a área desse intervalo como uma provável zona de movimento elástico do cedro — conseqüentemente, sem o perigo de danos plásticos que são irreversíveis (ERHARDT; MECKLENBURG, 1994).

A linha da curva acima de 65% de UR retomou o padrão ascendente onde houve uma adsorção de umidade mais rápida dos corpos-de-prova. Portanto, o risco de ocorrer movimento plástico é maior.

Esses resultados sugeriram que a eficiência do processo de controle do ambiente, no qual os objetos em cedro estão expostos, está diretamente relacionada às estimativas de UR entre 45% e 65% (em que se constatou um equilíbrio na movimentação elástica do cedro).

Comparando os resultados obtidos aos parâmetros de umidade relativa, seguros para a exposição de objetos em madeira, sugeridos nos estudos de ERHARDT e MEKLENBURG (1994); THOMSON (1988); UZIELLI e CASAZZA (1994) e na publicação do Canadian Conservation Institute (1995), representados no Quadro 4, pode-se concluir que para um objeto em cedro, acondicionado a uma umidade de 60%, esses parâmetros podem ser considerados eficientes no processo de controle do ambiente ao qual esse objeto ficasse exposto.

QUADRO 3

Parâmetros de UR propostos para conservação preventiva de objetos em madeira

Parâmetros de UR propostos para conservação de objetos artísticos em madeira com a manutenção de temperatura constante

Autores / Instituição	Valores de UR %					
	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	70 %
THOMSON (1987)			50 %	55 %	60 %	
Canadian Conservation Institute (1995)		45 %	50 %	55 %		
ERHARDT; MEKLENBURG (1994)	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	70 %
UZIELLI E CASAZZA (1994)	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	70 %

É importante salientar que esses parâmetros foram estabelecidos para madeiras e condições climáticas diversas às do Brasil e, portanto, somente nesse caso específico do cedro, pode-se considerá-los seguros.

Contudo, deve-se ter o cuidado com o uso destas estimativas de UR previstas, neste estudo, de forma indiscriminada (uma vez que elas foram obtidas conforme a condição padrão pré-estabelecida para o ensaio, ou seja, para as condições de 30% a 80% de UR e temperatura de 25°C (ciclos climáticos com duração de 24 horas) e com os corpos-de-prova previamente aclimatados a 60% de UR.

Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo geral estimar experimentalmente níveis de UR para a preservação de esculturas coloniais mineiras em cedro.

No desenvolvimento da pesquisa foram analisadas através do estudo comparativo, degradações mecânicas de 71 esculturas em cedro, douradas e policromadas, pertencentes ao acervo do Museu Arquidiocesano de Arte Sacra de Mariana localizado em Mariana, Minas Gerais. Os resultados apontaram a recorrência de danos como craquelês e rachaduras que caracterizam tipologia de danos provenientes da movimentação higroscópica do cedro.

Considerou-se que as esculturas que são transferidas do seu ambiente de origem para serem expostas em outros locais, apresentam um grande potencial para sofrerem danos mecânicos em função da mudança de UR. É importante avaliar o teor de umidade de equilíbrio do cedro para verificar sua compatibilidade com as médias de UR do local a que se destina.

Conseguiu-se estabelecer o teor de umidade de equilíbrio do cedro, em função das variações de umidade relativa (UR) entre 18% a 74%, o que torna possível um planejamento seguro do controle das flutuações climáticas no ambiente em que esculturas em cedro ficam expostas a tais mudanças de umidade.

Desenvolveu-se uma metodologia analítica específica para avaliação do comportamento higroscópico das esculturas coloniais mineiras em cedro, em função da presença de base de preparação, bolo, douramento e camadas hidrófobas, que poderá ser empregada em estudos futuros podendo ser ampliadas as possibilidades de gerenciamento dos ambientes de exposição das esculturas que apresentam essas variantes.

Levando em conta as condições experimentais e os resultados obtidos nos ensaios do desenvolvimento da caracterização elástica do cedro submetido a mudanças de UR, foram apontadas as flutuações de umidade entre 45% e 65% como estimativas de UR em que o potencial de risco para a ocorrência de deformações plásticas às esculturas em cedro é possível de ser controlado.

Outra importante contribuição da pesquisa foi a construção de um equipamento de baixo custo, denominado de câmara úmida, para obtenção de umidades relativas controladas. O uso da câmara úmida demonstrou sua adequação e eficiência no levantamento de isotermas de equilíbrio .

Cabe lembrar, também, a necessidade de se ampliar este trabalho com novos estudos que nos ajudem a compreender melhor não somente o comportamento higroscópico do cedro (em função das camadas sobre a sua superfície), mas também o comportamento físico e mecânico dos estratos constituintes da camada pictórica, para se fazer uma avaliação mais precisa sobre as medidas de conservação preventiva adequadas ao contexto do objeto.

Bibliografia

ALMEIDA, O; CALÇADA, L. A.; MASSARANI, G. *Análise de um sistema para levantamento de isotermas de secagem*. Rev. Universidade Rural, Série Ciências Exatas da Terra, v. 21, n.1, p. 49-53, 2002.

ALVES, C. M. *Minas Colonial: pintura e aprendizado*. Belo Horizonte: Telas e Artes, n. 15, 1999.

ALVES, C. M. *Pintores, policromia e o viver em colônia*. In: Imagem Brasileira. Belo Horizonte, CEIB, n. 2, 2003. p. 81-86.

ANDRADE-LIMA, D. *Algumas considerações sobre a cultura do cedro no Brasil*. Recife, PE: Instituto de Pesquisa Agronômica, n. 54, 1972. 17p.

ARAÚJO, C. M. *A policromia de Joaquim José da Natividade na imaginária dos Campos das Vertentes e sul de Minas*. In: Imagem Brasileira. Belo Horizonte, CEIB, n.1, 2001. p.147-149.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 12551. Madeira Serrada – Terminologia*. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 7190. Projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 13818. Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios*. Rio de Janeiro, 1997.

BARCLAY, R. L. ; EAMES, Ralph M.; TODD, A. *The Care of Wooden Objects*. Canadian Conservation Institute (CCI), *Technical Bulletin* n. 8, 1982. 15p.

BALLARIN, A. W; NOGUEIRA, M. *Caracterização elástica da madeira de *Eucalyptus citriodora**. Rev., Cerne, v. 9, n. 1, p.66-80, 2003.

BALDINI, Umberto. *Teoria del Restauro e Unitá di Metodologia*. Firenze: Nardini Editore. v. 1, 1995. 196p.

BALLESTREM, Agnes. *Limpieza de las esculturas policromadas*. In: Preprints of the Conservation of wood objects. Nueva York: UNESCO, 1970. v.22. p.69-73.

BAUDRY, M. T. *Principes d'analyse scientifique. La sculpture: méthode et vocabulaire*. Paris, Imprimerie nationale, 1978. p.150-642.

BAUER. L. A. Falcão. *Materiais de Construção*. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1985. 529p.

BAZIN, Germain. *O Aleijadinho e a escultura barroca no Brasil*. Rio de Janeiro: Record, 1971. 347 p.

BERGER, G. A.; RUSSEL, W. H. *Deterioration of surfaces exposed to environmental changes*. Journal of the American Institute for Conservation, v. 29,n.1, 1990. p. 45-76.

BOSCHI, Caio C. *O Barroco mineiro, artes e trabalho*. São Paulo: Brasiliense, 1988.78 p.

BOSCHI, Caio C. *Os leigos e o poder, irmandades leigas e política colonizadora em Minas Gerais*. São Paulo. Ática, 1986. 254p.

BOZI, Alfredo. *Dialética da colonização*. São Paulo: Companhia das Letras, 1992. 412 p.

BREWER, J. A. *Effect of Selected Coatings on Moisture Sorption of Selected Wood Test Panels With Regard to Common Panel Painting Supports*. In: Studies in Conservation, v. 36, n.1,1991.p.9 – 23.

BROTERO, F. A. *Estudo dos Caracteres físicos e mecânicos das madeiras*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1935.p.4-24.

BUCK, Richard D. *A Note on the effect of age on the Hygroscopic Behavior of Wood*. Studies in Conservation n. 1,1952.p.39-44.

BUCK, Richard D. *The use of Moisture Barriers on Panel Paintings*. Studies in Conservation n. 6,1961.p.9-19.

BURGER, L. M.; RICHER, H. G. *Anatomia da madeira*. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.
 _____ *Preventive Conservations in Museums: Video Handbook*. Canadian Conservation Institute.Montreal: Université du Quebec, 1995. 151p.

CAMÍ,Josepmaria T.; SANTAMERA, J. *A talha: Escultura em Madeira*. Lisboa: Editorial Estampa, 1997.192 p.

CARMO, E. D. M. *Análise e avaliação do acervo documental de esculturas policromadas do Centro de Conservação de Bens Culturais Móveis*. In: Anais da Semana de Iniciação Científica da UFMG. Belo Horizonte, 21 a 23 de fevereiro de 2002.p.287.

CASSAR, M. *Environmental Management: Guidelines for Museums and Galleries*. London: Routledge, 1997.165 p.

CECCOTTI, A.; UZIELLI, L. *Sul grado di affidabilità delle strutture lignee antiche*. In: Il Restauro del Legno,2,1989, Firenze. Atti...Firenze: Nardini Editore, 1990. p.111-128.

CENNINI, Cennino. *El libro del arte*. Madrid: AKAL, S.A., 1988.189 p.

CHENIAUX, V. *A ação destruidora da umidade em acervos museológicos*. Estudos de Museologia, Caderno de ensaios, Rio de Janeiro: IPHAN, 1994 n° 2. 83 p.

CHIMELO E MANIERI. *Fichas características das madeiras brasileiras*. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.

CHING, F. D. K. *Dicionário Visual de Arquitetura*. São Paulo: Martins Fontes, 2003. 319 p.

CLÉRIN, P. *La sculpture: toutes les techniques*. Paris: Dessain et Toldra, 2001. 390 p.

COELHO, B. R. V. *A Escultura Policromada do século XVIII em Minas Gerais: uma abordagem interdisciplinar*. In: Panorama Atual da Conservação na América Latina, 7, 1994, Petrópolis. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Conservadores e Restauradores de Bens Culturais, 1994. p. 40-45.

CROKFORDE, H. D.; KNIGHT, S. B. *Fundamentos de físico-química*. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1977. 383 p.

DANTI, C.; BODDI, R.; CASTELLI, C.; CRESCIOLI, A. *Esame del comportamento delle tavole lignee dipinte in relazione alle escursioni termoigrometriche*. In: Il Restauro del Legno, 2, 1989, Firenze. Atti... Firenze: Nardini Editore, 1990. p. 135-139.

DIAS, F. C. *Para uma sociologia do Barroco Mineiro*. In: Barroco 1. Belo Horizonte, UFMG, 1969. p. 67.

ELEOTÉRIO, J. R.; HASELEIN, C. R.; GIACOMINI, N. P. *Programa para estimativa da umidade de Equilíbrio da madeira*. Ver. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 13-22, 1998.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS; INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA 5º DISTRITO DE METEOROLOGIA; UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. *Atlas Climatológico do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: EPAMIG, INMET, 5 DISME, 1982. 122 p.

ERHARDT, D.; MECKLENBURG, M. *Relative Humidity Re-examined*. In: Preventive Conservation Practice, theory and research, 1994. *Preprints of the Contributions to the Ottawa Congress*, IIC. 1994. p. 32-38.

FISCHESSER, B. *Conhecer as árvores*. Guaíba: Coleção EUROAGRO, 1981. 275 p.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. *Secagem racional da madeira*. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.

GALVÃO, A. P. M. *Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil*. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1975, p. 53-65.

GARCIA, C. B. *Anatomia, Composição e Propriedades de Cinco Madeiras Paraguias*. Viçosa: UFV, 1995. 126 p.

GIVONI, B. *Confort Climate Analysis and Building Designm Guidelines*. In: Energy and Building, v.18,n1 p 11-23.

GONZALÉZ, E.; MARTINÉZ, A. *Tratado del dorado, plateado y su policromia. Tecnologia, conservación y restauración*. Universidad Politecnica de Valencia,1997. 320 p.

GONZÁLEZ, J. J. M. *História de la escultura*. Madrid: Gredos, 1964. 290 p.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. *Dados Climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/ UFSC, 1988. 345p.

GUICHEN, G.; TAPOL, B. *Climate Control in Museuns*.Rome: ICCROM,1998. s/p.

HANSEN,E. F.; LEE, Steve N.; SOBEL, H. *The effects of relative humidity on some physical properties of modern vellum: Implications for the optimum relative humidity for the display and Storage of parchment*. In: Journal of the American Institute Conservation,1992, v. 31,n.3. p.325-34

HOLANDA, S. B. *Raízes do Brasil*. Brasília: Editora da Universidade de Brasília,1963. 157 p.

INMET – Instituto Nacional de Metereologia <[http://:www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)> Acesso em 23/05/2003 – 11:00hs.

JANKOWSKY, I. P.*Influência da Densidade Básica e do Teor de Extrativos na Umidade de Equilíbrio da Madeira*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979. 87 p.

JANSON, H.W. *História da Arte*. São Paulo: Martins Fontes, 1992. 824 p.

KAY, N. M. *Carpinteria de Armar y de taller: guia completa y practica para todas las ramas de la profesión*. Barcelona: Gustavo Gili, 1954. 499p.

KNELL, S. *Preventive Conservation*. Conservation: Getty Conservation Institute. Newsletter. Care of Collections. London: Routledge, 1994.282 p.

KNUT, Nicolaus. *Manual de Restauración de Cuadros*. Eslovênia, Copyright Könemann Verbagsgesellschaft, 1999.p.340.

KUHN, H.*Conservation and restoration of Works of art and antiquities*. London: Butterworths, 1986. s/p.

- LAFONTAINE, R. H. *Sílica Gel*. Canada: Canadian Conservation Institute, 1984. 17 p.
- LEPAGE, E. S. *Manual de Preservação de Madeiras*. São Paulo: IPT, 2 v. 1986. 708 p.
- LIGTERINK, F. J.; PIETRO, G. *The effect of the wooden stretcher on the RH response of backboard protected canvas paintings*. In: Triennial Meeting Lyon, 12, 1999. ICOM Committee for Conservation, 1999, v.1. Londres, 1999. p. 70-76.
- LISBOA, P. *Uma madeira muito usada no barroco mineiro*. In: *Ciência Hoje*, v.117, n.97, 1994. p.18-20.
- LORENZI, H. *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. São Paulo: 1988. 352 p.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. *Fichas de Características das Madeiras Brasileiras*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 418 p.
- MARTINS, J. *Dicionário de Artistas e Artífices dos séculos XVIII e XIX em Minas Gerais*. Rio de Janeiro: MEC, 1974. 2v.
- MARTINS, S. *Folclore em Minas Gerais*. Belo Horizonte: UFMG. Coleção Aprender. 1991. 128 p.
- MARTINS, V. A.; ALVES, M. V. S.; SILVA, J. F.; REBELLO, E. R. G.; PINHO, G. S. C. *Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil*. *Brasília, Brasil Florestal*, ano XXII, n. 76, 2003. p.29-34.
- MECKLENBURG, M. F. *Some Mechanical and Physical Properties of Gilding Gesso*. In: *Gilded Wood Conservation and History*. Madison, Connecticut, 1991. p.163-170.
- MECKLENBURG, M. F.; TUMOSA, C. S.; ERHARDT, D. *Structural Response of Painted Wood Surfaces to Changes in Ambient Relative Humidity*. In: *Painted Wood: History and Conservation*. Williamsburg, 1994. Proceedings...Williamsburg, Virginia: The Getty Conservation Institute, 1994. p. 464-483.
- MEDEIROS, G. F. *Tecnologia de acabamento de douramento em esculturas em madeira policromada no período barroco e rococó em Minas Gerais: estudo de um grupo de técnicas*. 2000. Dissertação (Mestrado em Artes Visuais) - Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000. 152 p.

MELLO, S. *Barroco Mineiro*. São Paulo: Editora Brasiliense, 1985. 287 p.

MENDES, A. S., ALVES, M.V. S. *A degradação da madeira e a sua preservação*. Brasília: Ministério da Agricultura, 1988. 54 p.

MICHALSKI, S. *Crack Mechanisms in Gilding*. In: *Gilded Wood Conservation and History*. Madison, Connecticut, 1991. p.171- 181.

MICHALSKI, S. *Directrices de Humedad Relativa y Temperatura: que esta pasando?* Washington, APOYO, v. 6 n.1, Washington, D.C. Trad. Isabel García Fernandez, 1995. p.4 -5.

MICHALSKI, S. *La conservacion preventiva y las normas ambientales: nuevas consideraciones*. Washington, APOYO, v. 6 n.1, Washington, D.C. Trad. Isabel García Fernandez, 1995. p.3.

MOTTA, E. *Iniciação á pintura*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1976. 216 p.

MORESI, C. M. D. *Estudo científico de Policromia da Imaginária Mineira do Período Colonial*. In: *Panorama Atual da Conservação na América Latina*, 7, 1994, Petrópolis. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Conservadores e Restauradores de Bens Culturais, 1994. p.133-138.

NEVES, J. *Idéias filosóficas no Barroco mineiro*. Belo Horizonte, Itatiaia; São Paulo Ed. da USP, 1986. 195 p.

NETO, J. L. Sant' Anna. *Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas*. Maringá: Eduem, 2000. 259 p.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422p.

OLIVEIRA, M. M. *Tecnologia da conservação e da restauração: materiais e estruturas*. Bahia: EDUFBA, ABRACOR, 2002. 213 p.

OLIVEIRA, M. A. *A escultura devocional na época barroca: aspectos teóricos e funções*. Belo Horizonte : Revista Barroco, n.18, 2000. p. 247-267.

OLVERA, A. A. *Conservación de madera arqueológica*. In: *Conservación in situ de materiais arqueológicos*. Um manual. México, Instituto Nacional de Antropologia e Historia, 2001. p 49-57.

PADFIELD, T. *The Control of Relative Humidity and Air Pollution in Show-cases and Picture Frames*. In: *Studies In Conservation*. v. 11, n. 1, 1996.p. 8-30.

PASSOS, D. D., Padre. *A Arquitetura barroca no Brasil*. Revista Eclesiástica Brasileira, Petrópolis: Ed. Vozes, 1945 v.5 n.2, p.328-52.

PAULA, J. F. *Materiais de Construção: Madeira*. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1960. 213 p.

PERRAULT, G. *Dorure et polychromie sur bois. Techniques traditionnelles et modernes*. Dijon: Faton, 1992. 190p.

PERUSINI, G. *Il restauro dei dipinti e delle sculture lignee: storia, teorie e tecniche*. 2 ed. Udine: Del Bianco Editore, 1994. 303 p.

PHILLIPPOT, P. *La restauración de las esculturas policromadas*. *Studies in Conservation*, 1970, v.15, n.4. p.248-252.

PLENDERLEITH, H. J. *The Conservation of Antiquities and Works of Art*. London, Oxford University Press, 1971. p.14-29.

PRICE, N.S. *Historical and Philosophical Issues in the Conservation of Cultural Heritage*. Los Angeles: The Getty Conserveation Institute, 1996. 500 p.

QUITES, M. R. E. *A Imaginaria processional na Semana Santa em Minas Gerais*. Estudo realizado nas cidades de Santa Bárbara, Catas Altas, Santa Luzia e Sabará. 1997. Dissertação (Mestrado em Artes Visuais) - Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.133 p.

RESCALA, J. J. *Restauração de obras de arte. Pintura – Imaginária - Obras de talha*. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1985. 109 p.

REVISTA BARROCO, Coleção Mineiriana/Série Município e Regiões. Minas/Gerais/Monumentos históricos e Artísticos/Circuito do Diamante. Belo Horizonte: Sistemas Estadual de Planejamento, Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos e Culturais, nº16,1994/5.

RICHARD, M. *Factors affecting the dimensional responses of wood*. In: Preprints of the Contributions to the International Institute Conservation Oxford Congress, 1978.p.131-136.

RICHARDS, E. G.; PLUMPTRE, R. ; WILSON, S. *Wood and Woodworking Tools: a Handbook*. London: University of Oxford, 1989.102 p.

TAYLOR, g. *La Madera*. Barcelona: Blume, 1978.274 p.

RIVERO, R. *Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural*. 2ª ed. rev. e ampl. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores, 1986. 239 p.

ROMO, F. R. *Edifícios construídos com materiais y técnicas tradicionales, condiciones ambientales en su uso para museos. Formas de conservacion*. In: Colecciones del museo y su medio ambiente.Oaxaca, México, 1995. p.1-13.

ROSADO, A. *As Dores de Nossa Senhora: Procedimentos específicos para conservação e restauração de uma escultura de Roca e elaboração de uma cartilha de conservação preventiva*. 2002. Monografia (Especialização em Conservação, Restauração de Bens Culturais Móveis) – Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.95 p.

ROSENFELD, L. L. *Glossário técnico de conservação e restauração em pintura*. Porto Alegre: Universidade UFRGS, 1997. 123p.

SANTOS, E. *Nossas Madeiras*. Belo Horizonte: Itatiaia, 1987. 313p.

SCHNIEWIND, A. P. *Concise Encyclopedia of wood & wood – based materials*. Canadá: Canadian Forest Products, 1989.342 p.

SIAU, J. F. *Flow in Wood*. New York, Syracuse University Press, 1971.131p.

SMITH, Robert C. *A talha em Portugal*. Lisboa: Livros Horizonte,1962.148 p.

SMITH, Robert C. *Igrejas, casas e móveis: Aspectos de Arte Colonial Brasileira*. Pernambuco, Ministério da Educação e Cultura, 1979.383 p.

SIMPSON, M. T.; HUUNTLEY, M. *La restauration des Objets Anciens*. Paris: Armand Colin, Ed.,1996.192 p.

SEBERA, D. K. *Isopermas: uma ferramenta para o gerenciamento ambiental*. Rio de Janeiro: Projeto Conservação Preventiva em Bibliotecas e Arquivos, 2001. 27p.

SIMPSON, W. T. *Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models*. Wood and Fiber, v. 5, n.1, 1973.p.41-45.

SIMPSON, W. T. Equilibrium Moisture Content prediction for Wood. Forest Products Journal, Madison, n. 21, 1971.p. 48-49.

SOUZA, L. A. C. *Evolução da tecnologia de policromias nas esculturas em Minas Gerais no século XVIII: o interior inacabado da igreja Matriz de Nossa Senhora. da Conceição de Catas Altas do Mato Dentro, um monumento exemplar*. 1996. Tese (Doutorado em Ciências Químicas) - ICEX, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996. 297 p.

SOUZA, W. A. *Guia dos bens tombados: Minas Gerais*. Rio de Janeiro, 1984. 447 p.

STAMM, A. J. *Bound Water diffusion into wood in across the fiber directions*. In: Forest Products Journal, Madison, n.10, 1960.p.524 -528.

TAGLE, A. *Science at the GCI*. The Getty Conservation Institute. Newsletter, v. 14, n.1,1999.

TELLES, A. C. S. *Ensino técnico e artístico: Evolução e características. Séculos XVIII e XIX*. Arquitetura Revista, Rio de Janeiro, FAU/UFRJ, v. 6,1988.p.2-4.

THE NEW ENCYCLOPAEDIA BRITANICA. U.S.A: Library of Congress, 1994. v.8

THOMSON, G. *The Museum Environment*. 2ed. Ed. ,Butterworths, London, 1986. 308p.

TRUGILLO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F.; SILVA, J. R. M.; MENDES, L. M.; PINTO, L. V. A. *Umidade de equilíbrio da madeira para diferentes condições de temperatura e umidade relativa em câmara de climatização*. Disponível em: Portal Nacional da Madeira – REMADE <equipe@remade.com.br> Acesso em 30 de junho de 2004, as 8:00 horas.

UZIELLI, L.; CASAZZA, O. *Conservazione dei dipinti su tavola*. Firenze: Nardine Editore, 1994.149 p.

VASCONCELOS, S. *Arquitetura no Brasil: sistemas Construtivos*. Belo Horizonte: UFMG, 1979.186p.

ZENID, G. J. *Identificação e grupamento das madeiras serradas empregadas na construção civil habitacional na cidade de São Paulo*. São Paulo: USP, 1997. Dissertação de mestrado – USP.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. T. *Identificação Botânica de Madeiras*. Educação continuada IPT. São Paulo: Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras, 2001. s/p.

WILLIAMS, M. A. *Keeping It All Together: The Preservation and Care of Historic Furniture*. Ohio: Ohio Antique Review, 1988. 63p.

WITTKOWER, R. *Escultura*. São Paulo: Martins Fontes, 2001. 301p.

_____. *Wood handbook: Wood as an engineering material*. Agriculture Handbook. No. 72. Washington, D.C.: U.S. Department of agriculture. Forest Products Laboratory, 1987.

Anexos

Anexo A - Instituições Participantes da Rede RECICOR

Laboratório de Ciências da Conservação (LACICOR) - Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG (Coordenador: Prof. Luiz A C Souza).

Centro de Pesquisas em Conservação e Durabilidade (CPCD) - Escola de Engenharia da UFMG (Coordenador: Prof. Abdias Magalhães Gomes)

Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT) – Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo (TAU) e Departamento de Projetos (PROJ) da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais.

Núcleo de Processamento Digital de Imagens (NPDI)- Departamento de Ciência da Computação - Instituto de Ciências Exatas - Universidade Federal de Minas Gerais (Coordenador: Prof. Arnaldo Albuquerque Araújo).

Departamento de Química – Instituto de Ciências Exatas (ICEEx) - Universidade Federal de Minas Gerais.

Parceiros internacionais:

Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (CRRMF)

Getty Conservation Institute (GCI)

Anexo B- Lista das esculturas analisadas

Iconografia	Origem/Cidade/ Estado
1- Santana Mestra	Matriz de Nossa Senhora de Nazaré/ Santa Rita Durão /Minas Gerais. M.G.
2- Nossa Senhora do Parto	Mitra Diocesana de Araçuaí/Araçuaí/M.G.
3- Nossa Senhora da Conceição	Igreja Matriz de São Miguel do Cajuru/Cajuru/ M.G.
4-Crucificado	Catedral Basílica de Nossa Senhora do Pilar/ São João d'El Rei/M.G.
5-Nossa Senhora das Dores	Museu Regional de São João d'El Rei/ São João d'El Rei/M.G.
6- Nossa Senhora do Carmo	Igreja do Carmo/ Diamantina/ M.G.
7- N. S. do Monte Carmelo	Igreja N. S. do Carmo/ Diamantina/ M.G.
8- Santa Quitéria	Igreja N. S. do Carmo/ Diamantina/ M.G.
9- Crucifixo	Igreja Matriz de Santo Antônio/ Santa Bárbara/ M.G.
10- Nossa Senhora do Carmo	Igreja Matriz de Santo Antônio/ Santa Bárbara/ M.G
11- Santa Bárbara	Igreja Matriz de Santo Antônio/ Santa Bárbara/ M.G
12- Santana Mestra	Matriz de Nossa Senhora da Conceição/ Congonhas do Campo/M.G.
13- Nossa Senhora do Carmo	Matriz de Nossa Senhora da Conceição/ Congonhas do Campo/M.G.
14- Santa Luzia	Igreja Matriz de Nossa Senhora da Conceição/ Cachoeira do Brumado/ M.G.
15- Santo André	Museu do Ouro/ Sabará/ M.G.
16- São Miguel Arcanjo	Museu do Ouro/ Sabará/ M.G.
17- São Sebastião	Museu do Ouro/ Sabará/ M.G.
18- São Gonçalo do Amarante	Museu do Ouro/ Sabará/ M.G.
19- Santana Mestra	Matriz de Nossa Senhora da Conceição/ Sabará/ M.G.
20-São Miguel Arcanjo	Museu do Ouro/ Sabará/ M.G.
21- Santana Mestra	Museu do Ouro/ Sabará/ M.G.
22- Santana Mestra	Museu do Ouro/ Sabará/ M.G.
23- São Sebastião	Museu do Ouro/ Sabará/ M.G.
24Nossa Senhora do Rosário	Cúria Metropolitana de Belo Horizonte/Sabará/ M.G.

24- Nossa Senhora das Dores	Igreja do Carmo/ Sabará/ M.G.
25- Cristo Crucificado	Museu Arquidiocesano de Arte Sacra de Mariana (MAAS)/ Mariana/ M. G.
26- Nossa Senhora da Piedade	MAAS/ Mariana/ M.G.
27- Santa Bárbara	MAAS/ Mariana/ M.G.
28- Busto Relicário de Santo Hilário	MAAS/ Mariana/ M.G.
29- Busto Relicário de Santo Atanásio	MAAS/ Mariana/ M.G.
30- São Miguel Arcanjo	MAAS/ Mariana/ M.G.
31- Santo Agostinho	MAAS/ Mariana/ M.G.
32- Nossa Senhora da Conceição	MAAS/ Mariana/ M.G.
33- São José de Botas	MAAS/ Mariana/ M.G.
34- São José	MAAS/ Mariana/ M.G.
35- São Joaquim	MAAS/ Mariana/ M.G.
36- São Miguel Arcanjo	MAAS/ Mariana/ M.G.
37- São Benedito	MAAS/ Mariana/ M.G.
38- Nossa Senhora do Rosário	MAAS/ Mariana/ M.G.
39- Nossa Senhora da Piedade	MAAS/ Mariana/ M.G.
40- São Sebastião	MAAS/ Mariana/ M.G.
41- São Bernardo de Claraval	MAAS/ Mariana/ M.G.
42- São Francisco de Assis	MAAS/ Mariana/ M.G.
43- Cristo Ressuscitado	MAAS/ Mariana/ M.G.
44- São Brás	MAAS/ Mariana/ M.G.
45- São Bento	MAAS/ Mariana/ M.G.
46- Nossa Senhora dos Anjos	MAAS/ Mariana/ M.G.
47- Santo Antônio dos Pobres ou dos Pães	MAAS/ Mariana/ M.G.
48- São João Nepomuceno	MAAS/ Mariana/ M.G.
49- Menino Deus	MAAS/ Mariana/ M.G.
50- São Jorge	MAAS/ Mariana/ M.G.
51- São Francisco de Paula	MAAS/ Mariana/ M.G.
52- São Jorge	MAAS/ Mariana/ M.G.
53- Divino Espírito Santo	MAAS/ Mariana/ M.G.
54- Pelicano	MAAS/ Mariana/ M.G.
55- São Domingos	MAAS/ Mariana/ M.G.
56- Nossa Senhora da Piedade	Santuário de Nossa Senhora da Piedade /Felixlândia/ Felixlândia/ M. G.

58 - São João Nepomuceno	Casa Paroquial de Paracatu/ Paracatu/ M. G.
59 - Dormição da Virgem	Casa Paroquial de Paracatu/ Paracatu/ M. G.
60 - São Luiz Rei da França	Casa Paroquial de Paracatu/ Paracatu/ M. G.
61 - Nossa Senhora das Dores	Casa Paroquial de Paracatu/ Paracatu/ M. G.
62 - Santo Dominicano	Casa Paroquial de Paracatu/ Paracatu/ M. G.
63- São Benedito	Casa Paroquial de Paracatu/ Paracatu/ M. G.
64 - Nossa Senhora do Rosário	Igreja de Nossa Senhora do Rosário/ Paracatu/ M.G.
65- Santana Mestre	Igreja Matriz de Santo Antônio/ Paracatu/ M.G.
66- Nossa Senhora da Conceição	Casa Paroquial de Paracatu/ Paracatu/ M. G.
67- Santana Mestre	Casa Paroquial de Paracatu/ Paracatu/ M. G.
68 - Pietá	Igreja Matriz de Santo Antônio/ Paracatu/ M.G.
69- Santa Luzia	Igreja Matriz de N.S. da Conceição/ Cachoeira do Brumado/ M. G.
70- Cristo Crucificado	Museu Histórico Abílio Barreto/ Belo Horizonte/ M. G.
71- São Miguel Arcanjo	Museu Mineiro/ Belo Horizonte/ M.G.

Obs.: A identificação da madeira das esculturas foi feita através da análise organoléptica segundo a Chave de Identificação Macroscópica elaborada pelo Instituto de Pesquisas tecnológicas (IPT) de São Paulo e através de análises microscópicas feitas pelas seguintes instituições: Centro de Estudos Tecnológicos de Minas Gerais (CETEC) e IPT, São Paulo .

Através do estudo do estado de conservação das esculturas foi observado que: 100% apresentavam craquelês e desprendimentos da camada pictórica; 96% apresentavam fissuras e/ou rachaduras; 81% apresentavam deslocamento e/ou perdas de blocos e 1% com articulações emperradas.

Anexo C – CHAVE DE IDENTIFICAÇÃO MACROCÓSPICA (IPT)

- 1a. Madeira sem vasos (não porosa).....**pinho-do-Paraná (*Araucária angustifolia*)**
- 1b. Madeira com vasos (porosa)..... 2
- 2a. Parênquima axial indistinto sob lente, coloração parda ou amarelada, odor agradável..... **canela (*Ocotea* sp.)**
- 2b. Parênquima axial distinto sob lente.....3
- 3a. Madeira de coloração acastanhada ou avermelhada4
- 3b. Madeira de coloração amarelada ou esbranquiçada.....6
- 4a. Madeira de aspecto fibroso, acastanhada parênquima em faixas, raios estratificados.....**angelim-pedra (*hymenolobium* sp)**
- 4b. Madeira sem aspecto fibroso, outro tipo de parênquima axial, coloração avermelhada ou acastanhada.....5
- 5a. Madeira de coloração acastanhada parênquima axial vasicêntrico, coloração acastanhada.....**tamboril (*Enterolobium* sp.)**
- 5b. Madeira de coloração avermelhada ou rosada, parênquima axial marginal, vasos formando anel semi-poroso, odor agradável característico presente.....**cedro (*Cedrela* sp.)**
- 6a. Madeira amarelada, parênquima axial aliforme linear, raios estratificado, gosto levemente amargo.....**marupá (*Simarouba amara*)**
- 6b. Madeira amarelada ou esbranquiçada, parênquima axial reticulado, às vezes com odor desagradável.....**tauari (*Couratari* sp.)**

Anexo D - Ensaio para determinação da dilatação do cedro em função da variação da umidade relativa

Observação: Esse ensaio foi feito com os corpos-de-prova excedentes provenientes dos que haviam sido confeccionados para o ensaio do módulo de elasticidade do cedro.

1.-Materiais

- Acômetro: quadro de medição de variação de comprimento dos corpos de prova equipado com relógios comparadores;
- Barra de referência: placa feita de aço-níquel com o comprimento de 15cm e largura de 5cm(similar ao comprimento e largura dos corpos de prova feitos para o ensaio do módulo de elasticidade)
- Estufa;
- Câmara úmida;
- Dessecador.
- Cedro

1.2- Corpo de prova

Cinco corpos de prova (retirados ao acaso do lote de amostras confeccionadas para o ensaio do módulo de elasticidade) tiveram suas extremidades identificadas para a tomada das leituras da variação do comprimento.

1.3-Procedimento

Os corpos-de-prova foram acondicionados em uma estufa a 105°C durante um período de 24 horas para a eliminação da umidade natural dos mesmos. Após esse período foram colocados dentro de um dessecador para esfriarem. Assim que esfriaram foi procedida a medição do comprimento(l_0) inicial.

Os corpos-de-prova foram então armazenados dentro de uma câmara úmida e submetidos a cinco ciclos de UR distintas (30%,40%,50%,60% e 70%) a uma temperatura constante de 25°C. A duração de cada ciclo foi por um período de 24 horas.

Após a duração de cada ciclo, os corpos-de-prova foram retirados da câmara, acondicionados em um dessecador e retirados um a um para a medição do comprimento deles conforme descrito a seguir:

- a) A placa padrão foi colocada no quadro de medição para zerar o relógio comparador.
- b) A placa padrão foi retirada e as amostras foram colocadas no quadro de medição tendo seus dois lados (previamente marcados) medidos com exatidão de 0,01mm foram registrados na TAB 1. A média das duas medições foi calculada e registrada. Os resultados foram apresentados na TAB.2

TABELA 1

Valores das medidas das cinco amostras submetidas a variações de UR					
UMIDADE	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
0	3,417	3,525	3,500	3,280	3,365
0	3,430	3,582	3,417	3,250	3,285
30	3,420	3,565	3,525	3,300	3,390
30	3,455	3,500	3,460	3,705	3,545
40	3,433	3,568	3,539	3,325	3,393
40	3,478	3,512	3,471	3,718	3,578
50	3,443	3,570	3,541	3,327	3,400
50	3,470	3,510	3,473	3,721	3,570
60	3,442	3,570	3,541	3,330	3,407
60	3,473	3,514	3,476	3,735	3,570,
70	3,530	3,645	3,565	3,378	3,441
70	3,560	3,537	3,480	3,739	3,610

TABELA 2

Valores das médias das medições dos cinco corpos-de-prova

Media					
Umidade %	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
0	3,42	3,41	3,46	3,27	3,33
30	3,44	3,53	3,49	3,50	3,47
40	3,46	3,54	3,51	3,52	3,49
50	3,46	3,54	3,51	3,52	3,49
60	3,46	3,54	3,51	3,53	3,49
70	3,55	3,59	3,52	3,56	3,53

1.4- Expressão dos resultados:

Para cada corpo-de-prova foram calculados os valores de contração e expansão em relação ao comprimento inicial (l_0) medido anteriormente. A expressão usada para o calculo foi a seguinte:

$$EU = (l_i - l_0 / l_0) \times 100$$

Onde:

EU é a expansão por umidade, em percentual (valores em milímetros);

l_0 é a medida da dimensão inicial, antes do ensaio em milímetros(após a retirada da estufa);

l_i é a medida da dimensão dos corpos-de-prova em milímetros(após serem submetidos a variações de UR).

Os resultados dos valores de contração e expansão calculados em relação ao comprimento inicial (l_0) foram apresentados na TAB. 3.

TABELA 3

Resultados dos valores de contração e expansão calculados para cada corpo-de-prova

Amostras	Umidade				
	30%	40%	50%	60%	70%
CP1	0,58	1,17	1,17	1,17	3,80
CP2	3,52	3,81	3,81	3,81	5,28
CP3	0,87	1,45	1,45	1,45	1,73
CP4	7,03	7,65	7,65	7,95	8,87
CP5	4,20	4,80	4,80	4,80	6,01

Discussão dos resultados

Através da TAB. 3 percebemos que ocorreu uma variação pequena no comprimento das amostras, resultado esperado, pois, como foi estudado nos capítulos 3 e 4, a dilatação ou contração na direção longitudinal da madeira é mínima.

Entre as umidades 40% e 60% a expansão de todos os corpos de prova não apresentaram variações, ou seja, a variação volumétrica manteve-se praticamente constante. Esse resultado é coerente com a curva de elasticidade do cedro apresentada no capítulo 4 que também apresentou uma tendência mais plana entre as umidades 45% e 65%.

Conclusão:

Mesmo com todas as restrições conferidas a esse ensaio como as medidas de variação volumétrica serem verificadas na região longitudinal do corpo-de-prova (área da madeira em que ocorre variação dimensional mínima), observamos que é possível estudar uma forma de adaptação do equipamento usado neste trabalho para se ter uma maior confiabilidade e precisão dos resultados ampliando as possibilidades de análise do comportamento mecânico da madeira

Conclusão:

Mesmo com todas as restrições conferidas a esse ensaio como as medidas de variação volumétrica serem verificadas na região longitudinal do corpo-de-prova (área da madeira em que ocorre variação dimensional mínima), observamos que é possível estudar uma forma de adaptação do equipamento usado neste trabalho para se ter uma maior confiabilidade e precisão dos resultados ampliando as possibilidades de análise do comportamento mecânico da madeira