

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE AMBIENTAL EM MUSEUS:  
UM ESTUDO DE CASO SOBRE O USO DE INSUFLAMENTO DE AR  
NA RESERVA TÉCNICA DO MUSEU UNIVERSITÁRIO  
PROFESSOR OSWALDO RODRIGUES CABRAL

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

MARIA CLÁUDIA LORENZETTI CORRÊA

Florianópolis

Julho 2003

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE AMBIENTAL EM MUSEUS:  
UM ESTUDO DE CASO SOBRE O USO DE INSUFLAMENTO DE AR  
NA RESERVA TÉCNICA DO MUSEU UNIVERSITÁRIO  
PROFESSOR OSWALDO RODRIGUES CABRAL

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo  
programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

---

Prof. Saulo Guths, Dr. (Orientador)

---

Prof. Roberto Lamberts, PhD. (Co orientador)

---

Profa. Henriette Lebre La Rovere, PhD.(Coordenadora do Curso)

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Sérgio Nappi Dr (ARQ/UFSC)

---

Profa. Elizabete Tamanini Dra (IELUSC)

---

Arq. Franciza Lima Toledo PhD (Consultora)

069.29  
C824a

**CORRÊA, Maria Cláudia Lorenzetti. Avaliação dos dos parâmetros de controle ambiental em museus: um estudo de caso sobre o uso de insuflamento de ar na reserva técnica do Museu Universitário Professor Oswaldo Rodrigues Cabral.** Florianópolis. 2003. 148 p.

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Palavras-chave: 1.Conservação. 2.Preservação. 3.Museus. 4.Controle Ambiental

Ficha Catalográfica

## AGRADECIMENTOS

Durante o processo de gestação deste mestrado muitos foram os momentos bons e ruins inerentes de qualquer processo de pesquisa e criação.

Desde o momento de ampliar os horizontes onde contamos com a ajuda dos mestres dividem conosco seu conhecimento mostrando-nos os caminhos onde buscamos o aprofundamento de nossos próprios saberes, e de nossos colegas com os quais descobrimos novas experiências e formas de aprender e também de ensinar, além das novas experiências de mundo, pois sempre cruzamos com gente que vai e vem de toda parte.

A estes não vou enumerá-los nem nomeá-los, mas a todos com quem tive a oportunidade de trocar e aprender, muito obrigado!

Ao professor Roberto Lamberts, por ter me aceito no programa de mestrado e ter contribuído muito com suas orientações sempre pertinentes.

A duas pessoas em especial, a Silmara Küster e ao professor Saulo Güths agradeço a oportunidade criada através deles de juntar-me ao projeto de pesquisa elaborado para pesquisa em controle ambiental em museus financiado pela bolsa de aperfeiçoamento Virtuose do Ministério da Cultura, concedida a Silmara. A eles agradeço a oportunidade de contribuir com minha área de conhecimento, mas muito mais aprendendo com ambos sobre seus conhecimentos sobre o tema.

Agradeço a Louders Rosseto integrante da 11a Superintendência do IPHAN, por ter permitido que o início dos trabalhos se desse junto ao Museu Victor Meirelles, que apesar de não ter sido possível se dar continuidade por razões técnicas e estruturais do edifício, foi o grande motivo que havia me convencido a trabalhar com o tema, justamente por conhecer a sua experiência em conservação e a sua seriedade no trato com a cultura.

Agradeço ao Museu Universitário da UFSC me dirigindo a seus técnicos, Peninha, Hermes e Cristina, os quais possibilitaram que a pesquisa se efetivasse abrindo as portas da reserva técnica para nossos experimentos, estando sempre com extrema delicadeza e disposição nos atendendo.

Também agradeço aos técnicos do LMPT que se dispuseram a resolver os problemas de instalação e funcionamento dos equipamentos, em especial ao Diego e o Alexandre que nos momentos de crise se empenharam em resolver as adversidades.

Agradeço a UNISUL pelo apoio inicial ao mestrado e ao IELUSC hoje, por serem instituições que permitiram a divisão árdua da jornada de trabalho com o desenvolvimento desta pesquisa.

Um agradecimento especial aos meus pais pela preocupação de sempre e em especial a minha mãe que em suas orações sempre velou pelo meu sono e pela falta dele nas horas das dúvidas e aflições. E mais ainda por terem sempre acreditado no meu potencial mesmo sem saber onde poderia levar, mas sempre acreditaram que levaria a algum lugar.

Em especial ao Buba, que há alguns muitos anos está a meu lado, me questionando, me cobrando, e me apoiando, não só por isto, mas principalmente pelo exemplo em agarrar suas oportunidades e em ver mais além aquilo que pode dar certo ou não, mesmo que as vezes a gente não queira ver!

Aos irmãos, pela distância, desculpa, mas obrigado pelos e-mails e telefonemas de apoio. E em especial a Lúcia e Cia., minha segunda mãe que sempre está com suas antenas ligadas e suas asas abertas, pronta para defender e acolher seus filhotes do mundo, também pelo exemplo de crença em seus ideais e sua constante busca pelo crescer.

À minha sogra, Dona Caríssima, que como mãe me acolheu e se preocupou com meu bem estar, à Mara pelas trocas e colaboração nas horas de necessidades, e ao Túlio que justamente por sua infância e doçura tem sempre um sorriso bom e uma pergunta fugaz, que nos faz rir e relaxar quando nos vê grudados na tela de computador tentando decifrar os enigmas do saber!

A todos que de alguma forma contribuíram e possibilitaram a conclusão deste trabalho, seja tecnicamente ou emocionalmente, meu grande obrigado e que Deus abençoe a todos como vem me abençoando nesta caminhada!

## Sumário

Lista de figuras .....	v
Lista de tabelas .....	viii
Lista de Símbolos e Abreviaturas.....	ix
RESUMO: .....	1
ABSTRACT: .....	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1. A problemática de conservação em museus.....	3
1.2. Objetivo do trabalho.....	6
1.3. Estrutura da dissertação.....	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1. Instituições de referência.....	8
2.2. Elementos condicionantes da conservação em museus.....	10
2.2.1. O clima e o edifício .....	10
2.2.2. Considerações sobre o planejamento do edifício .....	19
2.3. Os processos de degradação decorrentes das relações entre Umidade Relativa e Temperatura.....	22
2.4. Das estratégias de controle ambiental .....	33
2.4.1. Os sistemas de monitoramento .....	34
2.4.2. Os sistemas de controle ambiental .....	40
2.4.2.1. Um exemplo de pesquisa aplicada sobre controle ambiental em museus localizados em regiões de clima quente e úmido.....	44
2.5. As recomendações referenciais de conservação.....	47
2.5.1. As considerações sobre os padrões a serem adotados frente às recomendações referenciais.....	47
2.5.2. Discussões sobre os limites de flutuação e os parâmetros a serem adotados.....	50
3. METODOLOGIA.....	55
3.1. Delimitação do objeto de estudo .....	55
3.1.1. Caracterização do acervo e dos aspectos organizacionais.....	56
3.1.2. Características construtivas do edifício da reserva técnica.....	60
3.1.3. Descrição dos equipamentos para monitoramento e controle ambiental utilizados anteriormente ao desenvolvimento das pesquisas.....	66

3.2. Caracterização do clima de Florianópolis e das estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade.....	67
3.3. O sistema de monitoramento e controle ambiental proposto .....	71
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	77
4.1. Caracterização do clima durante as medições.....	77
4.1.1. Avaliação do Índice de Preservação obtido no período de monitoramento .....	92
4.2. Das estratégias de controle possíveis de serem consideradas. ....	98
4.3. Considerações sobre a experimentação do sistema de insuflamento. ....	109
4.4. Considerações finais e recomendações .....	128
5. CONCLUSÃO.....	137
5.1. Sugestões para trabalhos futuros .....	141
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	143

## Lista de figuras

Figura 1 – Isotermas de Adsorção da Celulose .....	23
Figura 2 - Linhas do Tempo de Vida Relativo sobre Carta Psicrométrica.....	27
Figura 3 – Linhas de Adsorção da Madeira x Tempo de Vida.....	28
Figura 4 - Limites de Controle para Degradação Biológica.....	32
Figura 5 – Tempo para Crescimento de Mofo x UR.....	32
Figura 6 - Diagrama de Isopermas de Umidade Relativa Percentual Versus Temperatura .....	36
Figura 7. Mostra o Diagrama de Isopermas x Áreas de Deterioração para Papel.....	36
Figura 8 - Bloco 1 Acesso Principal do Museu Universitário.....	55
Figura 9 - Bloco 6 - Área da Reserva Técnica .....	55
Figura 10 - Coleção Arqueológica.....	58
Figura 11 - Coleção Arqueológica.....	58
Figura 12- Coleção Indígena .....	58
Figura 13- Coleção Indígena .....	58
Figura 14- Coleção Indígena e Arqueológica.....	59
Figura 15- Obras de Franklin Cascaes.....	59
Figura 16 - Planta Geral de Distribuição dos Blocos .....	59
Figura 17 – Pessoal Técnico.....	60
Figura 18 – Pessoal Técnico.....	60
Figura 19 - Corte Transversal do Bloco 6 – Reserva Técnica.....	62
Figura 20 – Blocos 5 e 6 – Fachada 60° SE.....	62
Figura 21 - Orientação das Fachadas.....	63
Figura 22 –Fotos das Fachadas da Reserva Técnica .....	64
Figura 23 – Distribuição das Prateleiras de Armazenamento.....	65
Figura 24 – Comparativo dos Níveis de Temperatura e Umidade entre Estações .....	68
Figura 25 Zonas de Estratégias Bioclimáticas para Conforto Humano em Florianópolis .....	69
Figura 26 – Sequência de Procedimentos do Sistema de Monitoramento CLIMUS. ....	71
Figura 27 – Central do Sistema CLIMUS e Caixas de Sensores. ....	72
Figura 28 – Visualização Externa da Localização do Ventilador Centrifugo e do Sensor de Temperatura e Umidade Externo.....	73
Figura 29 – Distribuição dos Equipamentos de Monitoramento e Controle Ambiental. ....	75
Figura 30 Variações de Temperatura, Umidade Relativa e Umidade Absoluta do Ano Monitorado. ....	78
Figura 31 – Quadro Comparativo dos Níveis de Temperatura UR e W.....	79
Figura 32 Dados Climáticos Ano TRY .....	80
Figura 33 Dados Climáticos Externos do Ano Monitorado .....	80
Figura 34 - Dados Climáticos Internos do Ano Monitorado.....	81
Figura 35 – Variações Climáticas Monitoradas Internamente .....	81
Figura 36– Frequência de Ocorrência de UR Interna.....	82
Figura 37 – Frequência de Ocorrência de Temperaturas Internas.....	82
Figura 38 - Médias dos Valores Mensais de Temperatura Monitoradas.....	83
Figura 39 – Valores Médios, Máximos e Mínimos de Temperatura Externa e Interna. ....	83
Figura 40 – Variações Diárias de Temperatura no Mês de Maio e Julho. ....	86
Figura 41 - Variações Diárias de T , UR, W em Julho.....	87
Figura 42 - Variações Climáticas dos Dias 21 a 26 de Maio. ....	88
Figura 43 - Variações Climáticas dos Dias 17 a 23 de Julho. ....	89

Figura 44 – Variação Climática dos Dias 10 a 11 do Mês de Março.....	90
Figura 45 - Variação Climática dos Dias 18 a 26 de Setembro.....	91
Figura 46 – Níveis Médios dos Índices de Preservação Calculados para cada Mês. ....	92
Figura 47 - Variações de W e IP dos Dias 1 à 9 do Mês de Janeiro.....	92
Figura 48 - Variações de UR, Temperatura, W e IP dos Dias 1 a 9 do Mês de Janeiro.....	93
Figura 49 - Variações de UR, Temperatura, W e IP nos Meses de Junho e Julho. ....	94
Figura 50 - Variações de W e IP dos Meses de Junho e Julho. ....	95
Figura 51 - Variações Climáticas Mês de Dezembro. ....	95
Figura 52 - Médias IP Meses de Calor. ....	95
Figura 53 – Variações Climáticas dos Dias 5 à 10 de Dezembro.....	96
Figura 54 Zonas de Estratégias Bioclimáticas sobre Dados de Monitoramento Internos do Museu.* .....	99
Figura 55 - Correlação entre os Valores Horários de UR % Internos e Externos de todo .....	100
Figura 56 - Correlação entre os Valores Horários de Temperatura Internos e Externos.....	100
Figura 57 – Avaliação das Zonas de Controle Segundo os Valores de UR Int. e Ext.....	101
Figura 58 – Avaliação das Zonas de Controle Segundo os Valores de Temperatura Int. e Ext..	102
Figura 59 – Variações de Temperatura e Umidade dos Dias 10 a 12 do Mês de Março. ....	105
Figura 60 – Variações de Temperatura e Umidade dos Dias 6 a 8 de Janeiro de 2003. ....	106
Figura 61 – Variações de Temperatura e Umidade dos Dias 13 a 16 de Dezembro de 2002. ....	107
Figura 62 – Variações de Temperatura e Umidade dos Dias 17 a 31 de Julho de 2002. ....	108
Tabela 20 – Valores de Temperatura dos Meses mais Quentes Monitorados.....	110
Figura 63 - Variações de Temperatura e Umidade de 7 a 21 de Março.....	110
Figura 64 – Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 1º Critério - $W_{ext} \leq W_{int}$ e $UR_{ext} < 75\%$ . ....	111
Figura 65 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 2º Critério - $W_{ext} \leq W_{int}$ , $UR_{ext} < 75\%$ e $T_{ext} < T_{int}$ . ....	112
Figura 66- Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 3º Critério - $UR_{ext} < 75\%$ e $T_{ext} < T_{int}$ . ....	112
Figura 67- Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 3º Critério Insuflamento - $UR_{ext} < 75\%$ e $T_{ext} < T_{int}$ . ....	113
Figura 68 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 1º Critério Insuflamento- $W_{ext} \leq W_{int}$ e $UR_{ext} < 75$ . ....	113
Figura 69 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 2º Critério Insuflamento - $W_{ext} \leq W_{int}$ , $UR_{ext} < 75\%$ e $T_{ext} < T_{int}$ . ....	114
Figura 70 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 3º Critério Insuflamento - $UR_{ext} < 75\%$ e $T_{ext} < T_{int}$ . ....	114
Figura 71 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 2º Critério Insuflamento - $W_{ext} \leq W_{int}$ , $UR_{ext} < 75\%$ e $T_{ext} < T_{int}$ . ....	115
Figura 72- Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 3º Critério Insuflamento - $UR_{ext} < 75\%$ e $T_{ext} < T_{int}$ . ....	115
Figura 73 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 4º Critério Insuflamento - $UR_{int} < 75\%$ e $IP_{ext} > IP_{int}$ . ....	116
Figura 74 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 5º Critério Insuflamento - $UR_{int} < 75\%$ e $IP_{ext} > IP_{int}$ e $T_{ext} < T_{int}$ . ....	117
Figura 75 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 3º Critério Insuflamento - $UR_{ext} < 75\%$ e $T_{ext} < T_{int}$ . ....	117
Figura 76 – Linha de Tendência das Diferenças de Temperatura em Função do Número de Trocas de Ar. ....	119
Figura 77 – Variações Climáticas de 15 a 19 de Fevereiro de 2003. ....	120

Figura 78 – Registros de T, UR e W no Período de Testes do Insuflamento.....	121
Figura 79 – Valores do IP nos Meses de Calor e no Período de Insuflamento em Fevereiro. ....	123
Figura 80 – Variações de W e IP com Insuflamento de Ar no Mês de Fevereiro. ....	124
Figura 81 – Registros Climáticos de 11 e 12 de Janeiro de 2003.....	125
Figura 82 – Registros Climáticos de 24 e 25 de Fevereiro de 2003.....	125
Figura 83 – Registros de Temperatura no Período sem Insuflamento (Março 2002). ....	128
Figura 84 – Registros de Temperatura no Período com Insuflamento (Fevereiro 2003). ....	128
Figura 85 – Direcionamento do Fluxo de Calor pela Cobertura Durante o Dia.....	129
Figura 86 - Direcionamento do Fluxo de Calor pela Cobertura Durante a Noite. ....	129
Figura 87 – Fachada NO, Foto Tirada em 22 de Maio de 2003 às 17:14 h.....	130
Figura 88 - Cobertura Vista pela Fachada SE. Foto Tirada em 16 de Maio de 2003 às 12:45h. .....	131
Figura 89 – Sombreamento pela Vegetação junto à Fachada NO. Fotos Tiradas em 19 de Fevereiro de 2003 às 16:12.....	132
Figura 90 - Indicação do Período de Insuflamento Previsto para Dias do Mês de Março de 2002. .....	134
Figura 91 – Indicação do Período de Insuflamento Previsto para Dias do Mês de Dez de 2002. .....	134
Figura 92 - Indicação do Período de Insuflamento Previsto para Dias do Mês de Janeiro de 2003.....	135

## Lista de tabelas

Tabela 1 Classificação de Salas para Museus e Bibliotecas.....	20
Tabela 2 - Valores Estimados de IP.....	37
Tabela 3 - Amostra de Resumo de IETP's Finais .....	38
Tabela 4- Especificações de Temperatura e UR para Museus, Galerias, Bibliotecas e Arquivos. .....	49
Tabela 5- Máximo De Flutuações e Gradiente em Espaços Controlados .....	49
Tabela 6 – Propriedades Térmicas dos Materiais Construtivos .....	61
Tabela 7 - Avaliação dos Horários de Insolação das Fachadas.....	63
Tabela 8 – Localização do Sistema de Monitoramento.....	73
Tabela 9- Especificações Técnicas do Ventilador Centrífugo.....	74
Tabela 10 – Dados Comparativos das Características Climáticas.....	80
Tabela 11 – Médias / Máx eMín Dados Externos Anuais.....	81
Tabela 12 – Médias / Máx eMín Dados Internos Anuais .....	81
Tabela 13 – Médias / Máximas e Mínimas dos Valores Mensais de Temperatura .....	84
Tabela 14 - Médias / Máximas e Mínimas dos Valores Mensais de UR. ....	85
Tabela 15 – Diferenças das Médias Internas e Externas de T, UR e W.....	85
Tabela 16 - Valores de Umidade Absoluta W – g/kg de ar seco.....	86
Tabela 17 -Níveis de Umidade Relativa Internos.....	103
Tabela 18 - Correlações de Valores de UR Interna com os Valores de UR Externa e os Níveis de Temperatura Requeridos. ....	103
Tabela 19 – Porcentagem de Aplicação de cada Estratégia. ....	104
Tabela 21 – Relação de Dados do Cálculo de $D'/D$ . ....	119
Tabela 22 – Variações de Temperatura dos Meses de Maior Calor.....	122
Tabela 23 – Variações de Temperatura dos Meses de Maior Calor.....	122
Tabela 24– Variações de UR dos Meses de Maior Calor.....	122
Tabela 25 – Diferenças das Médias Internas de T, UR e W para os Meses Mais Quentes.....	123
Tabela 26 – Valores Médios de T, UR, IP e W de Dias Típicos dos Meses de Calor sem Insuflamento. ....	125
Tabela 27 – Valores Médios de T, UR, IP e W de Dias Típicos do Mês com Insuflamento.....	125
Tabela 28 – Atraso Térmico, Amortecimento e Diferença de Temperaturas de Dias Típicos de Calor. ....	126
Tabela 29- Atraso Térmico, Amortecimento e Diferença de Temperaturas com o Sistema de Insuflamento Ligado.....	126

## Lista de Símbolos e Abreviaturas

- UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.  
 UNISUL - Universidade do Sul de Santa Catarina.  
 IELUSC - Instituto Educacional Luterano De Santa Catarina .  
 LMPT - Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas .  
 GCI- *Getty Conservation Institute*.  
 IPHAN - Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.  
 CECOR – Centro de Conservação e Restauração.  
 ABRACOR - Associação Brasileira de Conservadores - Restauradores de Bens Culturais.  
 HPS - *Heritage Preservation Services*.  
 18th PLEA 2001 *International Conference on Passive and Low Energy Architecture - Renewable Energy for Sustainable Development of the Built Environment*.  
 CCI - *Canadian Conservation Institute*.  
 CAL - *Conservation Analytical Laboratory da Smithsonian Institution*.  
 IIC - *International Institute for Conservation of Historic Works*.  
 CoOL - *Conservation On line*.  
 ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*.  
 ICOM –CC - *Committee for Conservation of the International Council of Museums*.  
 MAC - Museu de Arte Contemporânea de Pernambuco.  
 MEP - Museu do Estado de Pernambuco.  
 MHN - Museu do Homem do Nordeste.  
 MAP - Monitor de Ambiente de Preservação.  
 $\lambda$  (W/ (m.K)) - condutividade térmica.  
 $U$  (W/ (m<sup>2</sup>.K)) - transmitância .  
 $\Phi$  (horas) - atraso térmico.  
 $T$  - temperatura - °C.  
 $T_{int}$  - temperatura interna °C.  
 $T_{ext}$  - temperatura externa °C.  
 $T_{sup}$  - temperatura superficial das paredes °C.  
 UR - umidade relativa - %.  
 $W$  - umidade absoluta - g/kg de ar seco.  
 IP - Índice de Preservação.  
 $c$  - calor específico J./Kg K.  
 $h$  - coeficiente de troca de calor por convecção - w/m<sup>2</sup>k.  
 $A_s$  - área superficial das paredes m<sup>2</sup>  
 $\dot{w}$  - vazão mássica do ar.  
 TR - taxa de renovação do ar - n° de trocas de ar por hora.  
 Vol - volume do ambiente m<sup>3</sup>.  
 $\rho$  - densidade do ar - kg/m<sup>3</sup>.  
 $D_{Temp}$  - Diferença de Temperatura - °C.  
 $D_{UR}$  - Diferença de Umidade Relativa - %.  
 $D_W$  - Diferença de Umidade Absoluta - g/kg de ar seco.

## **RESUMO:**

O objetivo primordial de um museu é o de garantir que acervos que contam o desenvolvimento cultural de uma sociedade possam permanecer íntegros ao conhecimento e pesquisa das futuras gerações. Para isto, é necessário o desenvolvimento de mecanismos que visem obter o melhor desempenho possível do edifício como elemento filtrante das condições adversas do meio exterior, principalmente no que diz respeito às variações dos níveis de temperatura e umidade inapropriados à conservação do acervo.

O objetivo principal desta pesquisa foi tratar dos aspectos técnicos relacionados à atividade de conservação de museus, enfocando a interação entre o edifício e as variáveis climáticas ou ambientais a que ele está exposto. Sendo assim, este trabalho propôs uma investigação sobre os critérios de conservação museológica indicados pela bibliografia, buscando a análise de estratégias alternativas de controle ambiental disseminadas como referências por pesquisas internacionais, em países de clima frio ou até em localidades de clima quente e úmido

Um dos principais problemas encontrados é justamente atender aos índices de preservação ideais através do desempenho térmico da edificação sem a utilização de tecnologia cara e inacessível à maioria das instituições culturais do Brasil. Neste trabalho foi proposta a avaliação do comportamento ambiental da reserva técnica do Museu Universitário Professor Oswaldo Rodrigues Cabral da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), por meio da instalação de um sistema de monitoramento, que permitisse conectar sensores de temperatura, umidade relativa, interna e externamente, possibilitando o registro de medições dos dados climáticos continuamente, 24 horas por dia durante 12 meses, permitindo assim uma avaliação da interação entre as características climáticas do entorno e sua interferência sobre o edifício e, conseqüentemente, sobre o microclima de guarda do acervo.

Esta avaliação sobre o comportamento climático da edificação possibilitou identificar algumas das limitações em atender aos critérios internacionais de conservação, partindo de uma análise sobre a aplicabilidade destes parâmetros para a realidade observada, relacionados a limitações decorrentes de inadequações tipológicas do edifício e o estabelecimento de alguns critérios de acionamento de sistemas auxiliares de controle ambiental, como por exemplo um sistema de insuflamento de ar externo.

Palavras-chave: Conservação; Preservação; Museus; Controle Ambiental.

## **ABSTRACT:**

The main goal of a museum is to guarantee that stocks that count the cultural development in a society can continue intact to the knowledge and the research of the future generation. So, it is necessary the development of mechanisms that aim at obtaining the best performance of the building as a filtrating element of the many conditions from the external, mainly respect to the variations of the level of temperature and humidity inappropriate to the stock conservation.

The main goal of this research was to deal with the technique aspects related to the museum conservation activities, focusing the interaction between the building and the climate variable or environmental to where it is exposed. Thus, this article proposed a research about the criterion of museum logic conservation indicated by the bibliography, looking for the analysis of alternative strategies of environmental control disseminated as a reference for international researches, in cold countries or even in hot and humid places.

One of the main problems is to attend the contents of ideal preservation through the thermic performance of the edification without using the expensive technology and inaccessible for the most part of the cultural institutions in Brazil. This article proposes the evaluation of the environmental conduct of the technique reserve of the University Museum Professor Oswaldo Rodrigues Cabral from “UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina” (Santa Catarina Federal University), through the installation of a monitory system, that allowed to connect temperature sensors, relative humidity, internally and externally, making it possible the register of the measure of the climate data, continually 24 hours a day during 12 months, allowing, then, an evaluation of the interaction between the climate features of the scat and its interference on the building and consequently over the micro climate of the stock kept.

This evaluation about the climate conduct of the edification made it possible to identify some of the limitation in attending the international criterion of conservation, having from the analysis about the application of these parameters for the observed reality, related to limitations had from unsuitable topologic of the building and the place of some criterion of the acting of auxiliary systems of environmental control.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. A problemática de conservação em museus

O enfoque dado à problemática de conservação em museus pode ser extremamente abrangente, envolvendo desde aspectos técnicos, ideológicos, econômicos como políticos.

Decorrente deste fato, a atividade museológica requer uma visão multidisciplinar que possa atender aos diversos aspectos envolvidos nesta temática.

Desde o início deste trabalho verificou-se que havia muito pouca bibliografia disponível no Brasil sobre o tema e que poucos trabalhos científicos experimentais estavam sendo feitos, que pudessem dar um panorama da aplicabilidade ou não dos referenciais internacionais teóricos e até práticos à nossa realidade.

As pesquisas que têm sido feitas no Brasil, em geral, denotam apenas diagnósticos da situação de alguns ambientes de museus mediante o monitoramento de seus ambientes internos, ou do levantamento de problemáticas em acervos decorrentes da exposição excessiva às variantes ambientais, e ainda trabalhos bem específicos e pontuais sobre degradação de determinados materiais ou componentes do acervo ou edifício.

Muitas avaliações empíricas também têm sido feitas através de museus brasileiros que vêm aplicando alguns dos métodos de monitoramento, porém, dificilmente estas experiências têm tido algum acompanhamento científico que comprove os ganhos ou perdas efetivas tidas com estes sistemas. Ou seja, pode-se avaliar o quanto os ambientes estão dentro ou fora dos limites estabelecidos, mas nem sempre se comprova o quanto isto está afetando o acervo, ou se, os problemas que são apresentados pelo acervo realmente são resultado das condições climáticas, ou ainda, se são decorrentes de características construtivas inadequadas .

Isto, em grande parte, decorre da falta de recursos financeiros e técnicos que possibilitem investigações mais aprofundadas, envolvendo os diversos profissionais necessários para este desenvolvimento científico, como engenheiros, arquitetos , biólogos, químicos, conservadores, restauradores, além do aparato tecnológico necessário.

Muitos dos museus brasileiros vêm se debatendo atrás de recursos mínimos para instalação dos mais simples equipamentos para seu funcionamento, como mobiliário adequado, equipamentos de monitoramento, equipamentos de controle, desde simples desumidificadores a

condicionadores de ar até microcomputadores, e mesmo de recursos para manutenção, ou mesmo para pesquisa.

Segundo depoimentos de autoridades ligadas às instituições de conservação brasileiras presentes no 13º Encontro Trienal do Conselho e Comitê Internacional de Conservação em Museus (ICOM-CC), ocorrido em setembro de 2002 no Rio de Janeiro, a realidade brasileira é bem diferente da situação norte-americana ou européia, que têm o suporte de instituições fortes, tanto em recursos financeiros como técnicos, para o desenvolvimento de pesquisas e assessoria técnica. Conforme representantes de instituições de outros países também presentes no evento, com certeza, esta não é somente uma realidade brasileira, mas da maior parte dos países em desenvolvimento, os quais investem muito pouco em questões de preservação cultural. Apesar deste diagnóstico apontado, pode-se vislumbrar um horizonte interessante, que é o da cooperação técnica, que embora ainda incipiente, começa a acontecer através de instituições como, por exemplo, do *Getty Conservation Institute* (GCI) e museus localizados em países de clima quente e úmido.

Os níveis de variação das condicionantes climáticas são indicados por parâmetros internacionais, principalmente por instituições localizadas em países desenvolvidos da Europa, Estados Unidos e Canadá, locais onde se desenvolvem as principais pesquisas do tema.

Todavia, os limites estabelecidos por estas instituições vêm sendo discutidos e até questionados sobre sua aplicabilidade a regiões de climas com características diversas, como em países de clima tropical ou de características quente e úmido, onde há uma grande dificuldade de controlar os altos níveis de temperatura e umidade. Esta dificuldade é decorrente sobretudo da dificuldade de acesso à tecnologia e da escassez de recursos de financiamento para as instituições culturais de países em desenvolvimento, isto tanto para a compra, instalação e manutenção destes sistemas, como para o desenvolvimento de pesquisas consistentes e treinamento de pessoal técnico qualificado.

Uma maneira de controlar as variações de temperatura e umidade em ambientes é através da utilização de sistemas de condicionamento de ar, porém, em espaços museológicos, são apontados alguns problemas em sua utilização, como custo elevado de instalação e manutenção, além do gasto energético requerido. Fatos estes que muitas vezes impossibilitam o uso contínuo dos sistemas, deixando o acervo exposto a grandes variações climáticas quando desativados, favorecendo as condições para deterioração. Além do que muitas destas instituições encontram-

se em edifícios históricos os quais requerem intervenções criteriosas no que diz respeito à adaptação dos equipamentos.

No 13º Encontro Trienal do ICOM-CC muito se discutiu sobre a necessidade de pesquisas referentes ao tema em países em desenvolvimento que possibilitem a avaliação da aplicabilidade dos parâmetros de conservação ambiental às características peculiares de cada região, acervo e tecnologia disponível, demonstrando a necessidade destes países de se instrumentalizarem através do desenvolvimento de tecnologias próprias adaptáveis às condições financeiras de suas instituições.

Este trabalho apresenta uma avaliação relativa aos índices de preservação mencionados como ideais pela literatura, as principais problemáticas e questionamentos levantados, assim como indicativos de estratégias de controle ambiental alternativas, que pesquisas desenvolvidas sobre o tema apontam como possibilidades de solução.

Além disto, foi proposta como estudo de caso a aplicação de um sistema de monitoramento e controle ambiental junto ao Museu Universitário Professor Oswaldo Rodrigues Cabral da UFSC, em Florianópolis, que possibilitasse uma avaliação crítica dos parâmetros apontados pela bibliografia em relação às peculiaridades climáticas e construtivas do local.

Este projeto surgiu da necessidade de obtenção de critérios que servissem como suporte à escolha do sistema de controle ambiental ideal ou correto a ser utilizado em museus em nossa realidade. Esta necessidade foi apontada, por exemplo, no caso do Museu Victor Meirelles, também localizado em Florianópolis, e administrado pela 11ª Superintendência do Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Este museu, desde 1995, havia solicitado a instalação de um sistema de monitoramento ambiental informatizado, contudo, as entidades financiadoras declaravam não ter possibilidade de avaliar o sistema proposto, pois não havia referências ou critérios a serem adotados até o momento no Brasil que atestassem sua eficácia. Este fato deve-se justamente à falta de desenvolvimento de pesquisas sistematizadas nesta área no Brasil, além da falta de divulgação das iniciativas que se desenvolvem em diferentes locais e museus.

Um exemplo prático disto é que já existem várias instituições como o Museu do Palácio Cruz e Souza em Florianópolis, o Museu de Arte Sacra da Bahia em Salvador, Arquivo Nacional, Museu do Índio e Casa Rui Barbosa, ambos no Rio de Janeiro, e Museu Paranaense em Curitiba, entre outros, que já utilizam sistemas de monitoramento ambiental informatizados, ou mesmo como no caso do próprio Museu Victor Meirelles que apesar de não ter um sistema de monitoramento informatizado, desenvolve estratégias de controle ambiental preventivas bem

sucedidas, porém, assim com na maioria dos casos citados, não existe uma sistematização de informações sobre os dados coletados, com pouquíssimas publicações sobre as experiências desenvolvidas, dificultando um avanço conceitual e um aperfeiçoamento técnico.

## **1.2. Objetivo do trabalho**

O objetivo desta pesquisa foi caracterizar o comportamento climático interno do ambiente da reserva técnica do museu universitário da USFC frente às variações climáticas exteriores ao edifício, identificando a aplicabilidade das estratégias de condicionamento de ar indicadas pela bibliografia, como o uso de insuflamento de ar externo, e as limitações de controle ambiental decorrentes de características tipológicas da edificação em estudo e das peculiaridades do clima de Florianópolis.

## **1.3. Estrutura da dissertação**

Neste sentido, o trabalho está estruturado da seguinte forma:

No capítulo 2 é discutido todo o referencial teórico, que situa os principais conceitos estabelecidos sobre os elementos condicionadores da conservação de acervos, seguidos de quais os parâmetros e metodologias de investigação desenvolvidos e utilizados por instituições de referência no monitoramento e controle ambiental em espaços museológicos, enfocando especialmente o controle de temperatura e umidade, por serem os elementos de condicionamento que, em geral, tornam os acervos mais vulneráveis a deterioração. Neste capítulo também são citadas algumas discussões de pesquisas realizadas sobre a aplicação destes parâmetros, avaliando suas contribuições e indicativos de soluções alternativas para sistemas de controle ambiental em museus localizados em países de clima quente e úmido.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo de caso, em que são caracterizados o local de estudo, as características climáticas da cidade, as interferências micro-climáticas do entorno e as características construtivas do edifício escolhido, assim como as peculiaridades e a especificidade de espaço de análise, no caso a área de reserva técnica do Museu Universitário Professor Oswaldo Rodrigues Cabral. Também são descritos o período das avaliações e os instrumentos e procedimentos utilizados para a coleta de dados, como também os critérios para análise e interpretação dos mesmos.

No capítulo 4 são abordados os principais resultados obtidos diante das restrições impostas à coleta de dados, bem como a avaliação dos dados obtidos caracterizando os períodos de medições, o comportamento climático do ambiente e as possibilidades de utilização e ajuste dos sistemas, assim como a indicação das principais estratégias de controle ambiental identificadas para minimizar os efeitos nocivos dos valores e variações de temperatura e umidade levantadas. Também é avaliada especificamente a possibilidade de aplicação de um sistema de controle ambiental através do uso de insuflamento de ar. Além disto, são enumeradas as limitações decorrentes de características construtivas inadequadas do edifício em estudo, que interferem no controle ambiental adequado das condicionantes ambientais da reserva técnica. São indicadas então intervenções necessárias a serem feitas junto ao mesmo, que contribuam para a eficiência dos sistemas propostos.

Finalizando, no capítulo 5, com as conclusões obtidas sobre as avaliações feitas, destacam-se os principais conflitos em relação ao referencial teórico levantado, e a aplicabilidade destes parâmetros à realidade estudada. São realçados também os aspectos abordados em cada capítulo, assim como os critérios e sistemas identificados como ideais de serem aplicados no museu em estudo, sintetizando as principais recomendações da pesquisa. Outro aspecto importante evidenciado neste capítulo, está relacionado à abordagem projetual de edifícios que abrigam espaços museológicos, que muitas vezes sob a defesa de padrões estéticos ou de baixos custos, optam por tipologias arquitetônicas inadequadas à função de abrigo de acervos, como é o caso de uma reserva técnica de um museu. Sendo ao final indicada a necessidade do desenvolvimento de pesquisas complementares que ajudem a esclarecer e a desenvolver os métodos e tecnologia para conservação em museus.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Instituições de referência

Como ponto de partida da revisão bibliográfica, foi feita uma pesquisa sobre documentos, artigos, dissertações e instituições que tratam das questões relevantes à preservação de acervos e museus. Ao iniciar o processo de revisão, viu-se que, apesar de existirem centros de pesquisa no Brasil trabalhando sobre técnicas e métodos de restauro e conservação, especificamente sobre o assunto controle ambiental de museus muito pouco tem sido divulgado.

Entre as instituições brasileiras que participaram destas pesquisas está a Universidade Federal de Minas Gerais, através do Centro de Conservação e Restauração (CECOR), e a Associação Brasileira de Conservadores e Restauradores de bens culturais (ABRACOR) sediada no Rio de Janeiro. Estas instituições organizam cursos e eventos periódicos e procuram disseminar informações por meio de suas publicações, anais de seminários, guias e boletins.

O principal documento divulgado por estas instituições sobre o tema foi uma série de artigos publicados, originalmente em 1995, pela *The Commission on Preservation & Access*, órgão responsável pela orientação de procedimentos adequados para acesso e conservação de acervos (arquivos) nos Estados Unidos, material que foi posteriormente traduzido pelo Projeto de Conservação Preventiva em Bibliotecas e Arquivos, organizado pelo Arquivo Nacional no Rio de Janeiro com parceria de várias instituições nacionais em 1998.

Dentre outras referências internacionais consultadas estão as publicações e projetos do HPS *Heritage Preservation Services do National Park Service*, instituição responsável pela preservação do patrimônio histórico dos Estados Unidos, e também as publicações e projetos divulgados pelo GCI *Getty Conservation Institute*, instituição americana de fomento e desenvolvimento de pesquisas nas áreas de arte, museologia e preservação do patrimônio histórico, que, além de ter um importante papel de veicular trabalhos de pesquisa relacionados ao tema, realiza parcerias de pesquisa em vários países do mundo, tendo já desenvolvido parcerias com o CECOR no desenvolvimento de pesquisas sobre conservação de obras de arte no Brasil.

O GCI é um instituto privado dos EUA que dispõe de recursos próprios para investimento em pesquisa na área de conservação de obras de arte e museus, contando com técnicos qualificadíssimos em seu quadro funcional, mas que também abre as portas para pesquisadores de instituições externas desenvolverem trabalhos em parceria. Vários profissionais brasileiros, por exemplo, têm ficado na Califórnia, onde se localiza sua sede, trabalhando por períodos de um ou dois anos, desenvolvendo pesquisas e contribuindo para um intercâmbio técnico, sendo que um dos focos de pesquisa do GCI é centralizado em museus localizados em regiões de clima quente e úmido. Um dos projetos desenvolvidos pelo GCI, na área de conservação de acervos em clima quente e úmido, foi divulgado por Maekawa (2001) no *18th PLEA - International Conference on Passive and Low Energy Architecture - Renewable Energy for Sustainable Development of the Built Environment*, realizado em Florianópolis.

Além destas instituições citadas acima, temos de salientar o papel do CCI - *Canadian Conservation Institute* localizado em Ottawa, no Canadá, do CAL - *Conservation Analytical Laboratory da Smithsonian Institution*, localizado nos Estados Unidos, e ainda do IIC - *International Institute for Conservation of Historic Works*, localizado no Reino Unido. Estas instituições vêm desenvolvendo extensos trabalhos de pesquisa na área, sendo que muitos dos artigos utilizados neste trabalho são de profissionais que atuam nestas instituições e que vêm contribuindo para a discussão dos padrões a serem adotados e utilizados como referência. Grande parte destes artigos e publicações podem ser localizados através do site *CoOL Conservation On line* (<http://palimpsest.stanford.edu>), que é um projeto do Departamento de Preservação da *Stanford University Libraries*, no qual onde encontra-se um banco de dados com informações sobre conservação, podendo-se ter acesso a artigos, publicações e até *links* com outras instituições ligadas à conservação de arquivos museus.

Dentre as contribuições destas instituições pode-se citar as publicações de Stefan Michalski, do CCI, que esteve diretamente envolvido na formulação do capítulo do manual sobre o uso de sistemas de condicionamento de ar em museus, bibliotecas e arquivos do *ASHRAE Handbook HVAC Applications 1999*, sendo um dos membros do *Committee for Conservation of the International Council of Museums (ICOM –CC)*. O ICOM –CC é uma instituição que concentra as discussões e determinações mundiais sobre conservação, tendo encontros trienais reunindo representantes dos mais diversos continentes para debater e deliberar sobre ações e pesquisas que contribuam para o desenvolvimento da conservação do patrimônio histórico da humanidade, vinculando a seus encontros publicações referenciais sobre estas discussões.

O último encontro trienal do ICOM-CC se deu no Rio de Janeiro em setembro de 2002, onde foi possível estar a par de todas as discussões e pesquisas mais atualizadas a respeito do tema, estando presentes representantes de todas as instituições citadas anteriormente. Na oportunidade, surgiram apontamentos do próprio Comitê de Conservação para o desenvolvimento de mais pesquisas que retratem, de uma forma mais consistente, a realidade e as necessidades de instituições localizadas em países em desenvolvimento, tanto no que concerne ao clima e aos processos de degradação quanto ao acesso à tecnologia, onde ainda há muito por se fazer, já que a maior parte do referencial desenvolvido no mundo discute muito mais a realidade Norte Americana e Européia, focando regiões de clima frio e com suporte de tecnologia diferenciado.

## **2.2. Elementos condicionantes da conservação em museus**

### **2.2.1. O clima e o edifício**

Segundo Areces (2000), os elementos que mais incidem sobre a deterioração dos bens móveis (acervos e coleções) são “a umidade, temperatura, agentes biológicos, poeira e contaminantes atmosféricos, além dos efeitos da luz”. Da mesma forma, estes elementos atuam sobre as edificações que os abrigam, sendo então importante considerar que o edifício permanecerá continuamente exposto ao ambiente onde se encontra, sendo, por esta razão, determinante o conhecimento das características do clima e do entorno onde se localiza este Museu.

Conhecendo estas características, será possível avaliar as possibilidades de interferências de umidade, temperatura e insolação incidentes no entorno museológico, para que então consigamos tirar partido do edifício como um “filtro” das condições adversas do exterior, como citado por Trinkley (2000).

Toledo (1999), em seu trabalho, descreve os principais conceitos relativos à dinâmica de interação entre clima, ambiente e acervo. Cita que o clima é composto por diferentes características meteorológicas de diferentes regiões do globo terrestre, que envolvem, dentre

outros fatores, temperatura, umidade, chuva, vento, etc. e que um clima pode ser definido pela repetição destes fatores em diferentes regiões, que são condicionados por aspectos físicos como localização em relação ao sol, massas de ar, condições topológicas e geográficas etc. Ressalta também que estas características podem sofrer interferências por áreas urbanizadas, zonas desflorestadas, poluição, alterando seu comportamento natural. As interferências causadas pelo próprio edifício ou por um conjunto deles farão também com que a caracterização climática se diferencie, criando microclimas diversificados no entorno e no próprio interior da edificação. Estas interferências causadas por intervenções humanas irão realçar ou minimizar algumas das características climáticas da região.

Carvalho (1998) enfoca em seu trabalho o espaço como elemento de preservação de acervos, destacando as principais condicionantes consideradas por Ogden (1997), para a obtenção de uma conservação adequada. Dardes (1998) também traz este enfoque levantando as principais considerações relativas ao controle do entorno museológico.

Em seu trabalho, Carvalho (1997) assinala que a compreensão das relações entre o meio e o edifício, e entre o edifício e o acervo, baseadas nos princípios de transmissão de calor, são de grande importância para a definição da orientação, da forma, do volume e da escolha racional dos materiais de construção, que deverão resultar num melhor comportamento térmico da edificação, possibilitando a redução do uso dos aparelhos mecânicos de climatização. Ela explana que estes conceitos deveriam ser considerados desde a fase inicial do projeto, pois as soluções para controle climático das edificações não devem ser encaradas como dispositivos que se podem superpor a uma obra já acabada, porém, o que vemos na prática é que, em geral, estas preocupações são deixadas em um segundo plano. Em seu trabalho, ela explora os processos de transferência de calor conceituando quais os ganhos e perdas de cada opção a ser feita conforme as principais necessidades de um acervo.

Ela ressalta que os mecanismos de transmissão do calor que interferem nas variações de temperatura são a condução, a convecção e a radiação, sendo os fenômenos envolvidos complexos, já que ocorrem simultaneamente. A autora ainda diz que outras fontes de ganho de calor internas de um ambiente devem ser consideradas, como ganhos de calor referentes à presença de pessoas, dos aparelhos de iluminação ou mesmo resultantes do acionamento de equipamentos mecânicos.

Já a evaporação e a condensação serão resultado da dinâmica de variação da temperatura e concentração de umidade no espaço, sendo que os níveis de variação de temperatura e umidade

em um espaço dependerão da capacidade do edifício em transmitir ou amortecer as condições do meio externo ao interior do mesmo.

Dentre outros trabalhos que estudaram a interferência do edifício sobre o desempenho climático interno da edificação está o de Papst (1999), que destaca que a capacidade de atraso e amortecimento térmico está diretamente correlacionada com a capacidade térmica dos materiais constituintes do envelope do edifício, ou seja, o quanto estes materiais que compõem as paredes e cobertura do edifício são capazes de amortecer ou retardar as variações de temperatura e, por consequência, de umidade no ambiente interno. A capacidade térmica vai interferir no quanto o edifício vai absorver ou armazenar calor, e dependerá de características como densidade e espessura dos elementos de vedação.

Especificamente o atraso térmico expressa a diferença de tempo em que ocorrem as temperaturas máximas externa e internamente ao ambiente, o atraso térmico vai ser maior ou menor em função da condutividade térmica ( $\lambda$ ), do calor específico ( $c$ ), da densidade absoluta ( $d$ ) e da espessura do elemento de vedação. Ao estimar o atraso térmico de um ambiente, estaremos estimando em que horário ocorrerá o pico máximo de temperatura internamente, sendo que, para a cobertura, recomenda-se um longo atraso, pois será está exposta, na maior parte das horas do dia, à radiação. Papst (1999) ainda enfatiza que, como é caro construir coberturas com muita inércia térmica, que acarretaria um grande atraso térmico, recomenda-se o uso adicional de isolamento.

Já quando avaliamos a capacidade de amortecimento do edifício, estamos avaliando a capacidade em atenuar este pico de temperatura, já que o amortecimento tem a propriedade de diminuir a amplitude das variações diárias de temperatura. Como o amortecimento relaciona a amplitude de temperatura interna com a amplitude externa, se não houver capacidade alguma de amortecimento do edifício, ela será igual a um, e quanto mais eficiente for esta capacidade de amortecer estas variações, mais próxima de zero ela será.

Toledo (1999), em seu trabalho de doutorado junto ao *Institute of Archaeology da University College London*, desenvolveu uma investigação sobre o desempenho térmico de museus localizados em regiões de clima quente e úmido, especificamente em três museus localizados nas cidades de Recife e Olinda, abordando a problemática das diferentes tipologias arquitetônicas observadas. Durante o período de um ano, foi analisado o comportamento de cada um dos três museus, no intuito de avaliar as características arquitetônicas e as estratégias de controle passivo que poderiam ou não contribuir para um ambiente interno mais ou menos

estável, diante das condições climáticas locais. Após a coleta e análise dos dados, foi possível se ter uma idéia do desempenho e das características de cada edifício em relação ao clima local, quente e úmido. Os dados do clima local foram analisados através de dados de uma estação meteorológica e não de dados do entorno direto, sendo caracterizado com uma média anual de temperatura em torno dos 26 °C, e umidade relativa, em torno de 79%.

Além dos dados experimentais, Toledo (1999) desenvolveu simulações computacionais nas quais modelou as situações averiguadas para uma melhor avaliação do comportamento destes edifícios. Frente a isto, ela salienta algumas de suas conclusões realçando que o ambiente interno mais inadequado foi aquele apresentado pelo edifício mais antigo, do século XVIII, o que abriga o Museu de Arte Contemporânea de Pernambuco. Originalmente uma prisão religiosa, localizada em um edifício de dois pavimentos, de pequenas proporções, mas imponente, com paredes grossas, muitas janelas e um telhado alto e aparente. Foi identificado que seu interior era o mais úmido e o mais instável dos três museus, apresentando, durante todo o ano, condições piores do que as externas. Além da excessiva umidade interna, o edifício esquentava e esfriava muito rapidamente, no intervalo de um dia, por ser a sua cobertura de telha vã e as janelas estarem permanentemente abertas, causando instabilidade ambiental, por ser extremamente permeável às condições externas. No entanto quando simulações feitas previam o fechamento das aberturas em determinados períodos e a colocação de forro junto a cobertura, esta excessiva permeabilidade foi controlada, passando a ter um comportamento ao controle das variáveis de temperatura e umidade.

Toledo (1999) ainda relata que, comparando dados externos e internos, pôde-se observar que o único museu com capacidade para neutralizar as condições externas e manter uma certa estabilidade climática interna, apesar de ser muito ventilado, foi o Museu do Estado de Pernambuco, sendo um edifício de dois pavimentos do século XIX, de proporções médias, simétrico e avarandado, com paredes altas e delgadas, com um número maior de janelas e portas do que o edifício anterior, que são abertas pela manhã e fechadas à noite. Embora seu interior seja o mais quente, foi o que apresentou a menor oscilação diária, o que se atribui a dois condicionantes físicos do edifício: a varanda, que reduz os efeitos diretos do sol nas paredes externas, sobretudo naquelas voltadas para o poente; e as janelas que, fechadas à noite, mantiveram o ambiente interno quente e a umidade relativa estável.

Já o Museu do Homem do Nordeste, instalado num edifício do século XX (década de 60), foi concebido originalmente como museu. É um edifício moderno, com dois pavimentos, de

grandes proporções, paredes finas e teto plano, em concreto. Foi naturalmente ventilado até o início da década de 80, quando foi então fechado e reformado, sendo instalado um sistema de condicionamento de ar. Este museu abriga uma vasta coleção antropológica. De acordo com Toledo (1999), este edifício apresentou grandes variações diárias, com reduções drásticas de umidade e temperatura internas, as quais coincidiam com o funcionamento intermitente dos equipamentos de condicionamento de ar. Entretanto, o interior deste museu, mesmo estando com os equipamentos desligados, manteve-se o mais seco dos três. Isto, segundo ela, deve-se a dois condicionantes do desenho atual: à ausência de janelas e às paredes finas, quase ocas (de tijolo perfurado), que não acumulam umidade.

Por outro lado, algumas lições positivas foram tiradas do edifício do Museu do Estado de Pernambuco (séc. XIX), onde os fatores como sombra e ventilação natural provaram ser grandes instrumentos de controle climático, sobretudo se o edifício com estas características for aberto durante o dia, mas fechado durante a noite. Em geral, as superfícies localizadas à sombra tinham a mesma temperatura do ar, o que levou à recomendação da utilização de recursos de sombreamento de fachadas expostas para a redução dos ganhos de calor ao mínimo possível, principalmente se a construção for leve.

Neste sentido, ela menciona também a importância da redução dos ganhos térmicos pela cobertura, já que em regiões de clima quente e úmido são, em geral, as partes mais expostas e, por isto, mais responsáveis pelos ganhos térmicos do edifício, principalmente pelos grandes picos das flutuações diárias. Desta forma é recomendado o isolamento térmico da cobertura.

Papst (1999) salienta em seu trabalho discussões feitas por Szokolay a respeito de simulações feitas sobre edificações em clima quente e úmido, com diferentes capacidades térmicas, avaliando a interferência da ventilação referente ao desempenho térmico de algumas tipologias. Nestas avaliações, é citado que as melhores variações construtivas foram as sombreadas e com ampla ventilação. Entretanto, é realçado que, para um edifício com grande inércia térmica, o uso de isolamento adicionado à cobertura tem um efeito ruim se o prédio tiver apenas 1 troca de ar por hora e não for sombreado, sendo que os ganhos de calor interno e externo aumentam a temperatura interna acima da externa, e o isolamento na cobertura dificulta a dissipação do calor, tornando as condições internas piores do que as condições externas. Porém, com ventilação de 10 trocas de ar por hora, o isolamento na cobertura torna-se benéfico, ressaltando ainda que o uso de coberturas claras e refletivas mostra-se sempre benéfico para atenuar os ganhos de calor pela cobertura. Já a mesma edificação com sombreamento apresentou

melhor desempenho térmico do que as edificações leves, demonstrando que o uso de inércia térmica associado a uma correta orientação, sombreamento e ventilação apresenta um melhor desempenho térmico do que uma edificação com menor inércia térmica.

Entretanto, ela ressalta que o uso de inércia térmica é recomendado para uso comercial, já que o ganho de calor armazenado na inércia térmica durante o dia pode ser liberado no período noturno quando não há ocupação num escritório, o que poderíamos concluir que, teoricamente, seria adequado para ambientes de museus, desconsiderando a problemática do ganho de umidade.

O grande enfoque destas pesquisas se centra nos parâmetros referentes às necessidades do conforto humano, como, por exemplo, os trabalhos de Andrade (1996) e Papst (1999), nos quais indicam que em se tratando da realidade de Florianópolis, a temperatura e a umidade estão, em geral, em níveis muito mais altos que os requeridos na maior parte do ano, e a que temperatura nos meses de verão fica acima e no inverno chega a níveis inferiores aos indicados para conforto, de modo que muitas vezes há dificuldade de controlar esta mediação entre clima externo e interno apenas com a edificação, descartando os sistemas de condicionamento de ar.

Todavia, King e Pearson (2001) ressaltam que os seres humanos têm condições de adaptabilidade diferentes do que objetos museológicos, e que por mais úteis que possam ser as estratégias para minimizar o desconforto humano, essas abordagens tem uma aplicabilidade restrita à manutenção de ambientes próprios para a conservação de objetos, porque, apesar das variáveis ambientais serem interdependentes, nenhuma das compensações sensoriais exercidas pelo ser humano é pertinente aos objetos. Um exemplo citado por eles é de que para as pessoas a redução da UR, quando as temperaturas estão altas, favorece a sensação de conforto, por possibilitar maior evaporação da transpiração, porém, num objeto de madeira, poderia apressar seu ressecamento. Ou ainda, diante de uma temperatura fria do ar, as pessoas tendem a fazer uma compensação, procurando alguma forma de irradiação de calor para se aquecerem, porém, para objetos em ambientes frios, a exposição a alguma forma de irradiação de calor poderia promover tensões diferenciais de temperatura que seriam destrutivas.

Hoje em dia existem várias áreas de pesquisa se dedicando ao estudo e desenvolvimento de uma arquitetura bioclimática, a qual, pelo adequado desenvolvimento projetual, tende a ter um bom desempenho climático frente às características peculiares do ambiente onde se encontra.

Toledo (1999), em sua tese, levanta algumas questões a respeito da arquitetura vernacular, dizendo que muitos dos edifícios antigos dependiam exclusivamente de sua tipologia

construtiva para amenizar as variáveis climáticas. E que pós era industrial cada vez mais a arquitetura passou a depender de sistemas mecânicos para contornar estes problemas, apesar de existirem alguns arquitetos que, a despeito da produção em massa, se preocupavam com a função de abrigo de um edifício, desenvolvendo ou aperfeiçoando elementos arquitetônicos para resolver as questões ambientais.

Portando, em ambas, arquitetura tradicional e moderna, podemos encontrar exemplos de soluções bioclimáticas para o edifício. Destaca ainda que, com respeito a experimentos com novos materiais, muitos edifícios modernos têm sido construídos com preocupações tanto com a conservação material como com o conforto humano, tendo bons exemplos de controle ambiental passivo, inclusive em ambientes de arquivos e museus, porém, ainda não muito disseminados, principalmente nos países de terceiro mundo.

No que tange aos parâmetros referentes às necessidades de conservação de acervos, as exigências de controle ambiental se tornam bastante restritivas, considerando a realidade de países de clima tropical, estes níveis são dificilmente obtidos por um condicionamento natural, sobretudo quando o edifício não foi projetado ou construído com o enfoque bioclimático.

Outras problemáticas correlacionadas entre o edifício e as condicionantes ambientais são abordadas especialmente quando o enfoque se dá a edificações de valor histórico. No entanto, estas observações são pertinentes a qualquer avaliação estratégica de um edifício que abriga um acervo antigo ou contemporâneo.

Outro problema apontado pela literatura é que, geralmente, instituições museológicas alojadas em edificações de valor histórico não comportam a instalação de sistemas de ar condicionado, tendo que trabalhar apenas com equipamentos alternativos como desumidificadores, ventiladores e purificadores de ar, que muitas vezes não têm alta precisão no controle dos níveis requeridos. Segundo Park (1999), o desenvolvimento de soluções alternativas para estes espaços é necessário, mas ratifica que, para se obter êxito em tal tarefa, é imprescindível que o projeto de um museu envolva uma equipe multidisciplinar, na qual estejam presentes profissionais das áreas de arquitetura, engenharia mecânica, civil e elétrica, além de especialistas em conservação de acervos.

Esta exigência faz-se necessária para que haja uma compreensão correta do edifício, de seu acervo e do sistema de controle ambiental mais adequado a atender aos requisitos de conservação tanto do patrimônio móvel como imóvel.

Ainda Park (1999) assinala que muitos dos edifícios históricos possuem soluções de baixa tecnologia, decorrentes de suas tipologias ou elementos arquitetônicos, que contribuem para uma melhor eficiência no controle ambiental e que têm de ser melhor exploradas.

Para que isto seja possível, precisam ser identificadas as características deste edifício, sendo estudado seu comportamento em relação ao clima externo e ao microclima resultante em seu interior, e que tipo de interferência este comportamento poderá ter sobre o acervo museológico.

Park (2001) ainda destaca que os profissionais envolvidos em projetos de adequação de edifícios históricos necessitam estar familiarizados com suas necessidades e deveriam equilibrar fatores complexos como:

- a preservação da arquitetura histórica (estética e conservação);
- exigências impostas por sistemas mecânicos ou equipamentos requeridos (monitoramento ou ventilação, por exemplo);
- legislação envolvida (normalizações, códigos de obras, segurança e saúde);
- exigências da instituição responsável (curadores ou diretores dos museus);
- exigências de conforto e segurança;
- questões como custos e facilidade de manutenção e substituição dos sistemas.

Travis (1994), Trinkley (2000) e Park (1991 e 1996) relacionam os principais sinais de degradação dos bens históricos decorrentes das interferências climáticas, indicando que:

- Problemas com umidade excessiva, através de infiltrações pela cobertura ou esquadrias, ou, migração de umidade por pisos ou paredes, causam deterioração de rebocos, revestimentos, alvenarias, forros ou lajes, ou até mesmo de elementos estruturais do edifício.
- A exposição a grandes variações de temperatura e o posicionamento ou uso inadequado das aberturas para ventilação podem também contribuir para agravar a deterioração dos materiais construtivos, assim como reduzem as condições de conforto humano e de conservação dos acervos localizados em seus espaços.
- Os bens móveis (acervos e coleções) acabam sofrendo os mesmos efeitos de degradação da edificação, pois se ela não está atuando como um filtro ou barreira para estas variações

climáticas, tanto os materiais de acervo como os materiais construtivos sofrerão efeitos de degradação, devido à exposição a variações climáticas em níveis extremos e inadequados.

Com relação às problemáticas de conservação decorrente da umidade em edifícios históricos, ainda podemos ressaltar as observações de Nappi (1996) e Alvarez.(1994), que salientam que a deterioração de alvenarias e rebocos em edifícios históricos podem ser resultado do excesso de umidade em suas superfícies. Em geral, edifícios históricos, localizados em regiões litorâneas, com paredes espessas e sem impermeabilização, podem vir a absorver uma grande quantidade de água, e pela presença de sais (cloretos e sulfatos) em seus materiais construtivos, ao acontecer a evaporação desta umidade interna, o vapor traz para a superfície estes sais, muitas vezes ocorrendo o processo de cristalização superficial. Dependendo da temperatura e umidade relativa do ar adjacente à parede estes sais podem voltar ao estado de solução, se este processo for repetitivo, poderá causar a deterioração destas superfícies desagregando rebocos pela incorporação desta solução e o conseqüente aumento de volume em sua rede cristalina. Além disto, esta umidade superficial pode contribuir para o incremento de umidade ao ambiente interno.

Outro aspecto relevante levantado é que a retirada de materiais de construção originais ou de determinados elementos arquitetônicos destes edifícios é muitas vezes irreversível, e na maioria das vezes, não se dispõe mais de tecnologia ou material adequado à sua reposição. Os mesmos até poderiam ser reproduzidos ou substituídos com materiais similares, mas deixariam de ser testemunhos da história.

Os conceitos sobre restauro e preservação de bens históricos, móveis ou imóveis, têm evoluído muito nas últimas décadas, e uma das posturas que se tem tomado a respeito é a da conservação preventiva (ARECES, 2000).

Esta postura prevê justamente que o cuidado com o bem a ser preservado deve ser tal que se evite ao máximo a necessidade de substituição de elementos ou materiais originais, sendo para isto necessário que se adotem procedimentos conservacionistas em sua manutenção periódica, para que não haja necessidades posteriores de intervenções de restauro, o que significaria que parte deste acervo já foi comprometida e deveria ser reconstituída ou substituída. Desta forma, devemos tomar conhecimento de quais são os critérios mais adequados a esta manutenção ou conservação preventiva tanto no que diz respeito aos bens móveis como imóveis.

### 2.2.2. Considerações sobre o planejamento do edifício

Segundo o manual para projeto de sistemas de condicionamento de ar da ASHRAE (1999 *Handbook, HVAC applications* capítulo 20) para museus, bibliotecas e arquivos, são indicados alguns fatores a serem considerados no desenvolvimento de projetos para espaços de guarda de acervos:

- A relação entre forma do edifício, sua orientação solar, e as possibilidades de controle ambiental passivos.
- A quantidade de aberturas, quando estas são um grande percentual de área de superfície exterior, sua carga de ganho de calor pode ser parte significativa do total da carga necessária para um eventual condicionamento do ar. Além do que, a luz natural pode ser destrutiva para o conteúdo do edifício, principalmente se incidir diretamente sobre o acervo.
- O controle de ruído e vibrações, interno e externo.
- Qualidade e quantidade do ar, interno e externo: com o objetivo de poder prever os sistemas de ventilação ou condicionamento, e a necessidade de filtros apropriados para evitar efeitos de poluição atmosférica, ou emissão de gases por materiais construtivos ou do próprio acervo.

Este manual também cita a importância destas considerações não só em novos projetos, mas também em projetos de reforma ou restauração de edifícios existentes, descrevendo que a preocupação com uma reforma se dá justamente pelo possível aumento de custo gerado pela inserção de novas estruturas, como também pelo desejo de preservar melhor edifícios de significado histórico.

A deterioração de qualquer acervo pode ser reduzida pelo controle de temperatura, umidade, luz solar e entrada de partículas. As recomendações do manual justamente realçam que há discordância nos limites aceitáveis de controle e indicam como chegar a um acordo entre as diferentes necessidades.

Destaca que edificações que servem para áreas de exposições são usualmente bastante abertas, para promover a fácil circulação de pessoas, porém, diferentes exposições podem requerer condições ambientais contrastantes e uma divisão de espaços mais criteriosa.

Além disto, o manual salienta que museus, arquivos e bibliotecas têm dois grupos de preocupações a serem abordadas, o primeiro trata de questões ligadas à saúde e segurança, enfocando sobre a concentração de substâncias arriscadas, como gases, temperatura, velocidade e umidade relativa do ar. O segundo grupo de necessidades diz respeito à classificação e exigências das coleções, nem sempre fáceis de serem resolvidas, até pelo fato de que geralmente existem conflitos entre tipos de coleções diferentes.

Portanto, a definição de qual o comprometimento de risco decorrente dos valores de UR e T tem sido discutido por vários pesquisadores. Porém, uma questão é consenso, para podermos decidir quais as condições necessárias, é importante classificar muito bem os espaços do edifício, o que se pode fazer identificando a função e o uso de cada um deles, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 Classificação de Salas para Museus e Bibliotecas

Espaços:		Alta fonte interna de contaminantes (suja)	Baixa fonte interna de contaminantes (limpa)
Coleções	Não acessíveis ao público	Laboratórios de conservação, oficinas museológicas. Coleções “molhadas” (mantidas em vidros mal vedados, passíveis de evaporação de álcool, como em coleções de história natural) Coleções fotográficas (produção de vapores de ácido acético.)	Muitas áreas de estocagem ou guarda do acervo, as quais são denominadas, em geral, de <b>RESERVAS TÉCNICAS</b> .
	Acessíveis ao público	Vitrines de exposição do trabalho de conservação em progresso	Galerias e salas de leitura
Não coleções	Não acessíveis ao público	Escritórios de fumantes (incomum)	Escritórios (não fumantes)
	Acessíveis ao público	Cafeterias, salas de descanso, espaços onde é permitido fumar	Espaços públicos com preparação de alimentos ou fumantes.

Fonte :Adaptação feita a partir da tradução da Tabela 1da ASHRAE (1999) *Applications Handbook* – pág.20.2

De acordo com o manual da ASHRAE (1999), cada classificação necessitará de diferentes padrões de temperatura, taxas de ventilação, estratégias de insuflamento de ar, etc., conforme esta necessidade, estas áreas deveriam desenvolver sistemas de condicionamento de ar independentes. Porém, no melhor dos casos, as coleções são colocadas separadamente de visitantes, técnicos e pessoal administrativo ou de serviços. Quando a separação não é possível, processos e atividades que ponham ameaças às coleções podem ser física e mecanicamente separados das coleções. Sistemas de controle ambiental separados para áreas de coleções e não coleções permitem isolamento de ambientes e podem reduzir os custos de projeto de áreas de não coleção. Estas implicações de projeto para a redução dos gradientes são muitas vezes mais eficientes que a distribuição de ar comum ou a utilização de altas taxas de troca de ar.

Ressalta ainda que a seleção do sistema de condicionamento de ar deveria partir de um enfoque global, e que freqüentemente as soluções mais prováveis não atendem a todos os critérios para todos os espaços.

Uma forma típica, particularmente em museus de belas artes, é se tratar escritórios administrativos e espaços de coleções distintamente. Contudo, riscos podem surgir para a coleção se os escritórios não forem controlados e passarem, no entanto, a serem usados para a exibição de coleções.

Outros espaços como áreas de acesso, *halls*, salões ou *lobbys*, são os mais negligenciados ambientalmente em museus e bibliotecas. O projetista deveria assegurar que as cargas térmicas destes espaços fossem administradas e isoladas das áreas de coleções primárias, e ainda que se tomassem providências como a instalação de ante-salas que permitissem a transição entre ambientes sem que se tenha contato direto das áreas controladas com os acessos exteriores.

As recomendações do manual ainda abordam alguns dos problemas existentes com o envelope do edifício, ressaltando que, em geral, estes edifícios não são projetados para o propósito de abrigar museus, bibliotecas e arquivos. Sendo que, freqüentemente, surge a necessidade de solucionar problemas de controle climático, o que normalmente é solicitado a engenheiros mecânicos que projetem sistemas de condicionamento auxiliares. Todavia ações como estas necessitariam de uma análise complementar entre diferentes profissionais como arquitetos e engenheiros civis, que poderão, conjuntamente com o engenheiro mecânico, pensar uma melhor adequação destes sistemas às características construtivas do prédio ou mesmo à organização espacial do mesmo.

Enfocando a diversidade de tipologias de edifícios, o manual da ASHRAE (1999) cita uma classificação feita por Conrad, que estipulou conforme tipologia construtiva e uso do edifício suas possíveis limitações de controle, identificando qual a classe de controle possível para cada edifício. Nesta classificação, ele enumera desde edifícios abertos sem controle climático até edifícios com controle parcial e com controle preciso, destacando que edifícios construídos com o propósito de abrigarem museus, bibliotecas de pesquisa, galerias, salas de armazenagem, deveriam ter estruturas isoladas, vidros duplos, portas duplas, barreiras de vapor e sistemas de aquecimento ou resfriamento especiais (conforme necessidade climática da região) com controle de estabilidade, além do controle de umidade com constante precisão.

Com relação ao clima local e aos cuidados com o envelope do edifício, o manual aborda extensivamente cuidados a serem tomados nos períodos de inverno, enfocando logicamente os

problemas relacionados às baixíssimas temperaturas ocorrentes nos EUA e Europa, em contraste com ambientes aquecidos, e os problemas de condensação em superfícies gerados por tais gradientes de temperatura e umidade.

O manual ainda enfatiza algumas questões sobre a possibilidade de utilização de zonas enclausuradas, nas quais o uso de uma sala dentro de outra sala ou um casulo proporciona um melhor controle de umidade no espaço de museu. Esta estratégia tem sido especialmente usada para criar zonas de exposição ou estocagem em edifícios históricos. O conceito tem sido aplicado principalmente em ambientes, dentro de salas existentes, e em uma zona de salas bem controladas, envoltas por uma zona perimetral de salas não bem controladas.

A intenção, em todos os casos, é para evitar contato direto entre ar de ambientes com umidade e temperatura controladas com o envelope externo do edifício, que, no caso de climas frios, estará em contato com temperaturas baixíssimas, ou, no caso de lugares de insolação excessiva, o ambiente controlado poderá estar protegendo suas paredes limítrofes da radiação direta. Desta maneira, clausuras também reduzem o risco de gradientes de T e UR próximos a paredes de zona controlada.

### **2.3. Os processos de degradação decorrentes das relações entre Umidade Relativa e Temperatura.**

Os efeitos de degradação em geral são percebidos pela presença de alterações dimensionais, ressecamento, biodeterioração, corrosão ou outros efeitos decorrentes das reações físico-químicas estimuladas por determinadas condições do meio e características dos materiais. (VALENTIN (et. al. 1998), SEBERA (1994)).

Para Toledo (1999), o papel mais importante da temperatura é justamente sua influência sobre a umidade relativa do ar e os gradientes de pressão de vapor, sendo responsável pelo movimento de umidade do ambiente para os materiais. Os materiais são muito reativos às condições ambientais e estão constantemente em movimento, interagindo e trocando de energia com o ambiente, e só eventualmente conseguem chegar a um ponto de equilíbrio se as condições do entorno tornarem-se estáveis.

Padfield (1998) diz que a sensibilidade humana se dá muito mais à temperatura que à umidade e, por esta indiferença perceptiva, as variações de umidade em casas e escritórios não possuem, na maioria dos casos, um controle de umidade, apesar dos problemas respiratórios serem em geral decorrentes desta situação, desencadeando reações alérgicas graves pela proliferação de mofo e ácaros.

Entretanto, a influência da umidade sobre os materiais é muito grande, pois são afetados tanto pela alta como pela baixa umidade, já que estão constantemente tentando alcançar um equilíbrio com o meio. A discussão deste equilíbrio é complicada pelo contraste entre o comportamento da água no ar e nos materiais, pois o máximo conteúdo de vapor de água no ar sobe abruptamente com a temperatura crescente, enquanto que o conteúdo de água de materiais, depende principalmente da umidade relativa, nem sempre sendo afetado pela temperatura. Materiais higroscópicos como a celulose, por exemplo, absorvem água de acordo com a umidade relativa, com somente uma leve dependência da temperatura, Figura 1.

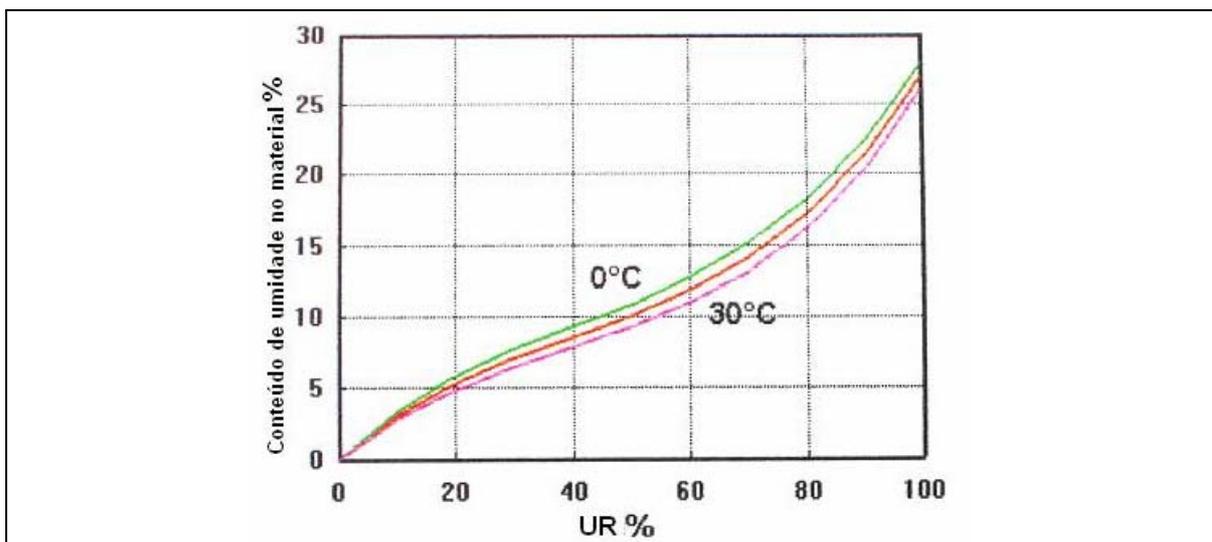


Figura 1 – Isotermas de Adsorção da Celulose

Fonte: PADFIELD 1998

Justamente o que podemos observar na Figura 1 é que, mesmo a temperatura variando de 0 a 30° C em um experimento feito por Padfield (1998), a variação do conteúdo de umidade da celulose somente teve alteração significativa com o aumento da UR.

Com relação à degradação física, Padfield (1998) também descreve que conservadores de museus se interessam pela Umidade Relativa porque materiais orgânicos e objetos de museu alteram de tamanho conforme a variação de umidade relativa. Materiais laminados, tal como

pinturas a óleo, mobiliário revestido, etc., sofrerão fissuras pelo processo de contração ou dilatação diferenciada das várias camadas de materiais.

A causa fundamental de expansão e contração de materiais orgânicos, em particular, é grande quantidade de água em sua composição, como a água é que lhe dá flexibilidade ou elasticidade, quando submetido a alguma forma de restrição interna ou externa, pode vir a sofrer danos mecânicos, pelas flutuações de UR e T. Umidade relativa ou temperaturas muito baixas tem incrementado os efeitos de endurecimento de materiais orgânicos, tornando-os mais vulneráveis para fratura.

Junto ao manual da ASHRAE (1999) foram colocados resultados de pesquisas de Mecklenburg, Daly e Michalski, e Hedley, que têm coletado dados consistentes sobre o incremento de tensão para materiais de pintura tradicionais. As pesquisas desenvolvidas para atestar a capacidade de resistência a variações dimensionais foram feitas a partir do modelo de uma amostra contida de material orgânico com diferentes pinturas ou cola, submetida à redução de UR e T, observando-se que o material muitas vezes encolhe e endurece. Por outro lado, pintura acrílica aumenta a rigidez muito mais entre 5 °C e 21 °C que pintura a óleo; assim, a temperatura faria aumentar a vulnerabilidade da pintura acrílica para choque e danos de manuseio mais que para pintura a óleo.

O aumento da tensão de um material pode ser calculado a partir da capacidade de elasticidade e do coeficiente de expansão em relação às variações de UR e T. Segundo observações do manual da ASHRAE (1999), o critério que o CAL - *Conservation Analytical Laboratory da Smithsonian Institution* tem usado é o ponto de resistência do material à deformação irrecuperável, como critério limiar de evitar o dano e, conseqüentemente, estimar as flutuações permissíveis. Desses dados sobre coeficientes de expansão e tensão de resistência elástica, por exemplo, eles estimaram a permissividade de flutuação de UR em + ou - 10%UR em pinus e carvalho. Já utilizando o mesmo critério sobre outros materiais que eles têm estudado (pintura e cola), sugerem + ou - 15%UR como uma gama larga segura.

O manual da ASHRAE (1999) cita também que dados mais extensos sobre resistência ao stress por compressão estão disponíveis para todas as espécies de madeira no guia de madeiras *Wood Handbook USA – 1987*. Estes dados podem ser usados juntamente com dados de elasticidade de diferentes espécies, assim como, com os dados de conteúdo de umidade para obtenção da resistência de tensão e, conseqüentemente, da resistência de flutuação de UR, mostrando uma gama extensa de flutuações, porém, quase sempre centrada próximo de 15% UR.

Já quanto aos critérios do CCI *Canadian Conservation Institute*, é considerada a fratura como um critério de dano, usando em geral o padrão de fratura por fadiga em madeira e polímeros para extrapolar o efeito de múltiplos ciclos pequenos. Ou seja, assumindo um ponto de referência de alta probabilidade de fratura de único ciclo, verifica-se a variabilidade de UR possível para muitos artefatos de museus, sem que se extrapole o limiar de stress por fadiga. Isto é consistente como parâmetro de resistência, visto que a tensão de desempenho por *stress*, nestes materiais, corresponde à causa do aparecimento de rachaduras desprezíveis por pequenos ciclos repetitivos.

Ambos os pesquisadores notaram que o coeficiente de expansão na madeira e em outros materiais está no mínimo em uma UR moderada, devido às curvas isotérmicas de adsorção, assim, pontos fixos extremos de flutuações de baixa e alta UR tendem a ser mais arriscados. Ambos os modelos destas pesquisas assumiram a uniformidade dos materiais contidos, isto é, não consideraram a complexidade de objetos compostos por diferentes materiais, como complexas assemblagens que contêm lugares de concentração severa de tensão, ou ainda pinturas emolduradas, porém, pode-se dizer que, em uma primeira aproximação, muitos objetos laminares podem ser considerados nesta classificação, pois são menos vulneráveis devido à falta de restrição, como painéis de madeira flutuante, ou livros e papéis fotográficos com componentes que dilatam em harmonia razoável.

Dados fornecidos por Michalski (2000) mostram estimativas de risco de danos mecânicos em decorrência de flutuações de umidade e temperatura para alguns tipos de documentos, como registros magnéticos, imagens em pergaminhos, filmes fotográficos, pinturas, desenhos, aquarelas, entre outros tipos de suporte, sendo classificado o tipo de dano conforme a vulnerabilidade destes materiais. Ele ressalta que, caso estes valores ultrapassem os níveis temperatura de 30° C, e de UR de 75%, haverá alto risco de dano permanente

Com relação à degradação química, o manual da ASHRAE (1999) indica que ocorre uma rápida corrosão em metais em UR sobre 75%, por razões como o aumento de adsorção superficial de água. A adsorção de água em superfície limpa de metal cresce rapidamente, abaixo de 75%UR, aumentando a camada líquida superficial sobre 75%UR, sendo que o fenômeno é agravado se maior parte da superfície estiver contaminada por sais.

Em alguns casos, a UR é bem crítica, como em alguns minerais que hidratam, desidratam e até se dissolvem. Como minerais são partes de sal, muitas vezes localizados nos poros de rochas contaminadas, estas, em contato com metal, corroem, ou, junto a um espécime de história

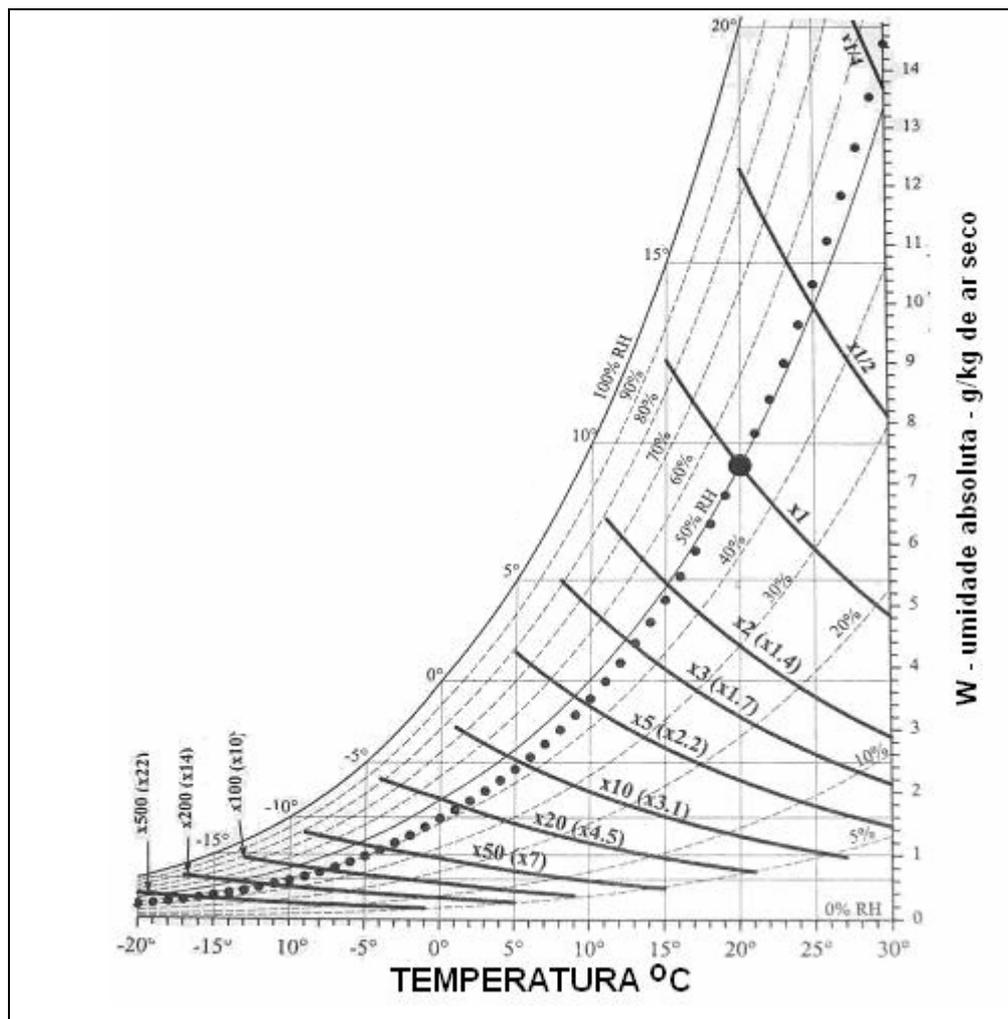
natural, podem desintegrar o objeto. Dúzias de minerais com distintos valores críticos de UR são conhecidos em coleções de história natural. Um dos mais importantes metais arqueológicos, bronze, tem uma complexa química de corrosão, com valores críticos de UR.

Esta variedade de requisitos nos deixa longe de possibilitar uma generalização dos padrões de UR, sendo freqüentemente usados para acondicionamento destes materiais mais suscetíveis, caixas de armazenamento locais, com pequenos sistemas de controle de umidade, como vitrines fechadas.

Em arquivos, a mais importante deterioração de registros modernos é devido à reação de ácido hidrólise, que afeta papéis, negativos fotográficos e mídia magnética (ambos registros analógico e digital). Michalski (2000) exhibe dados de estabilidade química de alguns tipos de suporte de registros arquivísticos, mostrando o tempo de vida característico em condições de 20° C e 50%UR que variam de 30 a 1000 anos, conforme material utilizado.

Segundo Michalski (2002), a relação entre temperatura e o incremento da deterioração foi primeiramente estudada por Arrhenius, que estabeleceu como se dão as reações químicas a partir da ativação de energia causada por variações de temperatura. A partir de estudos da equação de Arrhenius e de derivações feitas por outros autores como Sebera (1994), Michalski (2002) estabeleceu relações para tempo de vida relativo em função da UR e T, plotando em uma carta psicrométrica estas relações mostradas na Figura 2, na qual apresenta as linhas do tempo de vida relativo (isopermas) correspondente às condições de 20° C e 50% UR.

As isopermas mostradas são baseadas no valor médio de ativação de energia derivada da revisão de dados avaliados ( $100 \text{ kJmol}^{-1}$ ) e são as que mais representativas de deterioração de papel, filmes e revistas. Os valores em parênteses são baseados no valor extremo mais baixo de ativação de energia registrado ( $60 \text{ kJmol}^{-1}$ ) e são aqueles valores que melhor representam o decaimento de mídia magnética, encadernações e verniz amarelado. A linha pontilhada é a linha de constante EMC (equilíbrio do conteúdo de umidade), é o cálculo da média corrigida para madeira, papel e gelatina. A Figura 2 mostra, por exemplo, que materiais em 70%UR e 27° C terão  $\frac{1}{4}$  a menos de tempo de vida que materiais em 50%UR e 20° C.



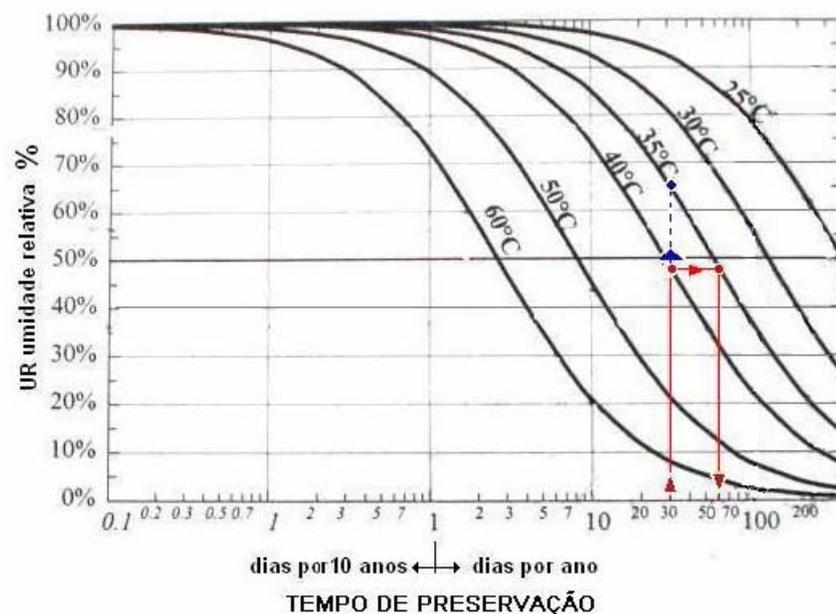
**Figura 2 - Linhas do Tempo de Vida Relativo sobre Carta Psicrométrica\*** Fonte: *Technical Bulletin 23 – Canadian Conservation Institute* Figura 1, página 2 . MICHALSKI (2000)

De acordo com as correlações, Michalski (2002) indica que, a cada 5° C de decaimento da temperatura, teremos o dobro de vida, na verdade, trata-se de uma aproximação empírica feita a partir de estudos de materiais específicos, como a madeira, e que são extrapolados para outros materiais diversos, tendo mais ou menos o mesmo comportamento.

As linhas de adsorção da madeira exibidas na Figura 3 destacam claramente estas correlações. Quando analisamos o gráfico, que mostra o tempo de vida em função das variações de temperatura e umidade, este se refere à redução do tempo de vida em condições quentes, (considerando como temperatura ideal de estocagem 20° C).

Na Figura 3, pode-se observar estas relações citadas de que, a cada 5° C de redução da temperatura, dobramos o tempo de vida do acervo, acompanhando-se as setas cheias vermelhas, pode-se ver que, se reduzimos a temperatura de 40° C para 35° C, mantendo a mesma UR, neste

caso 48%, dobraríamos o tempo de vida do acervo, de 30 para 60 anos. Porém, conforme ressalta Michalski (2002), se reduzirmos a temperatura, sem controle da UR, permitindo que ela aumente, acabaremos anulando os efeitos da estratégia de redução da temperatura para conservação do acervo, pois permaneceremos com o mesmo tempo de vida. Podemos observar, se acompanharmos a seta azul pontilhada, na qual mostramos a redução dos mesmos 5° C de temperatura, passando de 40° C para 35° C, sem controle da UR, permitindo que ela vá de 48% para 65%, permaneceríamos com o mesmo tempo de vida de 30 anos.



**Figura 3 - Linhas de Adsorção da Madeira x Tempo de Vida\*** Fonte: *Technical Bulletin 23 – Canadian Conservation Institute* Figura 4 página 3 MICHALSKI 2000.

Embora a precisa quantificação e o significado do tempo de vida de registros sejam discutíveis, todas as autoridades concordam que a deterioração de registros (como fitas de vídeo e negativos) pode torná-los inutilizáveis dentro de algumas décadas quando mantidos em salas em condições normais, e muito mais rápido, se estiverem em condições de temperaturas e umidade elevadas. Predições de tempo de vida especificamente de dados fotográficos têm sido derivadas pelo *Image Permanence Institute* Reilly (1995) e usadas para convertê-las predição em índices de preservação a serem utilizados para controle de degradação de diversos acervos.

Quanto à degradação biológica, Valentin et al. (1998), assinalam que a biodeterioração de materiais de acervos e coleções ocorre principalmente pela presença de insetos, fungos e bactérias, cuja proliferação é propícia quando os níveis de umidade e temperatura se mantêm

altos. Este é um problema que parece pequeno, mas é um dos fatores de maior responsabilidade por destruição de coleções no mundo.

Maekawa e Toledo (2000) citam que estas condições são favorecidas mais ainda em regiões de clima quente e úmido, onde estes níveis são altos, sendo agravadas quando estes acervos estão localizados em edificações ligadas a pequenas instituições culturais, que em geral têm dificuldades técnicas e financeiras para manter estes acervos sob condicionamento adequado. Observam também que coleções localizadas em regiões quentes e úmidas são ameaçadas habitualmente por ataques de insetos, fungos e bactérias, justamente porque as condições tropicais favorecem seu crescimento. Na realidade, o risco de perda de coleção devido à infestação biológica é de longe maior que os riscos causados por degradação química ou por danos mecânicos. Tradicionalmente, o tratamento dado a objetos infestados com fungos e bactérias era à base de fungicidas e desinfetantes, que freqüentemente provaram ser tóxicos. Porém, melhorando o ambiente de coleção, especialmente mantendo a umidade relativa (UR) a menos de 75%, é possível reduzir significativamente e mesmo parar com ataques de micro-organismo adicionais.

Insetos, por exemplo, têm um complexo ciclo de vida, começando com pequenos ovos, passando ao estado de larva, pupa e ninfa, para, por fim, chegar à fase adulta. Têm em cada fase um comportamento e necessidades diferentes, sendo que a larva e ninfa são muito destrutivas de materiais orgânicos. Por serem incapazes de regular suas próprias temperaturas, os insetos necessitam de aquecimento do ambiente para ativar seu metabolismo, eles se reproduzem rapidamente acima de 25° C, e lentamente entre 15 a 20° C, e nunca abaixo de 10° C. Neste sentido, os insetos são menos afetados pelas variações de umidade relativa, estando ativos tanto em 60% como em 20%.

Já os fungos são plantas heterotróficas e dependem de matéria externa para se desenvolver. Eles se adaptam a vários tipos de materiais orgânicos, crescem sobre superfícies úmidas, extraindo água de moléculas de substratos. Eles se reproduzem rapidamente, espalhando milhares de seus esporos pelo ar.

Os esporos sobrevivem nos mais variados ambientes, inclusive os prescritos como ideais para museus, podendo ficar dormentes por longos períodos, até achar condições para germinar. Esta condição significa altos níveis de umidade relativa (60 a 80%), com uma ampla variação de temperatura (5 a 30° C). Os fungos podem destruir quase todos os tipos de materiais por produzir enzimas, quebrando as cadeias de componentes químicos, e produzindo ácidos orgânicos, sendo

inclusive hoje tema de pesquisa na área industrial para utilização na destruição de materiais não recicláveis e poluentes como plásticos ou derivados de petróleo.

Seu crescimento inicial geralmente é superficial, podendo ser removido sem dano, com o tempo, no entanto, o ataque se aprofunda, criando “ramificações” para dentro de substratos, tornando-se irreversível, causando a formação de manchas ou desintegração.

Bactérias são organismos unicelulares, que se alimentam de ambos materiais, orgânicos e inorgânicos, sobrevivendo somente em soluções com água, o que significa UR entre de 70% e 100%. Fungos e bactérias vivem em simbiose, e as principais pesquisas sobre proliferação de fungos e crescimento de mofo existem na literatura de alimentos, o que provê limites mais rígidos de condições de risco, porque nos museus, mofo ocorre primeiro em superfícies contaminadas com açúcar, amido, óleos, etc, ou em objetos fabricados com fibras naturais, pele, ossos, etc.

A possibilidade de crescimento de fungos e bactérias depende do potencial de absorção de “água”, chamado de potencial osmótico ou *water activity* ( $a_w$ ), que está relacionado à disponibilidade de água superficial no objeto, sendo expresso pelo termo  $a_w$ . A água pura líquida tem  $a_w = 1$ , sendo que este número decresce quando são adicionados solutos à água, quando o  $a_w$  de determinado material ou substância for mais próximo de 1, mais propício será o crescimento de microorganismos. Materiais com conteúdo de umidade e *water activity* altos são ideais para o crescimento de micróbios em geral.

Micologistas quantificam a atividade da água ( $a_w$ ) medindo-se a umidade relativa do ar (UR) acima de uma amostra do material, no interior de um recipiente fechado e depois de se estabelecerem as condições de equilíbrio, sendo que a atividade da água ( $a_w$ ) pode ser considerada equivalente ao equilíbrio da umidade relativa.

Segundo Scott (2001), é comum acreditar-se que a ventilação impede o crescimento de mofo, de acordo com ele, isto só ocorrerá se esta ventilação puder influir nos fatores que determinam o crescimento de esporos, justamente diminuindo o potencial do  $a_w$ . Ele ainda ressalta que, além da ventilação e umidade relativa, a temperatura das superfícies também influirá no potencial de crescimento do mofo. Ele descreve que, quando um material é frio em relação ao ar adjacente, a umidade relativa desse ar aumenta, e em materiais hidrófilos ou permeáveis, o vapor tende a se deslocar do ar para as camadas superficiais e a atravessá-las, como resultado da diferença da pressão de vapor, aumentando o teor de umidade da superfície. A absorção pode continuar até atingir a capacidade máxima, ou até desaparecer o gradiente de

pressão. Quando o material é relativamente quente, a UR do ar adjacente se reduz e a umidade migra para a superfície.

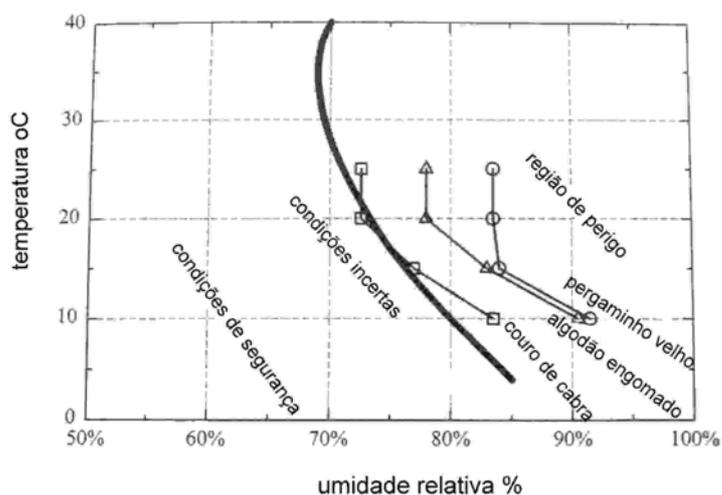
Scott (2001) também cita que outra característica que interfere nesta dinâmica é a permeabilidade das superfícies. Relata que, quando há uma mudança atmosférica que cause um pulso de maior pressão de vapor atmosférico, o vapor d'água desloca-se para o interior das superfícies permeáveis mais depressa quando o gradiente de pressão é acentuado, e mais profundamente quanto maior é o tempo em que se mantém esse gradiente, porém a quantidade efetiva de umidade que passa para o material pode ser minúscula conforme sua capacidade de absorção. Por exemplo, num material como a lã, o vapor ou a água condensada podem ser absorvidos em toda a massa do material, sendo que a umidade se mantém necessariamente numa concentração elevada nas camadas superficiais, mas se espalha por toda a massa. Já em materiais impermeáveis, como o metal ou o vidro e os revestimentos céreos ou gordurosos, só absorvem a umidade nas superfícies e não conseguem difundir-la por sua massa. Todavia, a poeira ou os contaminantes que aderem nas superfícies destes materiais conseguem absorver a umidade, fazendo da superfície uma camada super fina e reativa que proporciona o crescimento potencial de esporos de mofo.

Portanto, Scott (2001) conclui que a ventilação e a circulação de ar desfazem as camadas fronteiriças estáveis e os bolsões de ar que dificultam a evaporação, sendo que, quando a umidade evapora das superfícies, o teor de umidade do ar adjacente aumenta, entretanto, quando o ar adjacente se desloca e o ar de reposição tem UR mais baixa, a evaporação pode continuar. Quando a circulação do ar permite que a evaporação continue por mais tempo do que seria possível no ar parado, o teor de umidade e a atividade de água ( $a_w$ ) dos materiais podem ser menores do que se esperaria em condições de ar parado.

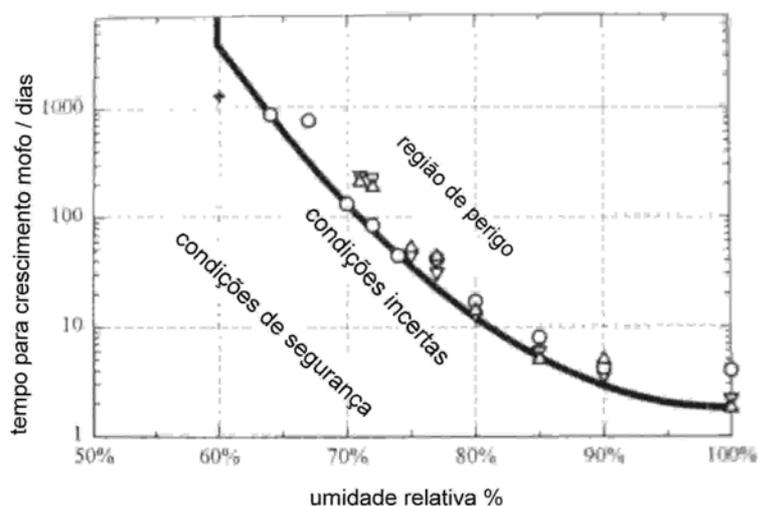
São mostradas na Figura 4, as relações entre temperatura e umidade relativa e os limites de controle para degradação biológica para alguns materiais, e na Figura 5, o tempo requerido para crescimento de mofo em alguns materiais conforme as variações de umidade relativa, com temperatura fixada em 25° C.

Na Figura 4, o que se pode observar é que, em temperaturas abaixo de 10° C, até poder-se-iam permitir níveis de umidade mais altos, chegando até os 80% de UR, entretanto, em temperaturas mais elevadas, entre 20 e 30° C, pode-se verificar crescimento de mofo em torno dos 70% de UR. Na Figura 5, é mostrado que, se a temperatura permanecer em 25° C, o mofo só

ocorrerá com umidade relativa acima de 60%, sendo indicado, como limite para nunca ocorrer mofo sobre qualquer material, em qualquer temperatura, mantê-lo abaixo de 60%UR.



**Figura 4 - Limites de Controle para Degradação Biológica\***temperatura fixada em 25°C



**Figura 5 – Tempo para Crescimento de Mofo x UR** \*temperatura fixada em 25°C

Fonte: figuras 4 e 5: ASHRAE (1999) Applications Handbook – pág.20.2

Na Figura 5, ainda podemos observar que, em UR igual a 70%, poderá aparecer mofo em torno de 100 dias para alguns materiais, sendo que, em menos de 1 semana, já ocorrerá mofo se a UR estiver acima de 85%. O limite para rápido crescimento de mofo apresentado está

razoavelmente correto, mas objetos porosos “parcialmente” secos, ou seja, que tenham sido submetidos à umidade excessiva e não tiverem sido devidamente secos, estão longe das condições de equilíbrio de UR, podendo ter comportamento diferenciado.

## **2.4. Das estratégias de controle ambiental**

A compreensão das diferentes características de um acervo e do edifício são aspectos primordiais para a escolha dos parâmetros a serem seguidos num planejamento de conservação de um museu. GÓMEZ (1999) ressalta a importância de reconhecer que cada tipo de material tem um comportamento diferente, sendo mais ou menos sensível às variações climáticas, o que nos fará estarmos atentos às características diferenciadas tanto dos elementos constituintes do acervo como dos materiais construtivos do edifício, buscando assim avaliar as condições ideais de controle para o conjunto a ser conservado.

Segundo o manual da ASHRAE (1999), o que devemos perseguir para desenvolver parâmetros para um clima apropriado de qualidade do ar interno para diferentes museus, bibliotecas e arquivos seria:

- conseguir com uma mesma condição de controle alcançar um largo número de diferentes e até contraditórios requerimentos do acervo.

Felizmente, algumas coleções têm uniformidade suficiente para suportar generalizações dos requerimentos, ou os museus dispõem de zonas com padrões de controle diferenciados, ou ainda, o museu tem um único tipo de coleção, o que é uma situação mais difícil, principalmente para coleções históricas.

Outro problema é quando objetos específicos são compostos por materiais agregados com diferentes comportamentos às condições ambientais, em que se tem de identificar os quesitos mais importantes para cada componente e os diferentes graus de sensibilidade às variações ambientais. Ou ainda, avaliar a suscetibilidade do objeto conforme a maneira que está exposto ou guardado, como exemplo, um livro exposto aberto terá uma suscetibilidade maior que fechado em uma prateleira com vários outros livros.

Portanto, um passo imprescindível que antecede a escolha da estratégia de controle ambiental é o monitoramento e análise destas relações entre as variações climáticas e as suscetibilidades dos materiais.

### 2.4.1. Os sistemas de monitoramento

De acordo com Craddock (2001), em geral os museus de médio e pequeno porte têm utilizado para monitoramento das condições ambientais equipamentos como psicrômetros e higrotermógrafos ou termohigrógrafos, como são mais conhecidos. Os psicrômetros normalmente são utilizados apenas para leituras pontuais e calibração de outros equipamentos, contudo, museus ou áreas de acervos de documentos ou objetos históricos de pequenas instituições muitas vezes só dispõem deste recurso. O psicrômetro possui dois termômetros de mercúrio, um com bulbo seco e outro úmido, o qual terá sua extremidade envolta em uma mecha de tecido molhada. O objetivo deste procedimento é identificar a diferença de temperatura entre os termômetros causada pelo resfriamento decorrente da evaporação de água do tecido junto ao bulbo úmido. Esta capacidade de evaporação indicará a quantidade de umidade relativa naquele momento, porém, sua leitura não é instantânea, ela é obtida correlacionando os valores de temperatura do termômetro de bulbo seco e de bulbo úmido numa régua de cálculo ou tabela psicrométrica, o que dificilmente será feito rotineiramente, várias vezes ao dia. Os psicrômetros podem tornar-se imprecisos quando as mechas de tecido não são mantidas limpas e úmidas ou não são expostas ao fluxo de ar necessário para promover a evaporação, os psicrômetros de parede são os piores justamente por não ficarem, na maioria das vezes, expostos ao fluxo de ar. Já os psicrômetros giratórios são mais precisos por possibilitar a movimentação do aparelho e devido fluxo de ar, sendo mais eficientes os que possuem um ventilador de aspiração movido a pilhas, que sopra o ar com regularidade sobre os bulbos, reduzindo a possibilidade do erro humano.

Já os termohigrógrafos são equipamentos muito mais úteis, pois eles permitem a medição contínua de temperatura e umidade relativa, além de fornecer leituras diretas. Eles são compostos por termômetros e sensores com propriedades elétricas que variam de acordo com a umidade relativa (ambos devem ser calibrados mensalmente por um psicrômetro). Este equipamento não exige movimentos nem cálculos especiais, fornecendo a leitura instantânea, sendo os dados registrados em gráficos contínuos em papel em períodos de sete ou trinta e um dias. Porém muitos acabam utilizando estes dados somente para consulta eventual ou até rotineira de averiguação dos níveis de temperatura e umidade internos. Outro agravante é que comumente o termohigrógrafo fica localizado em um único ponto do museu.

Outra limitação deste tipo de equipamento para monitoramento é que não concilia a avaliação das condicionantes ambientais com o controle simultâneo da utilização de outros equipamentos, como sistema de condicionamento de ar, ventiladores ou desumidificadores, fazendo com que a análise a ser realizada a respeito das interferências destes sobre o desempenho climático do edifício fique limitada e muito trabalhosa, além do que, em geral, não são feitas avaliações das variações climáticas externas ao edifício.

Existem hoje equipamentos eletrônicos de aquisição de sinais, como o *Hobo Temp Data Logger*, utilizados por Papst (1999) ou GÓMEZ (1999) em pesquisas de monitoramento ambiental para diversas finalidades, eles podem ser distribuídos pelos ambientes para coleta de dados, no entanto eles necessitam ser regularmente conectados a um computador para que seus dados possam ser trabalhados e analisados.

Outros métodos e equipamentos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de integrar estas informações. Inicialmente, o *Image Permanence Institute* (E.U.A) realizou experimentos para desenvolver um instrumento eletrônico para monitoramento ambiental que ao mesmo tempo registrasse os valores de temperatura e umidade no ambiente e pudesse mostrar, através de um pequeno monitor portátil, o resultado de estimativas sobre o índice de preservação deste acervo. Este índice relaciona o tempo de preservação do acervo em função dos valores de temperatura e umidade registrados pelos sensores. Os valores poderiam ser registrados e avaliados posteriormente mediante uma análise computadorizada. Este tempo de preservação foi estimado inicialmente por Sebera (1994), que desenvolveu um método de avaliação da degradação química da celulose decorrente das variações de T e UR, definindo a taxa relativa de deterioração, através das isopermas ou linhas de permanência, que correlacionam a velocidade desta deterioração. Nas figuras 6 e 7, são mostrados os diagramas de isopermas nos quais são mapeadas as faixas de temperatura e umidade onde pode ocorrer deterioração.

Na Figura 6, em preto fica a faixa onde as condições ambientais são inadequadas para papel (celulose), acima de 65% UR ocorre crescimento de mofo, abaixo de 20% UR, a perda de flexibilidade do papel pode levar à degradação física.

Na Figura 7, a faixa escura indica a faixa onde a deterioração é tão rápida que a permanência do papel passa a ser, no máximo, um quarto daquela observada para as condições de 20° C e 50% UR, ao lado é indicada também qual seria a zona respectiva ao conforto humano.

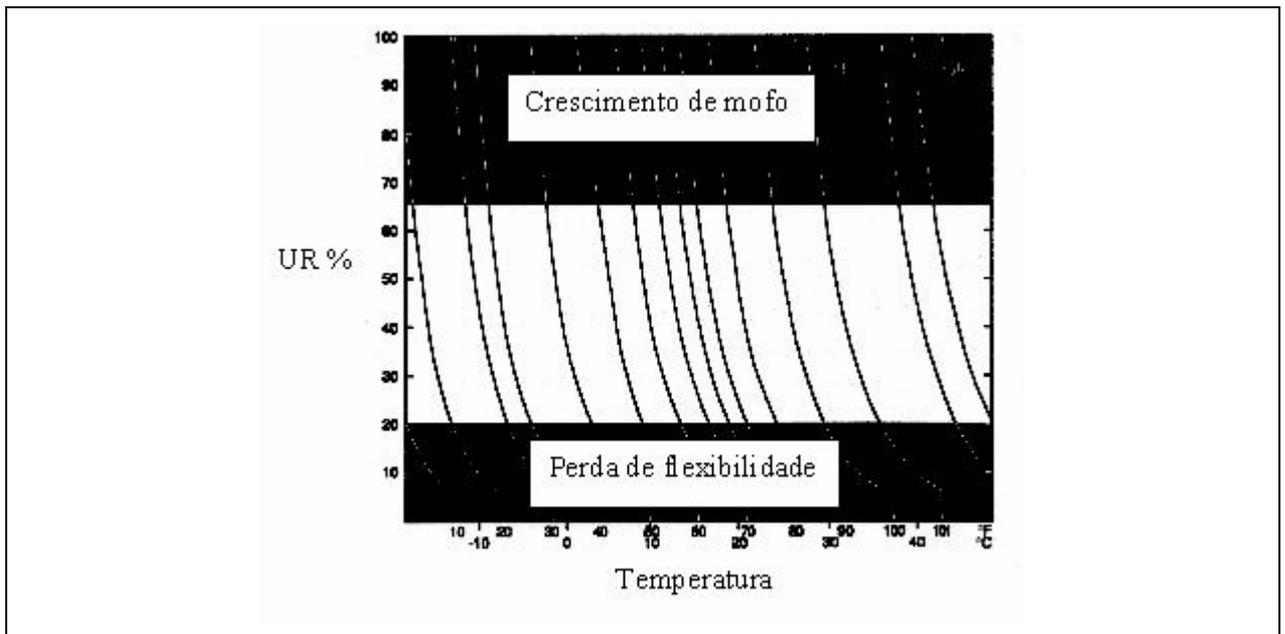


Figura 6 - Diagrama de Isopermas de Umidade Relativa Percentual Versus Temperatura

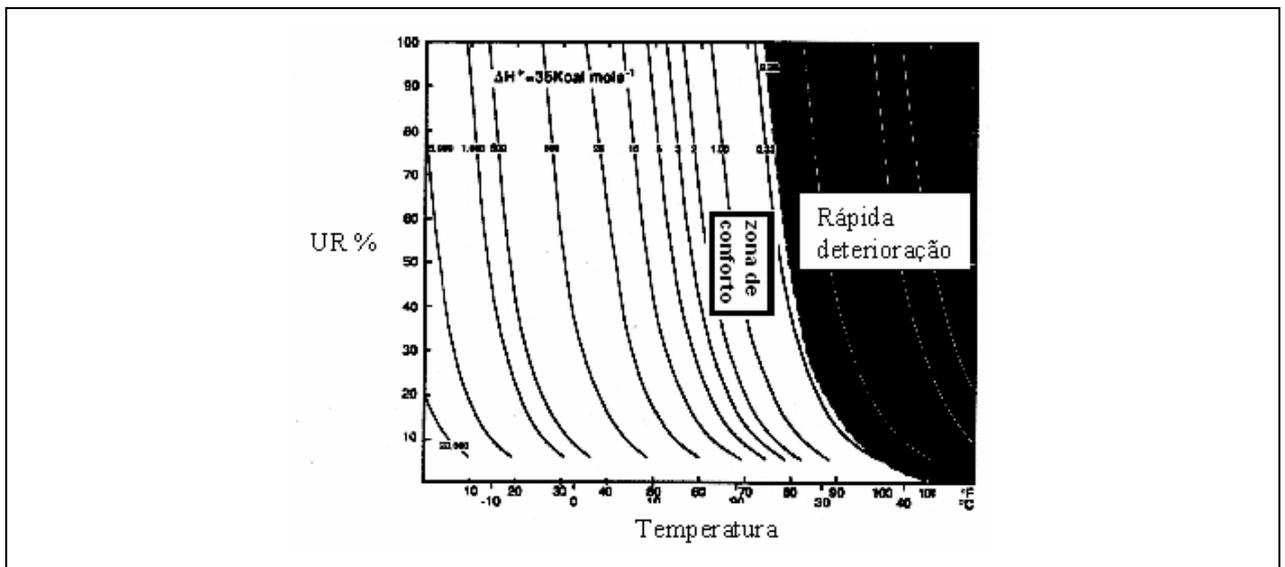


Figura 7. Mostra o Diagrama de Isopermas x Áreas de Deterioração para Papel

\* Fonte figuras 7 e 8 : SEBERA 1994

Reilly ( 1995), a partir do método de Sebera (1994), apresentou um método absoluto que relaciona a taxa de deterioração química em função da temperatura e umidade relativa estabelecendo o Índice de Preservação (IP) que permite prever quantas vezes mais (ou menos) os materiais durarão sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa. A abordagem é semelhante à do método das isopermas de Sebera (1994), porém, diferentemente das isopermas, o IP não se aplica somente à celulose, mas a todos os materiais orgânicos. O IP serve como

referência instantânea das condições de preservação no instante em que são registrados os níveis de temperatura e UR. O IP é expresso em anos e fornece uma idéia geral de quanto tempo seria necessário para que materiais orgânicos vulneráveis se tornassem deteriorados. Na Tabela 2 são expressos alguns valores de IP estimados e correlacionados com o tempo de vida previsto em anos, de materiais orgânicos de vida curta sob várias combinações de condições de temperatura e UR, sendo este apenas um subconjunto selecionado da tabela de definição completa.

Tabela 2 - Valores Estimados de IP

Temperatura													
°F (°C)													
	32	37	42	47	52	57	62	67	72	77	82	87	92
	(0)	(3)	(6)	(8)	(11)	(14)	(17)	(19)	(22)	(25)	(28)	(31)	(33)
5	2634	1731	1147	767	516	350	240	165	114	80	56	40	28
10	2234	1473	979	656	443	302	207	143	99	70	49	35	25
15	1897	1255	837	562	381	260	179	124	86	61	43	30	22
20	1613	1070	716	482	328	224	155	107	75	53	37	27	19
25	1373	914	613	414	282	194	134	93	65	46	33	23	17
30	1170	781	525	356	243	168	116	81	57	40	29	21	15
35	998	668	451	307	210	145	101	71	50	35	25	18	13
40	852	572	387	264	182	126	88	62	43	31	22	16	12
%	729	491	333	228	157	109	76	54	38	27	19	14	10
UR	624	421	287	197	136	95	66	47	33	24	17	12	9
55	535	362	247	170	118	82	58	41	29	21	15	11	8
60	459	312	213	147	102	72	51	36	26	18	13	10	7
65	394	269	184	128	89	62	44	31	22	16	12	9	6
70	339	232	160	111	77	54	39	28	20	14	10	8	6
75	292	200	138	96	67	48	34	24	17	13	9	7	5
80	251	173	120	84	59	42	30	21	15	11	8	6	4
85	217	150	104	73	51	36	26	19	14	10	7	5	4
90	187	130	90	63	45	32	23	16	12	9	6	5	3
95	162	112	79	55	39	28	20	15	11	8	6	4	3

VALORES DE IP, EM ANOS

\* Fonte : REILLY 1995

Além do IP, foi também desenvolvido o IETP, que é o índice de efeito-tempo para preservação, o qual avalia o efeito cumulativo sobre a taxa de deterioração química total ao longo do tempo, com condições variáveis de temperatura e umidade relativa. Trata-se de uma média ponderada dos valores de IP, sendo que para valores de IP de até 60 anos não há diferenças em utilizarmos a média simples dos valores de IP, ou a média ponderada do IETP, porém, quando o IP varia até uma quantidade superior a 100 anos, é necessário que haja a ponderação entre os valores máximos e mínimos para que não ocorram distorções de

interpretação do real estado de conservação das coleções. Na Tabela 3 é exemplificado, através de uma amostra de dados monitorados em vários ambientes de uma biblioteca, um resumo dos valores de IETP finais para um intervalo de um ano.

Tabela 3 - Amostra de Resumo de IETP's Finais. (valores em anos)

Localização	IETP	IP Max	IP Min	Intervalo de IP
Biblioteca de geologia - escritório do diretor	61	86	53	33
Bibl. de geol. - Piso superior, área de armazenagem de mapas	38	95	26	68
Biblioteca principal - sala A	31	45	22	23
Biblioteca principal - sala B, área abandonada	30	39	21	18
Biblioteca de graduação - sala C	49	65	40	25
Biblioteca de graduação - sala D	51	78	39	39
Biblioteca de graduação - porão	57	73	46	27
Biblioteca principal - depósito de escritório	32	35	27	8
Biblioteca principal - estantes	44	56	37	20
Biblioteca principal - porão, área A	46	49	43	6
Biblioteca principal - estantes	42	56	36	20
Biblioteca principal - estantes, nível 5	68	99	60	39
Biblioteca principal - porão, área B	62	74	57	17
Biblioteca principal, estantes, Nível 5	63	77	56	22
Construção 2 - armazenamento auxiliar	51	77	37	40
Biblioteca de geologia - porão	49	64	36	29
Área de guarda de periódicos	34	46	28	18

\* Fonte : REILLY 1995

Apesar desses índices serem apenas representativos do efeito da deterioração química de materiais orgânicos, eles podem ser muito úteis no auxílio de decisões na exposição e armazenamento de coleções ou acervos, e por isso são incorporados aos equipamentos de gerenciamento ambiental de museus..

O equipamento experimental desenvolvido pelo *Image Permanence Institute* (E.U.A) foi chamado de *Preservation Environment Monitor (PEM)*, ou Monitor de Ambiente de Preservação (MAP), sendo desenvolvido para medir e exibir a temperatura e a UR instantaneamente, além de armazenar os valores adquiridos por até cinco anos de medição e possibilitar a exibição também dos valores de IP e IETP em tempo real, pode transferir estes valores para um computador para análise através de *softwares* apropriados. Mesmo assim, este sistema ainda estaria limitado ao monitoramento da T e UR sem poder atuar no gerenciamento de outros equipamentos como os que compõem os sistemas de controle ambiental.

GÜTHS (1998) apresenta um novo Sistema de Monitoramento Térmico para Gerenciamento de Conservação de Coleções, o CLIMUS, que foi desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina, junto ao Curso de Engenharia Mecânica no Laboratório de Meios Porosos – LMPT. Este sistema foi desenvolvido com o intuito de superar as dificuldades apresentadas até o momento, permitindo monitorar e visualizar em tempo real a temperatura e a umidade relativa de vários ambientes e também do ambiente externo, ou ainda remotamente, via Internet ou conexão telefônica. O programa desenvolvido para manipulação dos dados também permite a visualização conjunta dos índices de preservação IP desenvolvidos por Reilly (1995).

Este mesmo sistema possibilita ainda uma flexibilização de conexão de vários sensores para medição da temperatura, umidade relativa, radiação, luminosidade, chuva, velocidade do vento, e outros, conforme necessidade da análise a ser feita. Ademais, o sistema permite o acionamento de sistemas de controle ambiental como ventiladores, desumidificadores, etc, ou simplesmente emite um sinal de alerta para que providências sejam tomadas quando as condições se mostrem inadequadas.

O Sistema de Monitoramento CLIMUS é um sistema de medição e aquisição de sinais montados sobre uma base PC, que registra medições dos dados continuamente (24 horas/dia), permitindo que seja feita uma melhor avaliação das características da edificação, de seus equipamentos e do funcionamento do museu. Podendo assim ser avaliado como estes elementos estão interagindo positiva ou negativamente para a conservação de seu patrimônio móvel e imóvel. A localização dos sensores deve evitar proximidade a fontes de calor ou umidade, evitando-se a proximidade a paredes, ou superfícies frias ou quentes (teto /pisos /vidros /janelas). Deve-se procurar instalá-lo em local onde a distribuição de ar seja uniforme à do ambiente em geral, e que não haja o risco de exposição a gradientes extremos de temperatura que possam implicar em uma leitura distorcida dos problemas a serem detectados.

Os dados coletados pelos sensores são registrados automaticamente no disco rígido do computador e apresentados na tela. A cada dez minutos, os valores médios são registrados em um arquivo no disco rígido na forma ‘txt’, podendo ser abertos por uma planilha eletrônica, o que vem permitir uma visualização melhor através dos gráficos e planilhas. Estas informações servem como parâmetros para a definição das estratégias de controle a serem utilizadas, assim como para a análise e desenvolvimento de critérios para acionamento dos sistemas de controle ambiental.

#### **2.4.2. Os sistemas de controle ambiental**

No trabalho de Toledo (1999), é realçado que, na realidade brasileira, bem ou mal, o controle ambiental de museus tem sido feito de duas maneiras: através do uso da ventilação natural, com museus abertos; ou através dos sistemas condicionadores de ar, com edifícios fechados. O primeiro procedimento é quase sempre o adotado por museus pequenos, sem muitos recursos para se manterem. Pelo fato desse tipo de controle (o de abrir janelas e portas) não requerer grandes modificações no edifício original, é mais econômico de se manter (pois os gastos com energia são mínimos); mas menciona que ainda não é claro se isto realmente seria o melhor para as coleções exibidas.

Já tratando sobre o segundo procedimento, o uso do ar condicionado, ela esclarece que é o adotado por museus maiores, com mais recursos, como os regionais e nacionais. Embora extremamente caro e de difícil manutenção, ainda continua sendo a forma de controle ideal, a mais imediata e adotada mundialmente, tanto para satisfazer as condições físicas de visitantes, como de objetos em exibição; mas ressalta sua dúvida sobre a eficácia desses aparelhos que vem sendo cada dia mais questionada pôr questões de funcionamento intermitente e custos de manutenção.

Segundo Park (1999), a utilização de sistemas de condicionamento de ar é uma das opções a serem utilizadas para controlar as variações de temperatura e umidade em ambientes. Porém, estes sistemas, por um lado, são difíceis de se adaptarem às características arquitetônicas de edifícios históricos e, por outro, têm custos relativamente altos de instalação, além do custo adicional no consumo de energia e na manutenção, sendo que paradas programadas (ou não) para manutenção provocam variações abruptas e radicais na temperatura e umidade, podendo ainda causar sérios danos ao acervo pela ocorrência de deformações e de alterações dimensionais de origem térmica e/ou higroscópica já descritas (CAMUFFO et al. 2001 e GÜTHS 1998).

Quanto aos sistemas de controle ambiental alternativos aos sistemas de ar condicionado, são utilizados geralmente desumidificadores ou umidificadores de ar, ventiladores, aquecedores, circuladores de ar, exaustores ou insufladores de ar, conforme a característica climática e possibilidades financeiras da instituição. As pesquisas em desenvolvimento demonstram a necessidade de ampliação de projetos em lugares diferenciados, que justamente possam contribuir para a avaliação dos parâmetros mais adequados para o ajuste e escolha destes sistemas em climas diversos.

Devido à complexidade de fatores já exposta, que interfere na conservação de bens históricos, quanto mais conhecermos sobre o comportamento ambiental das edificações e acervos, mais poderemos inferir sobre os critérios de acionamento e escolha de seus sistemas de controle ambiental, assim como contribuir para a elaboração de soluções alternativas para diversas situações.

Algumas recomendações do manual da ASHRAE (1999), sobre a escolha e projeto de um sistema de condicionamento de ar, servem para reflexões a respeito das escolhas das estratégias de controle e de seus ajustes. Algumas coleções não podem tolerar a perda das condições ambientais por mais que um curto período. Muitas coleções podem tolerar horas de perda das condições sem maior dano. Ao engenheiro responsável pelo desenvolvimento dos equipamentos cabe a avaliação das possibilidades de falhas / fracassos dos sistemas a serem escolhidos, para que se possa avaliar sua eficácia para coleções sensíveis ou não. Além disto, ele poderá indicar precauções razoáveis que possam se tomar para minimizar estas eventualidades. Em alguns casos, por exemplo, o equipamento poderá precisar ser removido periodicamente do local para concertos ou manutenção e, para isto, deve-se ter soluções alternativas para o controle neste período, ou mesmo, deve-se avaliar qual seria o período do ano mais propício para sua retirada em função das variações sazonais do clima.

Outro aspecto abordado pelo manual é quanto à carga térmica estimada para funcionamento do sistema. O manual descreve que, em muitos casos, o sistema de condicionamento de ar poderá operar 24 horas por dia, já em galerias e salas de leitura geralmente se tem alta ocupação em certos períodos, sendo que a ocupação de algumas galerias é maior que 1 m<sup>2</sup> /pessoa, em contraste com áreas de estocagem de acervos (reservas técnicas) onde a densidade pode ser de 100 m<sup>2</sup> / pessoa ou menos. Portanto, o sistema deverá ser projetado para manuseio / controle/ ajuste de carga, mas ele deverá poder lidar eficazmente com a condição de carga mais comum e ter condições de atender a períodos de carga máxima, como, por exemplo, em temperaturas elevadas de verão.

Outro aspecto a ser abordado é quanto à ventilação. Papakonstantinou (2000), Camuffo et al. (2001) e Valentin et al (1998) destacam a necessidade de ventilação nos ambientes como forma de evitar a deposição de partículas sobre as superfícies e contribuir para a dispersão de contaminantes atmosféricos para fora do ambiente. Porém, para isto, deve-se estudar o caminho do fluxo de ar pelas salas, prevendo seus locais de entrada e saída e redirecionamento quando

necessário, tentando resolver o problema de exposição do usuário ou acervo e a devida aeração do ambiente.

Carvalho (1997) ressalta que a utilização da ventilação natural deve ser criteriosamente estudada, de modo que a orientação das aberturas não favoreça a penetração dos ventos carregados de umidade, e também deve ser controlada, em função dos horários em que os níveis de temperatura e umidade externos sejam menos desfavoráveis, não esquecendo que o controle da temperatura é de fundamental importância para o controle da umidade. Todavia, ela assinala que, se o ar estiver com umidade acima dos níveis requeridos (o que ocorre quando falamos em ventilação noturna, em que a temperatura externa é mais baixa que a interna), a retirada da umidade do ar só é possível através de dispositivos mecânicos: sistemas de condicionamento de ar ou desumidificadores.

Os desumidificadores indicados para os climas quentes são os refrigerantes. O esquema de funcionamento faz com que o ar carregado de umidade entre no equipamento, onde é resfriado a uma temperatura inferior ao seu ponto de orvalho, retirando a umidade pela condensação. Então, esse ar é novamente aquecido e restituído ao ambiente. Sua eficiência está condicionada a um correto movimento de ar, de forma que a umidade relativa seja a mesma em toda a área.

Em GÜTHS (1998), é citado que o condicionamento do ambiente visando à preservação do acervo através de ventilação natural e/ou forçada pode ainda estar ligado a critérios de conforto dos ocupantes, o que também é relatado na pesquisa feita por Papakonstantinou (2000), que enfatiza que o problema do conforto térmico em salas está relacionado ao suprimento de ar fresco aos ambientes internos, sendo de extrema importância se obter uma mistura adequada do ar externo e interno através de uma distribuição uniforme.

Segundo o manual da ASHRAE (1999), bibliotecas e museus necessitam que sistemas mecânicos de renovação e filtragem de ar “asseguem” os valores de temperatura e umidade adequados, suprimindo o crescimento de mofo e garantindo a provisão de resfriamento e/ou aquecimento. Para tanto, o volume de circulação de ar deveria ser constante e suficiente, independentemente das necessidades do espaço, para assegurar boa circulação de ar ao longo dos espaços de coleção. O sistema poderá prover o aquecimento ou resfriamento necessário, mas tem que subordinar o controle de temperatura, particularmente, à necessidade de UR estável.

Um sistema de insuflamento de ar externo é considerado uma alternativa aos sistemas de condicionamento de ar, quando as condições climáticas externas forem melhores que as internas,

sendo que ele proporciona a renovação de ar, possibilitando uma filtragem de partículas que janelas abertas não permitem, assim como evita a entrada de radiação solar. Porém, o manual da ASHRAE (1999) ressalta que, em alguns casos, o ar externo raramente está a uma T e UR desejáveis, principalmente em se tratando de clima quente e úmido. Uma das maiores preocupações de museus é com a poluição urbana do entorno. Michalski (1999) diz que muitas vezes o insuflamento de ar externo (ou natural infiltração pelas aberturas) pode interferir na concentração de ozônio encontrada em um edifício. Os autores recomendam que o insuflamento de ar externo utilize filtros adequados às características de poluentes possíveis no entorno.

Conforme o manual, a taxa de renovação de ar do sistema de insuflamento de ar deverá prever uma pequena pressão positiva, sendo o critério mínimo de fluxo de ar entre 6 a 8 trocas por hora (NBS 1983; citada pelo manual ASHRAE 1999), sendo esta exigência melhor obtida com um sistema de volume constante. O próprio fluxo de ar é importante para purificar o ar, controlar a umidade e suprimir o crescimento de mofo, como também aquecer e esfriar os espaços das coleções.

Quanto à distribuição do ar, também são feitas observações importantes, espaços monumentais são propensos à estratificação térmica, se esta condição colocar coleções em risco, a circulação de ar apropriada deverá ser provida para assegurar o movimento de ar pelo espaço inteiro. Difusores criam uma uniformidade de distribuição de temperatura ao longo da altura da sala, ou da extensão de comprimento muito extensa. A distribuição por ventiladores pode ser uma aplicação em alguns edifícios.

O insuflamento de ar não deveria incidir diretamente sobre coleções. Em outros tipos de edifício, o insuflamento de ar pode ser distribuído ao longo das paredes. Portanto, o padrão de distribuição do fluxo de ar pode ser o maior problema numa galeria, porque coleções são exibidas sobre as paredes, e jatos sobre a parede podem produzir altos gradientes de T e UR. O insuflamento pelo piso deveria ser evitado também porque partículas de sujeira seriam misturadas ao ar.

#### **2.4.2.1. Um exemplo de pesquisa aplicada sobre controle ambiental em museus localizados em regiões de clima quente e úmido.**

A seguir, será explanado um trabalho que demonstra uma experiência aplicada que utilizou como sistema de controle ambiental um conjunto de equipamentos de ventilação, insuflamento e aquecimento, como alternativas ao sistema de condicionamento de ar.

Através dos dados apresentados por Maekawa e Toledo (2000, 2001, 2002), podemos observar resultados obtidos a partir do monitoramento das condições ambientais e aplicação de equipamentos alternativos para controle ambiental de coleções localizadas em museus localizados em regiões de clima quente e úmido em dois edifícios históricos, um situado em uma ilha na Geórgia, (U.S.A.) e outro na Ilha Tenerife (Espanha).

Segundo Maekawa e Toledo (2002), em regiões de climas tropicais e subtropicais, as estações se dividem em períodos chuvosos e secos, sendo que o conteúdo de umidade no ar permanece bastante constante ao longo destas estações. Porém, variações de temperatura diárias ficam inferiores a 5° C no período de estação chuvosa e superiores a 15° C na estação seca. Estas variações de temperatura produzem níveis inversos de UR. Embora possa parecer que o clima está quente e úmido em todos os períodos, realmente sempre é mais frio quando a UR do ambiente externo é mais alta (névoa ou chuva).

Com relação aos ambientes, são achadas áreas de UR mais altas em partes frescas do interior de edifício como, por exemplo, nos porões, onde freqüentemente há problemas resultantes de uma UR alta, ao mesmo passo que sótãos e pisos superiores tendem a sofrer de acumulação de calor, ocasionando baixa UR.

A aproximação proposta por eles a estes problemas foi a de usar o insuflamento de ar externo quando estivesse mais seco que o interno, ou reduzir UR removendo umidade acumulada no edifício através de ventilação forçada, juntamente com a elevação do nível de temperatura nas áreas mais frescas e úmidas do edifício. Aumentando a temperatura interior, causaria uma redução necessária de UR, conseqüentemente, diminuindo a atividade microbiana.

A meta era manter a UR para o ambiente de coleção a menos que 75%, que é menos que o limiar UR para atividade microbiana, provendo ventilação adequada e circulação de ar para eliminar manchas de mofo no edifício, sendo possível também reduzir o aw (*water activity*) das superfícies, que é justamente o que possibilita a atividade microbiana.

Para Maekawa e Toledo (2002), quando características passivas da edificação não conseguem prover ventilação suficiente para controlar os níveis climáticos requeridos, eles teriam que ser supridos através de meios eletro-mecânicos (como ventiladores e exaustores). Outra situação prevista seria aquecer o interior do edifício, usando-se vários tipos de aquecedores ou dispositivos de aquecimento solares, ou ainda trazendo ar morno de fora usando insufladores. A mistura do ar (interno/externo) exigida para uma distribuição equilibrada pelo ambiente pode ser alcançada instalando-se ventiladores em locais estratégicos e rearranjando-se os objetos em exibição ou nas áreas de armazenamento, para que se produza uma circulação de ar suficiente.

Esta estratégia mantém um ambiente livre da atividade microbiana, enquanto estiver elevando-se a temperatura de superfície (reduzindo o  $a_w$ ) das coleções, como também a temperatura de partes mais frescas do edifício, melhorando assim a transferência de umidade das superfícies dos materiais para o ambiente.

Estas ações são possíveis operando ventiladores residenciais ou industriais montados em janelas existentes e aberturas, como também colocando aquecedores de transmissão em áreas abertas, podendo-se alcançar os resultados desejados com um controle com umidistato programável, que pode ativar o equipamento baseado nos dados oferecidos pelos sensores de T e UR localizados dentro e fora do edifício.

O sistema de controle de clima foi projetado para operar baseado tanto no clima interno como externo a cada edifício. Primeiro, a temperatura foi plotada juntamente com os dados de UR para o clima externo em uma carta psicrométrica. Do agrupamento de pontos de dados na carta, foi caracterizado o clima local e estimadas as condições de temperatura e umidade relativa desejáveis para o edifício, então, se as condições externas não fossem favoráveis, o sistema seria mantido desativado. Assim foi possível identificar as condições climáticas que exigiriam ventilação, aquecimento ou nenhuma operação (estático).

Por exemplo, quando a UR interna era menor que o valor fixo, o sistema não operava, entretanto, quando a UR interna era mais alta que o valor fixo e a UR externa era mais baixa, o ar seco era trazido para o interior do edifício pelo ventilador. Quando ambas UR de dentro e de fora, eram mais altas que o valor fixo, o aquecedor era ativado para reduzir a UR interna. Operar o aquecedor no verão poderia parecer problemático dentro de uma perspectiva de conservação de energia, porém, combinado com ventilação, reduz o uso de aquecimento a um mínimo.

Valores entre 70% - 75% UR foram selecionados por controlarem a atividade microbiana, como também por assegurarem uso mínimo do aquecedor, para que fosse economicamente sustentável. A UR interior mínima foi produzida por uma combinação de provisão de ar externo seco, da capacidade de proteção do edifício e dos objetos quando o sistema não estivesse operando.

Vazamentos de chuva em telhados, ou infiltrações de umidade nas fundações ou paredes dos edifícios, foram primeiramente identificados e eliminados, ou minimizados para o sistema tornar-se efetivo. Foram seladas grandes aberturas em cada envelope dos edifícios para minimizar infiltração de ar externo, (isto incluiu a instalação de um vestíbulo à entrada dos espaços pelos quais o pessoal técnico ou visitas freqüentemente entram e saem).

Pares de insufladores e exaustores de ventilação foram instalados, cuja capacidade total era de seis a nove trocas de ar por hora, suficientes para alcançar a remoção de umidade do ar, estando montados em janelas existentes, em locais que produzissem a distribuição de ar mais efetiva.

Os aquecedores convectivos eram capazes de produzir um aumento na temperatura do espaço, de 5 a 6 ° C, e também foram instalados em áreas onde a melhor distribuição do calor poderia ser alcançada.

A eficácia destes controles foi avaliada monitorando o clima dentro e fora do edifício e os níveis de atividade microbiana e de presença de pó nos dois edifícios históricos localizados em regiões quentes e úmidas. As considerações feitas, afinal, foram de que os níveis de umidade foram mantidos abaixo de 75%, com redução significativa dos eventos nos quais a UR era acima de 70%, porém, a temperatura diária e os valores de umidade aumentaram ligeiramente, o que se devia a elevação de alguns graus na temperatura do porão úmido. Quanto à poeira que inicialmente havia aumentado, estabilizou num baixo nível, e um dos principais aspectos, a contagem microbiana, diminuiu.

Após 12 meses de monitoramento para a caracterização do comportamento climático original e mais um ano de monitoramento, depois de instalados os equipamentos, Maekawa e Toledo (2002) puderam concluir que o conceito de um sistema de controle de clima tecnologicamente simples pode prover um ambiente de conservação estável em um clima quente e úmido e que estas conquistas foram possíveis com modificações mínimas no edifício, além de ter um custo efetivo baixo e requerer pouca manutenção.

## **2.5. As recomendações referenciais de conservação**

### **2.5.1. As considerações sobre os padrões a serem adotados frente às recomendações referenciais.**

Segundo KERSCHNER e BAKER (2001), até meados de 1980, as discussões sobre controle climático estavam limitadas por métodos da melhoria das condições ambientais, todavia, não se vislumbravam condições para um controle completo e preciso das condicionantes climáticas. Os sistemas requeridos para conseguir realizar as condições até então recomendadas, de umidade relativa em 48% a 52%UR e de temperatura em 18 a 20° C, eram caros e difíceis de instalar, principalmente em edifícios históricos. Além de ter um custo de operação alto, e de poucos museus de pequeno e médio porte estarem aptos para prover estas condições ambientais para as coleções. Ressaltam ainda que, em edifícios localizados em climas temperados, manter o ambiente interno do edifício sob estas condições rígidas e dentro de faixas muito estreitas de variações pode causar sérios danos, se os sistemas falharem ou forem desligados, já que as variações climáticas externas podem ser abruptas demais.

Os autores ainda mencionam que, antes de meados 1980, vários conservadores do Reino Unido e engenheiros iniciaram diferentes aproximações sobre o controle ambiental. Eles começaram a investigar simplificações e métodos de baixo custo para prover o ambiente ideal para coleções. A partir de métodos desenvolvidos no Canadá e no Reino Unido durante os anos 1970, eles buscaram desenvolver não o clima perfeito, mas taxas de variações que pudessem permitir a temperatura e umidade relativa flutuarem sazonalmente com limites mais amplos.

Desde então, passaram a considerar a possibilidade de aquecimento durante os meses de inverno, para prover o conforto humano, porém, controlando os níveis de umidificação para não ressecar os objetos ou os materiais construtivos do edifício, evitando também o aumento dos níveis de umidade durante os períodos frios e chuvosos. No caso de edificações em locais de clima quente e úmido, passaram a prever a desumidificação controlada por ventilação para diminuir a umidade e calor muito altos.

Continuando suas observações, os autores relatam que, no início dos anos 1990, no intuito de disseminar a prática de métodos de controle climático, foram desenvolvidas duas ações importantes. A primeira através de doações nacionais (nos EUA) feitas pela *Commission on Preservation & Access* de mais de um milhão de dólares para investimentos em controle

ambiental em coleções de todo o país, o que levou ao reconhecimento de que a prática de controle climático tem custos elevados, mas tem potencial efetivo de preservação.

A segunda ação foi feita pelo CAL - *Smithsonian's Conservation Analytical Laboratory*, que publicou suas pesquisas que indicavam padrões de UR mais amplos que as recomendações tradicionais, seguros para alguns materiais. Entretanto, os autores salientam que muitos dos antigos museus operam seus sistemas com os parâmetros tradicionais e muitas vezes a alteração destes padrões requereriam um custo elevado, fazendo com que ainda continuem em suas práticas usuais. Tradicionalmente nestes casos, os níveis seguem especificações extremamente apertadas, entre  $50\% \pm 3\%$  para Umidade Relativa e  $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  para Temperatura.

No material traduzido pelo Projeto de Conservação Preventiva em Bibliotecas e Arquivos, organizado pelo Arquivo Nacional no Rio de Janeiro em 1998, divulgando os padrões da *Commission on Preservation & Access* de Washington, podemos perceber já padrões um pouco mais flexíveis. Mesmo tendo sido o material desenvolvido a partir de pesquisas realizadas com papel ou películas fotográficas como slides, por serem materiais mais sensíveis às variações climáticas, chegou-se às seguintes correlações, que a umidade relativa deve estar entre 30 % e 55% ( $\pm 3\%$ ;  $\pm 6\%$ ); e a temperatura deve estar entre  $10^{\circ}\text{C}$  e  $21^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ); considerando-se a necessidade de promover circulação e renovação de ar, evitando flutuações de T e de UR; porém, recomenda-se que se mantenha o ambiente em 50% de UR e a T em torno de  $21^{\circ}\text{C}$ .

Michalski (2000 e 2002) levanta esta problemática e mostra várias das pesquisas desenvolvidas pelo CCI que abrem possibilidades de ponderar melhor estes limites, dentro de referências colocadas sobre o comportamento de materiais frente às alterações das condições ambientais, algumas já apontadas nesta dissertação durante o capítulo 2. Estas referências e padrões são bem explanados no manual da ASHRAE (1999), tendo sido colocados de forma a possibilitar escolhas conscientes de acordo com as necessidades do acervo e as possibilidades de controle do edifício. As especificações de padrões citadas pelo manual são sumarizadas na Tabela 4 e foram baseadas em uma preocupação equilibrada com todos os processos de deterioração previamente descritos. As especificações da tabela não são simples padrões para sistema de condicionamento de ar para um único ponto ótimo ou ideal para todo espaço ou sistema, como já assinalado anteriormente, estes padrões poderão divergir conforme o acervo, a organização espacial do mesmo, assim como a característica dos diferentes tipos de edifícios, ambientes ou espaços do museu. A Tabela 4 mostra a classificação de controle estipulada segundo os critérios estabelecidos a partir destas relações.

Tabela 4- Especificações de Temperatura e UR para Museus, Galerias, Bibliotecas e Arquivos.					
		Máximas Flutuações e Gradientes em Espaços Controlados			
TIPO	SET POINT ou MÉDIA ANUAL	CLASSES DE CONTROLE	Flutuações curtas diárias ou gradiente espacial	Ajustes sazonais do set point do sistema	RISCOS E BENEFÍCIOS p/ COLEÇÕES
<b>GERAL Museus, Galerias de Arte, Bibliotecas e Arquivos</b>  Toda sala de leitura, salas de recuperação, ou estocagem de coleções quimicamente estáveis, especialmente se for de média para alta vulnerabilidade mecânica	<b>UR: 50%</b>  (média histórica anual para coleções permanentes)  <b>Temperatura: entre 15 e 25 °C</b>  Nota: salas específicas para exposições de empréstimo têm que controlar <i>set point</i> especificado em acordo com a instituição de empréstimo, tipicamente 50%UR, 21 °C, mas algumas vezes 55% ou 60%UR	<b>AA</b> Controle preciso, sem alterações sazonais de UR	UR: ±5 %	UR: sem alterações	Nenhum risco de danos mecânicos para a maioria dos artefatos e pinturas. Alguns metais e minerais podem degradar se excederem a umidade relativa crítica de 50%. Objetos quimicamente instáveis inutilizáveis dentro de décadas
		<b>A</b> Controle preciso, com algum gradiente ou alterações sazonais, <i>não ambos</i>	UR: ±5 %	UR: 10 % acima 10 % abaixo	Pequeno risco de dano mecânico para artefatos de alta vulnerabilidade, nenhum risco mecânico para a maioria dos artefatos, pinturas, fotografias e livros. Objetos quimicamente instáveis inutilizáveis dentro de décadas
			Temp: ±2 °C	5 °C acima; 5 °C abaixo	
			ou		Pequeno risco de dano mecânico para artefatos de alta vulnerabilidade, nenhum risco mecânico para a maioria dos artefatos, pinturas, fotografias e livros. Objetos quimicamente instáveis inutilizáveis dentro de décadas
			UR: ±10 %	UR: sem alterações	
		Temp: ±2 °C	5 °C acima; 10 °C abaixo		
<b>B</b> Controle preciso, e/algum gradiente e diminuição de temperatura sazonal no inverno	UR: ±10 %	UR: 10 % acima 10 % abaixo	Risco moderado de danos mecânicos para artefatos de alta vulnerabilidade, risco minúsculo para a maioria de pinturas, fotografias, alguns artefatos, alguns livros e nenhum risco para muitos artefatos e a maioria dos livros		
			Temp: ±5 °C	T: 10° C acima, mas sempre abaixo de 30° C. Abaixar a temp o quanto necessário para manter o controle da UR	Objetos quimicamente instáveis inutilizáveis dentro de décadas, e em até menos tempo se habitualmente em 30°C. Períodos de inverno frios dobrarão a vida.
		<b>C</b> Previne todos altos riscos extremos	UR: entre 25% e 75% durante o ano		Alto risco de dano mecânico para artefatos de alta vulnerabilidade. Risco moderado para a maioria das pinturas e fotografias, alguns livros e artefatos. Pouco risco para a maioria dos livros e artefatos. Objetos quimicamente instáveis inutilizáveis dentro de décadas, e até em menos tempo se habitualmente em 30°C. Períodos de inverno frios dobrarão a vida.
Temp: raramente acima de 30°C e normalmente abaixo de 25°C					
<b>D</b> Previne risco de umidade extrema	UR abaixo de 75%		Alto risco de súbito ou cumulativo dano mecânico para a maioria dos artefatos e pinturas devido à baixa resistência à umidade. São evitadas <i>delaminações e deformações</i> por alta umidade, <i>especialmente em madeiras compensadas, pinturas, papel e fotografia</i> . É evitado o crescimento de mofo e rápida corrosão. Objetos quimicamente instáveis inutilizáveis dentro de décadas, ou até em menor tempo se habitualmente em 30°C. Períodos de inverno frios dobrarão a vida.		
	<b>Arquivos e Bibliotecas</b> <i>Estocagem de coleção quimicamente instável</i>	Estocagem a frio: UR: 40 % T: -20 °C	UR: ±10%  T: ±2°C	Objetos quimicamente instáveis utilizáveis por milênios. Flutuações de umidade relativa abaixo de um mês não afetam a maioria dos registros empacotados corretamente (o tempo fora do armazenamento é determinante para o tempo de vida)	
Estocagem quente: UR: 30% à 50% T: +10 °C		É vantagem para a coleção, até mesmo se só alcançar estes limites durante o período de inverno, contanto que não ocorra excesso de umidade.		Objetos quimicamente instáveis utilizáveis por um século ou mais. Livros ou documentos tendem a baixas vulnerabilidades mecânicas por flutuações.	
<b>Coleções de Metais Especiais</b>	Sala seca: UR: 0% a 30%	Umidade relativa não pode exceder ao valor crítico, tipicamente 30% UR			

Note: curtas flutuações significam qualquer flutuação menor que o ajuste sazonal. Porém como comentado na seção sobre Tempo de Resposta de Artefatos, algumas flutuações são muito curtas para afetar alguns artefatos ou artefatos enclausurados/empacotados.

\* Fonte :Adaptação feita a partir da tradução da Tabela 2 da ASHRAE (1999) *Applications Handbook* – pág.20.6

A difícil discussão sobre as flutuações permissíveis tem sido reduzida a 5 classificações expressas na Tabela 4, AA, A, B,C, e D.

A classificação A é considerada como um ótimo padrão para a maioria dos museus e galerias, com duas possibilidades de decisão no que diz respeito às variações de UR, com riscos equivalentes. São oferecidas, nesta classe, uma possibilidade de optar por um ajuste sazonal maior e flutuações diárias pequenas, ou outra sem ajuste sazonal, porém, com uma possibilidade de oscilação diária maior. Uma instituição maior, com autonomia e recursos para prevenir até riscos minúsculos, demanda legitimamente flutuações estreitíssimas da classe AA. Entretanto, muitos dos projetos confiáveis para longo prazo têm que levar em conta estas possibilidades de flutuações.

Classes B,C e D não deveriam ser recusadas como ineficazes. Toda ciência dos materiais descreve antecipadamente pontos que rapidamente aumentam o risco com condições extremas, que devem ser observados atentamente quando trabalhamos com estas classes. As classes de controle B e C são úteis e possíveis para muitas instituições médias e pequenas, sendo viáveis para a maioria dos edifícios históricos.

A classe D estabelece o controle para umidade extrema, ou limite de umidade permissível, apesar de simplista, é um problema importante a ser considerado em museus localizados em regiões de clima quente e úmido.

### **2.5.2. Discussões sobre os limites de flutuação e os parâmetros a serem adotados.**

O que acontece normalmente em um espaço não controlado é que o ambiente interno varia sazonalmente junto com o ambiente externo ao longo das estações, situação esta considerada menos prejudicial aos materiais que compõem o envelope do edifício, do que quando projetado internamente para pontos fixos de T e UR, mo entanto, com gradientes externos diferenciados e grandes amplitudes como em locais de invernos com temperaturas muitíssimo baixas.

Uma aproximação usual para se desenvolver um projeto que contemple estas questões é a partir das especificações das condições internas de T e UR necessárias ao acervo, considerar que os materiais utilizados no projeto de reforma de um edifício especifiquem materiais adequados

que contribuam para o bom desempenho térmico do ambiente interno e que, no casos dos climas frios, protejam as superfícies externas do edifício, impedindo, por exemplo, efeitos possíveis de condensação. Isto pressupõe uso de isolamento térmico e barreiras de vapor, que permitam o controle de infiltração de ar frio ou umidade, uso de cores e materiais claros e refletores, além de sombreamento para climas quentes, entre outras recomendações possíveis conforme tipologia e implantação do edifício.

No próprio manual da ASHRAE (1999), são feitas ponderações sobre os limites de flutuação a serem admitidos a partir da discussão sobre o tempo de resposta de artefatos para as flutuações de T e UR. São feitas algumas considerações como, por exemplo, que flutuações de UR podem não afetar alguns artefatos menos sensíveis. Muito poucos objetos de museus respondem significativamente para flutuações abaixo de 1 hora de duração, portanto, apenas 15 minutos do ciclo de condicionamento de ar desligado não afetam a maioria dos artefatos (a não ser que já estejam sendo mantidos em condições absurdas de umidade baixa). Também relatam que muitos objetos levam dias para responder, relacionando ainda dados comparativos entre os tipos de revestimento diferenciados em peças de madeira, como pinturas a óleo ou vernizes que podem retardar em até mais de trinta dias alterações dimensionais causadas por alterações de umidade relativa extremas como de 25% para 75%.

Por conseguinte, flutuações de T e UR muito grandes, em mudanças sazonais, são lentas o bastante para tirar proveito de relaxamento de tensão em componentes de artefatos. Dados sobre o modelo efetivo de elasticidade de muitas pinturas a óleo e acrílicas, e também para madeira de suporte destas pinturas, em função do tempo de exposição a variações de temperatura, insinuam que a tensão causada por determinado esforço de retração ou expansão cai pela metade ou menos, se esta exposição ocorrer gradualmente por um período mais longo de 4 meses, porém, sob temperaturas moderadas.

Assim, uma alteração de estação de 4 meses de +ou- 20% UR (de 50% para 30%UR) poderá causar menos tensão em muitos artefatos que uma semana de flutuação de +ou- 10% UR.

Logo, as mais estressantes flutuações de UR são essas mais curtas, em tempo e ascensão, que alguns mecanismos de relaxação de tensão, longos o bastante para possibilitar uma resposta adequada dos artefatos.

Nas referências do manual da ASHRAE (1999), são citadas pesquisas realizadas por Erhardt, Mecklenburg e Michalski em objetos localizados em edifícios históricos de museus, com e sem condicionamento de ar, que conduziram a uma reavaliação destas especificações de

flutuações. O principal aspecto destacado foi de que, em um lugar com flutuações de umidade relativa acima de  $\pm 10\%$  de temperatura acima de  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ , o risco de fratura ou deformação passa a ter uma escala insignificante se as coleções históricas estiverem misturadas, a não ser que estas variações de UR ultrapassem de 20% a 40% ou mais. Desta forma, pode-se dizer que a extrapolação usual para tolerâncias muito estreitas, com variações de apenas 3% de UR e de  $1^{\circ}\text{C}$  de temperatura, seria um exagero pelas necessidades dos artefatos em questão.

Michalski (2000) destaca, após discutir os parâmetros de flutuações permissíveis estipuladas para o CCI - *Canadian Archives Institute*, que experiências de arquivistas e administradores de museus em geral, com sistemas de controle mecânicos, têm lhes deixado céticos. Eles acreditam que tenham que especificar tolerâncias estreitas para obter tolerâncias moderadas no resultado. Por isto, se restringiram a reforçar as velhas especificações rígidas do passado.

Michalski (2000) ainda afirma que, se temos aprendido alguma coisa nos últimos vinte anos de uso de elaborados sistemas de controle e condicionamento de ar, é sobre a importância da confiança. Segundo ele, melhor um sistema resistente de fácil manutenção que opere entre  $\pm 20\%$  de UR e  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  de temperatura durante todo ano que um sistema ortodoxo e difícil de manter que opere em  $\pm 5\%$  de UR e  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  de temperatura a maior parte do tempo, se isto vem com um risco mais alto de fracasso durante condições quentes ou úmidas, no caso de pane dos sistemas de controle.

Portanto, a partir de todas as observações feitas nesta revisão bibliográfica, pode-se concluir que os limites de flutuação e os parâmetros a serem adotados não são regras absolutas e únicas para qualquer acervo ou museu. A escolha dos limites a serem adotados dependerá da identificação tanto das características climáticas do lugar onde se encontra, como da potencialidade da edificação em contribuir para o bom desempenho térmico do ambiente, e o imprescindível, das necessidades do acervo. Somente a devida correlação entre estas necessidades, potencialidades e limitações nos dará condições de fazermos as escolhas mais conscientes e responsáveis.

Para analisarmos as possibilidades de controle que podem ser alcançadas, podemos considerar, como parâmetros de referência, as correlações feitas sobre os processos de degradação e estabelecer alguns critérios a serem atendidos de acordo com a realidade em estudo.

Antes de serem feitas estas considerações, é importante frisar que materiais extremamente vulneráveis mecanicamente ou instáveis quimicamente deverão ter cuidados específicos e serem localizados em ambientes, vitrines ou recipientes que permitam um controle extremamente preciso.

Assim, as considerações que serão feitas a seguir foram relacionadas enfocando que a maior parte dos acervos de museus, de pequeno e médio porte no Brasil, são compostos por uma variedade grande de artefatos, em geral acondicionados sob um mesmo espaço.

Como o espaço de avaliação desta pesquisa é uma reserva técnica, temos que ter em mente que muitos dos objetos acondicionados neste espaço são periodicamente utilizados em exposições ou mesmo como material didático em trabalhos de pesquisa, e que nem sempre estes locais têm controle ambiental, motivo pelo qual não se aconselha o estabelecimento de critérios muito estreitos, que levarão os objetos à degradação quando expostos a condições contrastantes. Contudo, temos que prevenir a ocorrência de degradação deste acervo enquanto estiver acondicionado na reserva.

No que diz respeito à degradação por danos mecânicos, é sintetizado que grandes amplitudes de variações, em curto espaço de tempo, são prejudiciais, principalmente em casos extremos, em temperaturas baixíssimas, ou no caso de umidade excessiva acima de 75%, porém que variações sazonais podem ser assimiladas por muitos tipos de materiais, e somente quando os objetos são constantemente submetidos a variações curtas e repetitivas pode ocorrer *stress* por fadiga aparecendo pequenas fissuras nas superfícies.

Com relação à degradação química e oxidação, ressalta-se que acima de 75% de UR ocorre rápida corrosão em metais, e deterioração de muitos materiais em contato com sais, sendo que materiais sensíveis à reação de ácido hidrólise (filmes, películas, etc.) terão de ser acondicionados sob o patamar de 20° C e 50% UR. Entretanto, mesmo se as condições forem superiores a este patamar, pode-se estimar que, para minimizar os efeitos da degradação química, a cada 5° C que se puder baixar a temperatura, pode-se dobrar o tempo de vida do objeto. O que é indicado justamente pelo índice de preservação (IP).

Já no que se refere à degradação biológica, salienta-se que o ideal para ocorrer mofo seria manter o ambiente abaixo de 60% UR e 25° C de temperatura. No entanto pode-se enfatizar que se a UR for mantida abaixo de 75%, pode-se reduzir e até eliminar ataques de microorganismos, desde que não haja fontes pontuais de umidade como goteiras, vazamentos ou infiltrações. Já quanto ao ataque por insetos, menciona-se que eles seriam eliminados com temperaturas abaixo de 10° C, porém, se mantivermos as temperaturas abaixo de 25° C, sua reprodução pode ser

contida, e juntamente com medidas preventivas de limpeza e desinfestação, podem ser eliminados.

Segundo indicações feitas no manual da ASHRAE (1999), sintetizadas na Tabela 4 mostrada anteriormente, podemos observar como são colocados estes limites máximos a serem respeitados. Conforme destacado em parágrafos anteriores, o ambiente em que este trabalho centrou sua pesquisa não é um ambiente de classe AA da Tabela 4, onde seria possível um controle preciso, sem variações sazonais, nem gradientes espaciais. Por conseguinte, foi estabelecido como parâmetro a ser observado os limites estabelecidos para as classificações mais flexíveis da tabela.

Por exemplo, temos na classificação C que o limite de controle deve ficar entre 25% a 75% de UR em torno do ano, e temperatura raramente acima de 30 °C, normalmente abaixo de 25 °C, o que previne todos os altos riscos extremos de degradação, destacando que artefatos de alta vulnerabilidade e objetos quimicamente instáveis sofrerão danos mecânicos e por degradação biológica se forem submetidos a mais de 30° C e 75%de UR, sendo que sempre que forem submetidos a baixas de temperaturas de inverno estarão dobrando sua vida. Na classe B, os limites de flutuações ficam em  $\pm 10\%$  UR (estando sempre abaixo de 75%) e os valores de temperatura deveriam ficar entre 10° e 30° C.

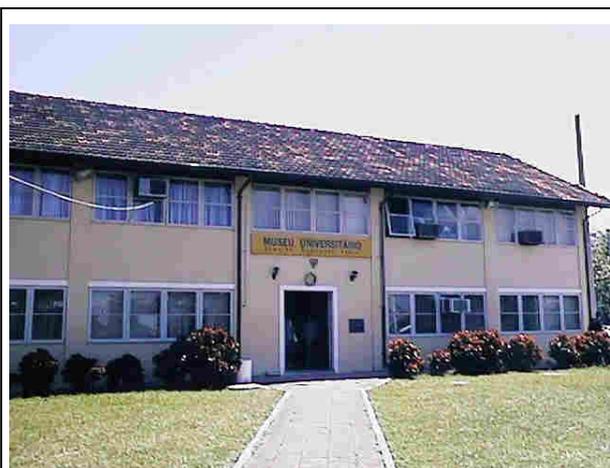
Desta forma, a partir destas definições e avaliações, foi estabelecido, como referência a ser seguida nas análises do comportamento ambiental e das estratégias possíveis de serem utilizadas da edificação em estudo, que os limites ficariam em 65% de UR  $\pm 10\%$  UR e 25° C com gradientes de até  $\pm 5^\circ$  C, portanto, nunca ultrapassando os 30° C de temperatura e os 75% de UR.

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento desta dissertação. Enfocando o caráter exploratório e experimental da pesquisa, é delimitado o local escolhido para desenvolvimento do estudo de caso, assim como, os procedimentos e instrumentos utilizados para a coleta e análise dos dados.

#### 3.1. Delimitação do objeto de estudo

A partir dos parâmetros apontados na pesquisa bibliográfica, exibidos no capítulo anterior, foram avaliadas alternativas de objetos de estudo que viabilizassem o caráter experimental da pesquisa, surgindo então a oportunidade de desenvolvimento dos trabalhos junto à área de reserva técnica do Museu Universitário Professor Oswaldo Rodrigues Cabral (figuras 8 e 9). A escolha da reserva técnica especificamente deve-se ao fato de que neste espaço teríamos maior controle sobre as variáveis de contorno do problema a ser avaliado, assim como uma maior liberdade para a instalação dos equipamentos, em função da edificação da reserva encontrar-se em um bloco independente do Museu e ser uma construção contemporânea sem valores históricos ou estéticos que pudessem ser comprometidos com as intervenções necessárias para a instalação de equipamentos.



**Figura 8 – Bloco 1 Acesso Principal do Museu Universitário.**



**Figura 9 - Bloco 6 - Área da Reserva Técnica**

\* Fonte Figuras 8 e 9: M<sup>a</sup> Cláudia L. Corrêa.

Foram estabelecidos então alguns critérios a serem considerados no desenvolvimento dos trabalhos. Dentre esses critérios estão, primeiro, a identificação dos ELEMENTOS CONDICIONANTES DA CONSERVAÇÃO no Museu em questão, através:

- da caracterização de seu acervo e dos aspectos organizacionais de seu espaço;
- da identificação das características construtivas do edifício;
- da descrição dos sistemas de monitoramento e controle ambiental utilizados anteriormente ao início da pesquisa e das problemáticas de degradação apresentadas até então.
- da caracterização climática da cidade de Florianópolis e das estratégias bioclimáticas indicadas para conforto humano e suas restrições quanto aos parâmetros de conservação.

A partir desta identificação inicial, foi proposto então um sistema de monitoramento e controle ambiental, sendo descritos os procedimentos e instrumentos utilizados para a coleta e análise dos dados de caracterização climática do lugar onde está situada a reserva técnica do Museu.

E, finalmente, a partir da análise dos dados coletados, foi avaliada a aplicabilidade das estratégias de controle ambiental indicadas para conservação frente às particularidades construtivas e limitações tecnológicas do objeto do Museu em questão.

### **3.1.1. Caracterização do acervo e dos aspectos organizacionais.**

O Museu Universitário Professor Oswaldo Rodrigues Cabral localiza-se no Campus Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina (Figura 8). Teve sua origem no Instituto de Antropologia, criado por meio da Resolução nº 89, de 30 de dezembro de 1965. Tem como missão a preservação e a conservação dos seus bens culturais, assim como desenvolver

atividades de pesquisa, extensão e ensino através dos setores de Arqueologia (pré-colonial e histórica), Etnologia Indígena, Cultura Popular e Museologia. O Museu Universitário atende por ano cerca de 20.000 visitantes nacionais e estrangeiros, compreendendo alunos da UFSC, da rede pública e particular, além de pesquisadores e turistas.

O seu acervo é constituído de coleções arqueológicas pré-coloniais e históricas, indígenas e de cultura popular, obras sobre papel incluindo desenhos, manuscritos e livros, sendo grande parte dos objetos do acervo em cerâmica, fibras naturais e argila.

O acervo arqueológico, proveniente das pesquisas realizadas em sítios pré-coloniais e históricos, abrange material de origem orgânica e inorgânica. O material de origem inorgânica divide-se em artefatos cerâmicos, líticos, metal e vidro.

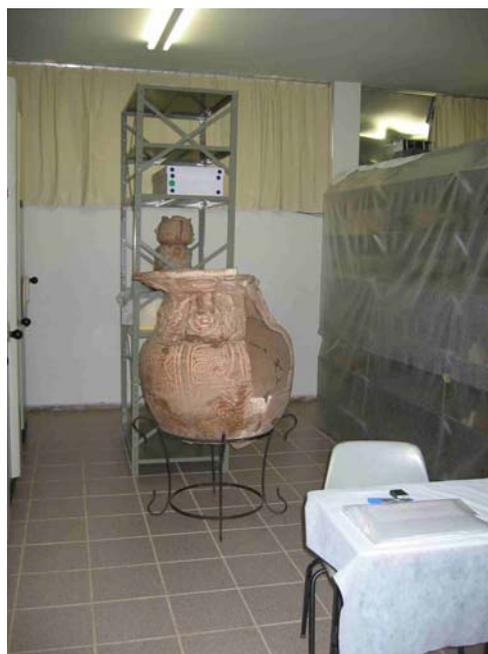
O acervo etnográfico se refere à cultura de diversos grupos indígenas e caracteriza-se pela diversidade de matéria-prima, contando com peças de origem animal, vegetal e mineral, ou ainda que combinam diferentes materiais.

O acervo de cultura popular é resultado de pesquisas junto a comunidades rurais e urbanas, a respeito de determinados aspectos culturais e de tradições populares, principalmente referentes ao universo cultural dos descendentes de imigrantes oriundos do Arquipélago de Açores. Ele é composto de inúmeros materiais, desde esculturas em argila crua, gesso até acessórios ou peças em madeira, metal, tecido, papel, fibras naturais e outros. Grande parte das peças referentes a arte popular fazem parte da obra de pesquisa e registro de Franklin Cascaes, contendo além das peças escultóricas também manuscritos, cadernos e desenhos, que compõem a obra deste ilustre pesquisador dos aspectos folclóricos da cultura açoreana na ilha de Santa Catarina.

As figuras 10, 11, 12, 13,14 e 15 mostram parte do acervo localizado na reserva técnica no mês de janeiro de 2003.



**Figura 10 - Coleção Arqueológica**



**Figura 11 - Coleção Arqueológica**



**Figura 12- Coleção Indígena**



**Figura 13- Coleção Indígena**

\* Fonte Figuras 10, 11, 12 e 13: M<sup>a</sup> Claudia L. Corrêa.



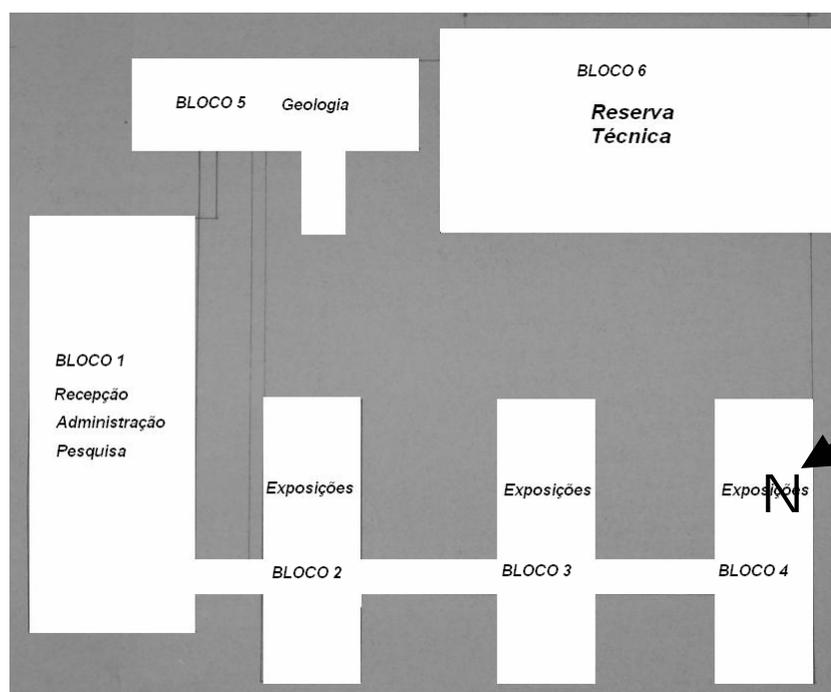
**Figura 14- Coleção Indígena e Arqueológica**



**Figura 15- Obras de Franklin Cascaes**

\* Fonte Figuras 14 e 15: M<sup>ã</sup> Claudia L. Corrêa.

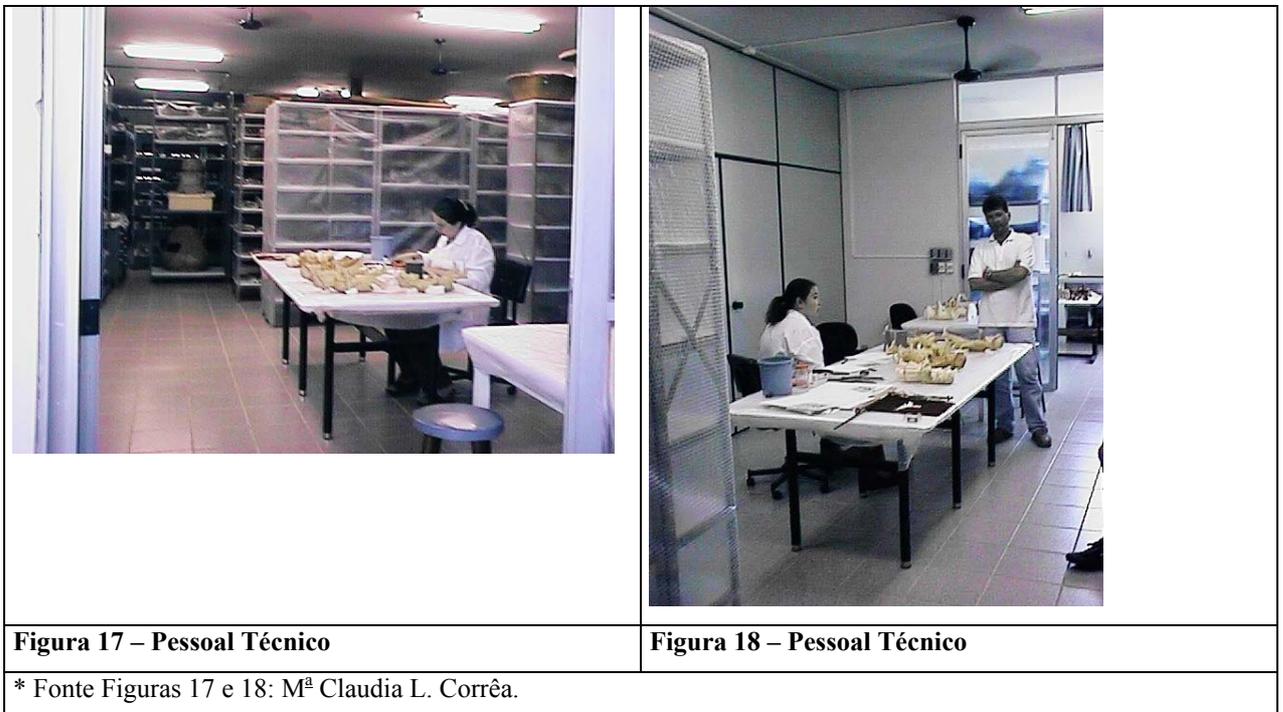
Atualmente, a organização espacial do museu se dá em seis blocos (Figura 16), onde se distribuem áreas administrativas, áreas de guarda, áreas de exposições, além das áreas de apoio a atividades didáticas de ensino e pesquisa:



**Figura 16 - Planta Geral de Distribuição dos Blocos**

A reserva técnica, foco desta pesquisa, está localizada nos fundos dos demais blocos que compõem o conjunto de edifícios do museu. É um espaço destinado à guarda do acervo que não se encontra em exposição ou mesmo sendo utilizado em pesquisas, tem acesso restrito aos profissionais que fazem a manutenção deste acervo, realizando atividades periódicas de inspeção, limpeza, identificação, catalogação e remanejamento de seus objetos.

Trabalham na reserva técnica, permanentemente, duas pessoas, com um sistema de revezamento de estagiários que periodicamente realizam treinamento em atividades relacionadas com a conservação preventiva abordando técnicas de acondicionamento, manutenção geral, limpeza e manuseio adequado de objetos (figuras 17 e 18).



### 3.1.2. Características construtivas do edifício da reserva técnica.

A reserva técnica está localizada em uma edificação térrea e independente, ficando bem distanciada dos demais prédios vizinhos, tendo sido construída em 1998 para receber o acervo do Museu.

No desenvolvimento de seu projeto, houve grande preocupação com a estanqueidade de umidade, tendo sido especificado que a estrutura em concreto armado fosse devidamente impermeabilizada nas fundações com hidrofugante e nas partes aparentes pintadas com protetor

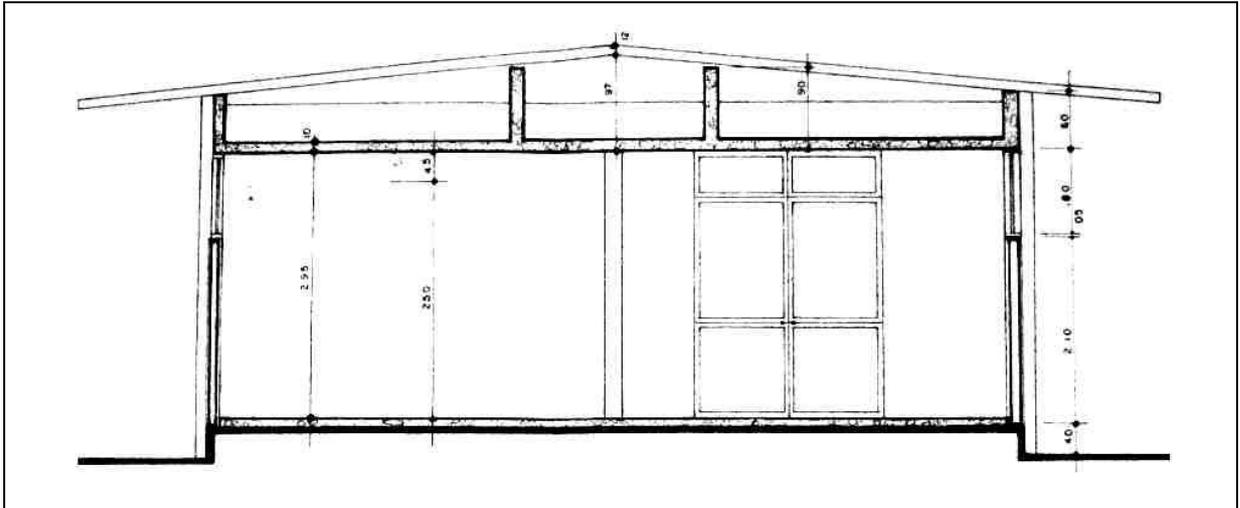
água-repelente e verniz de poliuretano, o contrapiso foi executado sob subsolo previamente drenado, sendo impermeabilizado antes do assentamento do piso cerâmico.

Suas vedações são em alvenaria de tijolo cerâmico de 6 furos de 10x15x20cm, com reboco de argamassa de cimento, cal e areia no traço 1:2:7, com espessura de 25mm. Sua cobertura é composta por laje de concreto, com telhas de fibro-cimento tipo calhetão (Figura 19). Suas aberturas estão localizadas em quase toda sua extensão na parte superior das paredes, sendo que na sala do acervo permanecem fechadas para impedir a entrada de partículas, além de serem protegidas internamente com cortinas tipo black-out.

Considerando que os elementos que compõem o envelope do edifício são os que mais interferem no comportamento climático deste, descreveremos a seguir algumas das propriedades térmicas de seus componentes construtivos.

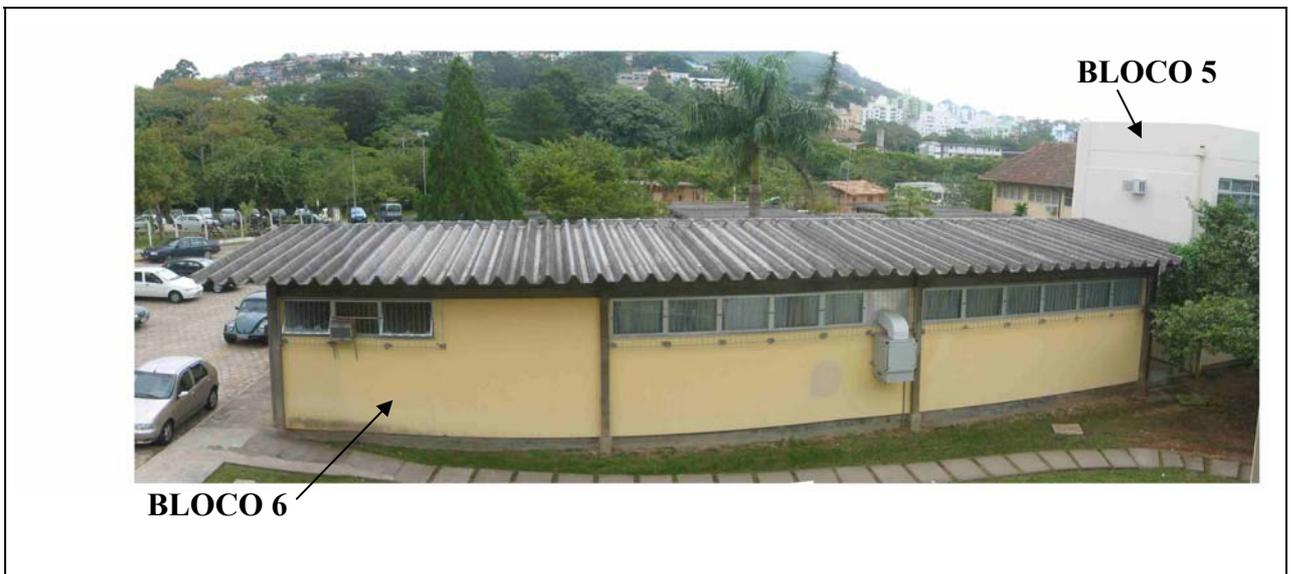
Tabela 6 – Propriedades Térmicas dos Materiais Construtivos \* Fonte: Projeto da normalização sobre desempenho térmico de edificações, parte 1.

	$\lambda$ (W/ (m.K))	$C_T$ (kJ/(m <sup>2</sup> .K))	U (W/ (m <sup>2</sup> .K))	$\Phi$ (horas)
Laje concreto c/ telha fibro- cimento	1,75 0,95	106	1,93	3,6
Paredes / Tijolos 6 furos c/ reboco	1,15	168	2,28	3,7
Pintura externa das paredes, cor clara	$\alpha = 0,20$			
	$\lambda$	U	Fs	$\epsilon$
Vidros c/ cortinas	1,10	5,79	0,60	0,95



**Figura 19 - Corte transversal do bloco 6 – Reserva técnica**

A área total da reserva técnica é de  $170 \text{ m}^2$ , com 2,90 m de pé direito. A volumetria do edifício é retangular, com apenas um pavimento, tendo sua maior extensão no sentido nordeste/sudoeste. Possui um distanciamento grande da maior parte dos blocos, estando próxima apenas do bloco 5 (2 pavimentos), o que faz com que haja grande exposição solar do bloco da reserva, usufruindo pouquíssimo da possibilidade de sombreamento pelo bloco adjacente (figuras 20, 21 e 22). Os beirais projetam sua sombra nas paredes em alguns momentos, sendo as janelas mais protegidas, mas a cobertura fica extremamente exposta.



**Figura 20 – Blocos 5 e 6 – Fachada 60° SE. \* Fonte: M<sup>a</sup> Claudia L. Corrêa.**

A seguir, a Tabela 8 mostra a avaliação dos horários de insolação das fachadas conforme sua orientação solar (Figura 21).

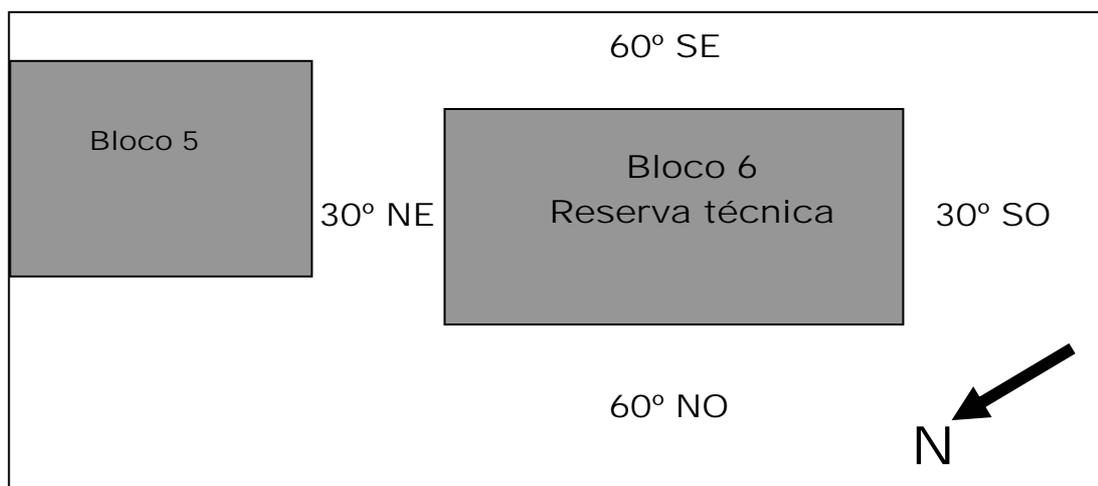


Figura 21 - Orientação das Fachadas

Tabela 7 - Avaliação dos Horários de Insolação das Fachadas

Orientação das fachadas e respectivos ambientes internos	Verão / dez horário de sol*	Inverno / junho	Primavera / Outono março/ set
60° SE	5:00/ 12:00*	7:00 / 10:30*	6:00/ 11:15*
Sala do acervo e administração da reserva	das 9:00 às 11:00 recebe sombra parcial do beiral, das 11:00 em diante é totalmente protegida pelo beiral	Pega sol todo o horário	Pega sol totalmente até as 10:00, depois recebe sombra parcial do beiral.
30°NE	5:00/ 12:15 *	7:00 / 16:30 *	6:00/ 14:30*
Sala do acervo	Pega sol total até as 10:00, depois começa a ser protegida pela sombra do beiral, das 11:00 em diante, protegida totalmente pelo beiral	Recebe sombra total do bloco 5 até as 9:00, depois pega sol parcialmente até o 12:00 e totalmente até as 16:30	Recebe totalmente sombra do bloco 5 das 7:00 às 9:00 e parcialmente das 9:00 às 10:00 Das 10:00 ao 12:00 passa a pegar sombra parcial do beiral
60°NO	12: 00/ 19:00*	10:15/ 17:15*	11:15 /18:00*
Fachada mais sensível Sala do acervo e hall de acesso	Até as 15:00 é parcialmente protegida pelo beiral, depois, parcialmente, pela vegetação lateral	Sol direto, no fim da tarde, é parcialmente protegida pela sombra da vegetação lateral	Até as 13:00 parcialmente protegida pelo beiral, fim da tarde, sombra parcial da vegetação lateral
30° SO	12:30/ 19:00*	16:30 /17:15*	14:15 / 18:00*
Hall de acesso e administração da reserva	Protegido parcialmente pelo beiral até as 15:00	Sol todo	Sol todo
* Horários de insolação obtidos através de avaliação da carta solar para latitude 27° 32' (Florianópolis)			



\*\*Fachada NE - NO



\*Fachada SO



\*Fachada SE



\* Entorno fachada NO



\* Entorno fachada SE

**Figura 22 –Fotos das fachadas da reserva técnica.** Fonte fotos: M<sup>a</sup> Claudia L. Corrêa.

\* fotos tiradas em 19/02, das 16:00 às 16:20

\*\*foto tiradas em 22/05, às 16:40

Internamente, a área da reserva técnica está subdividida em quatro espaços, recepção, escritório técnico e sala da reserva onde a pesquisa foi desenvolvida. Nesta sala há ainda uma subdivisão onde está localizado o acervo em papel, espaço este que não foi incluído na pesquisa pela especificidade e fragilidade de seu acervo. Na planta a seguir, podemos observar as áreas citadas.

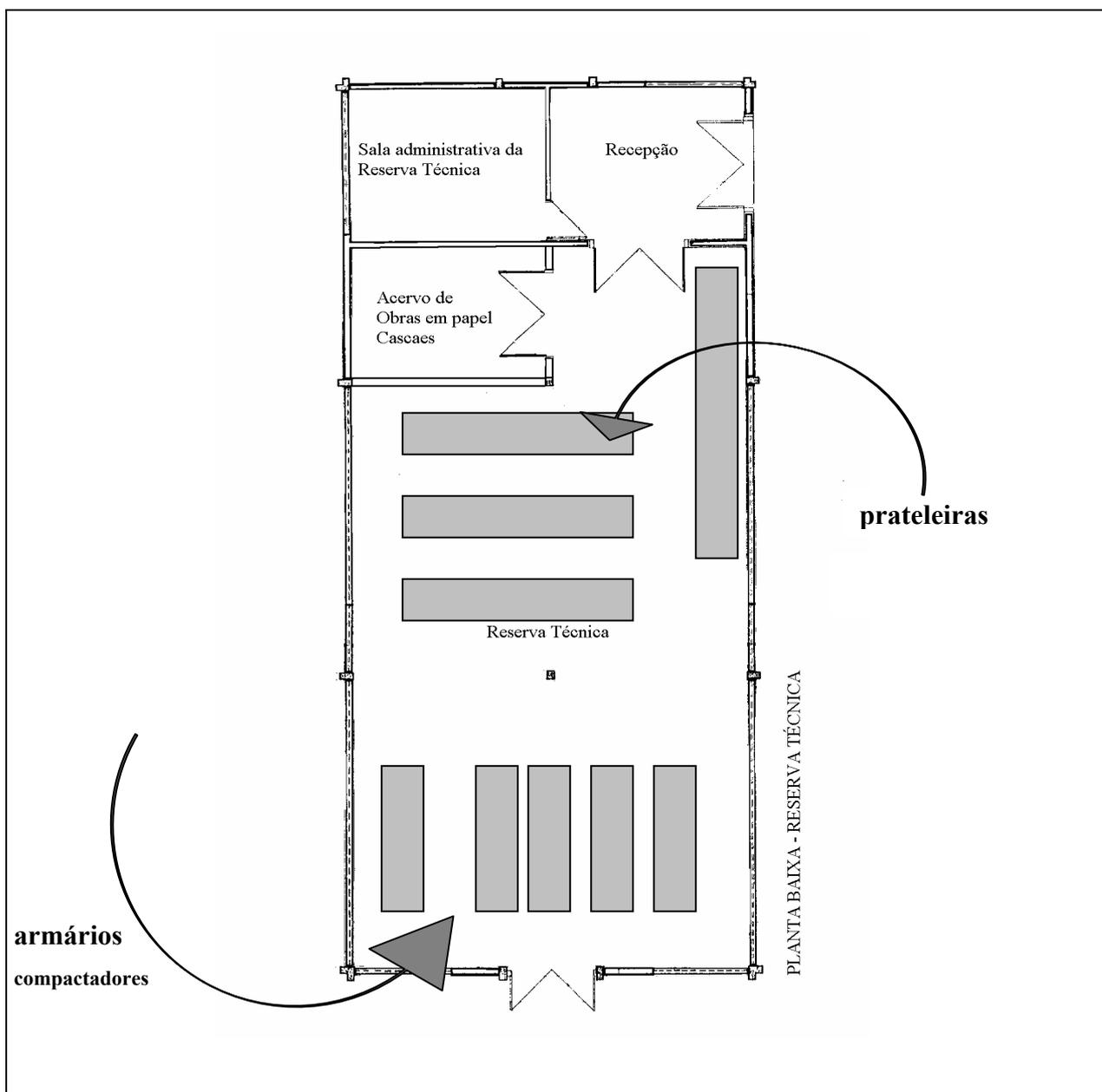


Figura 23 – Distribuição das Prateleiras de Armazenamento.

### **3.1.3. Descrição dos equipamentos para monitoramento e controle ambiental utilizados anteriormente ao desenvolvimento das pesquisas**

As condições ambientais de temperatura e umidade da reserva técnica eram monitoradas anteriormente ao desenvolvimento da pesquisa com psicrômetro e com termohigrógrafo. Os registros do termohigrógrafo foram feitos durante algum período continuamente em gráficos de papel que são acoplados neste equipamento e registram dados de três em três horas. Entretanto, devido a dificuldades financeiras do Museu em manter o abastecimento e troca deste material, este registro passou a ser feito manualmente no início e final do período da manhã e tarde. Mesmo com tal precariedade, pode-se constatar que as condições ambientais da reserva técnica não eram as recomendadas, principalmente nos períodos de intenso calor como no verão. De acordo com os relatos dos conservadores do Museu, os acervos têm estado em condições climáticas inadequadas, tendo apresentado alguns problemas de degradação, como infestações biológicas em alguns dos objetos da reserva técnica (relatórios do ano de 2001 e 2002), observando-se infestações por insetos (cupim, brocas e traças) e por fungos. Os procedimentos adotados para controlar o problema foram a desinfestação biológica através de limpeza e fumigação.

Para melhorar as condições ambientais, regularmente são utilizados 04 ventiladores de teto com a intenção de proporcionar uma maior circulação de ar nos períodos de grande umidade, evitando a condensação sobre superfícies ou mesmo a deposição de partículas sobre as superfícies, evitando, assim, a fixação dos esporos de fungos. Além dos ventiladores, são utilizados também 06 purificadores de ar modelo "*Sterilair*", os quais desempenham a função de impedir a possível proliferação de ácaros.

Quanto ao controle da radiação solar, são utilizadas cortinas tipo *black-out* para impedir a incidência de radiação solar sobre o acervo. Com relação à iluminação artificial são utilizadas lâmpadas fluorescente sem filtro, sendo acesas somente na presença dos funcionários.

No sentido do controle preventivo contra incêndios, bimestralmente o sistema elétrico passa por vistorias, e apesar de a instituição não possuir um plano de emergência contra incêndio, dispõe de extintores portáteis de CO<sub>2</sub>, água e pó químico; além disto, conta com um sistema de alarme contra roubo.

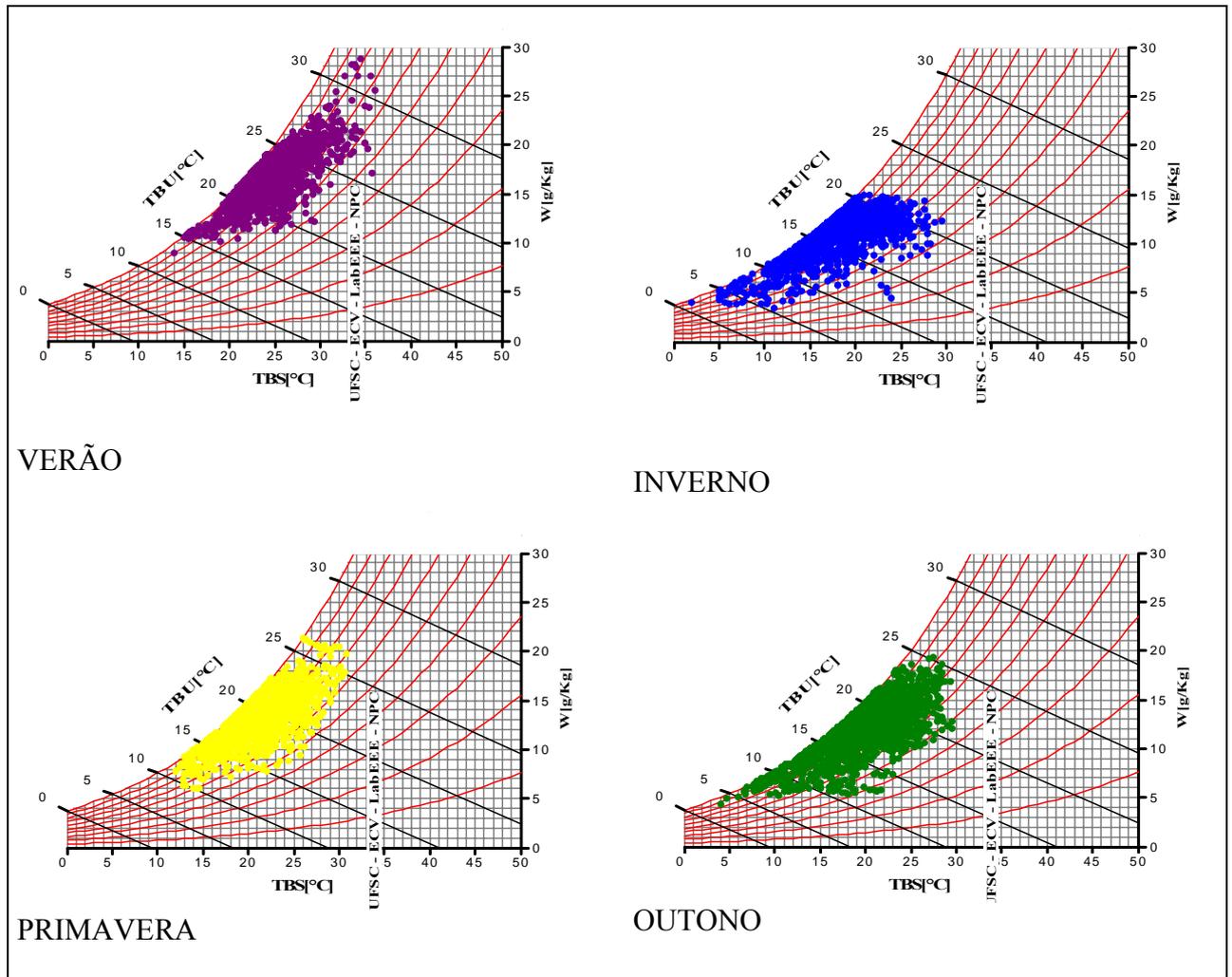
### **3.2. Caracterização do clima de Florianópolis e das estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade.**

O Museu Universitário encontra-se na cidade de Florianópolis/ SC, que está localizada à latitude 27° 40', longitude 48° 33' e a 7 m de altitude, estando situada numa região de clima subtropical, onde são características temperaturas médias próximas de 20° C, com amplitudes de 9 a 13° C, sendo as chuvas fartas e bem distribuídas ao longo do ano. Segundo dados estatísticos trabalhados através do levantamento do ano climático de referência (TRY), desenvolvido por GOULART (1997), o clima da cidade apresenta uma umidade relativa média de 83% ao ano, sendo que a temperatura nos meses de verão fica numa média de 24.5° C, atingindo máximos de 33°C (probabilidade em 99%) com média de umidade relativa em 82%. Já no inverno, a temperatura média fica em 16.6°C, atingindo mínimas de 7.0° C (probabilidade 1%), e com média de umidade relativa em 84%.

A variação diária do conteúdo de umidade é de aproximadamente 4.0 g/kg de ar seco no período de verão e 3.0 g/kg de ar seco no período de inverno. Em suma, o clima de Florianópolis pode ser considerado úmido durante todo o ano, porém, quente no período de verão e frio (ou temperado) nos meses de inverno.

Conforme Pabst (1999), o clima desta cidade tem as estações do ano bem definidas e é marcado pelas constantes entradas de frentes frias. As frentes frias e a própria localização geográfica fazem com que o clima da cidade mostre-se constantemente úmido e com possíveis quedas de temperatura durante várias estações. Sendo que as estratégias arquitetônicas de controle ambiental devem atender tanto ao clima quente quanto ao clima frio, ambos úmidos.

Quando pegamos os dados do ano TRY, desenvolvido por GOULART (1997), e plotamos sobre a carta psicrométrica de acordo com cada estação do ano, Figura 27, conseguimos ver claramente, pela distribuição dos pontos, as observações feitas nos parágrafos anteriores, podendo verificar que, em geral, os níveis de umidade estão sempre bem mais altos do que o requerido para conservação de acervos (acima de 70%UR). E quanto aos níveis de temperatura, fica claro que o maior problema está no período de verão, em que as temperaturas ultrapassam os 30° C indicados como limite máximo de controle, e no inverno há uma concentração de pontos na região de baixas temperaturas e alta umidade, ficando os períodos de primavera e outono com valores medianos de temperatura, apesar da alta umidade.

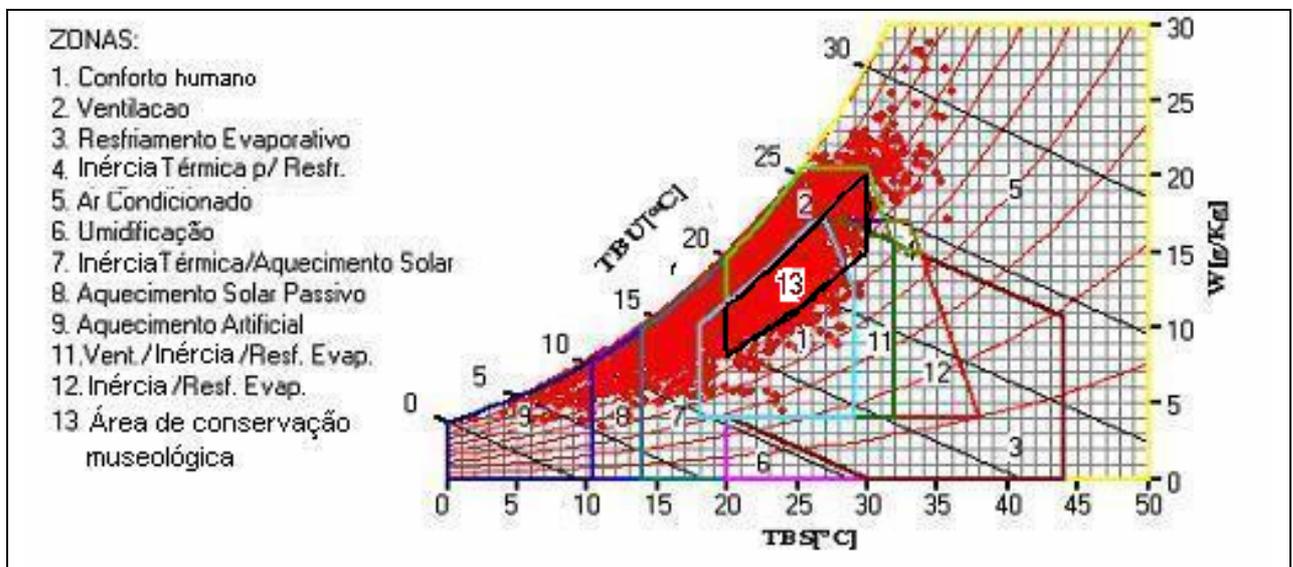


**Figura 24 – Comparativo dos Níveis de Temperatura e Umidade entre Estações** \*Fonte: gráficos plotados através do programa Analysis Bio 2.0 – Desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) ECV-UFSC.

Pabst (1999) ainda menciona que quatro fatores ajudam a definir o clima de uma região: latitude, continentalidade, massas de ar e radiação, sendo que Florianópolis é uma ilha próxima ao continente, que, além de ser rodeada pelo oceano, tem pelo menos duas lagoas em tamanho significativo que interferem nestes fenômenos. Além da própria topografia acidentada em sua parte longitudinal com grandes elevações que alteram o comportamento de seus diferentes quadrantes, norte, sul, leste e oeste. Salienta-se que os dados sobre o ano típico de referência (TRY) são originados de medições feitas no Aeroporto Hercílio Luz, e os valores de temperatura podem apresentar pequenas diferenças para outros micro-climas, já que os ventos predominantes podem sofrer alterações quanto à sua direção e velocidade em função da topografia diversificada da ilha, ou da própria característica de urbanização do entorno próximo que poderá interferir também sobre a exposição à radiação solar. Ademais, os efeitos da própria

edificação e suas características construtivas poderão estar atenuando ou mesmo acentuando algumas das características climáticas da cidade, o que estará sendo avaliado através do monitoramento do Museu Universitário.

A seguir, são analisadas algumas das estratégias bioclimáticas indicadas para Florianópolis (Figura 25) para o desenvolvimento de projetos que contemplem as necessidades de conforto humano, para que seja possível correlacionar essas estratégias aos requisitos de controle ambiental para museus. Foi delimitada uma zona denominada de área de conservação museológica, que seria a área onde os níveis de temperatura e umidade atendem aos limites aceitáveis para evitar o início do processo de degradação de acervos, podendo-se então avaliar as restrições das zonas de estratégias bioclimáticas à conservação de acervos.



**Figura 25 Zonas de Estratégias Bioclimáticas para Conforto Humano em Florianópolis.\*** Fonte: gráficos plotados através do programa Analysis Bio 2.0 – Desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) – ECV-UFSC, com adaptação para inserção da área de conservação museológica.

Analisando a delimitação das zonas, podemos notar que as principais estratégias bioclimáticas indicadas para conforto humano seriam ventilação e ar condicionado para os períodos mais quentes, inércia térmica, aquecimento solar e até aquecimento artificial para os períodos mais frios, e ainda ventilação, inércia térmica e um pouco de resfriamento evaporativo nos pontos onde há excesso de calor e umidade mais baixa.

É importante ressaltar que, como a zona de conservação museológica (13) tem uma área bem mais restrita que a zona de conforto humano (1), teríamos, no caso da avaliação das condições ideais de conservação, uma ampliação das zonas indicadas para utilização das estratégias de controle ambiental, as quais deverão ser avaliadas com muito cuidado. Por exemplo, no que diz respeito à área delimitada para utilização de ventilação, esta estratégia

deverá ser aplicada somente quando os níveis de UR externos estiverem dentro dos limites estipulados para conservação. Por exemplo, UR externa maior que 55% e menor que 75%, fato que não seria considerado como impedimento para a utilização desta estratégia para conforto humano, como se pode observar nas zonas 2 e 11 da Figura 25.

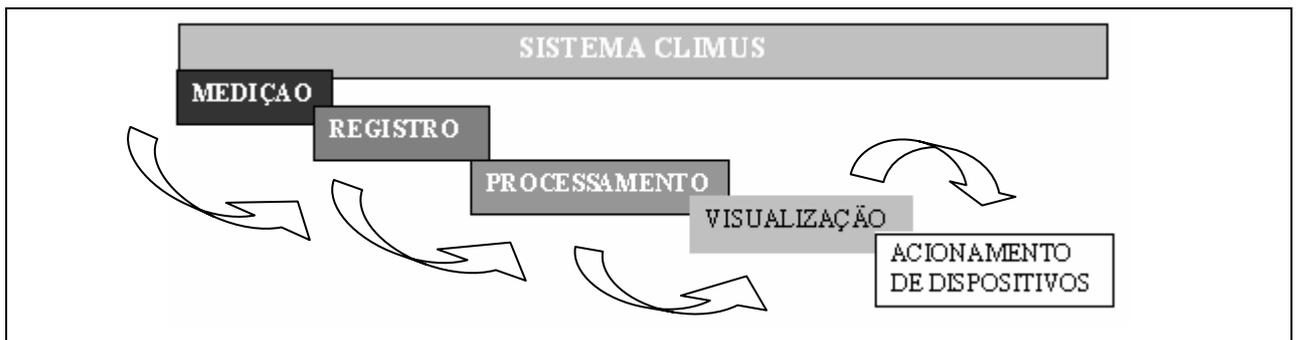
Como já mencionado no capítulo 2, devemos ter cuidado ao levar em consideração as estratégias bioclimáticas indicadas para conforto humano, já que foram desenvolvidas a partir da percepção humana e muito mais para atender suas características sensoriais. Isto é coerente se avaliarmos que a indicação de ventilação, para conforto humano, independentemente do nível de umidade existente, está muito mais relacionada ao fato da sensação de bem-estar proporcionada do que efetivamente de uma melhoria das condições ambientais. CASSAR (1997) reflete sobre isto ressaltando que as pessoas são sensíveis à temperatura, ao passo que a maioria dos objetos encontrados em museus é sensível à umidade e que, quando o ambiente oscila, muitos objetos se deterioram com grande rapidez, porque suas margens de tolerância são muito mais estreitas que as dos seres humanos.

É importante que se destaque que estas são apenas aproximações iniciais e que somente após o processo de monitoramento dos dados reais internos e externos ao museu e a devida comparação com os limites estabelecidos pela literatura é que poderá se indicar a aplicabilidade real das estratégias relacionadas a conforto e à conservação.

### 3.3. O sistema de monitoramento e controle ambiental proposto

O sistema de monitoramento visa identificar as condições climáticas externas e acompanhar as variações do microclima interno das edificações, buscando identificar os valores e as variações de umidade e temperatura inadequadas à conservação do acervo.

Para a devida verificação dos dados reais de variação dos níveis de temperatura e umidade das áreas interna e externa ao museu, foi proposta neste trabalho a utilização do Sistema de Monitoramento Térmico para Gerenciamento de Conservação de Coleções CLIMUS, citado no capítulo 2. Como este sistema permite desde a aquisição de dados até o possível acionamento de sistemas auxiliares, a seguir são especificados a seqüência de procedimentos e os equipamentos necessários para o desenvolvimento de cada uma destas fases, sendo mostrada na Figura 26 a estrutura seqüencial destas fases.



**Figura 26 – Seqüência de Procedimentos do Sistema de Monitoramento CLIMUS.**

Os dados climáticos da reserva técnica do Museu foram monitorados durante o período de março de 2002 a fevereiro de 2003, sendo medidas a temperatura e a umidade relativa do ar através de sensores analógicos, com transmissão de sinal por corrente padrão 4-20 mA. O sensor de temperatura do ar tem uma precisão de leitura: 0.3 °C, já o sensor de umidade relativa do tipo sonda capacitiva tem precisão de leitura de 4 %. Estes sensores são instalados em pequenas caixas (Figura 27) junto a pontos estratégicos do local de medição, no caso junto à sala de reserva técnica e na parte externa do edifício sob o beiral do telhado (Figura 28). Estas caixas de sensores são conectadas por fios até a central do sistema.

Os dados coletados são transferidos até o microcomputador através desta central que é composta por um módulo de aquisição de sinais com conversor A/D 12 bits e um módulo de controle de saída com chaveamento de relês tristorizados, sendo um sistema de condicionamento de sinais analógicos padrão 4-20 mA a 0-10 DCV.



**Figura 27 – Central do Sistema CLIMUS e Caixas de Sensores.** \* Fonte: LMPT - UFSC.

Os dados são coletados e registrados no disco rígido do microcomputador através do *software* de aquisição de sinais CLIMUS-AQUIS, o qual gera arquivos automáticos com valores médios de 10 em 10 minutos, para cada mês, e em um arquivo de dados anuais que tem registros médios de 6 em 6 horas. O arquivo mensal, por sua frequência de dados, permite uma melhor avaliação das variações momentâneas que podem ocorrer durante o dia, já o arquivo anual possibilita uma avaliação sobre as variações sazonais durante o ano.

Além do processamento dos dados medidos de temperatura e umidade relativa externos e internos, foram calculados e registrados simultaneamente os valores de umidade absoluta (W) e os valores do índice de preservação (IP) que é calculado a partir das correlações entre os níveis de umidade relativa e temperatura.

Este *software* também permite a visualização dos valores adquiridos e calculados em tempo real sobre a tela do computador, ou através do módulo CLIMUS-VISUAL, os dados podem ser posteriormente selecionados e analisados por meio de gráficos, horários, diários, mensais ou anuais plotados conforme necessidade, em qualquer momento, permitindo a manipulação e comparação entre períodos monitorados. Este programa é rodado sobre o programa EXCEL, tendo sido especialmente desenvolvido para a análise de parâmetros climáticos de acervos.

O processamento dos dados coletados também possibilita uma avaliação das condições ideais programadas para que seja feito o acionamento de sistemas auxiliares como, por exemplo, do sistema de insuflamento de ar externo, bastando inserir na rotina de funcionamento do programa quais são os critérios a serem considerados favoráveis ao acionamento dos mesmos.

Para a instalação do sistema de monitoramento no Museu Universitário, foram utilizados os equipamentos de suporte indicados na Tabela 8.

Tabela 8 – Listagem de equipamentos e localização do Sistema de Monitoramento

EQUIPAMENTOS	LOCALIZAÇÃO
1 Computador Pentium 100 com Sistema Operacional Windows 95	Sala de administração da reserva técnica
1 Sensor de umidade e 1 Sensor de temperatura, internos	Posição intermediária na Sala do Acervo da Reserva Técnica
1 Sensor de temperatura e 1 Sensor de umidade, externos	Sob o beiral do telhado, junto à fachada na qual foi instalado o ventilador para insuflamento de ar externo.

Como sistema de controle ambiental, foi proposta a utilização de um sistema de insuflamento de ar externo, que teve como objetivo avaliar a possibilidade de estabilização e redução dos níveis de temperatura e umidade internos, através da troca de ar interior / exterior, sempre que as condições externas do ar estivessem melhores que as internas. Para que o sistema de controle ambiental por insuflamento de ar externo pudesse ser avaliado, foi instalado na sala da reserva técnica um ventilador centrífugo industrial (Figura 28) que pudesse proporcionar a renovação e distribuição de ar necessárias para as dimensões deste ambiente.



**Figura 28 – Visualização Externa da Localização do Ventilador Centrífugo e do Sensor de Temperatura e Umidade Externo.** Fonte: M<sup>a</sup> Claudia L. Corrêa

O ventilador industrial centrífugo foi dimensionado para atender à vazão de ar de 3000 m<sup>3</sup>/h, sendo dotado de um sistema para fazer a captação do ar externo, no qual, junto à entrada de ar externa, estão localizados filtros para retenção de partículas, incorporando uma perda de carga no sistema já considerada em seu dimensionamento, sendo que esta vazão permite uma taxa de 6 renovações de ar por hora. Na Tabela 6, encontram-se algumas das especificações deste sistema.

Tabela 9- Especificações Técnicas do Ventilador Centrífugo

Vazão (m <sup>3</sup> /h)	3.000
Pressão Total (mmca)	35
Velocidade de Descarga (m/s)	9
Rotação (rpm)	1017
Potência Absorvida (CV)	0.60
Pressão Sonora (dBA)	66.00
Motor cv/pólos/Hz – tipo	1/IV/60-TFVE
Com gabinete para filtros, filtro metálico de alumínio permanente - e filtros descartáveis (filtros GO e G3 / classificação referente às espessuras indicadas pelos catálogos de fabricantes).	

A vazão de 3000 m<sup>3</sup>/h do ventilador centrífugo foi estimada para a geração de uma pressão positiva interna do ar no ambiente que proporcionasse a saída do ar interno através de duas aberturas dispostas nas extremidades da sala, nas quais foram instalados filtros adequados para evitar a entrada de partículas no ambiente.

O ventilador centrífugo foi instalado em um ponto intermediário da sala, e para auxiliar na distribuição correta do ar pelo ambiente e proteger o acervo do fluxo direto de ar, foi colocado um difusor no ponto de entrada do ar no ambiente, que, juntamente com os 4 ventiladores de teto já existentes na sala, fazem a mistura e distribuição mais eficiente através das diversas prateleiras de armazenamento do acervo.

A localização dos equipamentos de monitoramento e controle ambiental nos ambientes da reserva técnica é indicada na Figura 29, assim como é indicado o direcionamento do fluxo de ar pelo ambiente através dos pontos de entrada e saída do ar.

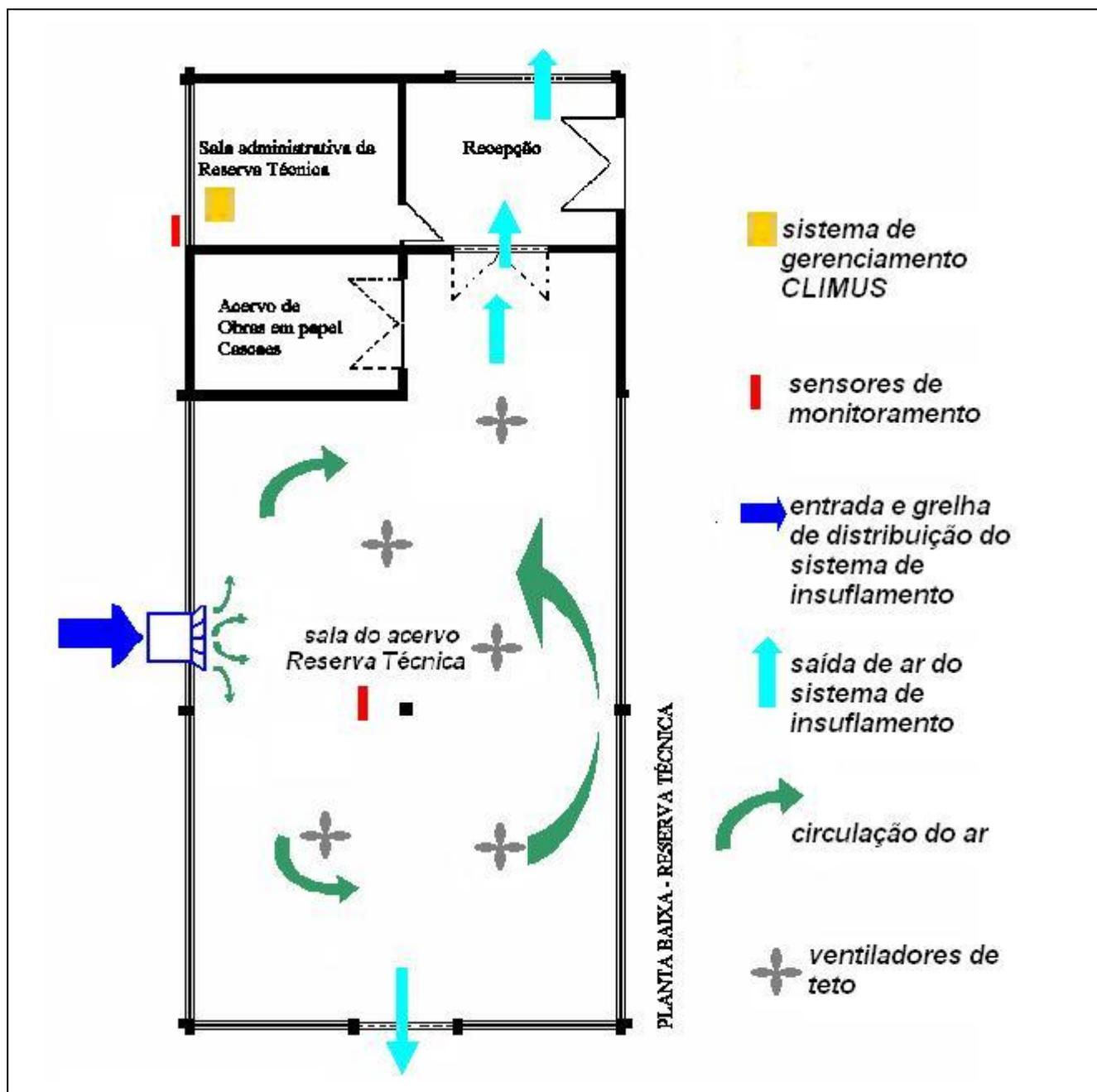


Figura 29 – Distribuição dos Equipamentos de Monitoramento e Controle Ambiental.

O período completo de avaliação deu-se entre março de 2002 e fevereiro de 2003, sendo que, de março até janeiro, o monitoramento teve a intenção de caracterizar o comportamento climático interno e externo à edificação, identificando as variações típicas de cada estação. Além desta caracterização, foi possível a avaliação do desempenho térmico da edificação mediante a averiguação da capacidade de atraso térmico e de amortecimento possibilitados pela tipologia construtiva do edifício. Estas avaliações permitiram uma aproximação sobre a possibilidade de utilização de algumas das estratégias de controle ambiental indicadas pela bibliografia.

Já no período de fevereiro de 2003, foram feitas avaliações com o intuito de observar as possibilidades de utilização da estratégia de controle ambiental por insuflamento de ar externo. Os dados coletados durante este período de monitoramento serviram para análise e desenvolvimento de possíveis critérios a serem utilizados no caso de acionamento do sistema de insuflamento de ar, permitindo também a avaliação das interferências do sistema sobre comportamento climático interno da edificação, além de proporcionar uma análise sobre as limitações do sistema frente ao desempenho térmico identificado no edifício.

Ao final, foram propostas algumas intervenções possíveis de serem efetuadas que contribuiriam com a melhoria do desempenho climático da edificação, além de serem indicadas as principais estratégias e critérios a serem aplicados e testados em futuras pesquisas.

## **4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo, primeiramente será feita uma caracterização do clima monitorado, identificando, durante o período de monitoramento, algumas correlações entre as variações climáticas internas e externas à edificação. Será feita também uma análise sobre alguns períodos específicos que caracterizam situações típicas do comportamento climático da edificação, permitindo a avaliação da interação entre clima e edifício.

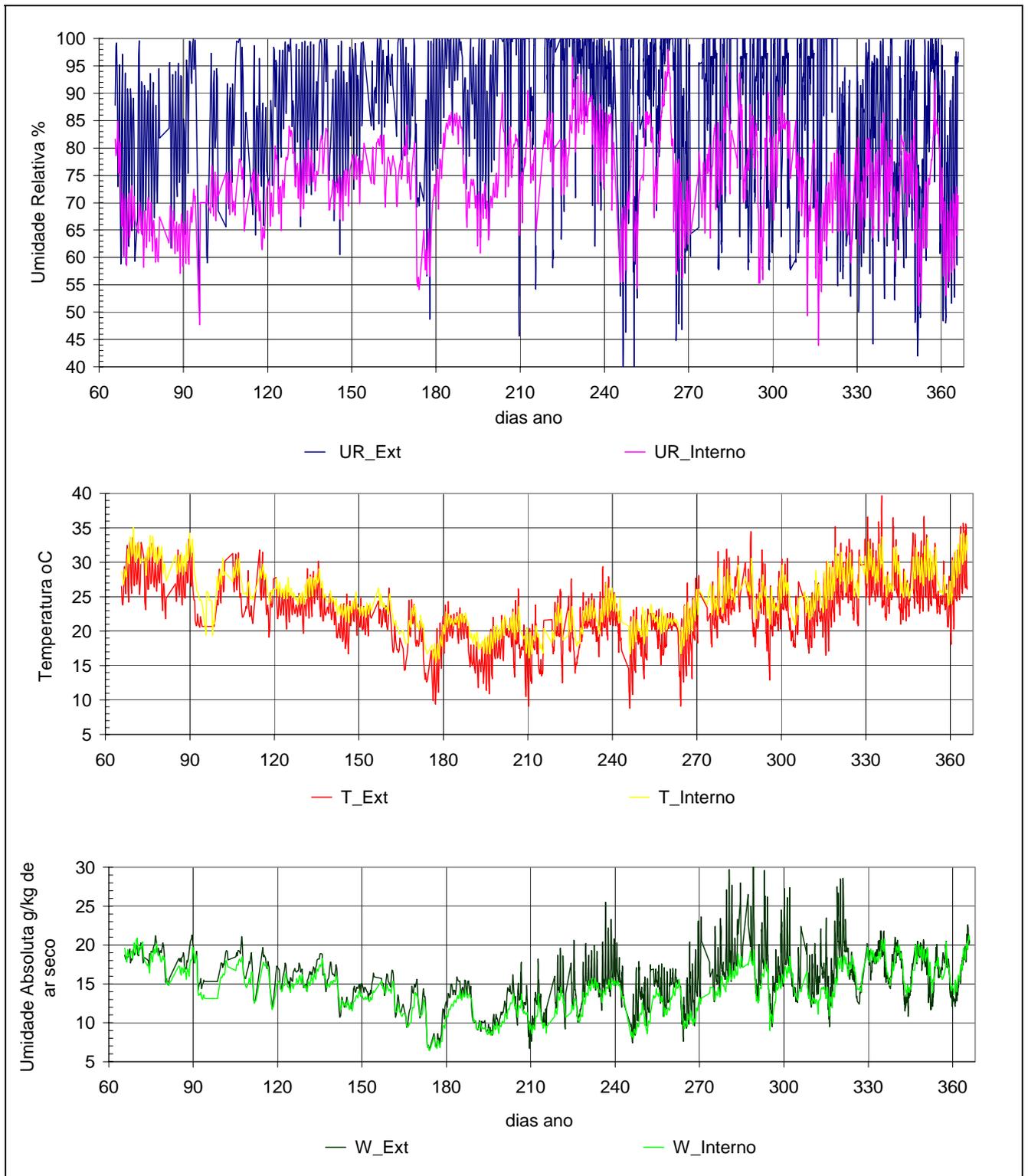
Posteriormente, são avaliados estes dados frente às possibilidades de aplicabilidade ou não das estratégias relacionadas nos capítulos anteriores.

E, por último, serão apresentadas as limitações, relacionadas à aplicação do sistema de controle ambiental através do insuflamento de ar externo, para o Museu em estudo.

### **4.1. Caracterização do clima durante as medições**

Os dados que serão analisados nesta caracterização do clima correspondem ao período de março de 2002 a janeiro de 2003, sendo que são mostrados aqui os valores de umidade relativa - UR%, temperatura - °C e umidade absoluta - W g/kg de ar seco. A intenção de acrescentar a umidade absoluta nas análises se deu no sentido de poder estar avaliando seu comportamento diante das variações de UR, temperatura, assim como identificando a sua correlação com o IP – índice de preservação, avaliando a possibilidade de sua utilização como um critério a ser considerado nas ponderações sobre o acionamento dos sistemas de controle.

Numa primeira avaliação geral (Figura 30), podemos perceber que os períodos de maior UR foram os meses de inverno, de junho e agosto, os períodos de março e dezembro mostram um decaimento natural da UR devido ao aumento das temperaturas nestes meses de verão. Já os meses de setembro e outubro foram bem instáveis atingindo grandes amplitudes de umidade. Observamos também que o comportamento da umidade absoluta aparentemente acompanha as variações de temperatura, porém, mais adiante veremos, numa análise mais aproximada, que nem sempre este comportamento entre temperatura e W é tão correspondente como entre UR e temperatura.



**Figura 30** Variações de Temperatura, Umidade Relativa e Umidade Absoluta do Ano Monitorado.

Obs.: os “dias do ano”, constantes nos gráficos, correspondem a contagem dos 365 dias do ano, portanto do dia 60 ao dia 90 podemos considerar que nos encontramos no mês de março, e assim sucessivamente com os demais meses.

Já no quadro comparativo da Figura 31, veremos que os níveis de umidade absoluta (W) seguem as mesmas tendências dos níveis de temperatura, sendo mais baixos no inverno e mais altos no verão.

Ainda na Figura 31, podemos verificar que os níveis de UR foram bem elevados, considerando que as médias externas mantiveram-se acima de 75% em todos os meses, sendo que, internamente, este limite foi ultrapassado em 5 dos 11 meses, nos meses mais frios do ano, permanecendo no resto do tempo em torno de 70% UR.

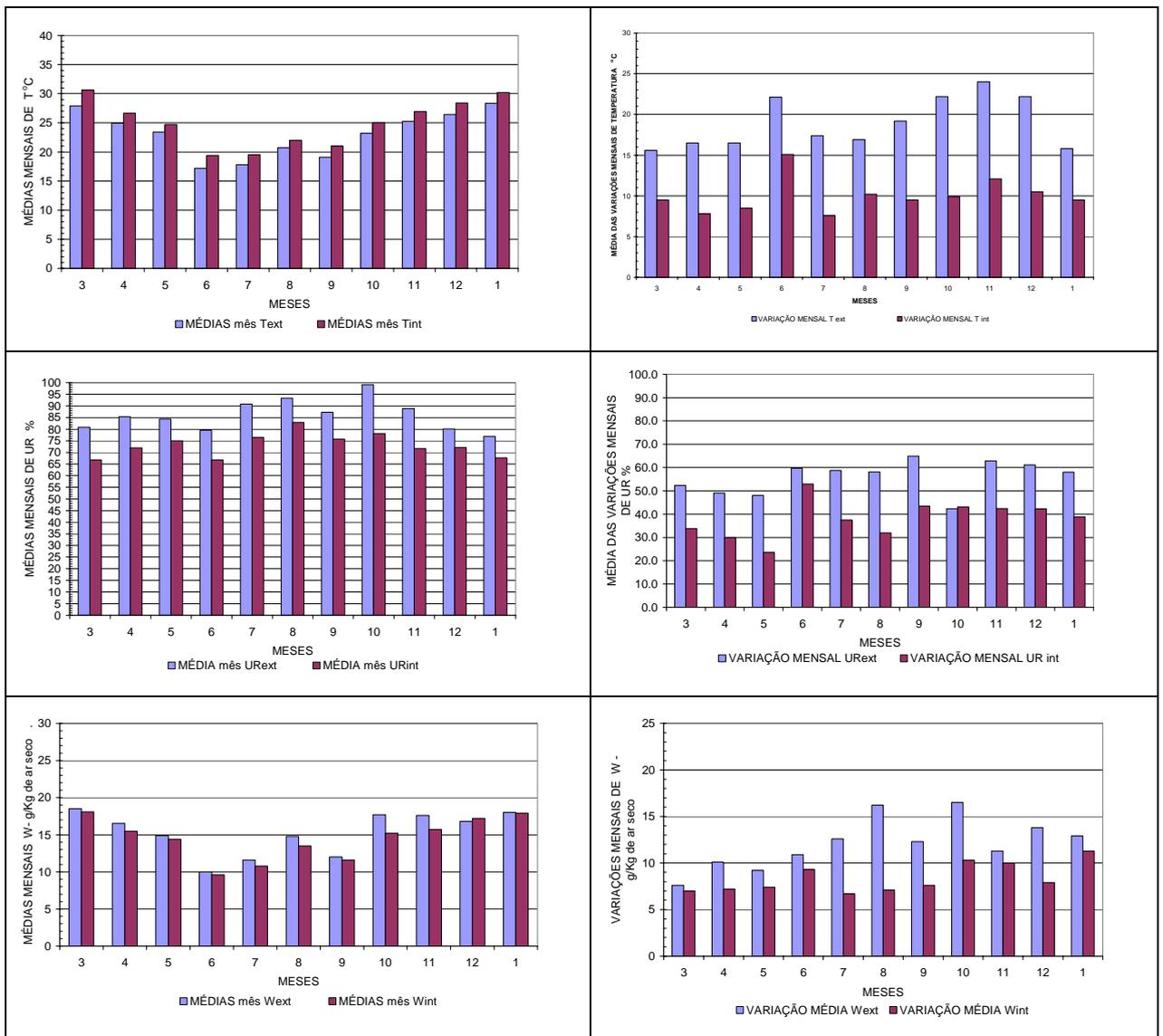


Figura 31 – Quadro Comparativo dos Níveis de Temperatura UR e W.

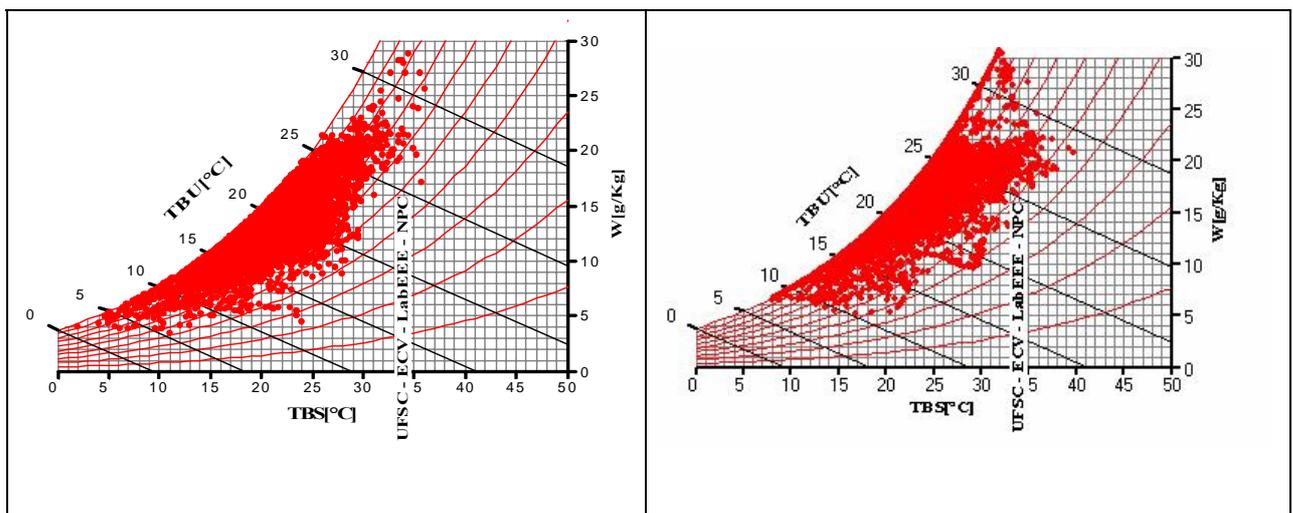
No período de monitoramento, pôde-se identificar características bem semelhantes aos aspectos relacionados na descrição que foi feita no capítulo 3 sobre o clima de Florianópolis, principalmente no que se refere aos altos níveis de umidade constantes durante o ano todo na cidade, indicados no ano TRY, com 83% de UR em média, e nos dados monitorados, com média de 86% de UR ano.

Na tabela a seguir, podemos ver um comparativo dos principais dados de referência do ano TRY com os dados coletados durante o monitoramento.

Tabela 10 – Dados Comparativos das Características Climáticas.

Estações	Ano TRY		Dados externos monitorados	
	temperatura	umidade	temperatura	Umidade
VERÃO	Média 24.5° C máx 33° C	Média 82% UR	Média 26.7° C máx 39.7	Média 82% UR
INVERNO	Média 16.6° C mín. 7° C	Média 84% UR	Média 18.6 Mín. 8.1	Média 88 % UR

Pode-se notar, neste comparativo, que os valores de temperatura e umidade ficaram muito próximos, com exceção da temperatura máxima de verão, que foi de quase 40° C, todavia, observando estes dados plotados sobre a carta psicrométrica, figuras 32 e 33, vêem-se as diferenças entre a distribuição dos pontos, constatando-se que os dados externos monitorados ocupam uma maior área, indicando pontos sobre os níveis de temperatura mais elevada, assim como uma maior concentração nas áreas de maior umidade.

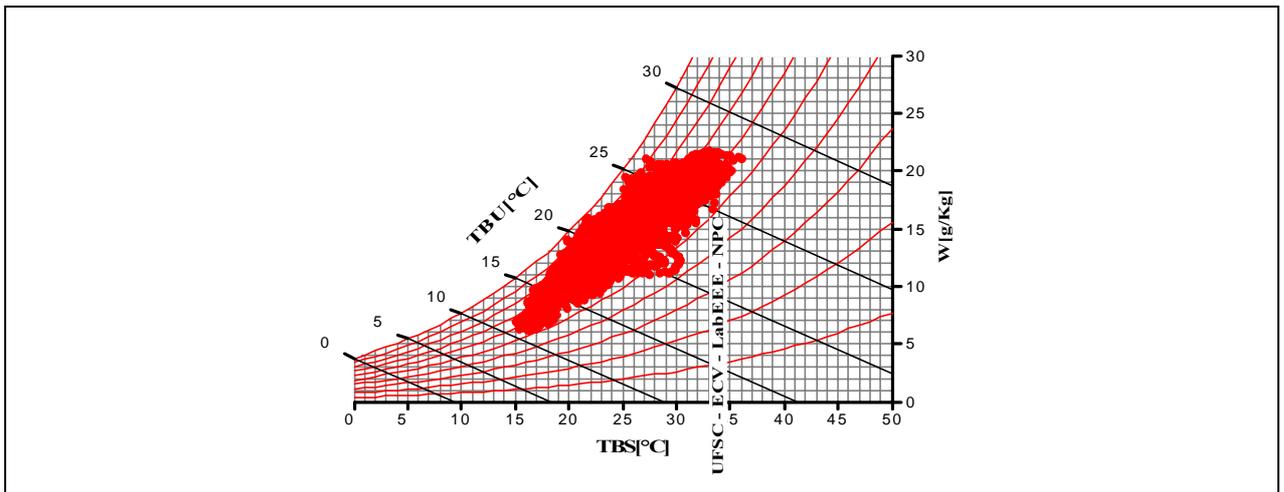


**Figura 32 Dados Climáticos Ano TRY\* (valores horários)**

**Figura 33 Dados Climáticos Externos do Ano Monitorado\*(valores horários)**

\*Fonte: gráficos plotados através do programa Analysis Bio 2.0 – Desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) – ECV-UFSC.

Quando avaliamos a distribuição dos pontos em relação aos dados de monitoramento interno do museu (Figura 34), vemos claramente a interferência do edifício sobre as variações climáticas externas, observando que as variações extremas são minimizadas, ocasionando uma maior concentração dos pontos.



**Figura 34 - Dados Climáticos Internos do Ano Monitorado.** \*Fonte: gráficos plotados através do programa Analysis Bio 2.0 – Desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE)– ECV-UFSC.

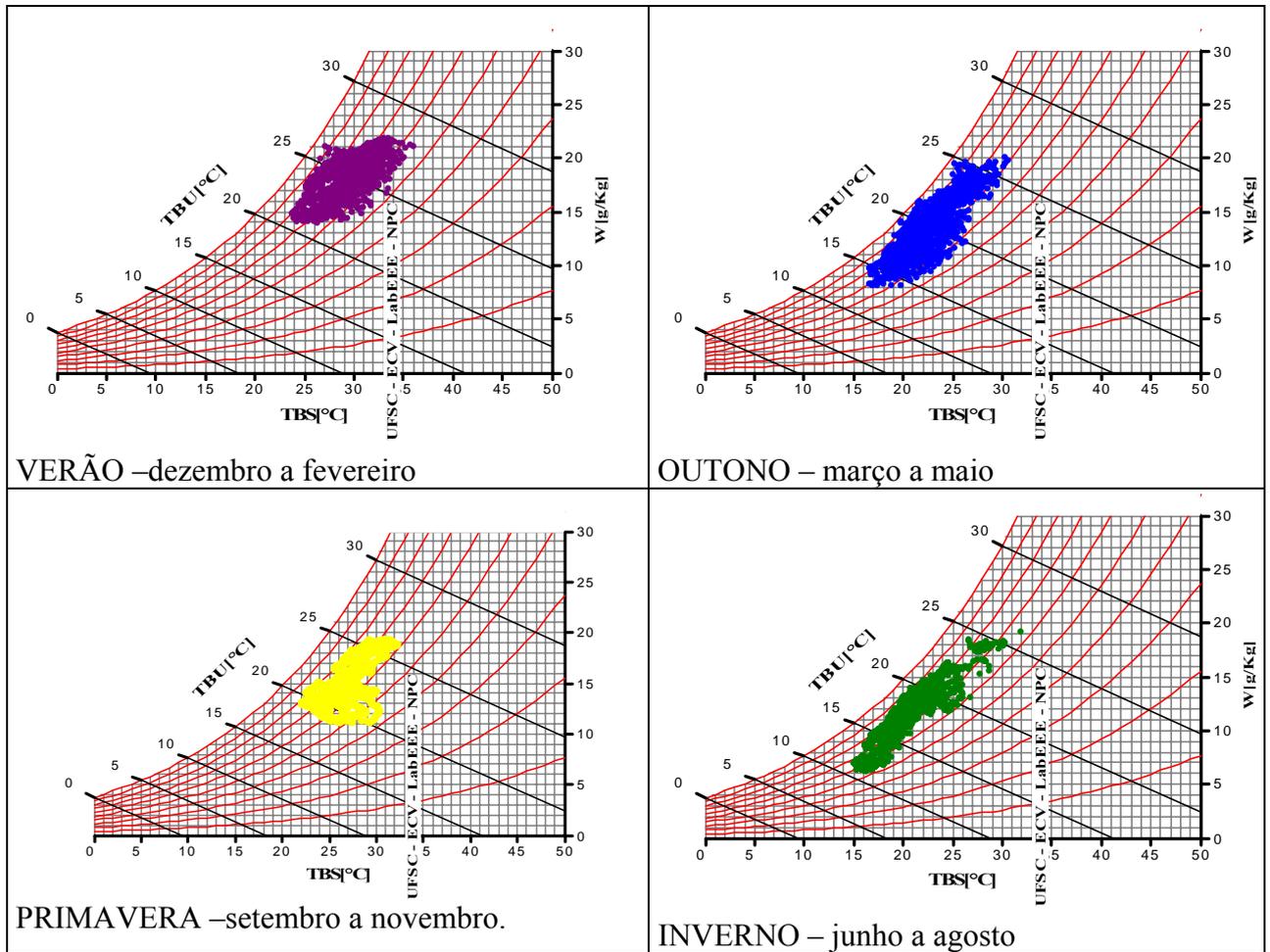
Observando as tabelas 11 e 12, os valores médios de temperatura e UR monitorados, interna e externamente, poderíamos considerar que a UR interna estaria dentro dos níveis desejáveis, contudo, vemos, pelos valores máximos e mínimos apresentados, que, na verdade, houve uma enorme variação dos valores de UR, o que é extremamente prejudicial para o acervo, tendo o mesmo ocorrido com a temperatura.

Tabela 11 – Médias / Máx e Mín Dados Externos Anuais		
T_Ext		
MÉDIA	MAX	MIN
23.1	39.7	8.1
UR_Ext		
MÉDIA	MAX	MIN
86.0	100.0	35.1

Tabela 12 – Médias / Máx e Mín Dados Internos Anuais		
T_Int		
MÉDIA	MAX	MIN
24.9	36.1	11
UR_Int		
MÉDIA	MAX	MIN
69.4	97.7	32.1

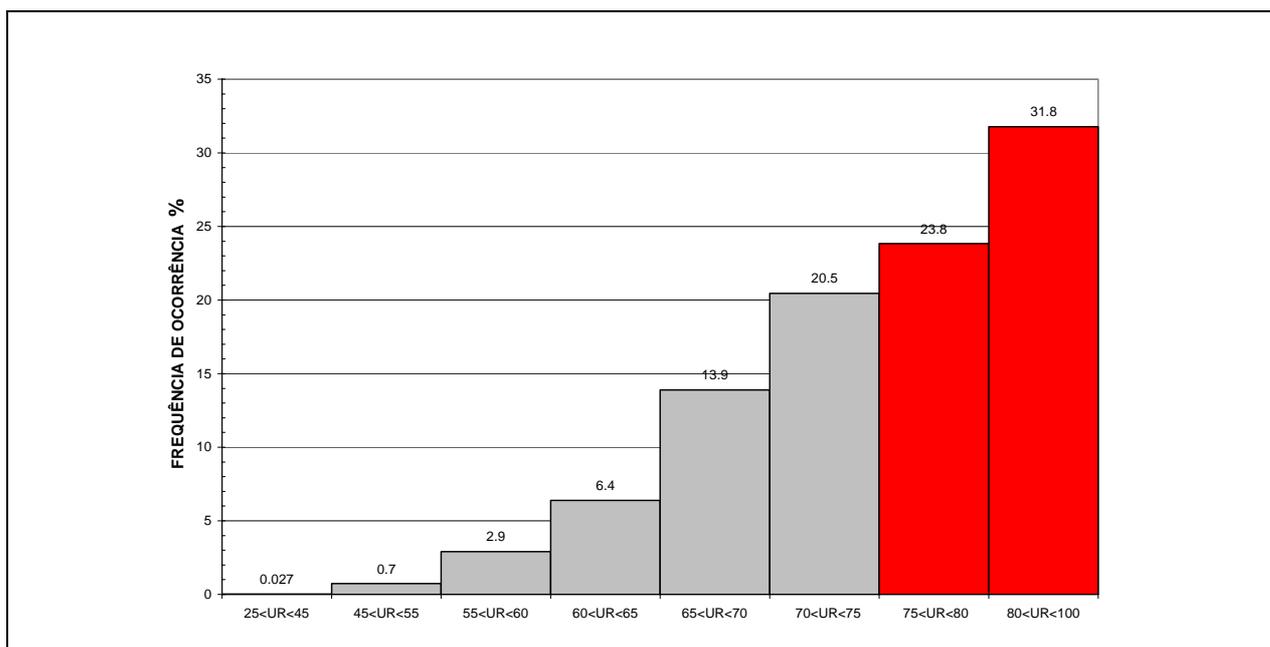
Além disto, observando a distribuição dos pontos por estação do ano na Figura 35, temos claramente a distinção de comportamento entre as estações, principalmente no que se refere à atenuação das temperaturas máximas de verão, que não ultrapassam 36.1° C, e as mínimas do

inverno, que ficam em torno de 11° C, reduzindo estes extremos de amplitude em torno de 3° C em relação aos valores externos.



**Figura 35 – Dados Climáticos Monitorados Internamente** \*Fonte: gráficos plotados através do programa Analysis Bio 2.0 – Desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE)– ECV-UFSC.

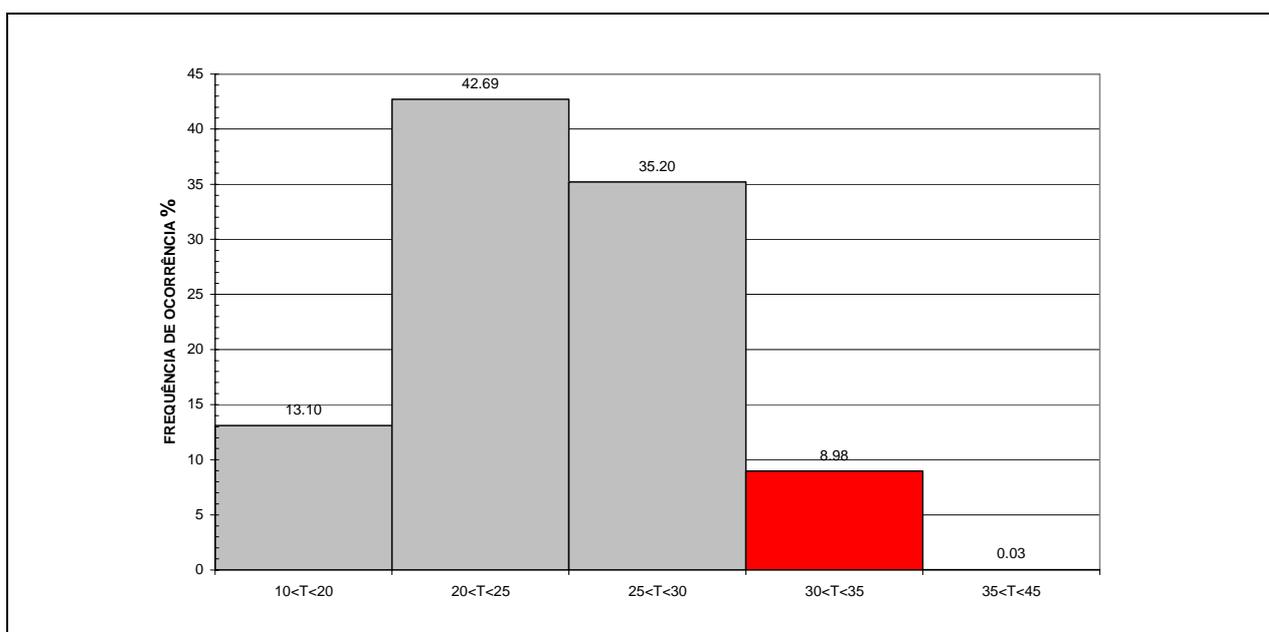
O grande conflito em lidar com o controle ambiental em museus é conseguir contornar conjuntamente os valores e as variações entre temperatura e umidade dentro dos limites requeridos. Por exemplo, vemos que, durante o inverno, as temperaturas ficam bem abaixo do limite de 30° C, porém, nestes meses, a UR está muito acima dos níveis ideais de conservação. A seguir, vemos uma avaliação sobre a frequência de ocorrência dos valores de temperatura e umidade interna ao ambiente do museu, e que mesmo a edificação tendo atenuado os extremos já mostrados de temperatura nos dados externos, ainda assim, os valores de UR (Figura 36) permaneceram altos na maior parte do tempo



**Figura 36– Frequência de Ocorrência de UR Interna.**

No gráfico da Figura 36, podemos verificar que mais de 50% dos dados apresentaram UR acima de 75%, o que é bastante problemático para o efeito cumulativo de degradação do acervo, especialmente no que diz respeito à proliferação de microorganismos.

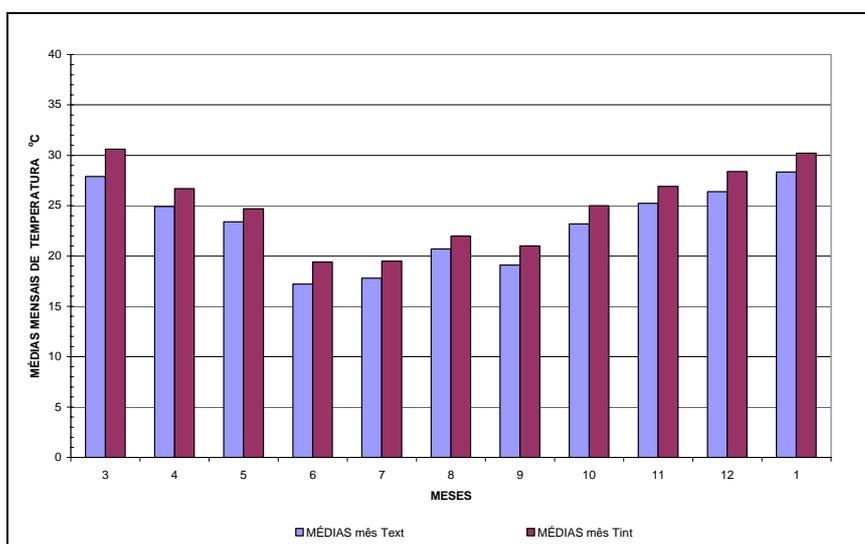
Já no que tange aos níveis de temperatura, não parecem tão críticos. Na Figura 37, podemos observar a avaliação percentual da ocorrência das temperaturas cujos valores não ultrapassam muito os limites estabelecidos, entretanto, mantêm-se muito próximos ao limite.



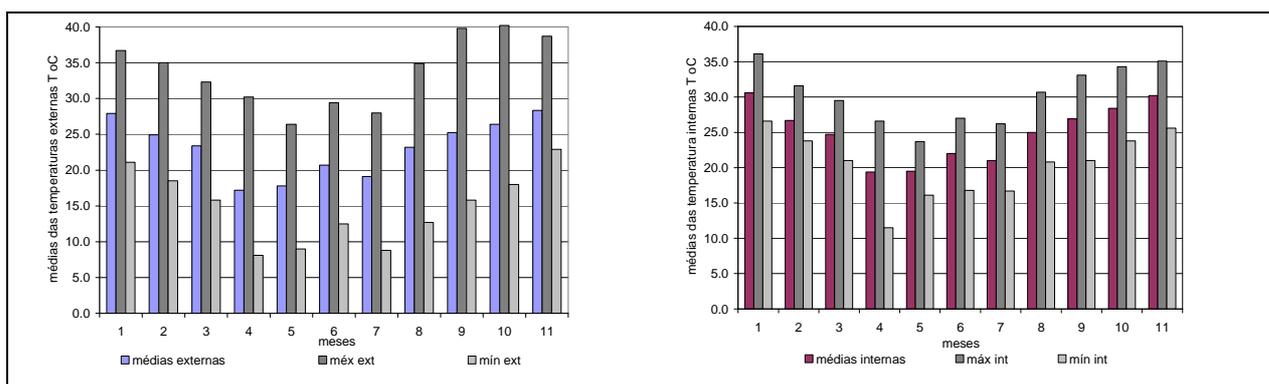
**Figura 37 – Frequência de Ocorrência de Temperaturas Internas.**

Quanto à temperatura, vimos que a maior ocorrência se dá abaixo dos 30° C, porém, ainda temos em torno de 9% de pontos acima de 30° C, com uma grande porcentagem de 35% dos pontos na faixa próxima ao limite entre 25 ° e 30° C.

Na Figura 38, podemos avaliar este mesmo dado, observando as médias mensais de temperatura e verificando que seriam apenas nos meses de verão que as médias estariam próximas ou no limite dos 30° C. Todavia, conforme se pode perceber na Figura 39, ao trabalharmos com valores médios, podemos estar encobrindo extremos perigosos para a conservação de acervos.



**Figura 38 - Médias dos Valores Mensais de Temperatura Monitoradas.**



**Figura 39 – Valores Médios, Máximos e Mínimos de Temperatura Externa e Interna.**

Na Figura 39, mostramos as médias dos valores de temperatura externas e internas ocorrida nestes meses e vemos que as médias das amplitudes giram em torno dos 10° a 15° C, o que pode significar variações efetivas maiores que os  $\pm 5^\circ$  C recomendados e temperaturas máximas acima dos 30° C em vários momentos.

Avaliando os dados médios de cada mês e os valores máximos e mínimos dos valores de T, Tabela 13, detectamos alguns destes aspectos.

Tabela 13 – Médias / Máximas e Mínimas dos Valores Mensais de Temperatura.

ANO	MÊS	T_Externa				T_Interna				amortecimento
		méd	Máx	mín	Amplitude máx. mês	médias	máx	Mín	Amplitude Máx. mês	
2002	MAR	27.9	36.7	21.1	15.6	30.6	36.1	26.6	9.5	0.6
	ABR	24.9	35.0	18.5	16.5	26.7	31.6	23.8	7.8	0.5
	MAI	23.4	32.3	15.8	16.5	24.7	29.5	21.0	8.5	0.5
	JUN	17.2	30.2	8.1	22.1	19.4	26.6	11.5	15.1	0.7
	JUL	17.8	26.4	9.0	17.4	19.5	23.7	16.1	7.6	0.4
	AGO	20.7	29.4	12.5	16.9	22.0	27.0	16.8	10.2	0.6
	SET	19.1	28.0	8.8	19.2	21.0	26.2	16.7	9.5	0.5
	OUT	23.2	34.9	12.7	22.2	25.0	30.7	20.8	9.9	0.4
	NOV	25.2	39.8	15.8	24.0	26.9	33.1	21.0	12.1	0.5
	DEZ	26.4	39.7	18.0	21.7	28.4	34.3	23.8	10.5	0.5
2003	JAN	28.3	38.7	22.9	15.8	30.2	35.1	25.6	9.5	0.6

Por exemplo, no que diz respeito às variações de temperatura internas, observou-se justamente que, nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, apesar de as médias mensais estarem em torno de 25 °C, os valores máximos, em geral, ultrapassaram os 30° C pelo fato de as temperaturas externas ao edifício estarem bem elevadas.

Porém, vale ressaltar que externamente as amplitudes foram bastante altas, sendo que a capacidade de amortecimento térmico do edifício ficou em torno dos 0.6 durante a maioria dos meses, e que poderia ser melhorado se o edifício oferecesse um melhor isolamento térmico, sobretudo na sua cobertura, que é a parte mais exposta do edifício. Na Tabela 13, ainda pode-se verificar que, apesar das amplitudes terem diminuído o ganho térmico da edificação, ficou em torno de 2° C.

Já na Tabela 14, é demonstrado que as amplitudes de UR também sofrem um amortecimento, menos eficiente que no caso da temperatura, permitindo que as variações mensais ultrapassem os valores de  $\pm 10\%$  em todos os meses, entretanto, o grande risco de todos os períodos é a extrapolação dos níveis máximos de UR para mais de 75%.

Tabela 14 - Médias / Máximas e Mínimas dos Valores Mensais de UR.

ANO	MÊS	UR_Externa				UR_Interna				amortecimento
		médias	Máx.	Mín.	Amplitude máx. mês	Médias	Máx.	Mín.	Amplitude máx. mês	
2002	MAR	80.9	99.8	47.5	52.3	66.8	87.9	54.1	33.8	0.6
	ABR	85.4	100.0	50.9	49.1	71.9	85.7	55.8	29.9	0.6
	MAI	84.4	100.0	52.0	48.0	75.0	85.5	61.9	23.6	0.5
	JUN	79.5	100.0	40.3	59.7	66.8	85.0	32.1	52.9	0.9
	JUL	90.8	100.0	41.3	58.7	76.5	95.0	57.5	37.5	0.6
	AGO	93.3	100.0	41.9	58.1	82.9	96.2	64.2	32.0	0.6
	SET	87.3	100.0	35.1	64.9	75.7	97.7	54.3	43.4	0.7
	OUT	99.1	100.0	72.6	27.4	78.1	96.6	53.5	43.1	0.8
	NOV	88.8	100.0	37.2	62.8	71.6	85.6	43.2	42.4	0.7
2003	DEZ	80.1	100.0	38.9	61.1	72.1	93.0	50.8	42.2	0.7
2003	JAN	76.9	100.0	42.0	58.0	67.7	88.4	49.6	38.8	0.7

Na Tabela 15, através do cálculo da diferença das médias mensais de temperatura, UR e W, observa-se que justamente o ganho térmico da edificação faz com que a umidade interna fique abaixo da externa, explicitando o comportamento inverso entre os níveis de umidade e temperatura.

Tabela 15 – Diferenças das Médias Internas e Externas de T, UR e W.

ANO	MÊS	D méd. = média int. - média ext.		
		Temp.	UR	W
2002	MAR	2.7	-14.1	-0.4
	ABR	1.8	-13.5	-1.0
	MAI	1.3	-9.4	-0.5
	JUN	2.2	-12.7	-0.4
	JUL	1.7	-14.3	-0.8
	AGO	1.3	-10.4	-1.7
	SET	1.9	-11.6	-2.2
	OUT	1.8	-21.0	-2.5
	NOV	1.7	-17.2	-1.9
2003	DEZ	2.0	-8.0	0.4
2003	JAN	1.9	-9.2	-0.1
	média geral	1.8	-12.9	-1.0

Verifica-se, na Tabela 15, que o acréscimo de aproximadamente 2° C nas temperaturas internas interfere justamente na diminuição dos níveis de UR, que ficam em torno de 13% a menos que as médias externas, sendo que as diferenças entre as médias da umidade absoluta ficam em torno de 1 g/kg de ar seco, podendo-se dizer que a interferência dos ganhos térmicos é mais efetiva apenas sobre os níveis de UR.

Na Tabela 16, são mostrados os valores de variações de umidade absoluta -W.

Tabela 16 - Valores de Umidade Absoluta W – g/kg de ar seco.

ANO	MÊS	W_ Externo				W_ Interno				amortecimento
		méd	máx	mín	Amplitude máxima	méd	máx	mín	Amplitude máxima	
2002	MAR	18.5	21.7	14.1	7.6	18.1	21.1	14.1	7.0	0.9
	ABR	16.5	21.4	11.3	10.1	15.5	18.6	11.4	7.2	0.7
	MAI	14.9	19.7	10.5	9.2	14.4	18.8	11.4	7.4	0.8
	JUN	10.0	17.1	6.2	10.9	9.6	15.5	6.2	9.3	0.9
	JUL	11.6	18.7	6.1	12.6	10.8	14.4	7.7	6.7	0.5
	AGO	15.2	25.5	9.3	16.2	13.5	15.8	5.7	10.1	0.6
	SET	13.8	23.5	7.5	16.0	11.6	15.6	8.0	7.6	0.5
	OUT	17.7	32.4	9.4	23.0	15.2	19.5	8.7	10.8	0.5
	NOV	17.6	20.6	9.3	11.3	15.7	20.8	10.8	10.0	0.9
DEZ	16.8	24.2	10.4	13.8	17.2	21.2	13.3	7.9	0.6	
2003	JAN	18.0	23.3	10.4	12.9	17.9	21.2	9.9	11.3	0.9

Pode-se ver que praticamente não há amortecimento das amplitudes externas e internas de W, assim como praticamente não há diferença entre os níveis médios externos e internos, sendo que este comportamento é decorrente do fato de este edifício não ter nenhum tratamento de condicionamento de ar, fazendo com que a permeabilidade do envelope do edifício permita que os valores de umidade absoluta, internos e externos, variem muito próximos entre si.

Destes meses, foram selecionados alguns períodos que retratam os dias mais quentes, medianos e frios, respectivamente em março, maio, setembro e julho, sendo que os períodos escolhidos destes meses retratam as variações características do comportamento climático entre dia e noite e entre entorno/ edifício. Primeiramente, na Figura 40, são avaliadas comparativamente as variações de temperatura características dos meses de maio e julho.

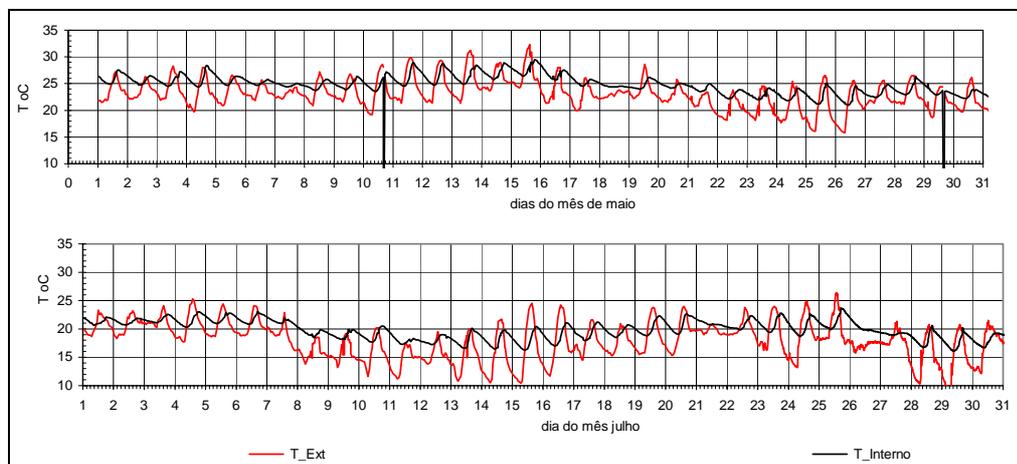
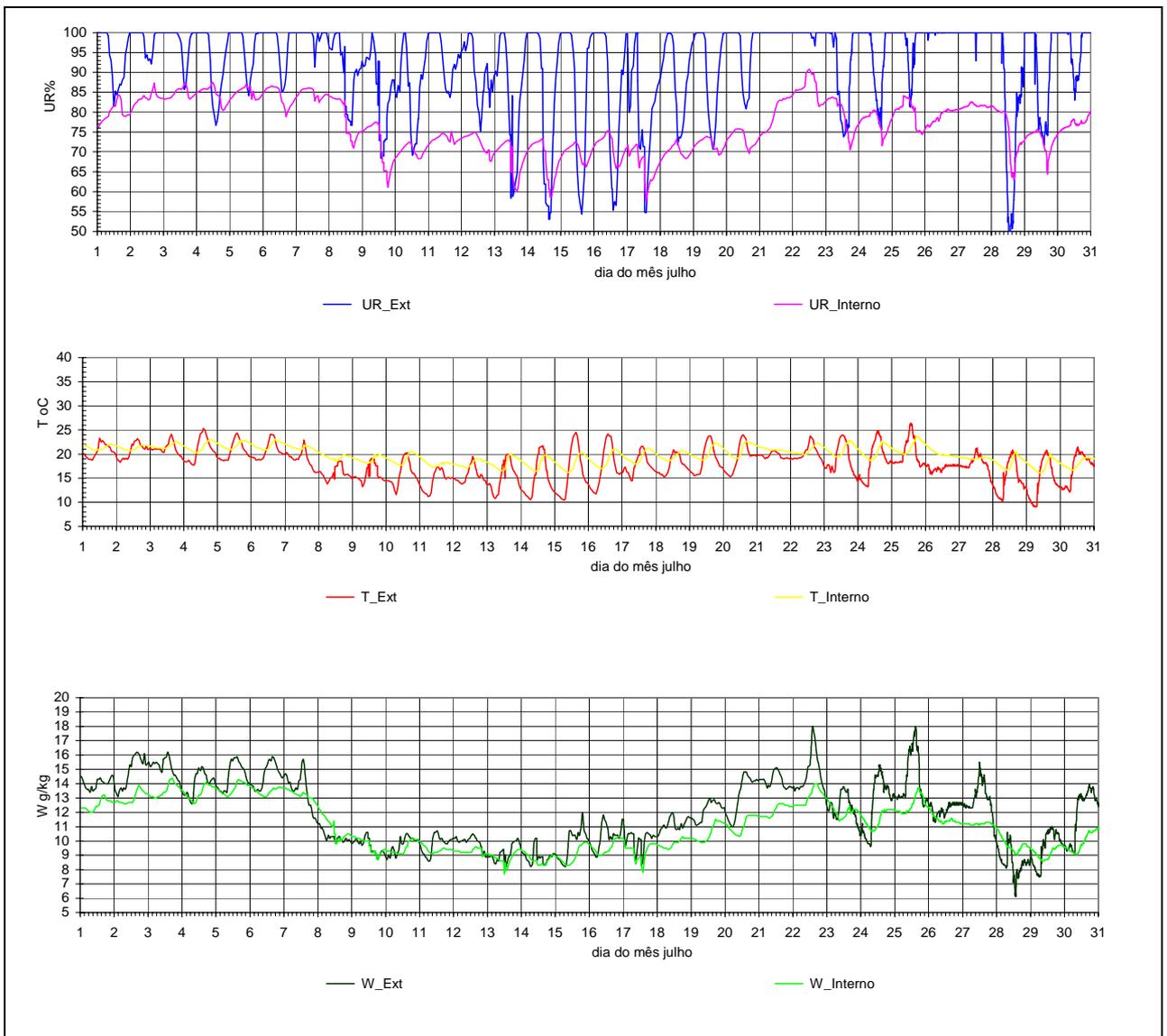


Figura 40 – Variações Diárias de Temperatura no Mês de Maio e Julho.

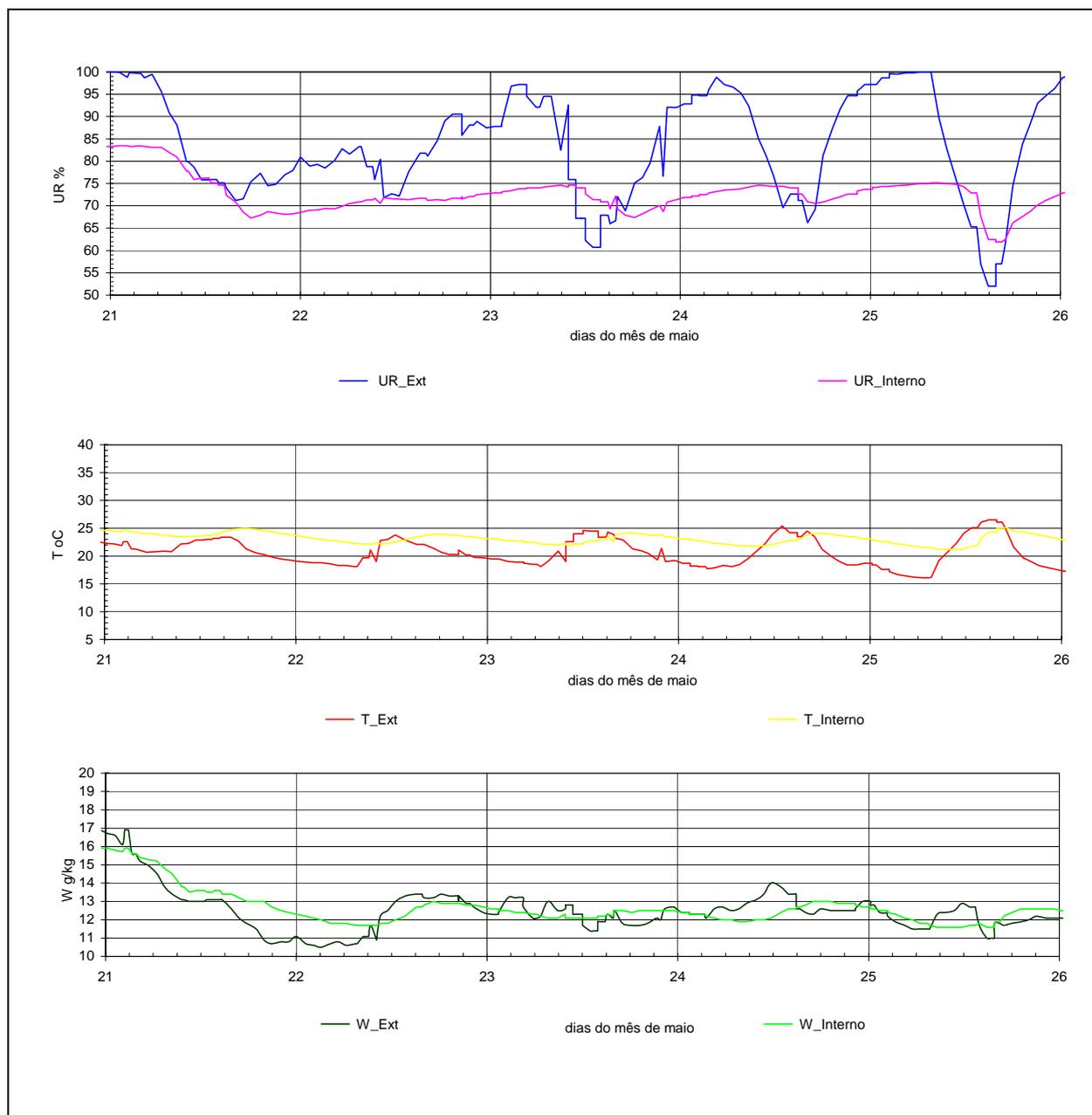
Na Figura 40, pode-se notar as mesmas variações de temperatura externa do mês de maio, proporcionando a devida estabilidade das temperaturas internas sempre dentro dos limites ideais para conservação. Já no mês de julho, vê-se a queda de temperatura característica desta estação, interferindo no decaimento da temperatura interna, inclusive, em alguns momentos ficando abaixo dos 20° C.

Na Figura 41, são mostrados os valores e as variações de UR no mês de julho, verificando-se que elas se mantiveram abaixo de 75% somente nos períodos de queda da temperatura externa, mas onde as temperaturas internas se mantiveram estáveis, em torno dos 20° C, os níveis de UR e W se mantiveram altos.



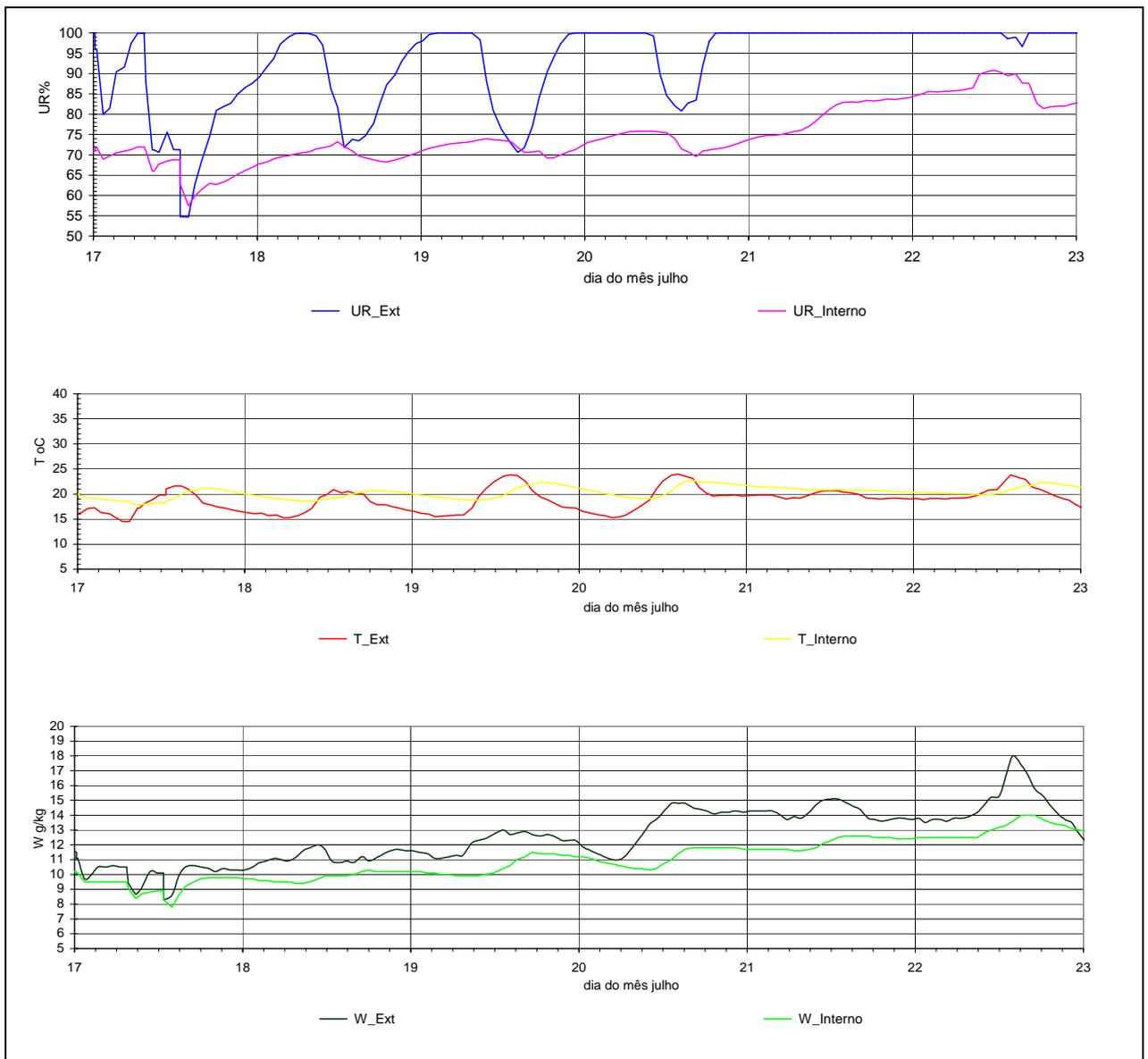
**Figura 41 - Variações Diárias de T, UR, W em Julho.**

Já na Figura 42, pode-se perceber como a estabilidade de temperatura do mês de maio interferiu também na estabilidade da umidade relativa e umidade absoluta durante o período de 21 a 26 de maio.



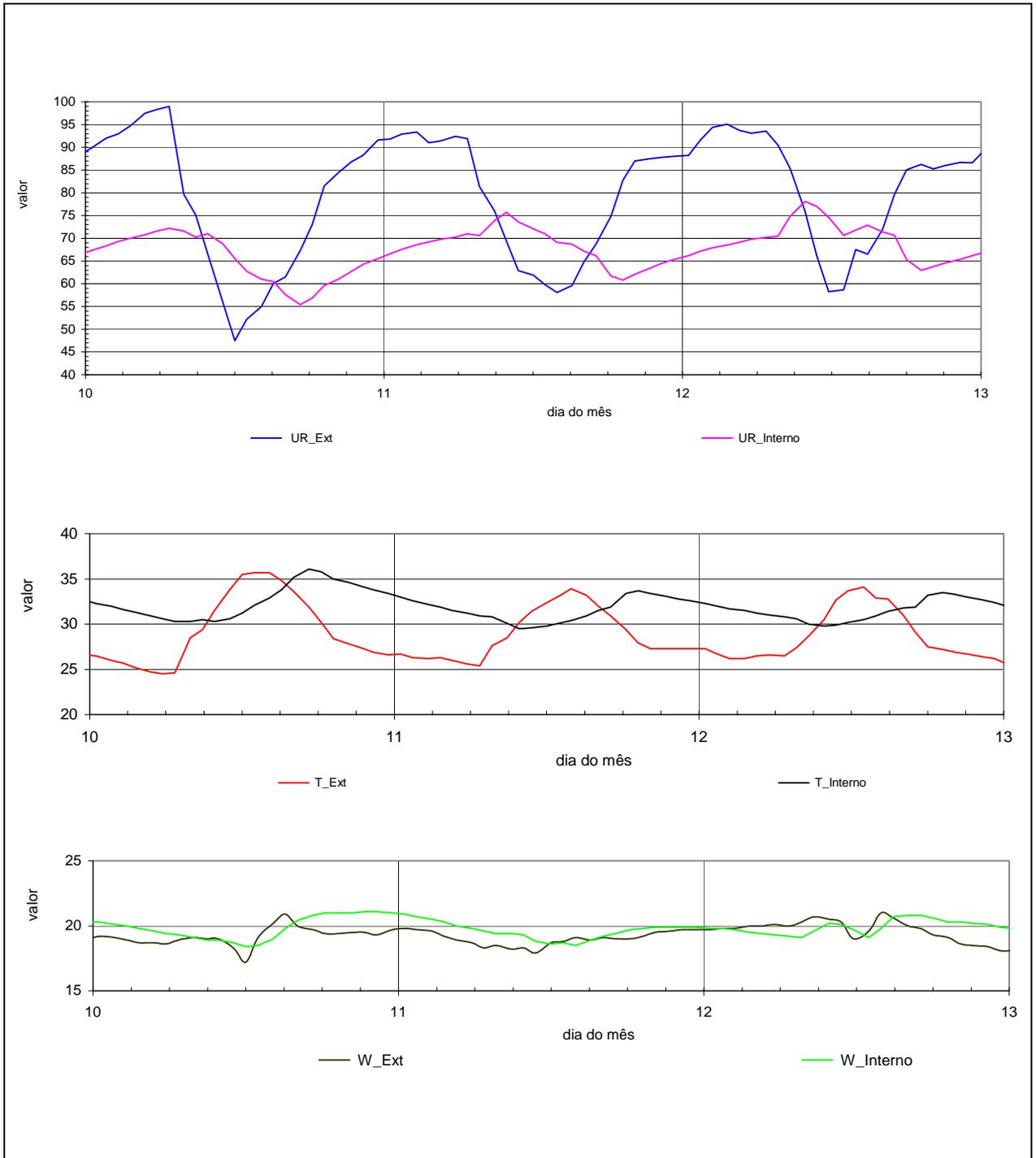
**Figura 42 - Variações Climáticas dos Dias 21 a 26 de Maio.**

A seguir, na Figura 43, verificam-se as variações dos dias 17 a 23 de julho, onde se observa que, entre os dias 18 e 21, também houve uma estabilidade nos valores de temperatura e umidade internos, porém, em virtude da entrada de um período chuvoso nos dias 21 e 22, a umidade relativa sobe consideravelmente, chegando próximo aos 90%. Levando em consideração que no dia 17 a umidade relativa chegou perto de 55%, tem-se no período de 6 dias uma variação de UR de mais de 30%.



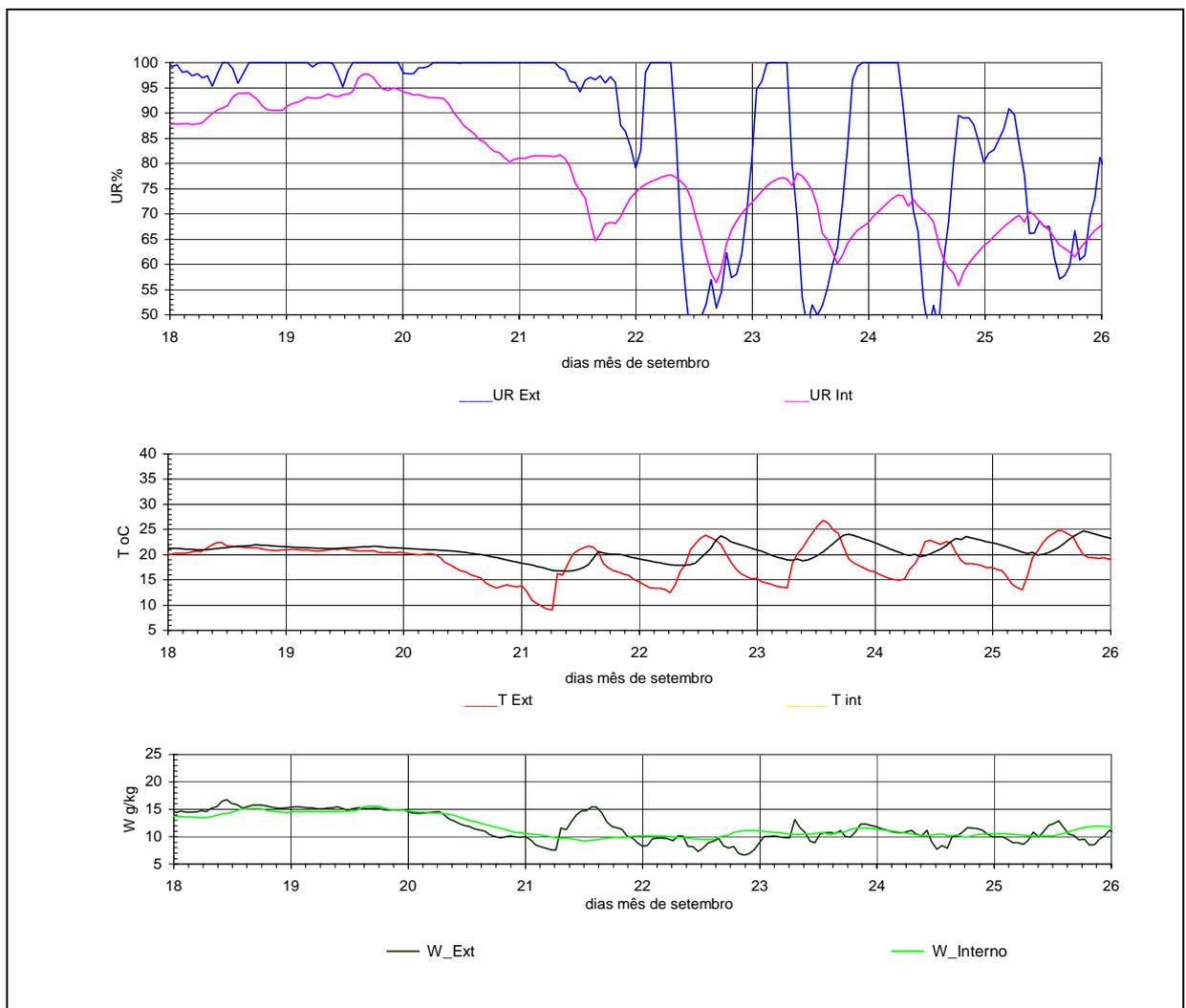
**Figura 43 - Variações Climáticas dos Dias 17 a 23 de Julho.**

Já, ao analisar-se o período dos dias 10 a 11 do mês de março, na Figura 44, pode-se observar um período em que a UR interna permaneceu praticamente toda abaixo de 75%, contudo, as temperaturas internas ficaram sempre acima dos 30 °C, o que é um risco para a deterioração de acervo, mas que ocorre, em geral, nos períodos mais quentes do ano.



**Figura 44 – Variação Climática dos Dias 10 a 11 do Mês de Março.**

Outro período que caracteriza os principais problemas do controle ambiental deste museu é de 18 a 26 de setembro, Figura 45, onde se verifica a ocorrência de um período de chuvas com estabilidade das temperaturas, mas com UR em torno de 90%, e posteriormente a entrada de um período de sol, em que, apesar das temperaturas estarem estáveis, em torno de 20 ° a 25 ° C, a umidade relativa é reduzida, todavia, com uma amplitude muito grande, chegando a variar em torno de 30% em um dia.



**Figura 45 - Variação Climática dos Dias 18 a 26 de Setembro.**

#### 4.1.1. Avaliação do Índice de preservação obtido no período de monitoramento

Quando se avalia o Índice de Preservação (IP), decorrente das correlações desta caracterização climática, vê-se claramente o que está publicado na bibliografia a respeito dos níveis de temperatura ideais para conservação, na qual os meses que obtiveram os maiores índices foram os meses que apresentaram temperaturas mais baixas, Figura 46.

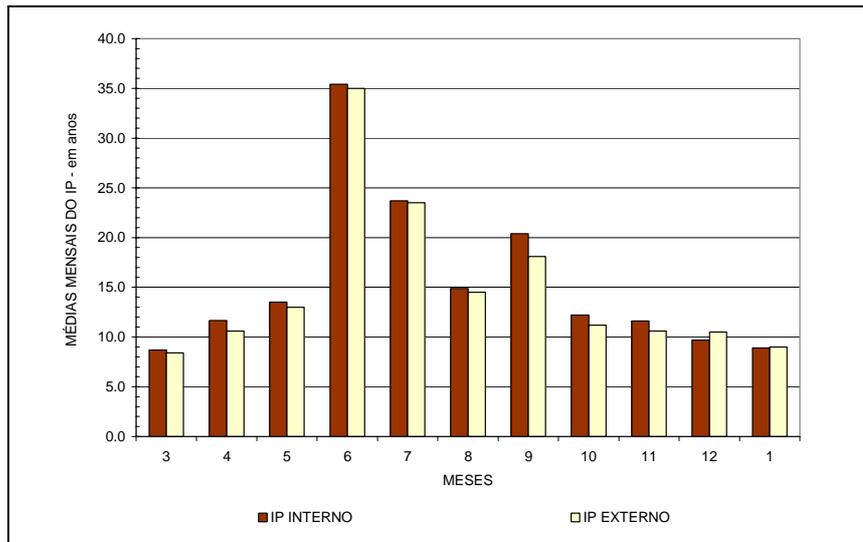


Figura 46 – Níveis Médios dos Índices de Preservação Calculados para cada Mês.

Na Figura 47, que mostra as variações de umidade absoluta - W e IP dos dias 1 a 9 do mês de janeiro, pode-se perceber que o IP varia, em geral, simetricamente às variações da W, ou seja, na maioria das vezes, ele é inversamente proporcional às variações de W.

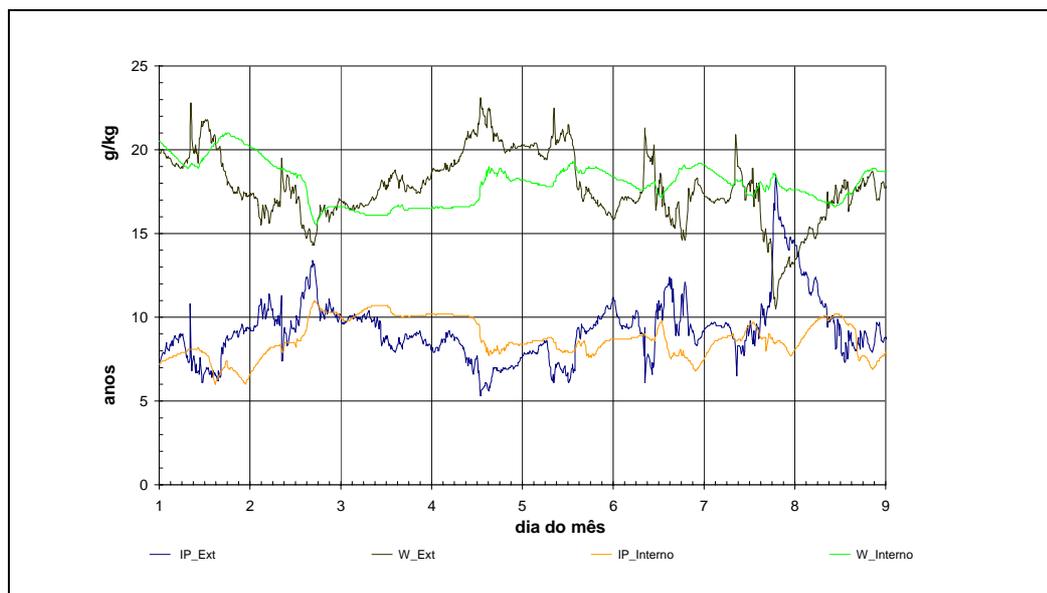
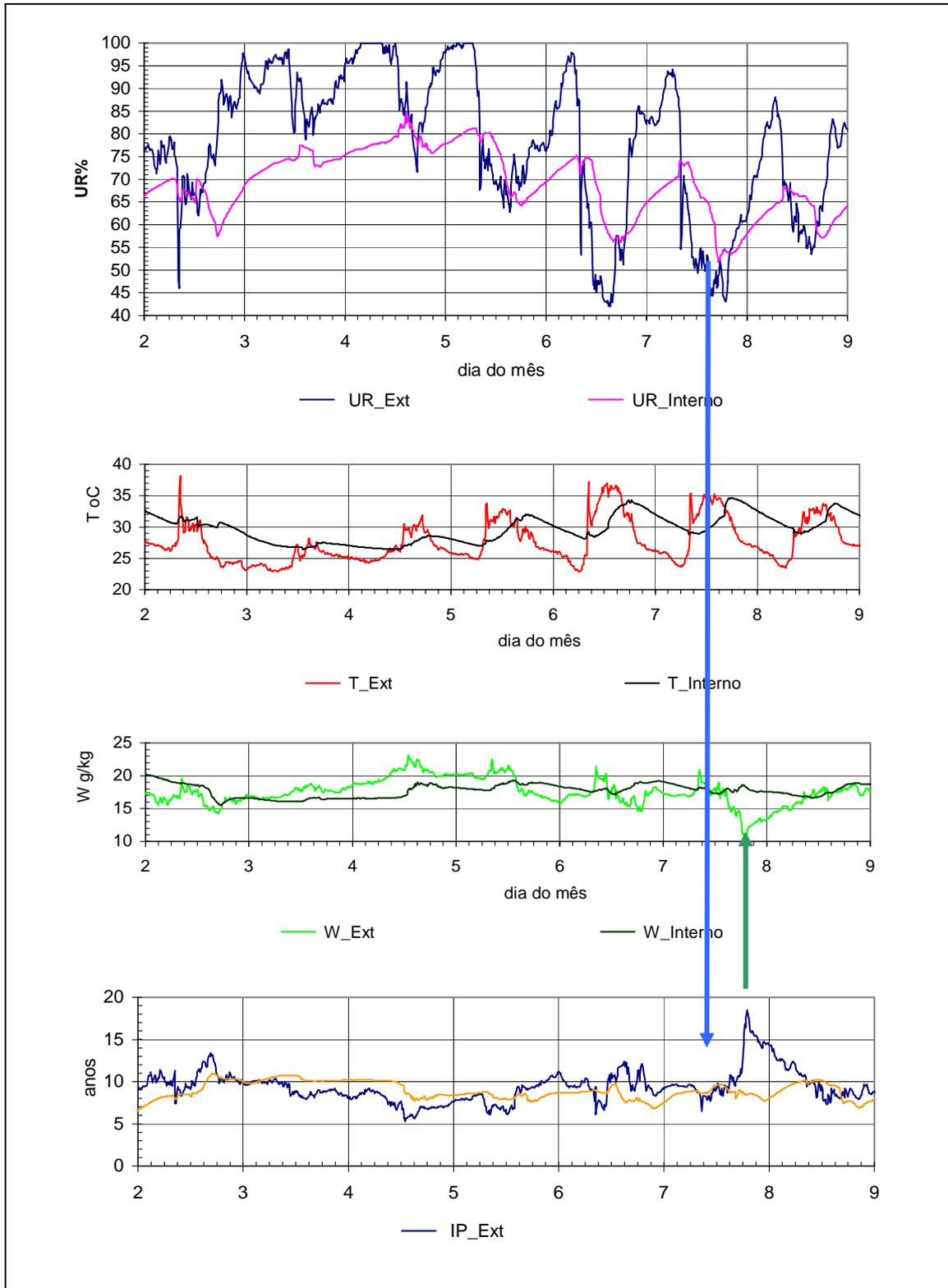


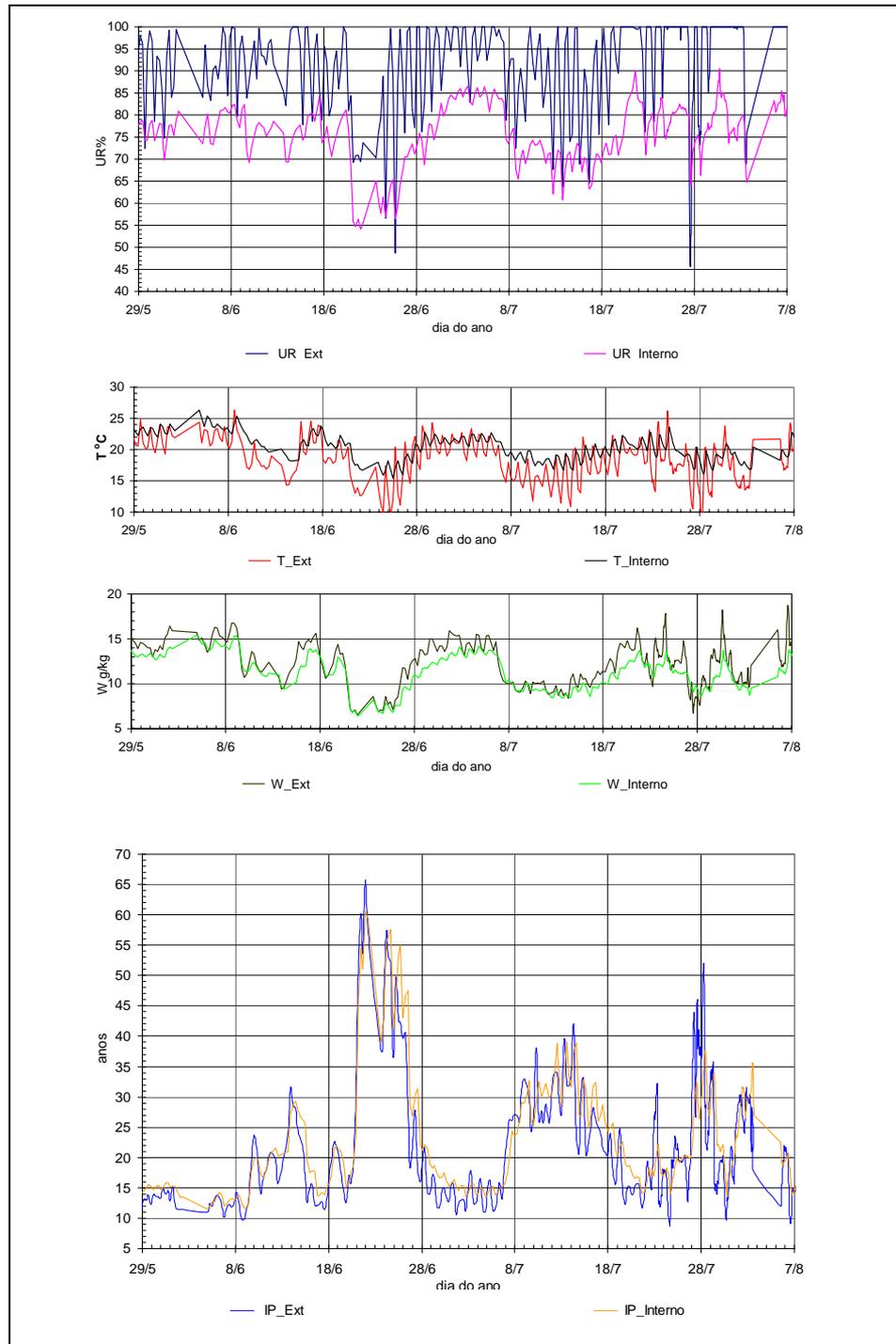
Figura 47 - Variações de W e IP dos Dias 1 a 9 do Mês de Janeiro.

Na Figura 48, pode-se observar que, mesmo com grandes baixas da UR ext, como no período de 7 a 8 de janeiro, o IP ext subiu proporcionalmente a variação de W, que diminuiu em torno de 7 g/kg de ar seco.



**Figura 48 - Variações de UR, Temperatura, W e IP dos Dias 1 a 9 do Mês de Janeiro.**

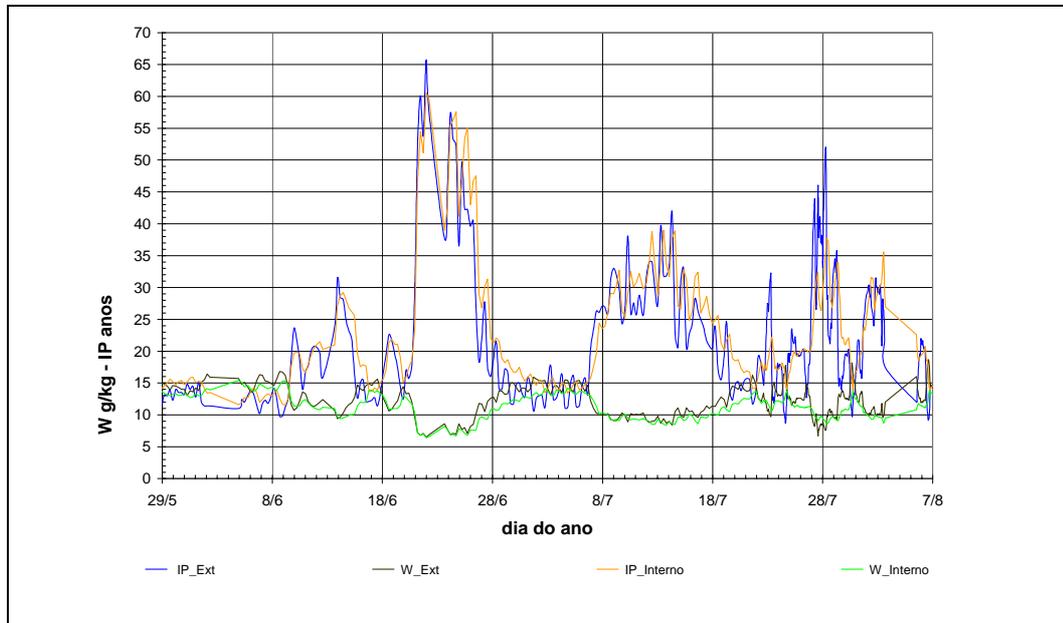
Porém, ao observar os meses de junho e julho na Figura 49, os quais obtiveram os melhores índices de preservação do ano, vê-se que a variação do IP se deu também em função da baixa de UR e W, porém, percebe-se que a elevação do IP foi muito mais acentuada nos períodos de grande queda dos níveis de temperatura.



**Figura 49 - Variações de UR, Temperatura, W e IP nos Meses de Junho e Julho.**

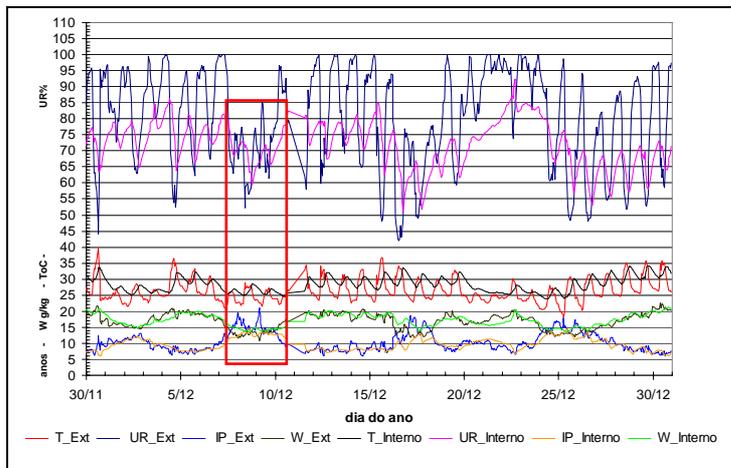
Na verdade, o que se verifica é que a diminuição dos níveis de temperatura abaixo dos 10°C, aliada ao decréscimo de UR e W, favorece muito a preservação de acervos.

Conforme a Figura 50, a variação do IP deixa de ser simétrica à variação de W, alcançando índices de até 60 anos de preservação nos períodos de maior queda da temperatura.

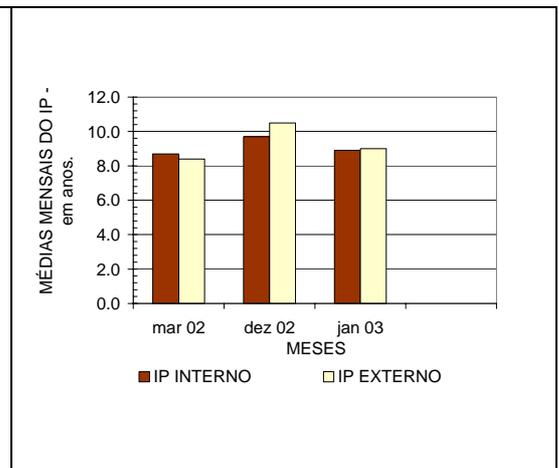


**Figura 50 - Variações de W e IP dos Meses de Junho e Julho.**

Este mesmo comportamento também pôde ser observado no mês de dezembro de 2002 em relação aos meses mais quentes do período monitorado (sem insuflamento), pois apesar de ser um mês quente, Figura 51, teve períodos de queda da temperatura aliada a UR e W mais baixas que fez com que as médias do IP para este mês fossem maiores que para outros meses igualmente quentes, como março de 2002 e janeiro de 2003, Figura 52.



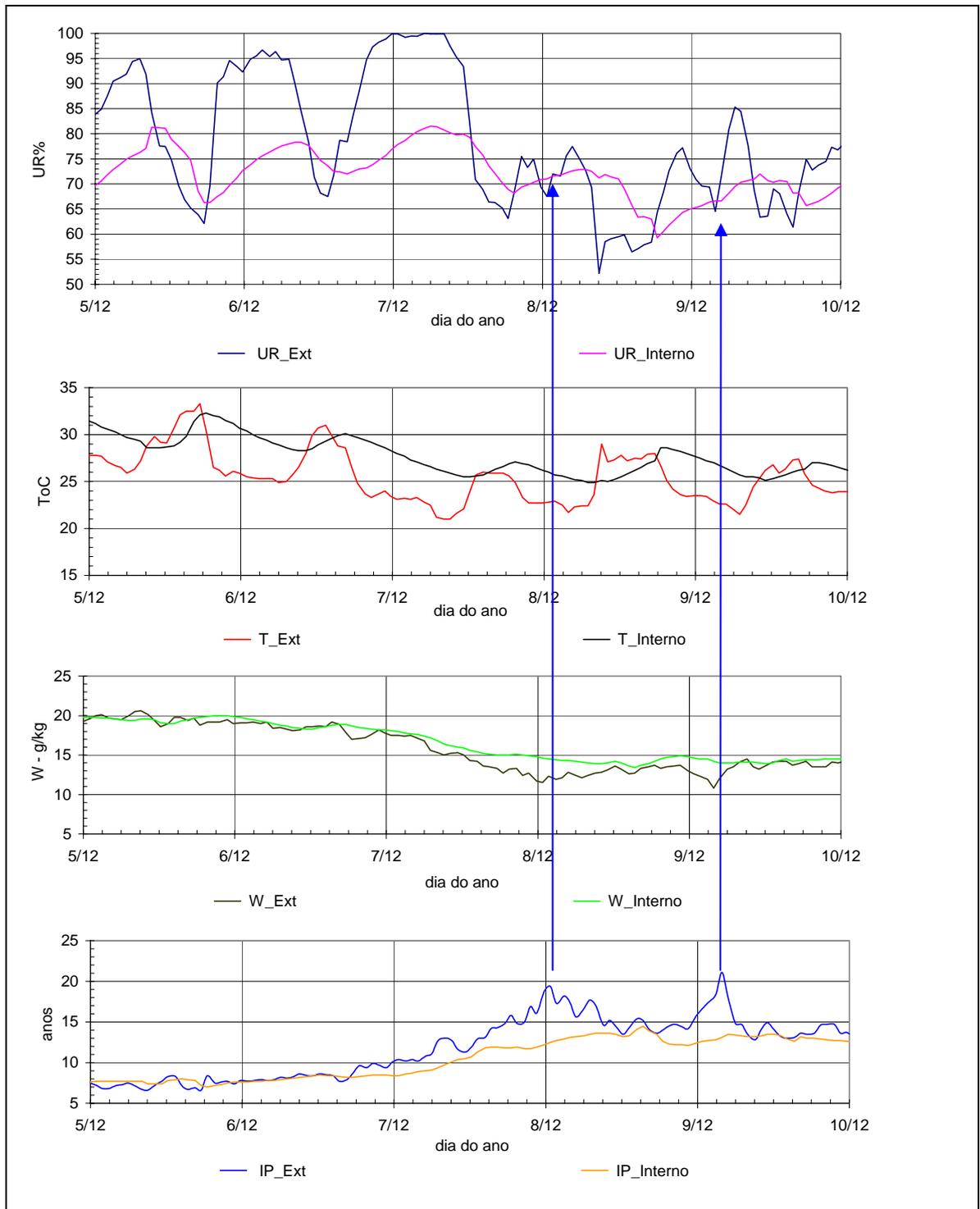
**Figura 51 - Variações Climáticas Mês de Dezembro.**



**Figura 52 - Médias IP Meses de Calor.**

No detalhe da Figura 53, vê-se a elevação do IP calculado a partir dos dados externos nos dias 5 a 10 de dezembro, que fica em torno de 15 anos, chegando, nos dias 8 e 9, ao pico de 20

anos, justamente quando a temperatura externa caiu para 23° C e a UR ext., em torno de 65 a 70%.



**Figura 53 – Variações Climáticas dos Dias 5 à 10 de Dezembro.**

Isto nos leva justamente à verificação das indicações feitas na revisão bibliográfica, de ser muito mais eficaz para conservação de acervos manter os níveis de temperatura abaixo dos 30° C, conforme observação inserida na Tabela 4 deste trabalho (dados do manual da ASHRAE 1999), que objetos quimicamente instáveis se tornarão inutilizáveis dentro de décadas se não estiverem habitualmente abaixo de 30 °C, sendo que, em períodos de inverno frios, dobrarão o tempo de vida.

Na verdade, o que podemos observar é que o ideal seria conseguirmos diminuir os valores e as amplitudes de temperatura e umidade relativa, para mantermos os ambientes mais estáveis, e com maiores índices de preservação.

Na seqüência, faremos considerações sobre algumas das estratégias de controle ambiental levantadas e suas possibilidades de aplicação na reserva técnica do Museu avaliado.

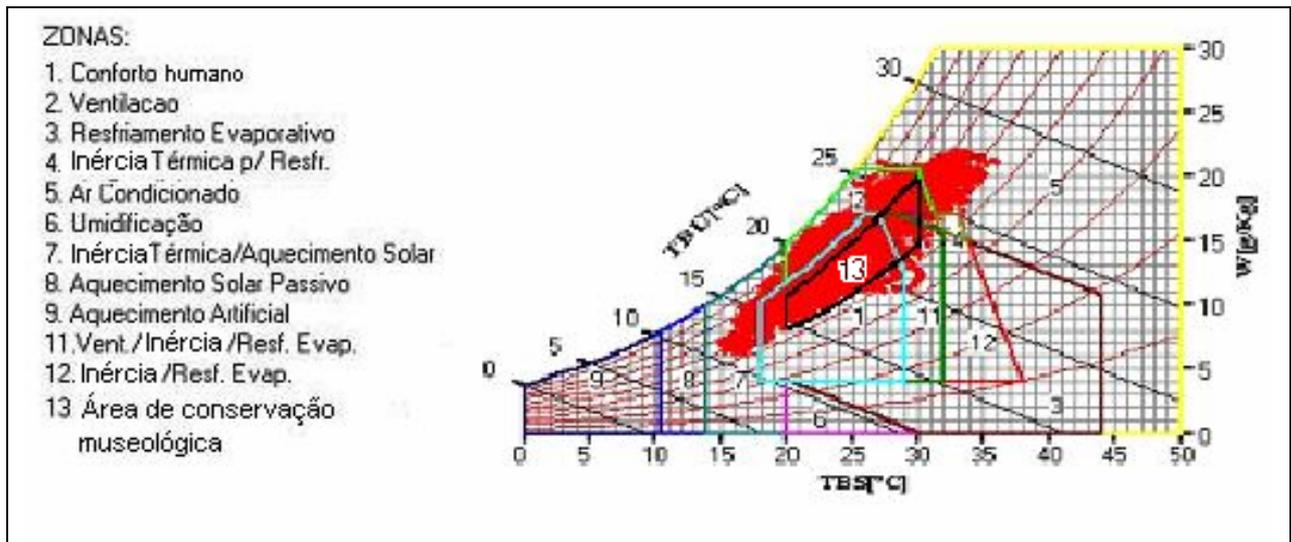
## 4.2. Das estratégias de controle consideradas.

Considerando as classificações de controle indicadas como adequadas à conservação de acervos da Tabela 4 (capítulo 2, item 2.5, página 48), pode-se notar que, segundo as características ambientais identificadas nas medições da reserva técnica do museu, este espaço não se enquadraria nem na classificação de controle D da tabela, o que, conforme os autores do manual ASHRAE (1999), seria uma atitude irresponsável, entretanto, é a situação possível até o momento para aquela instituição.

Ao se fazer a análise das diferentes classificações indicadas pela bibliografia, juntamente com a avaliação do comportamento ambiental identificado na reserva técnica, verificaram-se as possibilidades de controle possíveis de serem adotadas no estudo de caso em questão, estipulando-se como referência ideal os parâmetros apontados no final do capítulo 2, item 2.5.2, de que a UR deveria ficar em torno de 65% ( $\pm 10\%$ ), estando sempre abaixo de 75%, e como ideal de controle de temperatura, que ela ficasse em torno de 25 ° C ( $\pm 5$  ° C), sempre abaixo de 30°C. Posteriormente ao estabelecimento destes critérios, foram então analisadas as estratégias de controle possíveis de serem utilizadas.

Quando avaliamos, no capítulo 3, a caracterização climática de Florianópolis e o zoneamento das estratégias bioclimáticas indicadas para a cidade, ressaltamos que haveria de se ter cuidado sobre as delimitações de utilização das estratégias relacionadas para conforto humano à conservação de acervos. Primeiro, dever-se-ia observar a delimitação da área considerada como zona de conforto humano, tomando o cuidado de restringir seus limites às necessidades de conservação do acervo, incluindo uma nova zona denominada de área de conservação museológica, e depois verificar a aplicabilidade das estratégias de controle como, por exemplo, a ventilação.

A seguir, na Figura 54, pode-se verificar a mesma adequação feita no capítulo 3 de inserção da zona de área de conservação museológica (13), agora sobre os dados internos monitorados e plotados sobre a carta psicrométrica de Florianópolis.



**Figura 54 Zonas de Estratégias Bioclimáticas sobre Dados de Monitoramento Internos do Museu.\*** Fonte: gráficos plotados através do programa Analysis Bio 2.0 – Desenvolvido pelo LabEEE- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – ECV-UFSC, com adaptação para inserção da área de conservação museológica.

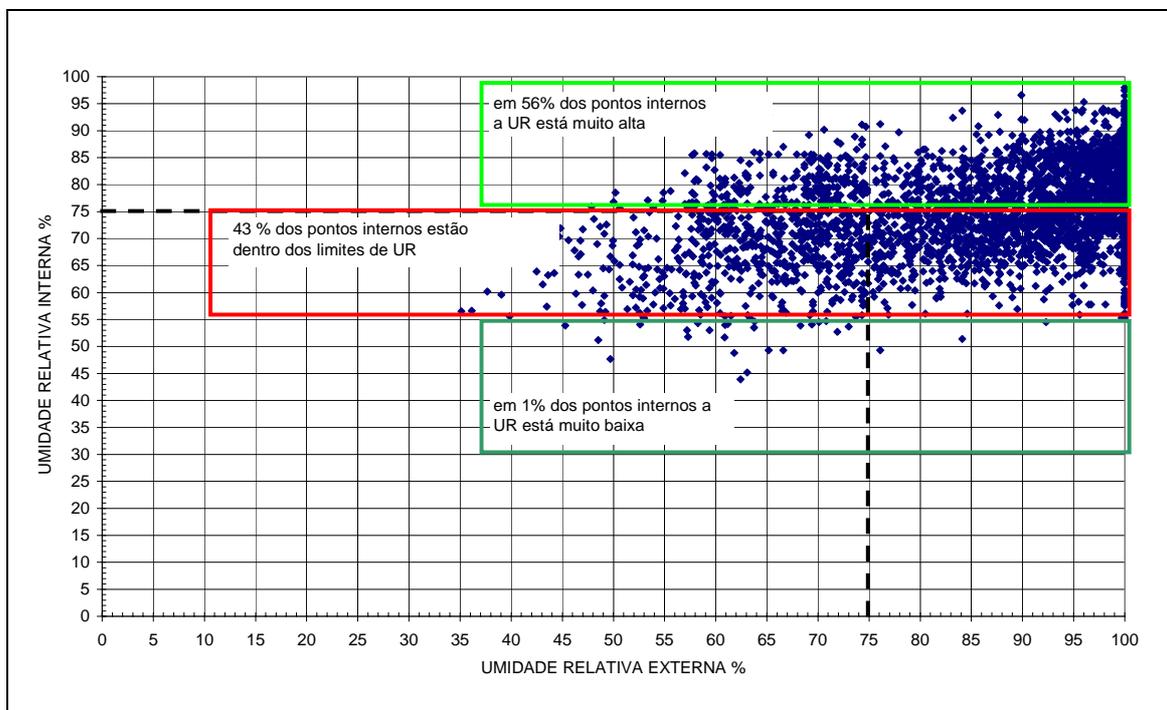
Na verdade, os dados exibidos na Figura 54 servem como referência de possíveis estratégias a serem assumidas, sendo que se pode observar que as estratégias mais indicadas são as de utilização de inércia térmica e aquecimento solar, para os períodos mais frios, o uso de ar condicionado para os períodos muito quentes, e principalmente ventilação na maior parte dos pontos.

Por não ser possível, no caso da reserva técnica, a utilização da ventilação natural, pelo fato de as aberturas terem de permanecer constantemente fechadas, considerou-se a zona indicada para ventilação como sendo ideal para a utilização de um sistema de insuflamento de ar externo. Porém, para a devida avaliação da real aplicabilidade desta estratégia em toda a área delimitada, fez-se necessária uma avaliação do comportamento simultâneo da temperatura e UR internas e externas ao ambiente, para que seja avaliada a simultaneidade de condições favoráveis ao insuflamento de ar.

Para isso, foi preciso que se utilizassem outros instrumentos de análise, os quais permitissem a visualização simultânea dos dados externos e internos. Sendo assim, foram feitas análises sobre gráficos que correlacionam os dados de UR internos com níveis de UR externos, assim como sobre gráficos que correlacionam os dados de temperatura internos com os níveis de temperatura externos. Além de possibilitar esta correlação, também é possível, nestes gráficos, visualizar os limites estabelecidos como ideais, de 30° C e 75%UR.

Observando o gráfico dos dados de UR na Figura 55, vê-se justamente a distribuição das porcentagens de valores de UR correlacionados aos limites referenciais, identificando quanto dos

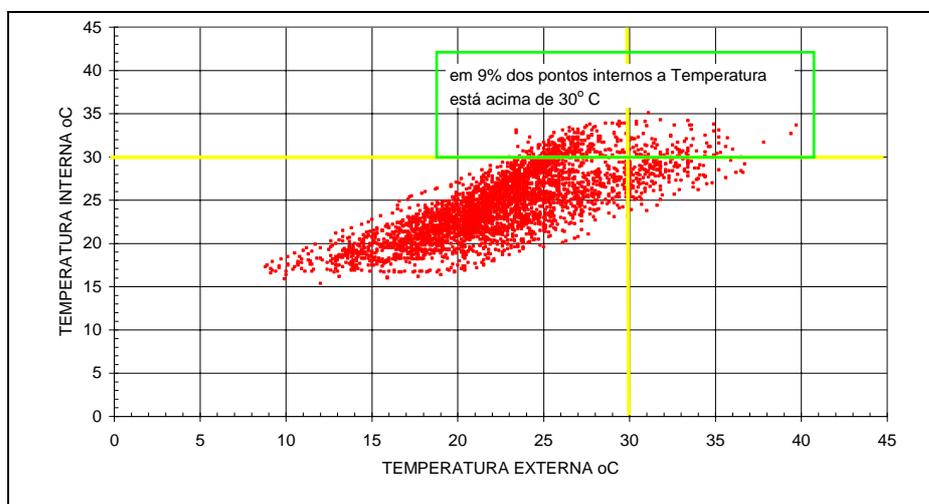
pontos internos estão dentro dos limites estabelecidos ou quanto dos pontos estariam dentro ou fora dos limites estabelecidos como ideais.



**Figura 55 - Correlação entre os Valores Horários de UR % Internos e Externos de todo Período Monitorado.**

No entanto, destes 56 % dos pontos internos que estão acima de 75% de UR, tem-se 48 % deles em que a UR externa também está acima de 75%UR, o que, segundo os critérios de conservação, impediria a estratégia de ventilação ou insuflamento de ar nestes momentos.

Da mesma forma, na Figura 56, podemos perceber as correlações feitas entre os níveis internos e externos de temperatura, identificando o quanto eles estavam dentro ou fora dos limites estabelecidos como ideais.

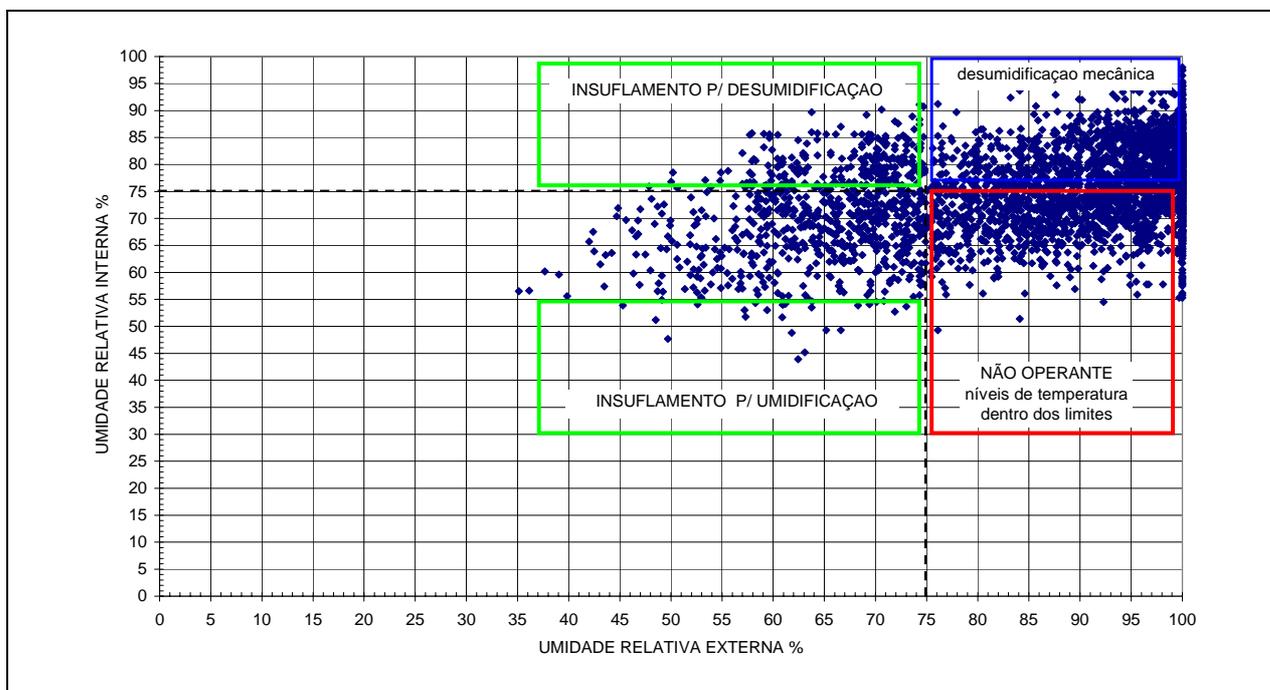


**Figura 56 - Correlação entre os Valores Horários de Temperatura Internos e Externos de todo Período Monitorado.**

Pode-se observar, na Figura 56, que dos 9% de pontos internos que estão acima de 30° C, 2,3% destes ocorrem quando as temperaturas externas estão também acima dos 30°C, o que novamente impediria a utilização da estratégia de insuflamento de ar externo.

Portanto, observando as referências de controle indicadas pela bibliografia, de limitar-se a UR a menos que 75% e manter a temperatura abaixo de 30° C, pode-se fazer um mapeamento sobre os pontos monitorados, identificando-se a porcentagem de utilização das estratégias de controle ambiental possíveis de serem consideradas.

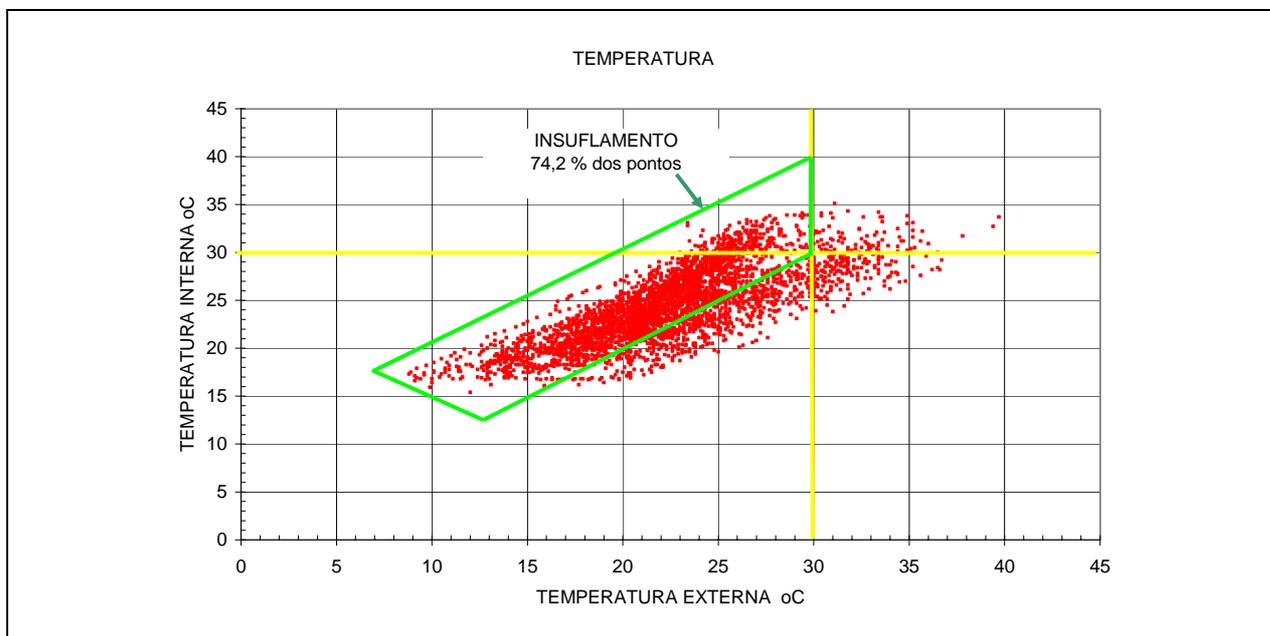
A seguir, são apresentados dois gráficos com os dados internos monitorados, nos quais vê-se, na Figura 57, as possibilidades de insuflamento de ar e as necessidades de desumidificação, considerando somente as relações entre UR interna e UR externa.



**Figura 57 – Avaliação das Zonas de Controle Segundo os Valores de UR Int. e Ext.**

Na Figura 58, é relacionada a possibilidade de acionamento do sistema de insuflamento de ar para controle da temperatura, identificando os pontos em que a temperatura externa está menor que a interna, estando a temperatura externa a menos que 30° C. Como ressaltado anteriormente, temos que tomar cuidado ao observarmos separadamente os níveis de temperatura e umidade, para não chegarmos ao equívoco, por exemplo, de que, por termos 74 % dos pontos (como mostrado no gráfico da Figura 58) em situação positiva para insuflamento de ar, em decorrência dos níveis de temperatura externa estarem abaixo dos níveis internos, iríamos estar

em muitos momentos insuflando ar externo quando a umidade relativa externamente está acima do ideal.



**Figura 58 – Avaliação das Zonas de Controle Segundo os Valores de Temperatura Int. e Ext.**

Portanto, destes 74 % dos pontos indicados para o uso de insuflamento, ficariam extremamente reduzidos quando correlacionados com os momentos nos quais a UR externa está abaixo dos 75%. Logo, além da necessidade de avaliarem-se, ao mesmo tempo, os valores internos e externos ao ambiente, tem-se de avaliar também as correlações entre os valores de Temperatura e Umidade Relativa simultâneos.

A seguir, serão exibidas as relações feitas a partir de correlações estabelecidas entre temperatura externa e interna e UR externa e interna. Estas correlações foram feitas a partir da identificação da ocorrência simultânea das condições ideais entre a T e UR. Para isto, foi utilizada uma planilha do programa Excel na qual constavam todos os dados do período monitorado, ordenados seqüencialmente pelo horário e data, e a partir de uma análise condicional, foi-se identificando os pares de ocorrências e as possibilidades de consideração simultânea deles, sendo, finalmente, identificado o percentual de ocorrência de determinadas combinações que serão descritas e analisadas a seguir. A partir da identificação dos níveis de umidade relativa interna já mostrados na Figura 55, relacionados aqui na Tabela 17, fizemos algumas correlações (Tabela 18) para identificar a simultaneidade dos níveis de temperatura e umidade externos a essas condições.

Tabela 17 -Níveis de Umidade Relativa Internos.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• 56% dos pontos estão acima de 75%UR</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 43 % estão dentro da faixa esperada, entre 55% a 75%UR</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• e 1% dos pontos está abaixo de 55%UR</li> </ul>

Tabela 18 - Correlações de Valores de UR Interna com os Valores de UR Externa e os Níveis de Temperatura Requeridos.

dos 56% dos pontos que estão acima de 75%UR	49% correspondem à UR externa maior que 75%, portanto, não tendo como acionar o insuflamento de ar externo, necessitando de auxílio para desumidificação do ar interno.		0,1% destes pontos necessitaria, além da desumidificação, também de refrigeração, já que as temperaturas interna e externa estão acima de 30° C
	dos 7% restantes que se enquadram na situação de UR interna > 75% e UR externa <75%.		1,5 % estão em situação de temperatura externa acima de 30°C, necessitando de resfriamento.
			apenas 5,5 % dos pontos estão localizados em posições ideais de insuflamento.(UR ext <75% e T ext < 30° C).
dos 43 % dos pontos que estão dentro dos níveis de UR requeridos	somente 35 % estão completamente em condições ideais, pois também estão com as temperaturas internas menores que 30° C.		
	8 % deles estão com temperatura interna acima de 30° C.	sendo que somente em 1% desses pontos poderia usufruir do insuflamento de ar, pelo fato de, naqueles instantes, a temperatura externa estar abaixo de 30° C.	
		e 7 % necessitariam de refrigeração com controle de UR	
Já o 1 % dos pontos que está com umidade abaixo de 55% poderia resolver seu problema através do insuflamento de ar externo, pois os níveis de umidade externa, neste caso, estão mais altos que 55% UR e menores que 75%UR, além das temperaturas não ultrapassarem 30° C.			
Além disto, também foram avaliadas as temperaturas de inverno, em que se verificou que, em 13.1% dos valores as temperaturas estavam menores que 20° C estipulados como limite mínimo de variação, portanto, podendo ser aquecidas.		sendo 1.1 % por insuflamento de ar, já que a temperatura externa estaria mais alta e a UR estaria menor que 75%	
		Ou, em 12%, seria necessário aquecimento pelo fato de a temperatura externa estar inferior à interna (além dos níveis de UR estarem altos).	

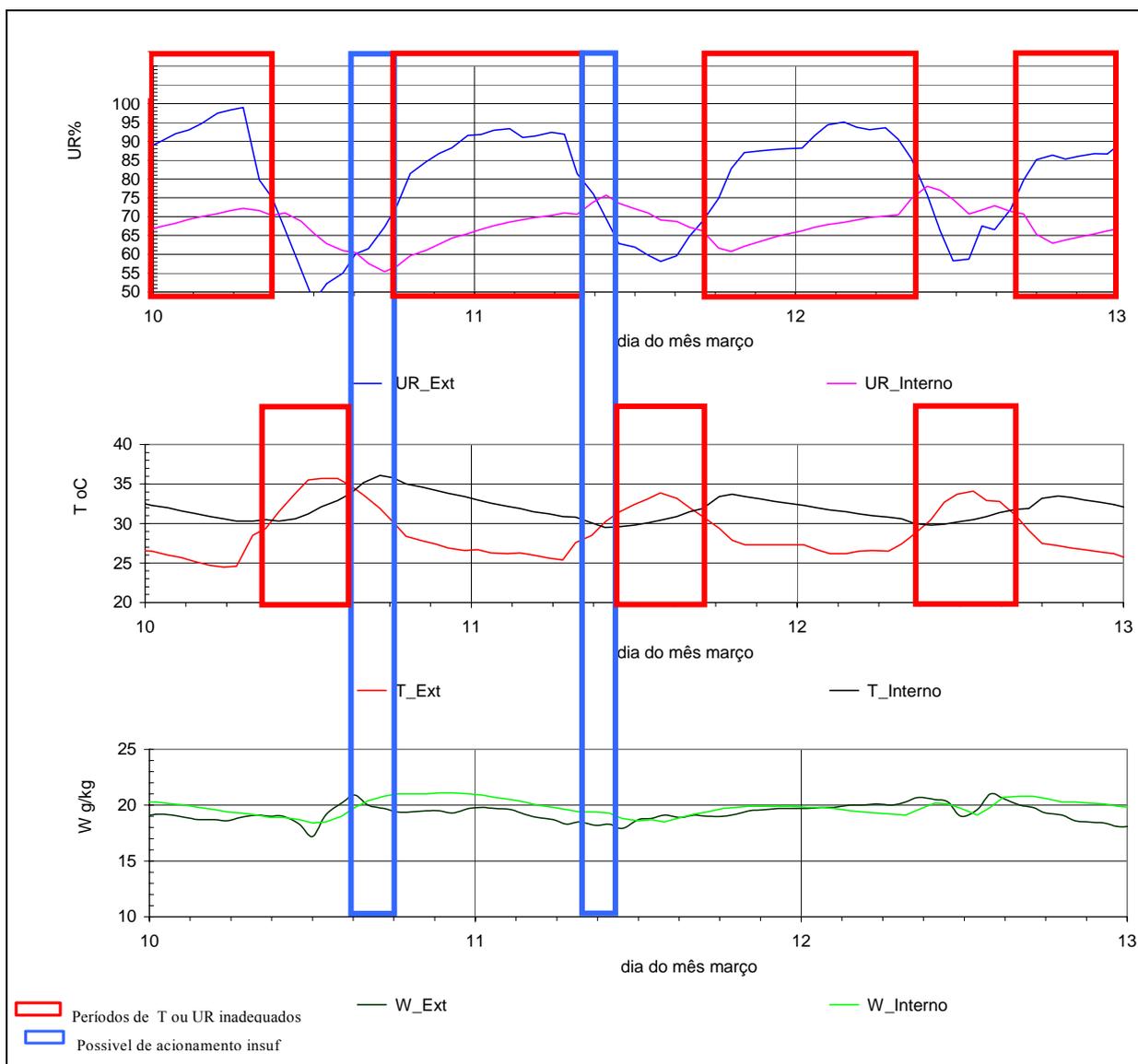
Por conseguinte, ao final destas correlações, foi possível indicar algumas das estratégias a serem utilizadas e a porcentagem de tempo em que seriam empregadas, já que os dados utilizados para análise são representativos de dados horários de praticamente um ano de monitoramento. A seguir, é mostrada, na Tabela 19, a relação das estratégias relacionadas.

Tabela 19 – Porcentagem de Aplicação de cada Estratégia.

ESTRATÉGIA	PORCENTAGEM DE UTILIZAÇÃO
Insuflamento para resfriamento	Para 6,5 % dos pontos
Insuflamento para aquecimento	Para 1,1 % dos pontos
Insuflamento para umidificação	Para 1,0 % dos pontos
Desumidificação	Para 49,0 % dos pontos
Aquecimento-artificial / inércia térmica	Para 12,0 % dos pontos
Refrigeração /uso de ar condicionado	Para 8,6 % dos pontos
Nenhuma	Para 22,0 % dos pontos

O que ainda pode ser analisado é sobre a possibilidade de ajuste dos períodos de acionamento do sistema de insuflamento de ar, avaliando a compatibilização do uso simultâneo de outras estratégias como, por exemplo, aliado a algum método de desumidificação para viabilizar um uso mais efetivo do sistema de insuflamento em momentos que a UR ext. esteja acima de 75%, mas a temperatura esteja favorável, o que faria com que as porcentagens de utilização indicadas acima fossem mais bem otimizadas. Na seqüência é exemplificado, através de alguns períodos típicos monitorados, como se daria a aplicação de algumas destas estratégias.

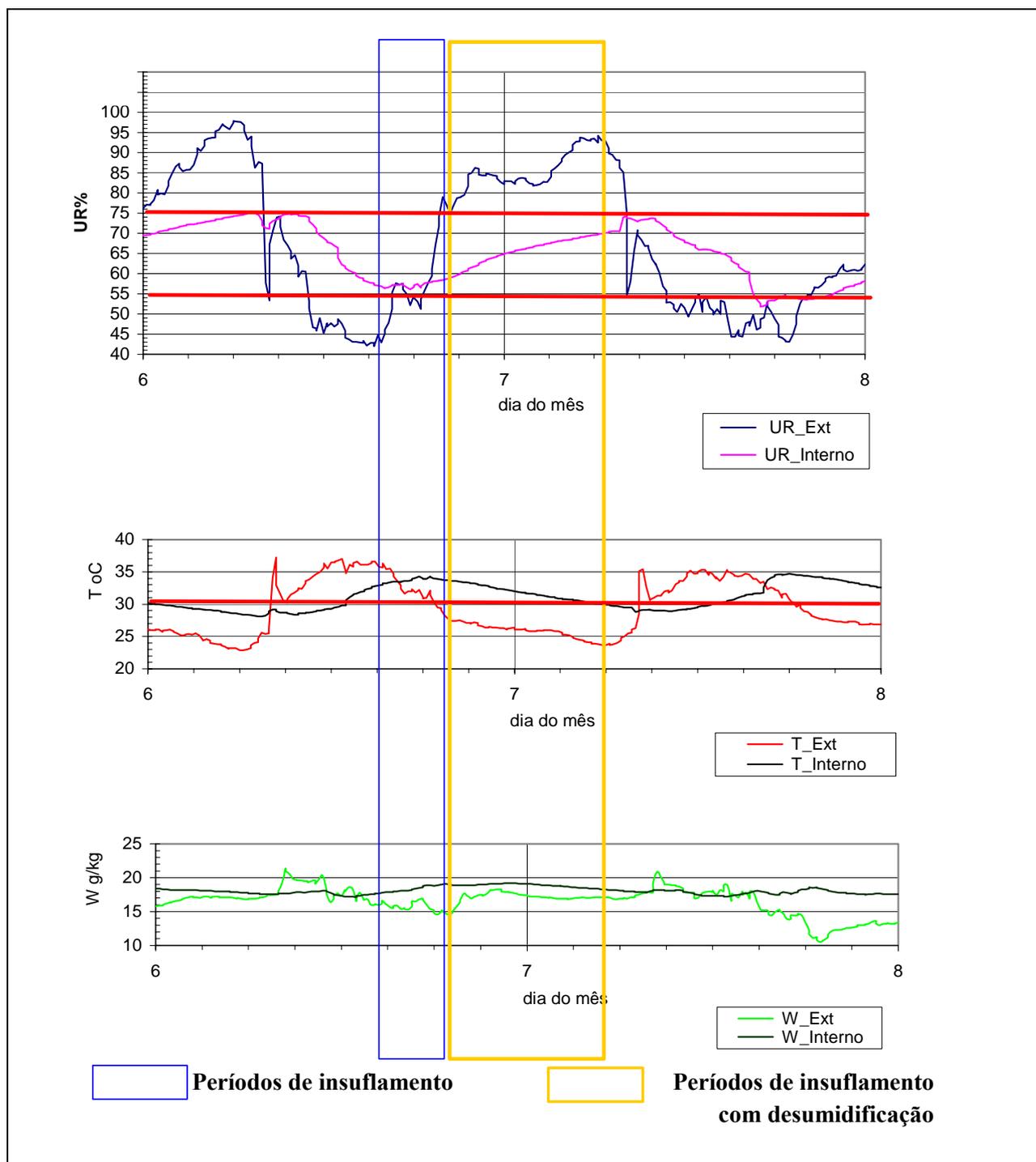
Ao se analisarem os dias 10 a 11 do mês de março, na Figura 59, pode-se observar um período em que a UR interna permaneceu praticamente toda abaixo de 75%, todavia, as temperaturas internas ficaram sempre acima dos 30° C. Para considerarmos a possibilidade de insuflamento de ar externo para reduzir os picos de temperatura interna, teríamos que avaliar a reciprocidade dos níveis de UR e temperaturas externas, porque, em geral, quando as temperaturas externas estão abaixo das internas, a UR externa está acima de 75%, e quando os níveis de UR externos estão abaixo de 75%, as temperaturas externas estão acima dos 30° C, reduzindo muito a faixa de utilização do sistema de insuflamento.



**Figura 59 – Variações de Temperatura e Umidade dos Dias 10 a 12 do Mês de Março.**

Ainda na Figura 59, podemos verificar que, nos dias 10 e 11, seria possível otimizar a utilização do insuflamento de ar externo por bem mais que o dobro de tempo se fosse utilizado algum método de desumidificação do ar que seria insuflado. No dia 12, mesmo não havendo condições para acionar o insuflamento, seria necessário o uso de ar condicionado para que as temperaturas internas pudessem chegar a menos de 30° C.

Já na Figura 60, são mostrados dados do período de calor entre os dias 6 e 7 de janeiro, em que se pode notar um comportamento semelhante, sendo indicada a alternativa de utilização de desumidificação e insuflamento.

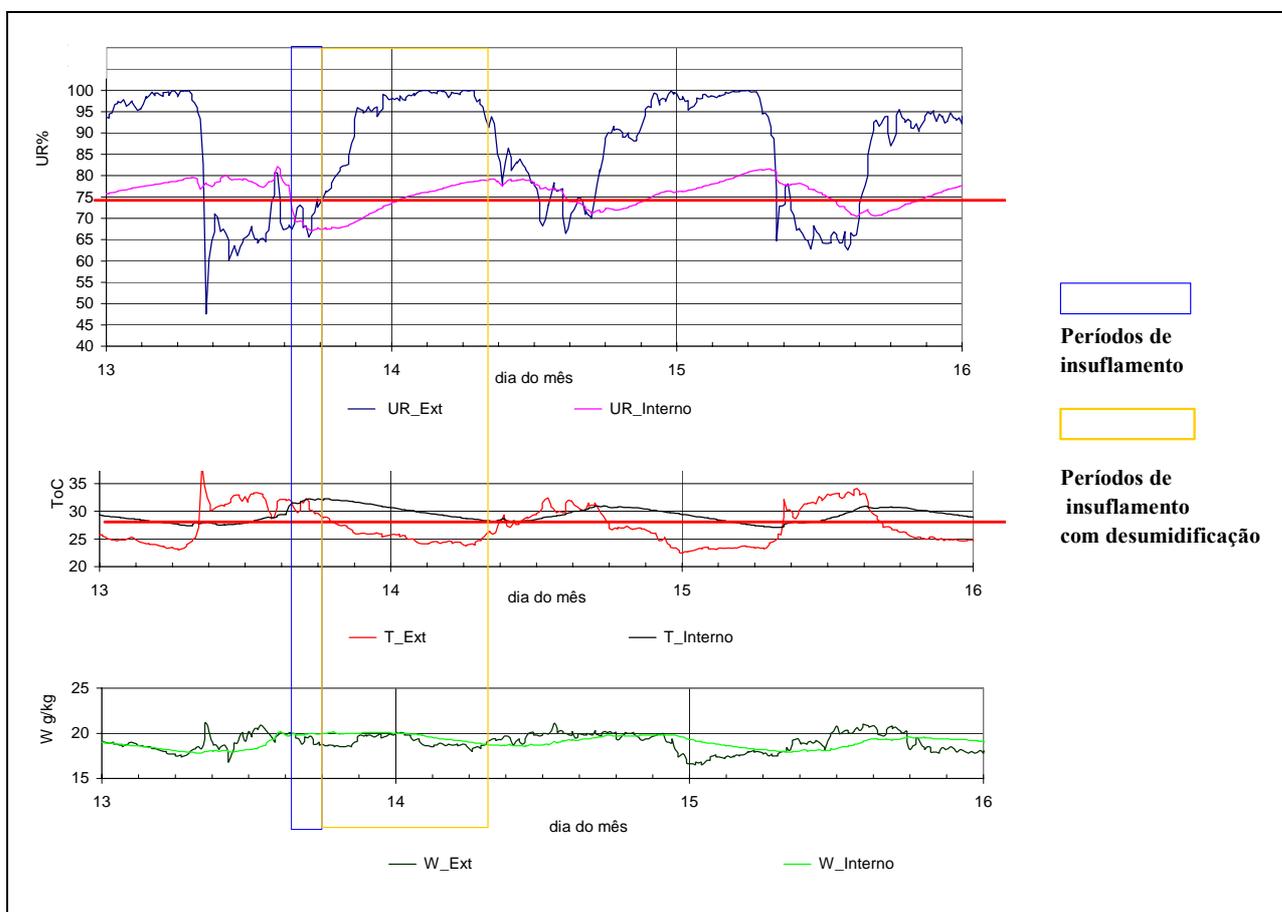


**Figura 60 – Variações de Temperatura e Umidade dos Dias 6 a 8 de Janeiro de 2003.**

Neste período de intenso calor, as temperaturas internas permaneceram praticamente todo o tempo acima dos 30° C, apesar da UR interna estar abaixo dos 75%. Porém, vemos que a temperatura externa passa a ser inferior à interna a partir das 16:00 horas, e que após as dezoito horas, ela cai para menos de 30° C, permanecendo assim até aproximadamente às 7:00 horas da

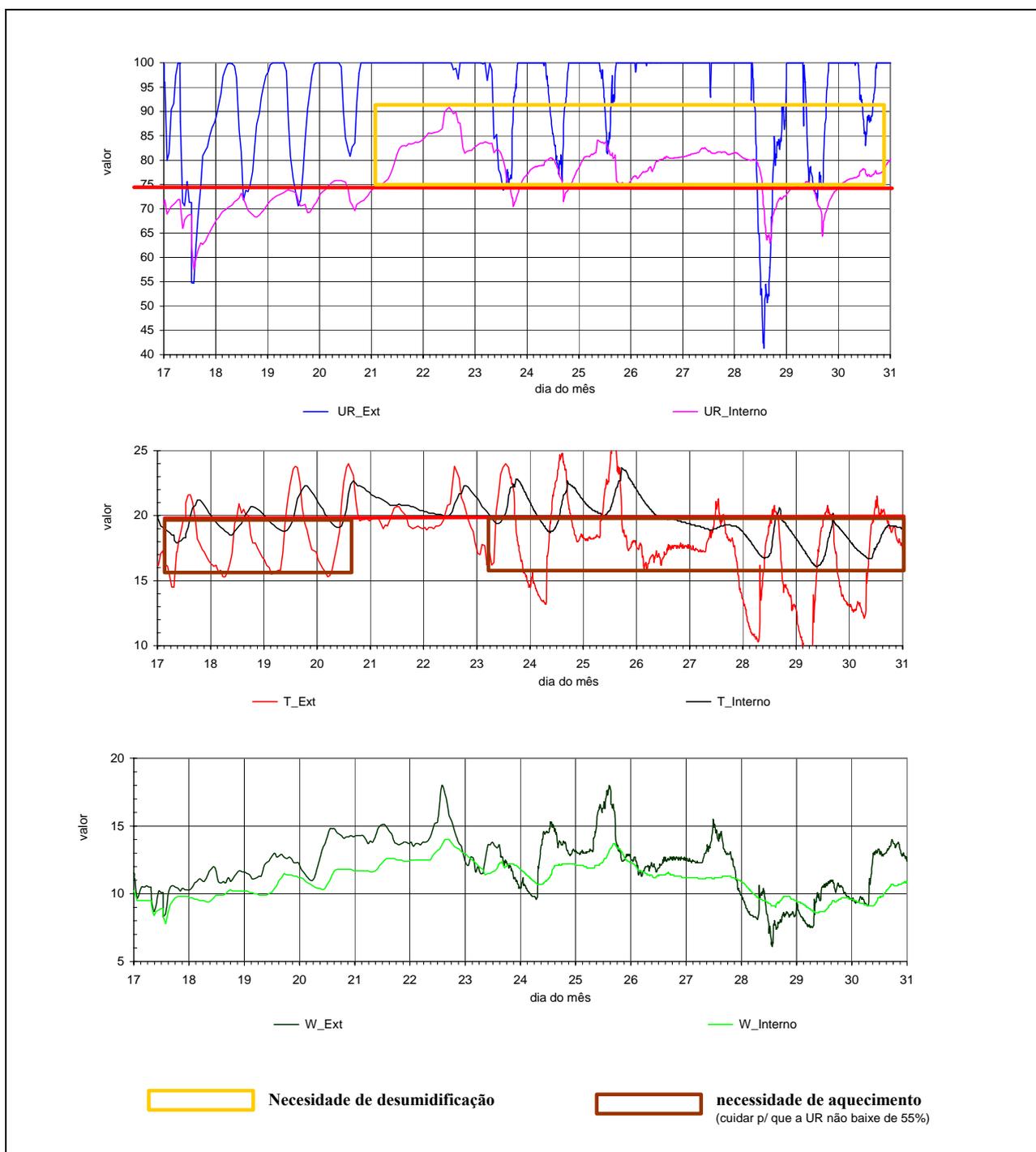
manhã do outro dia. Na verdade, perfazendo um período em torno de 15:00 horas em que as condições de temperatura externa estariam melhores que as internas, sendo ideal para a utilização do insuflamento de ar para resfriamento do ambiente interno. Contudo, como a UR externa, a partir das 16:00 horas aproximadamente, começa a subir, chegando a ultrapassar o limite de 75% UR próximo das 20:00 horas, o insuflamento de ar ficaria limitado apenas ao período entre 15:00 e 20:00 horas quando as temperaturas externas começam a cair e a UR ainda não ultrapassou o limite de 75%, reduzindo o período de operação para apenas 5 horas. Uma forma de otimizar a utilização do insuflamento de ar externo para resfriamento seria, a partir das 20:00, acionar um sistema de desumidificação que mantivesse a UR interna limitada aos 75%, enquanto houvesse a necessidade de manter a entrada de ar mais frio ao ambiente, levando as temperaturas internas a ficarem abaixo dos 30 ° C.

Outro período seria o de 13 a 16 de dezembro, Figura 61, no qual vemos uma situação muito semelhante, porém, com uma otimização ainda mais necessária, pois o período propício só para insuflamento seria apenas das 16:00 às 18:00 horas, podendo se estender até praticamente às 9:00 da manhã do outro dia se acrescido de desumidificação para controle dos níveis de UR.



**Figura 61 – Variações de Temperatura e Umidade dos Dias 13 a 16 de Dezembro de 2002.**

Na Figura 62, é mostrado um período de inverno, no qual poderíamos indicar a utilização de aquecimento, para estabilização da UR, já que as temperaturas internas caem em vários momentos abaixo de 20° C.



**Figura 62 – Variações de Temperatura e Umidade dos Dias 17 a 31 de Julho de 2002.**

Pode-se afirmar ainda que há melhorias possíveis de serem feitas no sistema, se algumas intervenções forem feitas no edifício com o objetivo de melhorar a sua eficiência térmica, as quais serão indicadas nas considerações finais.

### 4.3. Considerações sobre a experimentação do sistema de insuflamento

Diante das considerações feitas nas avaliações já efetuadas no decorrer do capítulo 4, viu-se a necessidade de uma análise mais pormenorizada quanto aos critérios de acionamento do sistema de insuflamento de ar externo, vislumbrando também uma avaliação sobre o comportamento e resposta efetiva do ambiente interno às interferências do sistema.

Durante as análises feitas sobre as possibilidades de insuflamento a partir dos dados monitorados sem insuflamento, viu-se que haveria dificuldade de se conciliar as exigências entre temperatura e UR ideais, pelo fato de muitas das vezes estarmos em situações de UR ideais e de temperatura inadequadas, ou vice versa. Ou seja, como apontado no item 4.2, pelo comportamento entre UR e temperatura ser inverso, quando temos temperaturas baixas, estamos normalmente com altos níveis de umidade, ou, quando temos UR baixa, é porque houve um aumento significativo da temperatura.

No item 4.1.1, destacou-se também que o comportamento da umidade absoluta - W era inversamente proporcional ao crescimento do índice de preservação -IP, sendo que este índice subia consideravelmente quando ocorriam quedas nos níveis de temperatura.

Diante destas observações, foram estipulados então cinco critérios para acionamento do sistema de insuflamento que permitissem a avaliação dos períodos em que o sistema estaria em funcionamento, podendo-se então avaliar, a partir destas análises, as incompatibilidades resultantes. A seguir, é descrito cada um dos critérios que posteriormente serão avaliados:

- 1°. Primeiro considerou-se que o sistema de insuflamento de ar deveria ser acionado quando a W externa fosse  $\leq$  W interna, e que a UR externa estivesse abaixo de 75%.
- 2°. Depois considerou-se que o sistema de insuflamento de ar deveria ser acionado quando W ext fosse  $\leq$  W interno e que, além da UR estar abaixo de 75%, a temperatura externa deveria ser inferior à temperatura interna.
- 3°. O terceiro critério considerou apenas que a UR externa estivesse abaixo de 75% e que a temperatura externa fosse menor que a temperatura interna.
- 4°. Já o quarto critério considerou que o sistema de insuflamento deveria ser acionado quando UR int  $\leq$  75% e o IP ext  $\geq$  IP int. Esse critério permitiria a elevação do Índice de Preservação (IP) sem que a Umidade Relativa interna ultrapasse um valor considerado crítico (75%).

5°. E um último critério que considerou que o sistema de insuflamento deveria ser acionado quando  $UR_{int} \leq 75\%$ , o  $IP_{ext} \geq IP_{int}$  e a temperatura externa menor que a interna. Este foi o critério que melhor otimizou o acionamento do insuflamento sem comprometer os limites estabelecidos para evitar a degradação do acervo.

Estes critérios foram aplicados aos dados de todos os meses monitorados, no sentido de selecionar os momentos em que ocorreriam, sendo avaliados quais seriam os períodos de funcionamento do sistema de insuflamento, identificando assim a potencialidade e limitação de cada um destes critérios.

Como a principal função do emprego da estratégia de insuflamento de ar externo é o resfriamento do ambiente interno quando este apresenta condições piores que o ambiente externo, foi escolhido, dentre os meses de maior calor (Tabela 20), o mês de março de 2002 para demonstração dos resultados obtidos nesta análise.

Tabela 20 – Valores de Temperatura dos Meses mais Quentes Monitorados.

Temperatura Externa			Temperatura Interna				
MESES	médias	máx	mín	MESES	médias	máx	mín
Março 2002	27.9	36.7	21.1	Março 2002	30.6	36.1	26.6
Dezembro 2002	26.4	40.2	18.0	Dezembro 2002	28.4	34.3	23.8
Janeiro de 2003	28.3	38.7	22.9	Janeiro de 2003	30.2	35.1	25.6

Na Figura 63, podemos notar que, no mês de março, as temperaturas internas mantiveram-se praticamente todo o período acima de 30° C, chegando a máximos de 36,1°C.

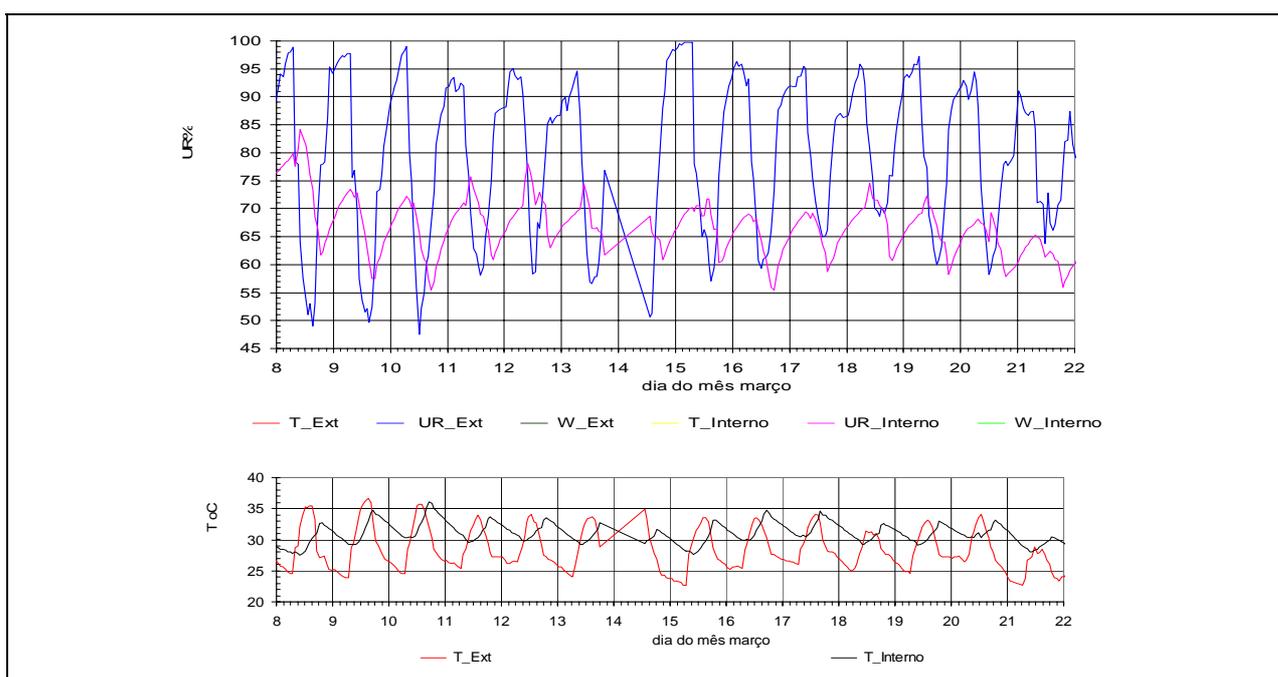


Figura 63 - Variações de Temperatura e Umidade de 7 a 21 de Março.

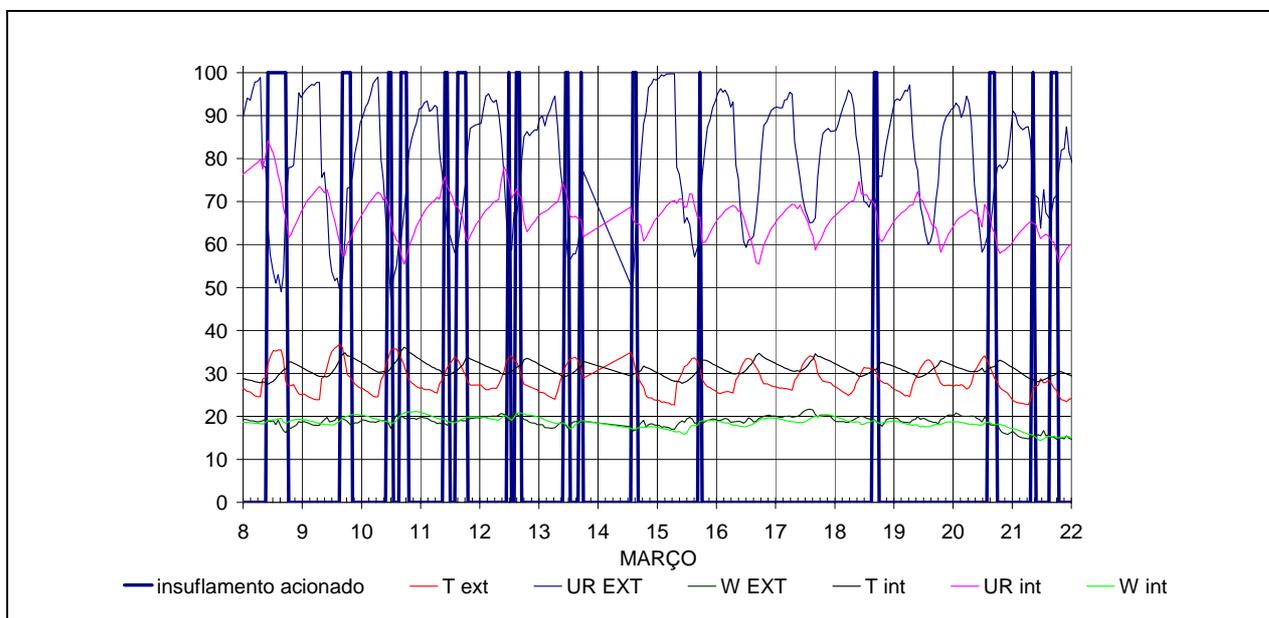
Podemos observar ainda, na Figura 63 que, apesar das temperaturas internas se manterem acima dos 30° C, os níveis de temperatura externos chegam a cair até os 25° C nos períodos noturnos. Entretanto, estes momentos coincidem com os momentos em que a UR externa está muito alta, dificultando o uso do insuflamento.

A seguir, são apresentados os resultados das avaliações dos critérios aplicados aos dados coletados no mês de março de 2002. Primeiramente, serão avaliados os três primeiros critérios que não levam em consideração o IP, e posteriormente são então avaliados o 4° e o 5° critério.

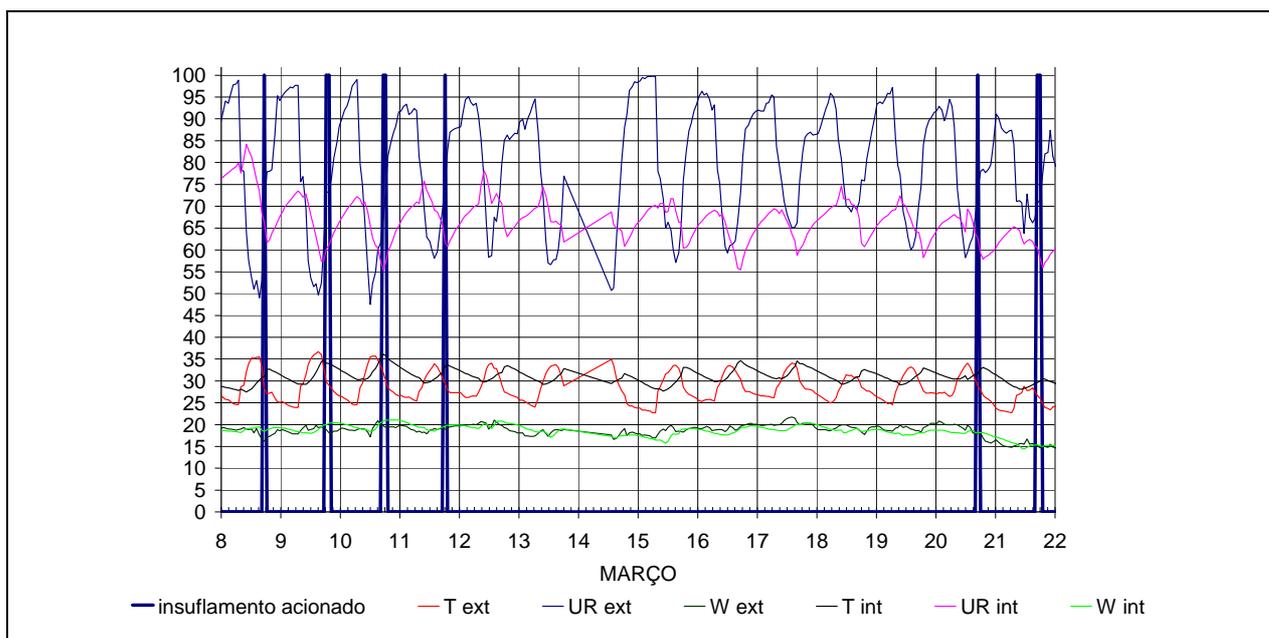
Nas figuras 64, 65 e 66 serão mostrados os períodos de acionamento do sistema segundo os 3 primeiros critérios estabelecidos na página 110, visualizando os períodos de acionamento de forma geral para o período mais característico do comportamento climático do mês de março, dos dias de 8 a 22.

Depois, como uma forma de aproximação para uma melhor análise, são feitas observações sobre os períodos de 16 a 20 de março e 8 a 12 de março.

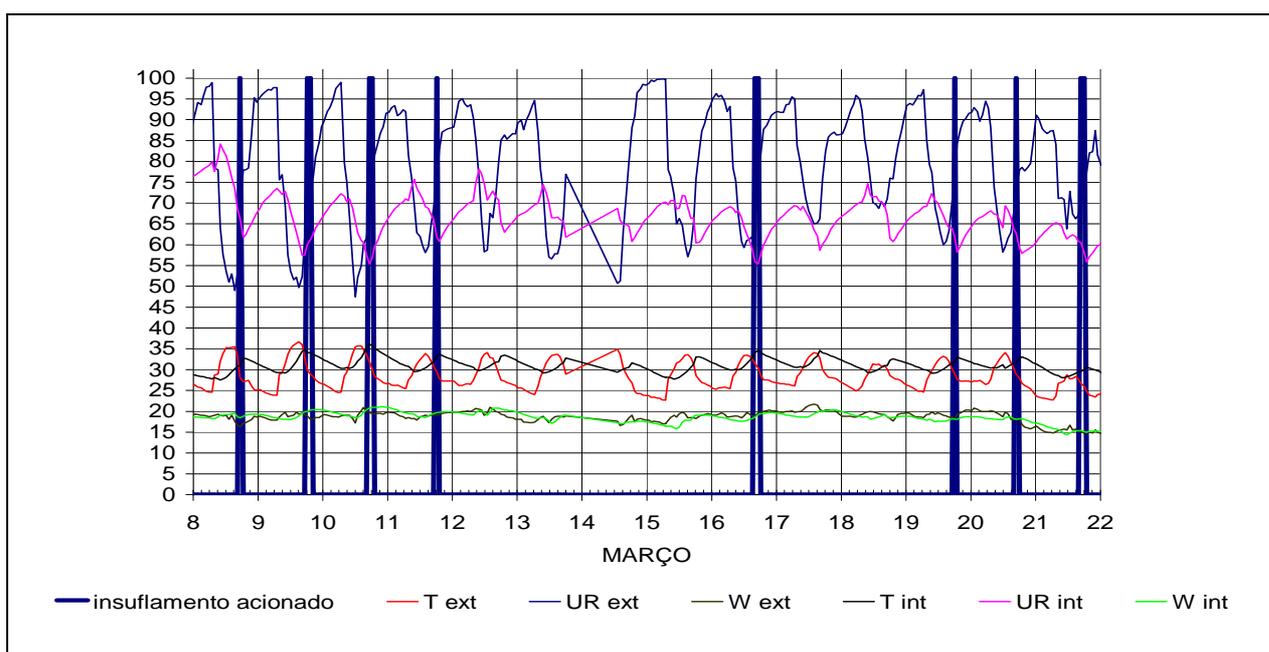
Por último, é analisado ainda o período de 22 a 25 de junho, com a finalidade de atestar que algumas das considerações feitas para os meses de calor também seriam válidas para este período.



**Figura 64 – Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 1º Critério -  $W_{ext} \leq W_{int}$  e  $UR_{ext} < 75\%$ .**

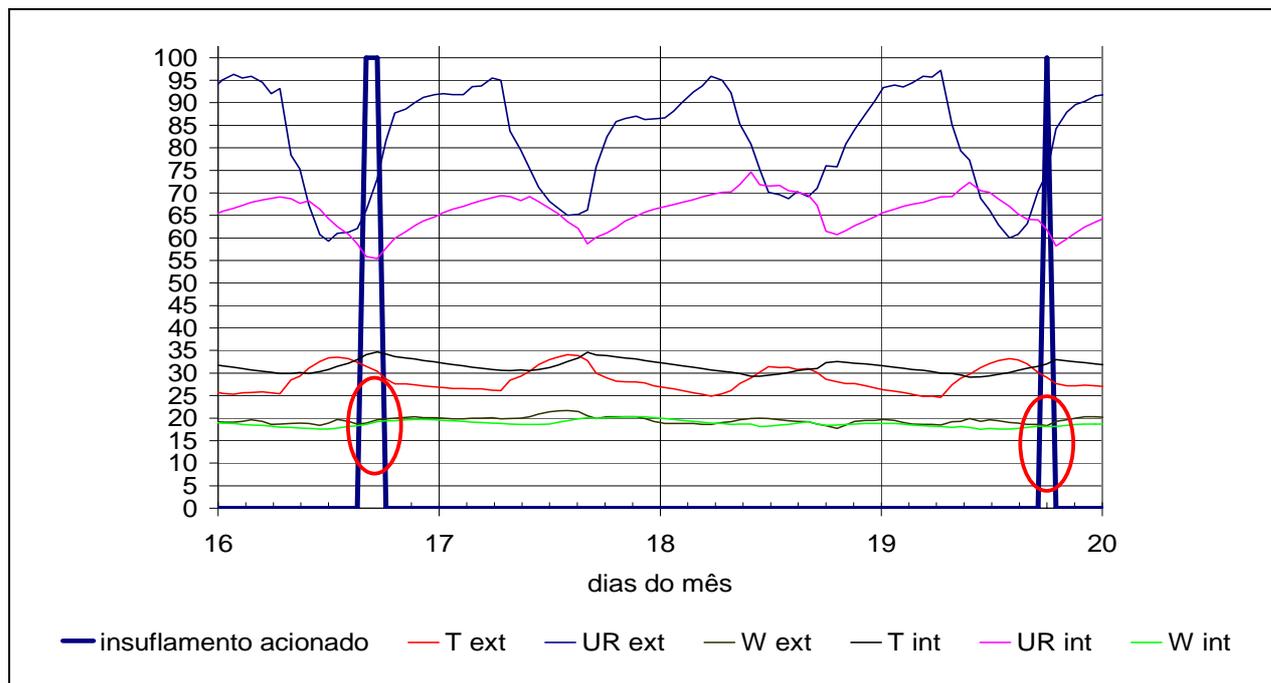


**Figura 65 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 2º Critério -  $W_{ext} \leq W_{int}$ ,  $UR_{ext} < 75\%$  e  $T_{ext} < T_{int}$ .**



**Figura 66- Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 3º Critério -  $UR_{ext} < 75\%$  e  $T_{ext} < T_{int}$ .**

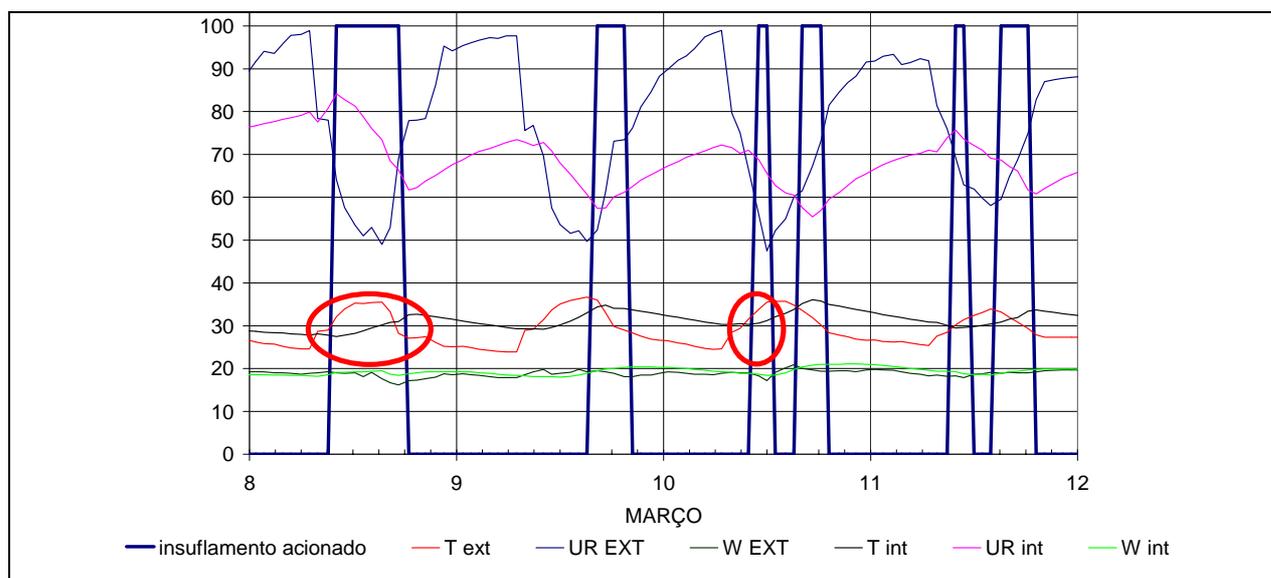
Avaliando, de uma forma geral, os três critérios estipulados, vemos, na Figura 64, que o 1º critério ofereceria maior chance de acionamento, e que entre o 2º e o 3º, figuras 65 e 66, respectivamente, praticamente não há diferenças nos períodos indicados para insuflamento, principalmente se considerarmos que os períodos dos dias 16 e 19, que são indicados somente no terceiro critério, se referem a breves períodos nos quais a  $W_{ext}$  está levemente acima da  $W_{int}$ . Na verdade, a diferença é tão pequena que poderia ser considerada  $W_{ext} = W_{int}$ , Figura 67.



**Figura 67- Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 3º Critério Insuflamento -  $UR_{ext} < 75\%$  e  $T_{ext} < T_{int}$ .**

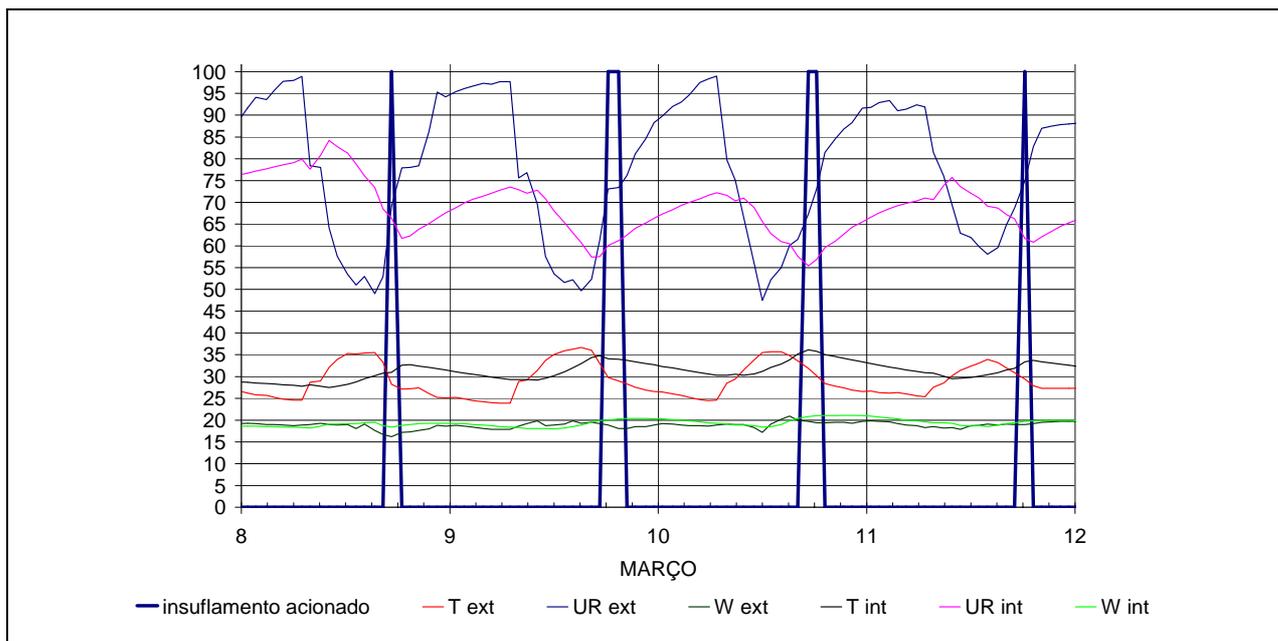
Já que as diferenças entre as variações de  $W_{ext}$  e  $W_{int}$  são, em geral, muito pequenas, não valeria a pena considerar esta condicionante, mas sim considerar apenas as diferenças entre  $T_{ext} < T_{int}$ , uma vez que também vimos no item 4.1.1 ser mais efetivo este critério no cálculo do Índice de Preservação (IP).

Como forma de aproximação visual das variações climáticas típicas destes períodos analisados, mostramos, nas próximas figuras 68, 69 e 70, o período dos dias 8 a 12 do mês de março procurando avaliar as peculiaridades de cada critério indicado.

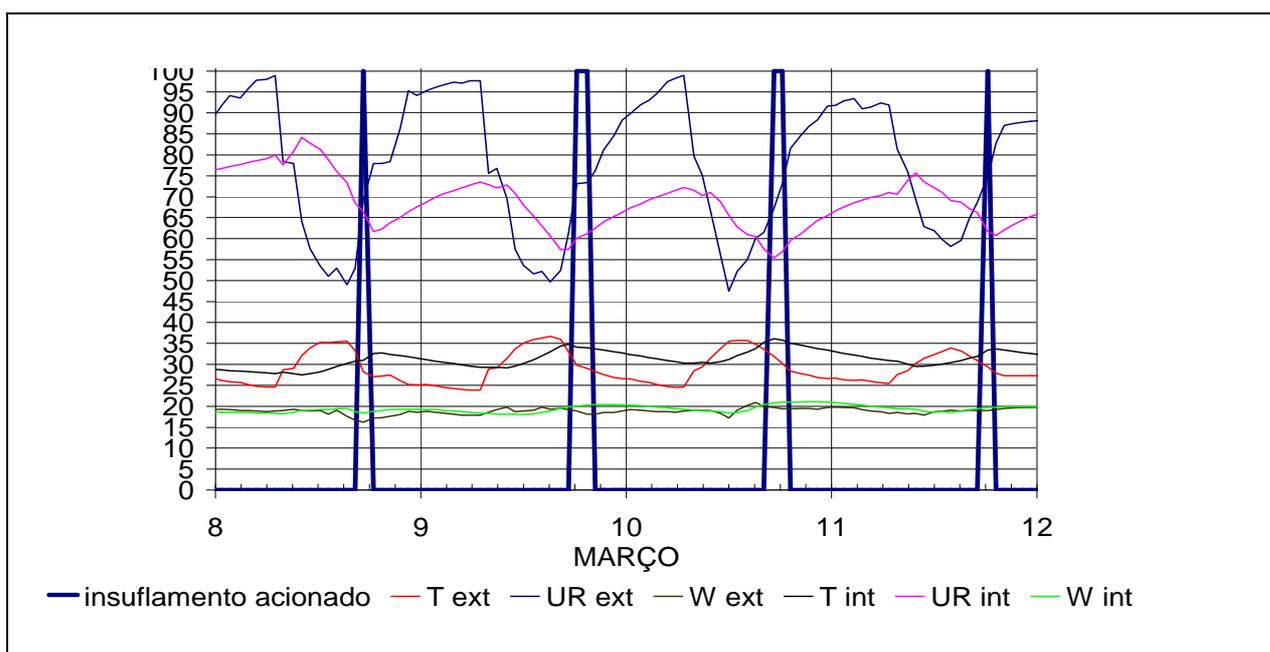


**Figura 68 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 1º Critério Insuflamento-  $W_{ext} \leq W_{int}$  e  $UR_{ext} < 75$ .**

Verificamos que, apesar de numa visão geral a Figura 64 mostrar mais períodos possíveis de acionamento do sistema de insuflamento, vindo em detalhe na Figura 68, apenas os dias 8 à 12, podemos observar que pelo primeiro critério, estipular como referência apenas UR e W, estaria ocorrendo insuflamento em momentos inadequados, onde as temperaturas externas estariam acima dos 30° C, o que não ocorre com os outros dois critérios, como se pode notar a seguir.



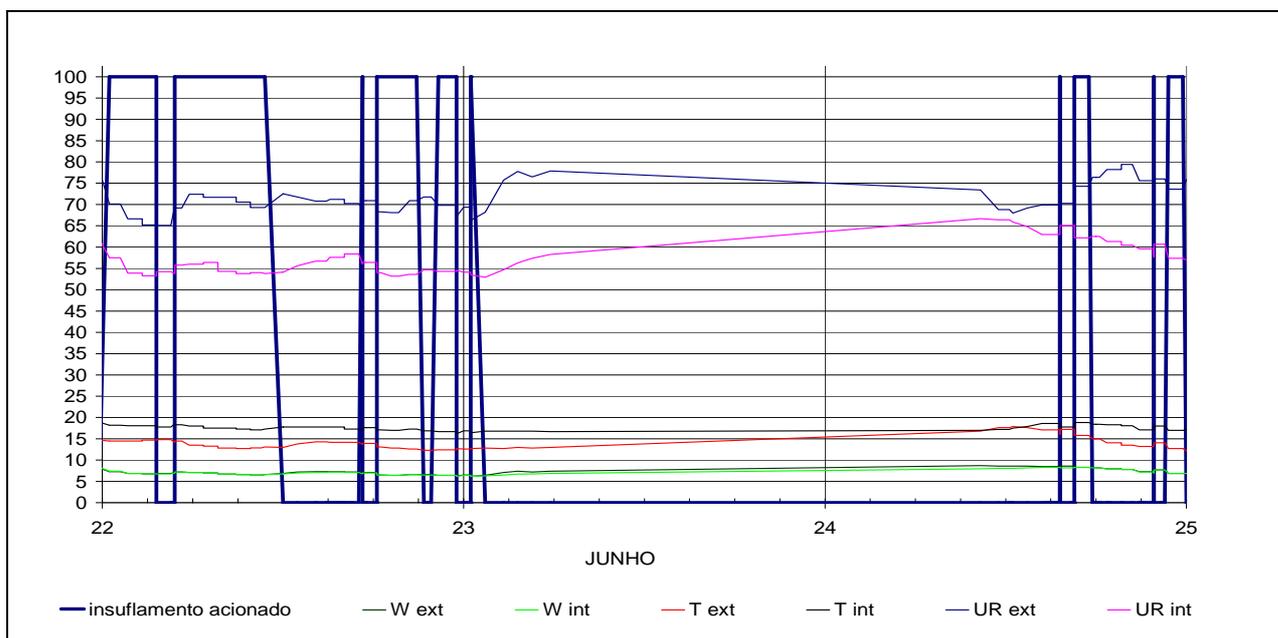
**Figura 69 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 2º Critério Insuflamento -  $W_{ext} < W_{int}$ ,  $UR_{ext} < 75\%$  e  $T_{ext} < T_{int}$ .**



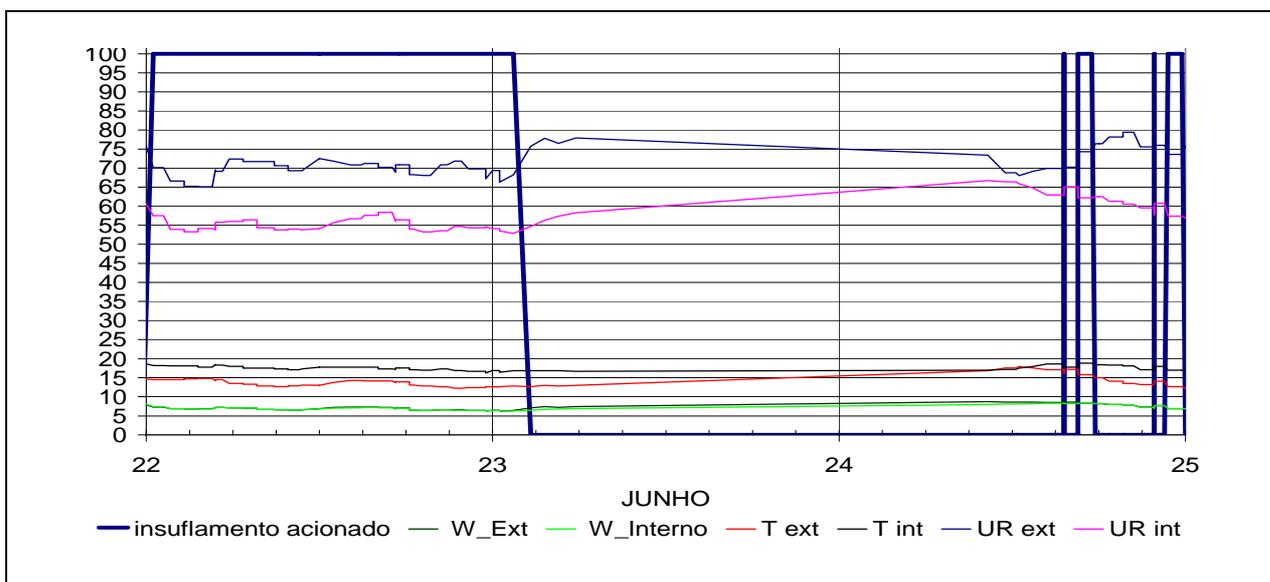
**Figura 70 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 3º Critério Insuflamento -  $UR_{ext} < 75\%$  e  $T_{ext} < T_{int}$ .**

Nas figuras 69 e 70, vemos claramente o que já havia sido ressaltado nas figuras 65 e 66, sendo exatamente iguais os períodos indicados para acionamento, tanto a partir do 2º critério como do 3º.

Como esta análise foi feita para todos os meses monitorados, pode-se verificar que em todos eles ocorreu esta similaridade. Como exemplo, é mostrada, nas figuras 71 e 72, a aplicação do 2º e 3º critérios em um dos períodos do mês de junho, que contribuiu para que finalmente ratificássemos ser mais efetivo considerar apenas  $T_{ext} < T_{int}$  e  $UR$  do que incluir o critério de umidade absoluta  $W$ .



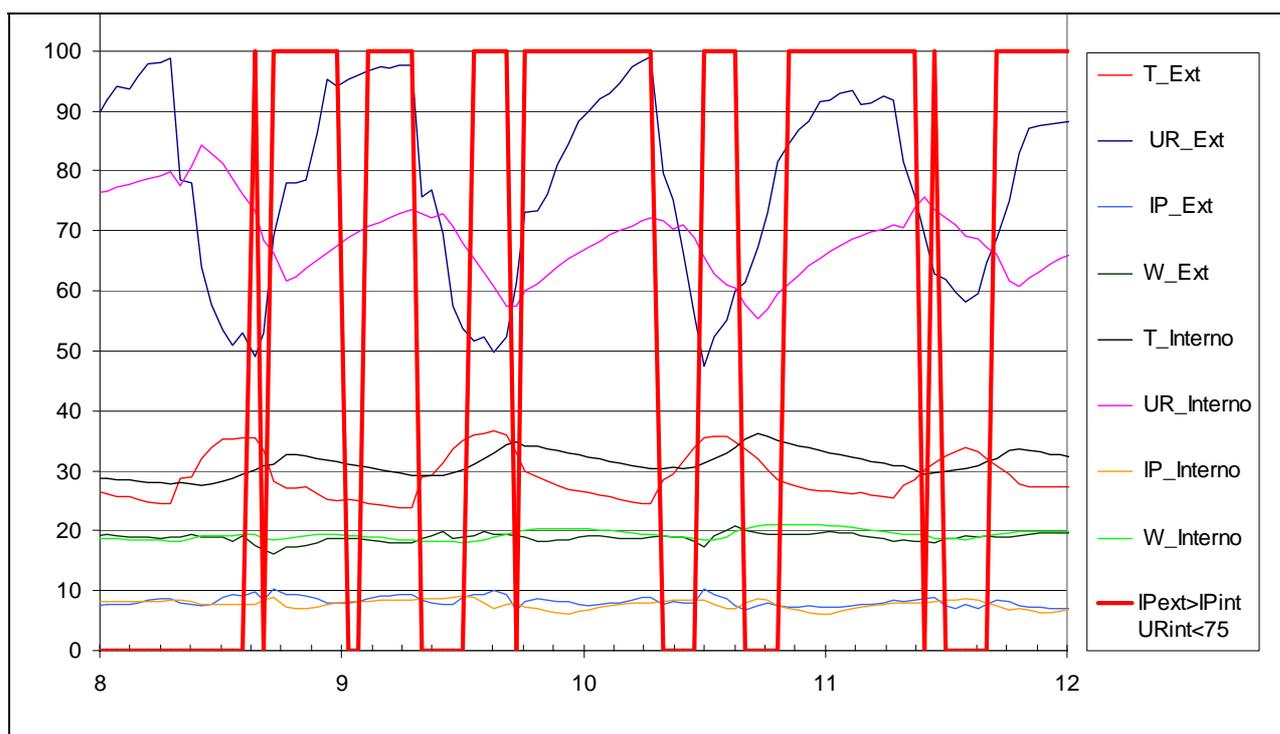
**Figura 71 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 2º Critério Insuflamento -  $W_{ext} < W_{int}$ ,  $UR_{ext} < 75\%$  e  $T_{ext} < T_{int}$ .**



**Figura 72- Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 3º Critério Insuflamento -  $UR_{ext} < 75\%$  e  $T_{ext} < T_{int}$ .**

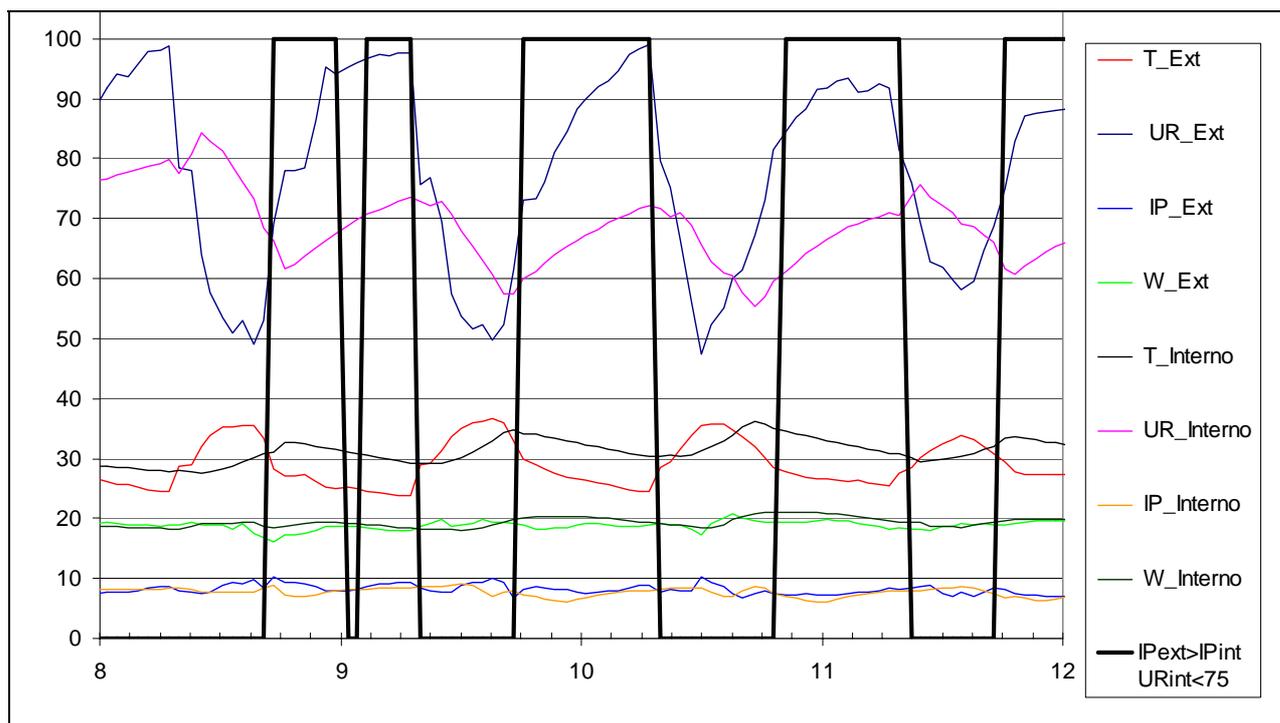
O que se pode perceber nas figuras 71 e 72 é que, diante de diferenças tão insignificantes entre  $W_{ext.}$  e  $W_{int.}$ , não haveria porque considerá-las como fator para impedir a continuidade do acionamento de insuflamento quando necessário para redução e estabilização dos níveis de UR e temperaturas internas. Sendo assim, é considerado o último critério de UR externa  $< 75\%$  e  $T_{externa} < T_{interna}$  como mais adequado dos três primeiros critérios avaliados.

Passando agora à avaliação do 4º critério, podemos observar na Figura 73 que, se considerarmos apenas  $UR_{int} \leq 75\%$  e  $IP_{ext} \geq IP_{int}$ , acabaremos incidindo no erro de insuflarmos ar externo quando as temperaturas tanto internas quanto externas estiverem acima dos  $30^\circ C$ .

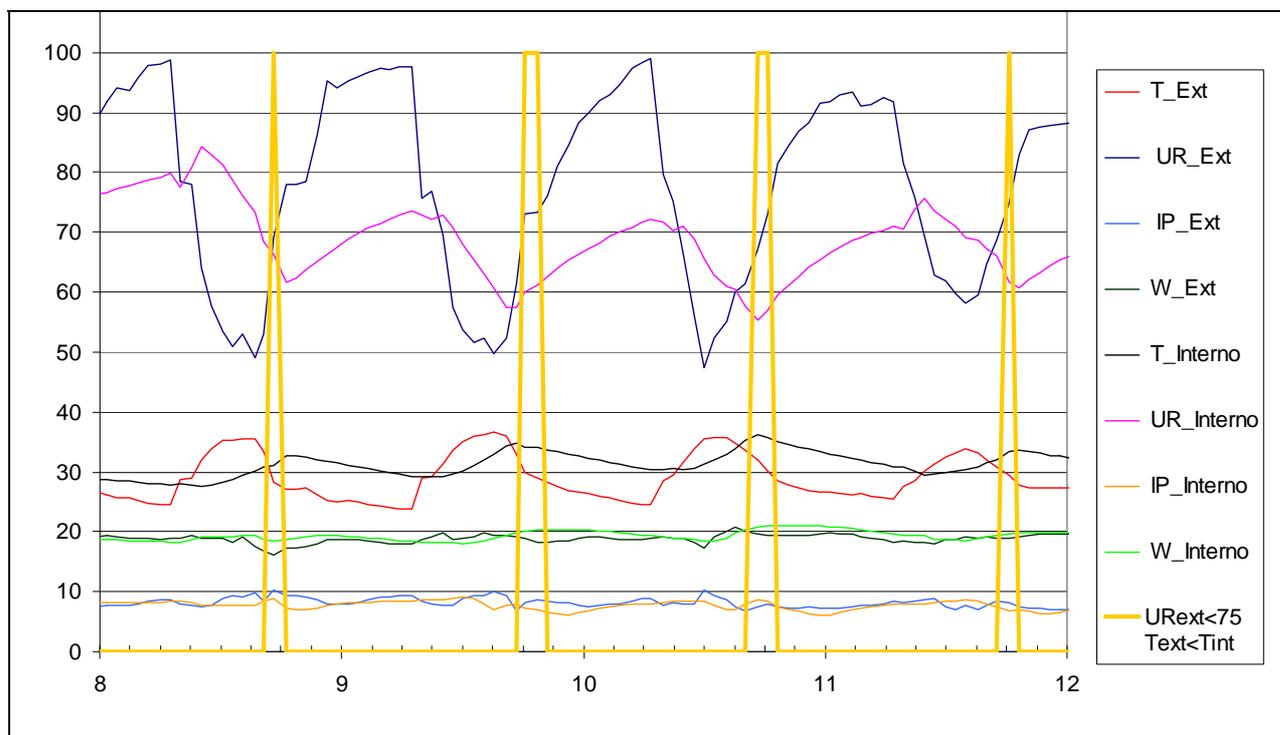


**Figura 73 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 4º Critério Insuflamento -  $UR_{int} < 75\%$  e  $IP_{ext} > IP_{int}$ .**

Porém, se avaliamos na Figura 74 a aplicação do 5º critério, de que  $UR_{int} \leq 75\%$ ,  $IP_{ext} \geq IP_{int}$  e a temperatura externa menor que a interna, teríamos uma melhor aproximação da otimização de acionamento citada no final do capítulo 4, item 4.2., sendo que podemos observar comparativamente esta otimização em relação ao 3º critério aplicado e mostrado novamente na Figura 75.



**Figura 74 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 5º Critério Insuflamento -  $UR_{int} < 75\%$  e  $IP_{ext} > IP_{int}$  e  $T_{ext} < T_{int}$ .**



**Figura 75 - Períodos de Acionamento do Insuflamento segundo o 3º Critério Insuflamento -  $UR_{ext} < 75\%$  e  $T_{ext} < T_{int}$ .**

Na verdade, a conclusão que podemos tirar da avaliação destes critérios relacionados é que a inserção do IP como critério possibilita uma melhor aproximação do controle requerido, já que ele relaciona os efeitos da degradação química; já a importância de também considerarmos

os limites de UR e Temperatura é relacionada à necessidade destas referências para o controle da degradação mecânica e principalmente biológica.

Deve-se ainda ressaltar que a real otimização que o 5º critério proporcionaria dependerá fundamentalmente da efetiva resposta da edificação ao funcionamento do sistema de insuflamento. Podem-se considerar, teoricamente, estas aproximações como válidas, no entanto, é necessário que se faça uma averiguação da real interferência da utilização do sistema de insuflamento de ar, sobre o comportamento climático do interior do edifício, e, principalmente, identificar possíveis limitações decorrentes da interferência da própria edificação sobre o sistema.

Durante o período de monitoramento sem insuflamento de ar, pôde-se avaliar o comportamento climático do interior do edifício frente aos valores externos devido somente à capacidade térmica do envoltório do edifício, tendo sido identificada sua capacidade de amortecimento destes valores e também o quanto a edificação contribui para o ganho de calor especialmente nos horários de pico, levando as temperaturas internas a ficarem, em média, mais de 2° C acima das externas, conforme mostrado no item 4.1.

Considerando que uma das principais preocupações em utilizar o sistema de insuflamento de ar externo é saber o quanto os valores internos respondem ao insuflamento de ar, executou-se um período de experimentação no qual foi testado o acionamento do sistema proposto, podendo-se, assim, avaliar a resposta do comportamento interno e preliminarmente apontar alguns dos problemas detectados.

Ao considerar a utilização do sistema de insuflamento de ar externo, tinha-se como expectativa que, proporcionando a devida troca de ar exterior/ interior, estar-se-ia impondo o comportamento das variáveis externas, como temperatura, UR e W ao ambiente interno.

Levando-se em conta, numa aproximação estimativa, que quanto mais trocas de ar fossem proporcionadas ao ambiente, menor seria a diferença entre as temperaturas externas e internas, estas tenderiam a se igualarem, sendo que a diferença entre as temperaturas internas e externas seria expressa pela relação  $D^o/D$ .

$$\frac{\Delta'}{\Delta} = \frac{T \text{ interna do ambiente} - T \text{ externa}}{T \text{ superficial interna} - T \text{ externa}}$$

Para podermos estimar qual seria o comportamento térmico do ambiente, este foi modelado em regime permanente, considerando que o ar insuflado seria aquecido pelas trocas convectivas com as paredes internas, sendo esta correlação expressa pela equação abaixo:

$$\dot{w} c (T_{int} - T_{ext}) = h A_s (T_{sup} - T_{int})$$

em que  $\dot{w}$  é a vazão mássica do ar,  $c$ , o calor específico,  $T_{int}$ , a temperatura interna,  $T_{ext}$ , a temperatura externa,  $h$ , o coeficiente de troca de calor por convecção,  $A_s$ , a área superficial das paredes internas e  $T_{sup}$ , a temperatura das paredes internas.

Sendo que a vazão mássica do ar ( $\dot{w}$ ) pode ser determinada em função da taxa de renovação do ar (TR), do volume do ambiente (Vol) e da densidade do ar ( $\rho$ ).

$$\dot{w} = \rho * TR * Vol$$

Parametrizando os termos, conforme a definição de  $\Delta'/\Delta$  apresentada anteriormente, chega-se à equação que define a curva mostrada na Figura 76, que expressa a diferença entre as temperaturas externas e internas em função das trocas de ar do ambiente, ou seja, do insuflamento de ar externo:

$$\frac{\Delta'}{\Delta} = \frac{1}{\frac{2 * \rho * c * TR * Vol}{3600 * h * A_s} + 1}$$

A Figura 76 exhibe essa correlação tendo como base os valores explicitados na Tabela 21.

Tabela 21 – Dados do Cálculo de  $\Delta'/\Delta$ .

$\rho = 1 \text{ kg/m}^3$
$A_s = 335.30 \text{ m}^2$
$c = 1000 \text{ J/Kg K}$
$TR = n^\circ$ de trocas de ar por hora / variável
$Vol = 493 \text{ m}^3$
$h = 8 \text{ w/m}^2 \text{ k}$ (estimado)

\* os dados utilizados para seu cálculo são referentes as características da própria reserva técnica do museu.

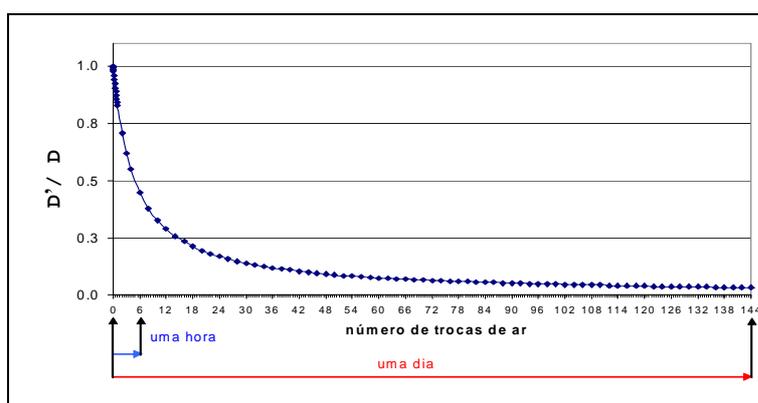


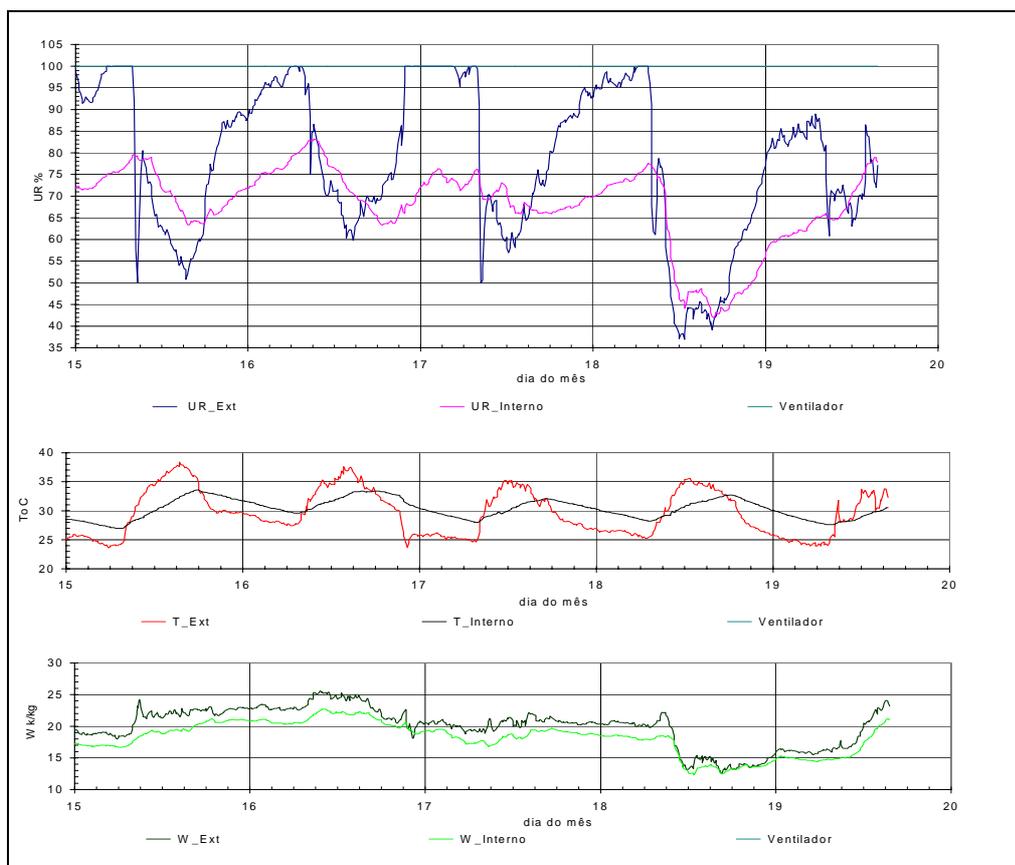
Figura 76 – Linha de Tendência das Diferenças de Temperatura em Função do Número de Trocas de Ar.

O que se observa na Figura 76 é que se for considerado insuflamento de ar externo para para dentro do ambiente tendendo ao  $\infty$ , a  $T$  interna tenderia a ser igual à  $T$  externa e a relação

entre  $D'/D$  tenderia a ser igual a zero. E se considerarmos que a vazão estimada para o sistema de insuflamento do museu possibilitaria uma taxa de renovação de ar de 6 trocas por hora, poderíamos estar igualando as temperaturas internas às externas em torno de um dia. Entretanto, a temperatura externa é variável ao longo do dia, com uma taxa de variação que chega a 1 °C por hora, impedindo uma previsão exata da eficiência do sistema.

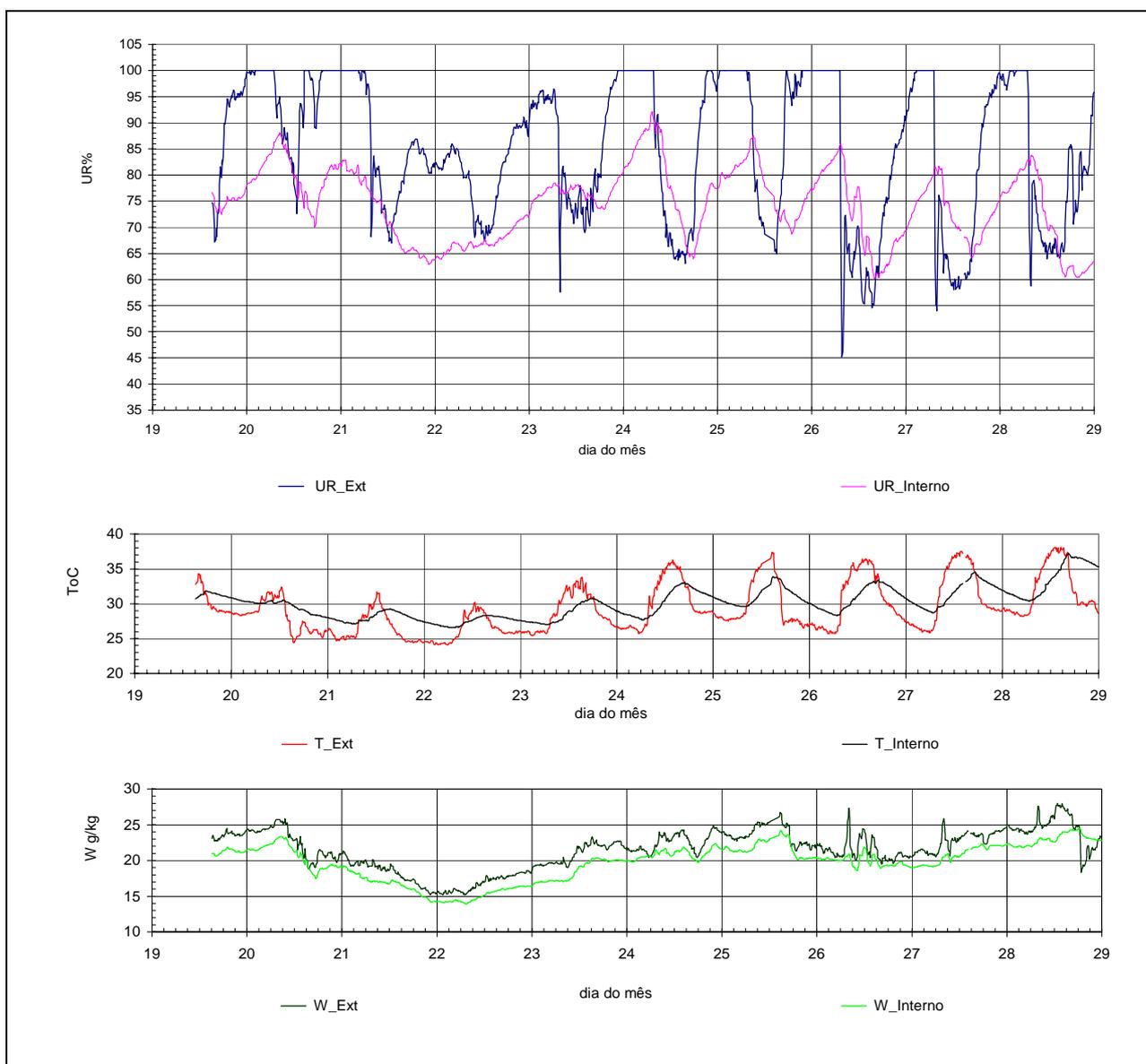
Porém, para poder atestar esta aproximação empírica, foi feita uma avaliação experimental sobre a resposta do ambiente interno ao acionamento do sistema de insuflamento de ar, sendo acionado o insuflamento de ar ininterruptamente por um longo período de tempo, permitindo que fosse avaliado o tempo de resposta e estabilização dos níveis de temperatura e umidade internas frente às variações e valores externos e o quanto  $D'/D$  tenderia realmente a zero.

Neste sentido, foi acionado o sistema de insuflamento primeiramente no período de 15 a 19 de fevereiro (Figura 77), tendo sido observado que o comportamento do ambiente interno não seguiu a estimativa de  $D'/D$  de tender a zero (Figura 76).



**Figura 77 – Variações Climáticas de 15 a 19 de Fevereiro de 2003.**

O que se pode observar na Figura 77 é que as diferenças entre temperatura interna e externa ainda permanecem, não tendo se igualado, e que a W foi a única variável que passou a obedecer o comportamento das variações externas, enquanto a temperatura e UR permanecem com algum amortecimento e atraso em relação aos valores externos. Tendo sido então estendido o período de testes por mais nove dias, de 20 a 28 de fevereiro, para se avaliar qual a tendência deste comportamento na Figura 78.



**Figura 78 – Registros de T, UR e W no Período de Testes do Insuflamento.**

Na Figura 78, podemos ver que o comportamento verificado nos 5 primeiros dias permaneceu o mesmo, ou seja, a W continua respondendo às variações externas, sendo que os

valores de temperatura e UR permanecem com praticamente o mesmo amortecimento, porém, com diminuição do atraso térmico.

Pode-se também analisar comparativamente, nas tabelas 22, 23 e 24, os dados monitorados dos meses de maior calor e compará-los com o período no qual houve insuflamento de ar, verificando que, na média, não houve diferenças entre o amortecimento de temperatura, UR e W destes meses.

Tabela 22 – Valores de Temperatura dos Meses de Maior Calor e Mês com Insuflamento.

MESES	T_ Externa				T_ Interna				Amortecimento
	médias	máx	mín	amplitude	médias	máx	mín	amplitude	
Mar/ 2002	27.9	36.7	21.1	15.6	30.6	36.1	26.6	9.5	0.6
Dez/2002	26.4	40.2	18.0	22.2	28.4	34.3	23.8	10.5	0.5
Jan /2003	28.3	38.7	22.9	15.8	30.2	35.1	25.6	9.5	0.6
*Fev/ 2003	29.5	38.4	23.6	14.8	30.3	33.6	27.0	6.6	0.4

\*mês com insuflamento

Tabela 23– Valores de UR dos Meses de Maior Calor e Mês com Insuflamento.

MESES	UR_ Externa				UR_ Interna				Amortecimento
	médias	máx	mín	amplitude	médias	máx	mín	amplitude	
Mar/ 2002	80.9	99.8	47.5	52.3	66.8	87.9	54.1	33.8	0.6
Dez/2002	80.1	100	38.9	61.1	72.1	93.0	50.8	42.2	0.7
Jan /2003	76.9	100	42.0	58.0	67.7	88.4	49.6	38.8	0.7
*Fev/ 2003	78.5	100	36.9	63.1	67.7	88.4	49.6	38.8	0.6

\*mês com insuflamento

Tabela 24– Valores de W dos Meses de Maior Calor e Mês com Insuflamento.

MESES	W_ Externa				W_ Interna				Amortecimento
	médias	máx	mín	amplitude	médias	máx	mín	amplitude	
Mar/ 2002	18.5	21.7	14.1	7.6	18.1	21.1	14.1	7.0	0.9
Dez/2002	16.8	24.2	10.4	13.8	17.2	21.2	13.3	7.9	0.6
Jan /2003	18.0	23.3	10.4	12.9	17.9	21.2	9.9	11.3	0.9
*Fev/ 2003	19.9	25.6	12.5	13.1	18.1	22.7	12.3	10.4	0.8

\*mês com insuflamento

Na Tabela 25, são comparadas as diferenças entre as médias externas e internas dos dados monitorados, podendo-se avaliar tanto os ganhos de temperatura e umidade como do IP, comparativamente entre os meses de maior calor com o mês em que houve insuflamento.

Tabela 25 – Diferenças das Médias Internas de T, UR e W para os Meses Mais Quentes.

		D méd. = média int. - média ext.				
		PERÍODOS	D Temp.	D UR	D W	D IP
		<b>média geral período monitorado</b>	<b>1.8</b>	<b>-12.9</b>	<b>-1.0</b>	<b>0.6</b>
Meses ano	2002	março	2.7	-14.1	-0.4	0.3
		dezembro	2.0	-8.0	0.4	-0.8
	2003	janeiro	1.9	-9.2	-0.1	-0.1
		fevereiro (c/ insuflamento)	0.8	-10.8	-1.8	0.8

O que se pode observar na Tabela 25 é que houve uma redução da diferença entre as médias de temperaturas externas e internas ( $D_T$ ), ficando as temperaturas internas apenas  $0.8^\circ\text{C}$  em média mais altas que as externas, sendo inferior à média anual do  $D_T = 1.8^\circ\text{C}$ , o que é um aspecto positivo, pelo fato de o sistema de insuflamento não permitir que as temperaturas internas subissem tanto quanto sem o sistema em funcionamento.

Quanto ao comportamento da umidade relativa (UR), o que podemos perceber, na Tabela 25 ainda, é que não houve grande interferência do insuflamento. Entretanto, quanto à umidade absoluta interna (W), pode-se notar que, na média geral do ano, ela esteve muito próxima da umidade absoluta externa (W), sendo que, no mês com insuflamento, esta diferença aumentou para  $1.8\text{ g/kg}$  de ar seco, porém não se pode atribuir este fato diretamente ao insuflamento, pois nos meses de setembro e outubro (sem insuflamento) esta diferença foi de  $2.2\text{ g/kg}$  de ar seco. Ademais, ponderando as incertezas estimadas de medição de temperatura e umidade relativa, a partir do que é calculado para a umidade absoluta, chegamos à estimativa de que os valores de W podem ter uma incerteza de  $\pm 1.1\text{ g/kg}$  de ar seco, podendo considerar-se que os valores internos e externos se igualaram.

Como pode ser observado na Tabela 25 e na Figura 79, os valores do IP não sofreram interferência significativa do insuflamento.

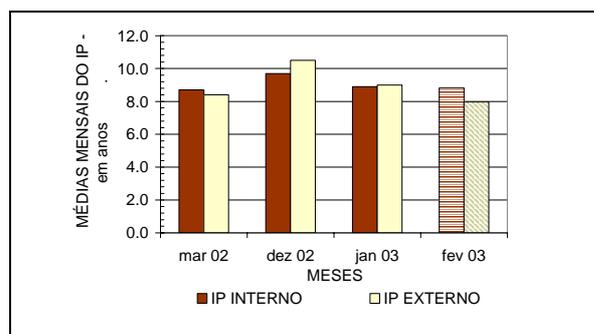
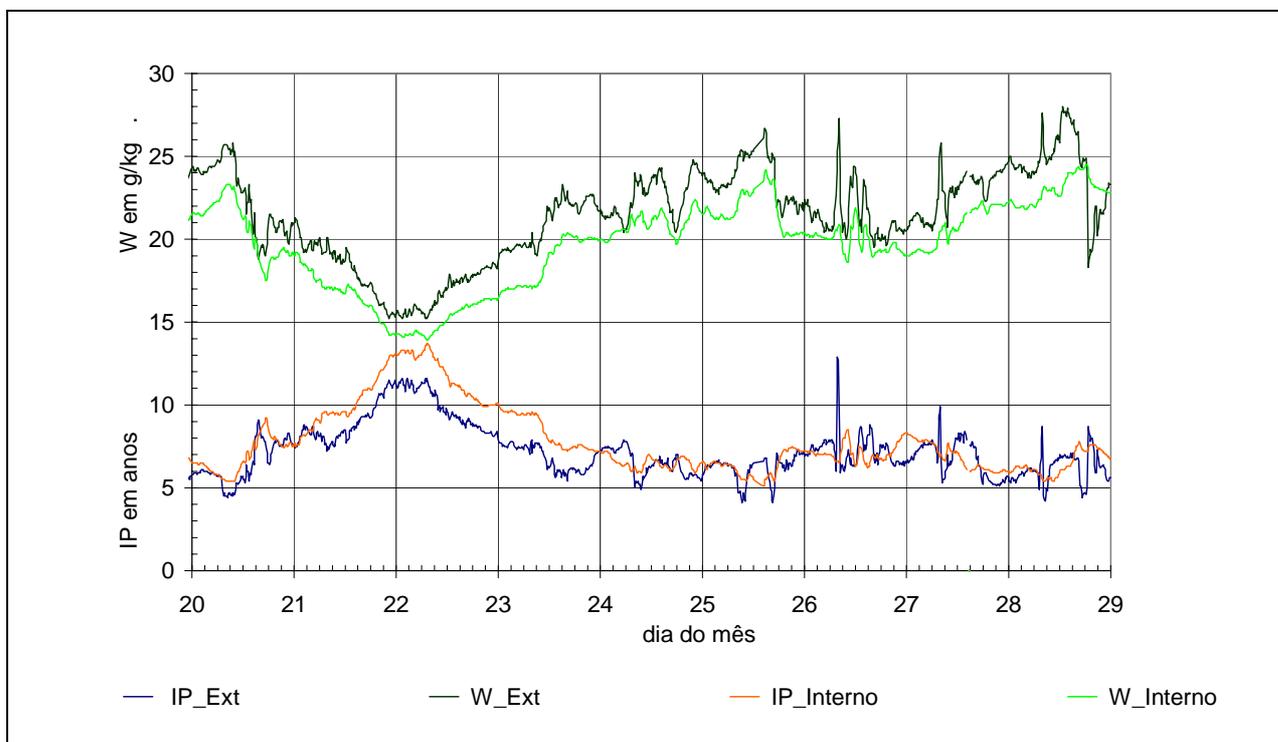


Figura 79 – Valores do IP nos Meses de Calor e no Período de Insuflamento em Fevereiro.

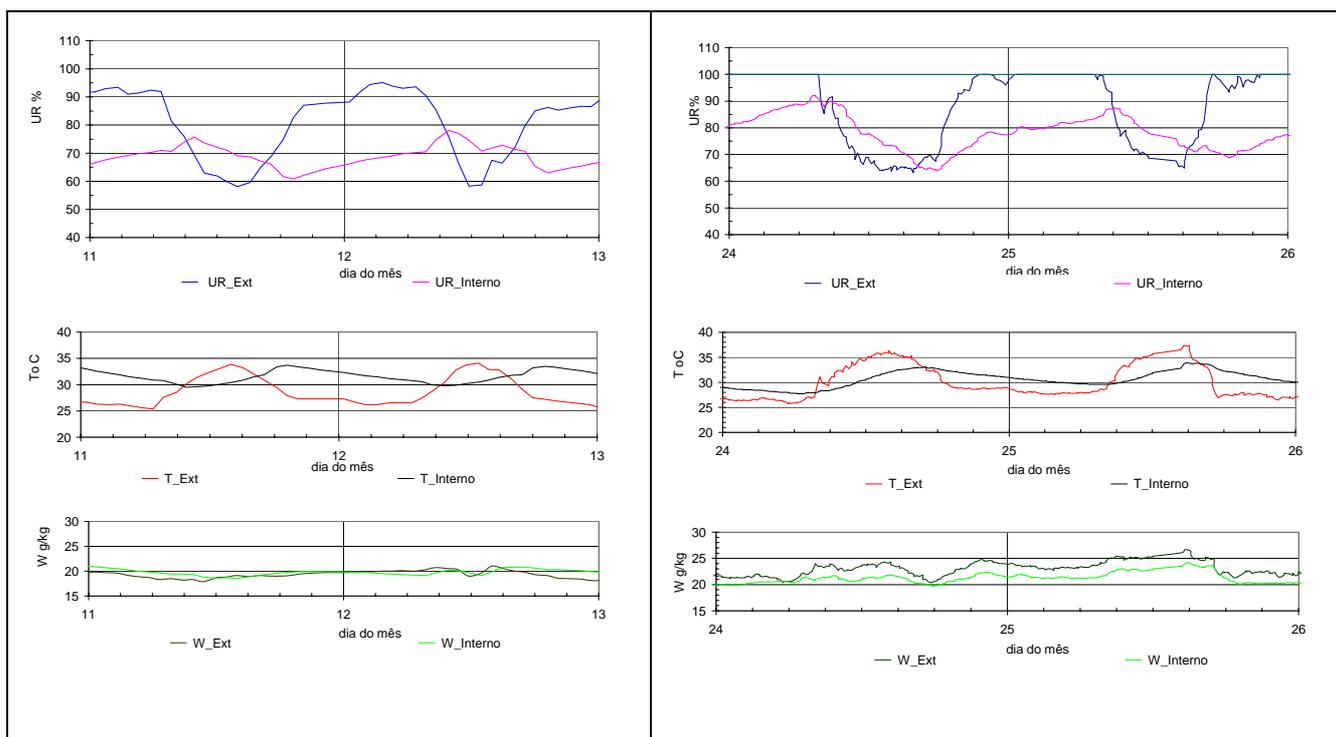
Um aspecto que podemos verificar na Figura 80, é que, apesar de a W interna ter passado a comportar-se segundo as variações da W externa, o IP interno permaneceu variando conforme os valores de temperatura e umidade internas, não apresentando um comportamento completamente simétrico às variações de W.



**Figura 80 – Variações de W e IP com Insuflamento de Ar no Mês de Fevereiro.**

Na verdade, este teste experimental do sistema de insuflamento não teve como objetivo obter um ganho no índice de preservação, mas sim, neste momento, avaliar o comportamento destas variáveis frente ao acionamento contínuo do sistema e a devida resposta da edificação. Para obter-se algum ganho em termos de IP, teríamos que estar atendendo a um dos critérios apontados no início deste sub-item, podendo controlar de uma forma mais efetiva os valores de temperatura e umidade relativa.

O procedimento ideal para avaliação do funcionamento do sistema de insuflamento seria através da comparação simultânea entre dois ambientes expostos às mesmas condicionantes, tendo somente um deles o sistema de insuflamento acionado. Todavia, como não houve a disponibilidade de outro ambiente nas mesmas condições, a análise foi realizada comparando o período em que houve insuflamento com períodos com características semelhantes em termos de valores de T, UR e W, sem insuflamento, como, por exemplo, são mostrados, na Figura 81, os dias 11 e 12 de janeiro (sem insuflamento) e, na Figura 82, os dias 24 e 25 de fevereiro (com insuflamento).



**Figura 81 – Registros Climáticos de 11 e 12 de Janeiro de 2003.** **Figura 82 – Registros Climáticos de 24 e 25 de Fevereiro de 2003.**

Já na Tabela 26, são mostrados dados comparativos de dias típicos de verão selecionados, relacionando as diferenças identificadas nos valores internos e externos ao ambiente em cada um dos dias, podendo-se compará-los aos dados de alguns dos dias em que houve insuflamento, Tabela 27.

Tabela 26 – Valores Médios de T, UR, IP e W de Dias Típicos dos Meses de Calor sem Insuflamento.

Dias	exterior				interior				Diferenças exterior - interior- D			
	T	UR	W	IP	T	UR	W	IP	T	UR	W	IP
11/03/02	28.8	78.9	19.0	7.7	31.6	68.2	19.6	7.4	2.8	-10.7	0.6	-0.3
12/03/02	28.7	82.0	19.7	7.3	31.5	69.6	19.9	7.3	2.8	-12.4	0.2	0
17/12/02	28.5	65.7	15.0	11.1	30.3	66.2	17.5	8.9	1.8	0.5	2.5	-2.2
18/12/02	26.2	61.2	12.6	15.8	29.6	60.3	15.3	11.3	3.4	-0.9	2.7	-4.5
6/01/03	29.6	69.9	17.2	9.7	30.9	66.3	18.2	8.3	1.3	-3.6	1	-1.4
7/01/03	29.4	65.0	16.0	10.8	31.4	64.0	18.0	8.7	2	-1	2	-2.1

Tabela 27 – Valores Médios de T, UR, IP e W de Dias Típicos do Mês com Insuflamento.

Dias	exterior				interior				Diferenças exterior - interior- D			
	T	UR	W	IP	T	UR	W	IP	T	UR	W	IP
15/02/03	30.1	80.3	21.1	7.5	30.1	71.5	18.9	8.0	0	-8.8	-2.2	0.5
16/02/03	31.0	83.0	23.0	6.3	31.6	73.1	21.0	6.6	0.6	-9.9	-2	0.3
24/02/03	30.1	86.1	22.5	6.5	30.3	78.7	20.9	6.5	0.2	-7.4	-1.6	0
25/02/03	29.6	92.2	23.6	6.1	31.0	77.9	21.7	6.4	1.4	-14.3	-1.9	0.3

Na comparação entre os valores das Tabelas 26 e 27, podemos observar que, na verdade, como os valores da W interna se mantiveram praticamente iguais aos da W externa, os valores de IP interno ficaram levemente acima dos externos, porém, com uma diferença insignificante. As diferenças mais significativas são em termos das diferenças de temperatura, o que pode ser mais bem analisado através das tabelas 28 e 29, que relacionam as diferenças entre o atraso térmico e o amortecimento para estes dias comparados.

Tabela 28 – Atraso Térmico, Amortecimento e Diferença de Temperaturas de Dias Típicos de Calor.

DIAS	ATRASO TÉRMICO (h)	AMORTECIMENTO	$D_T$ (°C)
11/03/02	05:12	0.5	2.8
12/03/02	06:14	0.5	2.9
17/12/02	05:23	0.6	1.8
18/12/02	04:02	0.5	3.4
06/01/03	03:07	0.4	1.3
07/01/03	05:12	0.5	2
<b>Médias</b>	<b>04:47</b>	<b>0.5</b>	<b>2.2</b>

Tabela 29- Atraso Térmico, Amortecimento e Diferença de Temperaturas com o Sistema de Insuflamento Ligado.

DIAS	ATRASO TÉRMICO (h)	AMORTECIMENTO	$D_T$ (°C)
15/02/03	02:18	0.4	0
16/02/03	02:16	0.3	0.5
24/02/03	02:00	0.5	0.1
25/02/03	00:11	0.4	1.4
<b>Médias</b>	<b>01:41</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>

Quando avaliamos o atraso térmico de alguns dos dias característicos dos meses mais quentes (Tabela 28) e comparamos com dias em que houve o insuflamento (Tabela 29), podemos perceber uma considerável redução no tempo do atraso térmico, passando de quase cinco horas (sem insuflamento) para próximo de uma hora e quarenta minutos em média (com insuflamento).

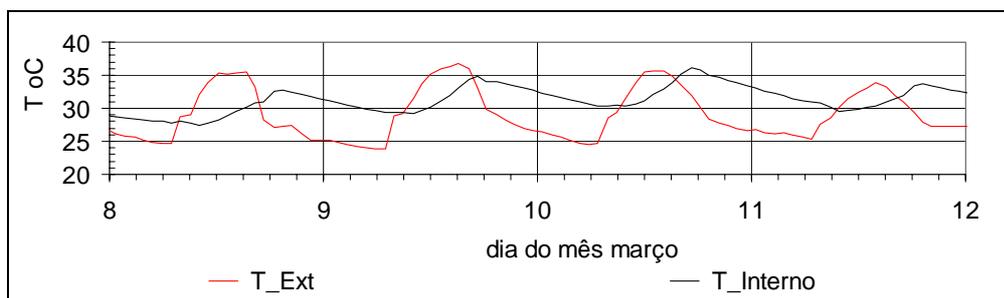
O que se pôde notar é que o acionamento do sistema de insuflamento, apesar de não ter afetado significativamente as variações de umidade, contribuiu para a diminuição tanto do atraso térmico como da redução dos ganhos térmicos internos. É importante ressaltar que este período de testes foi feito com o acionamento contínuo do sistema para que fosse possível avaliar a resposta climática do ambiente interno. A aplicação dos critérios de acionamento indicados como ideais deverá ser testada por um período de tempo representativo de inverno e verão para que realmente se possa comprovar a eficiência efetiva do sistema.

#### 4.4. Considerações finais e recomendações.

Nesta pesquisa, foi possível atestar que a complexidade das conjunções no controle da temperatura e umidade para um ambiente museológico dificulta e restringe as possibilidades de implantação de estratégias de controle das condicionantes ambientais alternativas.

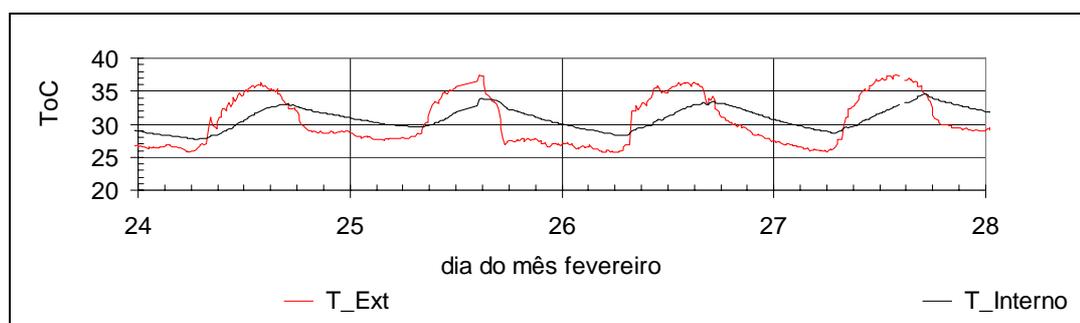
Viu-se, porém, que uma das maiores dificuldades no estudo de caso em questão é a de superar as próprias deficiências tipológicas do edifício analisado, para que ele funcione como um filtro das condições adversas e não como um potencializador das mesmas.

O fato do ambiente interno não estar em condições adequadas de conservação deve-se, principalmente, pelo ganho térmico excessivo da cobertura sem isolamento e com baixa capacidade térmica para isolar o calor proveniente da radiação solar incidente. Não isolando suficientemente o calor, a cobertura permite que ele seja transferido para o ambiente interno, fazendo com que, no horário vespertino, os valores de temperatura internas no verão cheguem a picos elevados de até mais que 35° C, Figura 83.



**Figura 83 – Registros de Temperatura no Período sem Insuflamento (Março 2002).**

E mesmo com o sistema de insuflamento ligado nos momentos em que as temperaturas externas estão mais baixas que as internas, há uma diminuição do atraso térmico, contudo, estas não chegam a acompanhar a queda das temperaturas externas (Figura 84).



**Figura 84 – Registros de Temperatura no Período com Insuflamento (Fevereiro 2003).**

Isto se deve, sobretudo, ao fato de que, mesmo estando a temperatura externa baixando, a temperatura da cobertura ainda permanece muito elevada, mantendo um gradiente de transferência de calor por condução para dentro do ambiente por algum tempo, e, ao invés de ela perder calor para a atmosfera, continuará transferindo este calor para o ambiente, figuras 85 e 86.

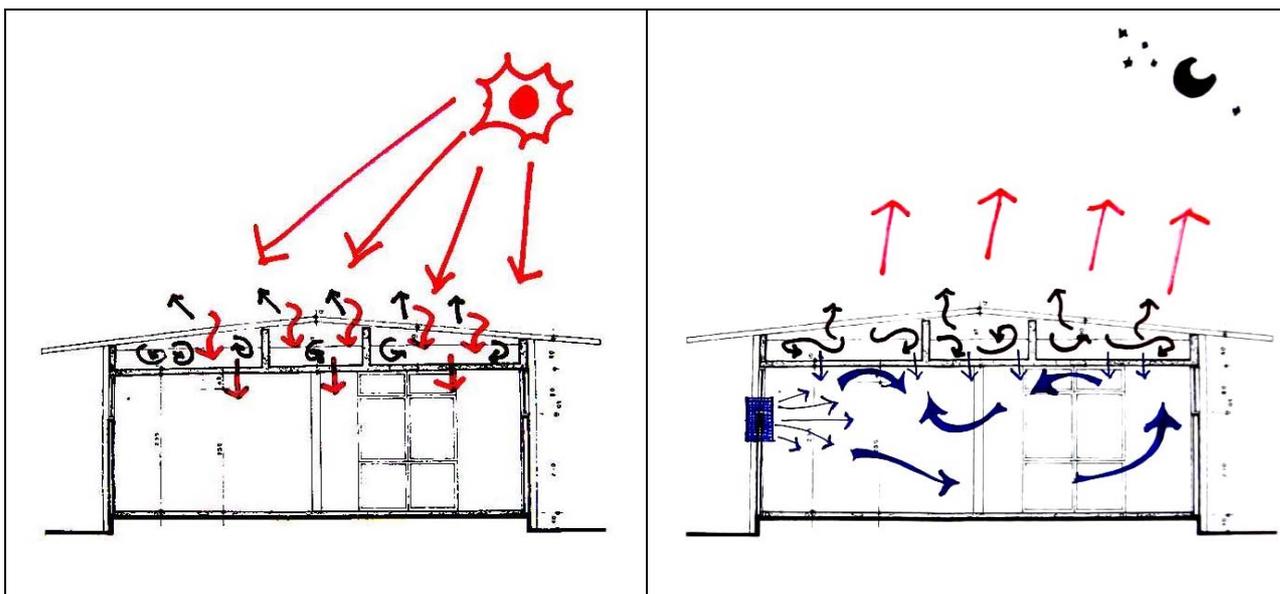


Figura 85 – Direcionamento do Fluxo de Calor pela Cobertura Durante o Dia.

Figura 86 - Direcionamento do Fluxo de Calor pela Cobertura Durante a Noite.

O que acontece, ainda durante o insuflamento, é que o ganho de calor por condução é acrescido de ganhos de calor por convecção pelo fato de o ar insuflado estar mais frio que o interno. Ao entrar no ambiente, ele causa um efeito de movimentação do ar que faz com que o calor da cobertura seja transferido por convecção para o ambiente interno (Figura 86), não permitindo que este venha a assumir o comportamento das variações externas.

Quando abordada na revisão bibliográfica, a relação entre edifício e clima, destacou-se a importância da adequação tipológica deste tipo de edifício no sentido de ele contribuir para o controle climático. Na reserva técnica do Museu Universitário, pudemos identificar alguns destes problemas referentes à inadequação tipológica, decorrentes da orientação de implantação do edifício, de sua volumetria e materiais construtivos inadequados, especialmente no que diz respeito à cobertura.

Quanto à orientação do edifício, deveria ter-se evitado a grande extensão de fachadas voltadas à insolação vespertina, Figura 87. No caso da reserva técnica, sua implantação longitudinal no sentido NE /SO faz com que a fachada NO fique muito exposta ao sol da tarde,

mesmo tendo proteção parcial do beiral no início da tarde, fica exposta à insolação lateral no resto do período, sendo que, se sua orientação longitudinal fosse no sentido leste oeste, as fachadas de maior extensão seriam a sul e norte. Como nesta latitude a fachada sul não pega sol nos períodos de verão, ela estaria protegida dos ganhos térmicos por radiação solar. Já a fachada norte estaria protegida pela sombra do próprio beiral, enquanto que junto à fachada oeste poderiam ficar localizados os ambientes administrativos e não de guarda do acervo, protegendo assim as paredes do ambiente da reserva da insolação vespertina. Além disto, deveriam ser evitadas aberturas envidraçadas para as fachadas NO, fato que ocorre na reserva técnica sem mesmo serem utilizadas, nem para ventilação, nem para iluminação, Figura 87.



**Figura 87 – Fachada NO, Foto Tirada em 22 de Maio de 2003 às 17:14 h. Fonte: M<sup>a</sup> Claudia L. Corrêa.**

Com relação à volumetria, também podemos destacar que o edifício, tendo a tipologia de um pavimento apenas com uma grande área horizontal de cobertura, é problemático, principalmente por ser distanciado dos demais blocos, ficando com uma grande área de superfície exposta à radiação solar. Uma solução teria sido pensar numa tipologia mais verticalizada que permitisse o uso de um segundo pavimento com outras funções que não a de guarda do acervo, como, por exemplo, os ambientes destinados ao ensino e extensão.

Outro fator negativo é que, sendo a cobertura a superfície de maior exposição solar, deveria ter sido prevista a utilização de outro tipo de telha mais eficiente, com maior capacidade térmica, que possibilitasse um maior atraso térmico dos picos de temperaturas internas e uma menor transmitância térmica minimizando os ganhos de calor por condução.

Ou ainda, poder-se-ia prever a utilização de material que tivesse baixa absorvância à radiação solar, como, por exemplo, a utilização de uma lâmina de alumínio polido junto à

cobertura, que, mesmo sendo em fibro-cimento, melhoraria consideravelmente a capacidade de reflectância da cobertura, minimizando o calor absorvido por radiação para o ambiente interno, e também prolongando consideravelmente o atraso térmico. Isto favoreceria para que houvesse uma redução nas temperaturas internas e nos picos de carga de resfriamento, transferindo para um horário posterior em que as temperaturas externas estivessem já bem reduzidas.

A partir dos dados apresentados, pode-se concluir que algumas intervenções podem ser sugeridas, para que a edificação que abriga a reserva técnica melhore seu desempenho térmico, as quais seriam:

- 1º passo – Reduzir o ganho de calor pela cobertura por radiação, o que poderia ser facilmente conseguido por algumas ações como:
  - diminuindo a capacidade de absorção de calor pela superfície da cobertura, pintando a mesma de branco, para que possa ser aumentada sua reflectância, ocasionando um melhor desempenho térmico, já que a mesma encontra-se bem escurecida, Figura 88;



**Figura 88 - Cobertura Vista pela Fachada SE. Foto Tirada em 16 de Maio de 2003 às 12:45h.**

Fonte: M<sup>a</sup> Claudia L. Corrêa.

- incrementar a capacidade de sombreamento tanto da própria cobertura, como da fachada NO, minimizando assim o efeito de ganho de calor por estas superfícies. Este sombreamento poderia ser obtido por meio da implantação de outro prédio mais alto em sua lateral ou através do próprio incremento da vegetação lateral já existente. Porém, deve-se observar que esta vegetação deveria ser de folhagem caduca, para que nos períodos de inverno a edificação pudesse receber sol, evitando a necessidade de aquecimento nos períodos mais frios. Além disto, deveriam também ser evitadas as aberturas envidraçadas para esta fachada.

- Na Figura 89, é mostrado como a vegetação poderá vir a contribuir para o sombreamento desta fachada, primeiro vemos como a vegetação arbustiva de pequeno porte já começa a gerar sombreamento sobre as paredes, o que será intensificado com crescimento e adensamento desta vegetação. Também podemos verificar que árvores de maior porte, com copas que sobreponham sua cobertura, junto à fachada noroeste, poderão contribuir para o sombreamento da cobertura. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados com a especificação destas espécies no sentido de avaliar-se a sazonalidade de sua folhagem e também a capacidade de expansão e profundidade de suas raízes para que não comprometam estruturalmente nem a edificação, nem as calçadas de contorno, para que não haja problemas relacionados à infiltração de umidade pelos pisos ou pela base das fundações.



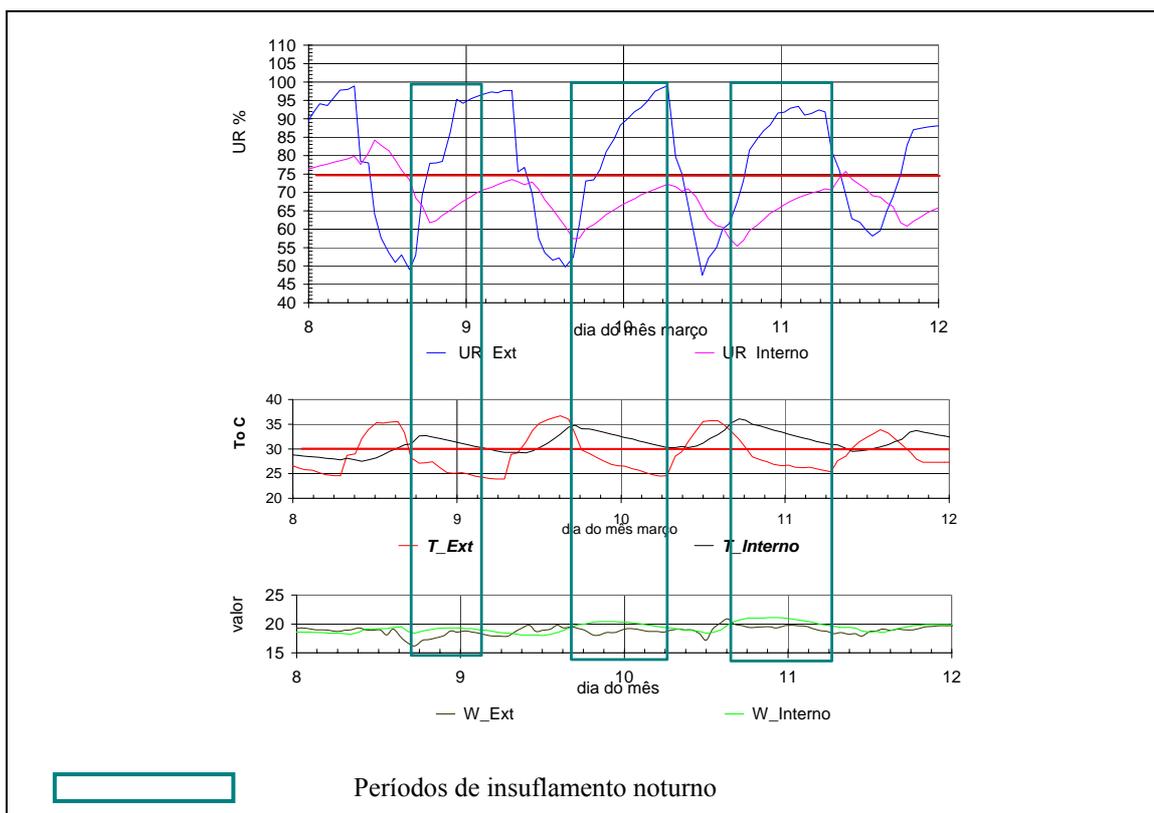
**Figura 89 – Sombreamento pela Vegetação junto à Fachada NO. Fotos Tiradas em 19 de Fevereiro de 2003 às 16:12. Fonte: M<sup>a</sup> Cláudia L. Corrêa.**

Estas ações possibilitariam um melhor desempenho térmico do próprio edifício no controle das variáveis climáticas, e, com certeza, minimizariam os picos de ganho de calor interno. Também podemos considerar que estas intervenções permitiriam uma maior

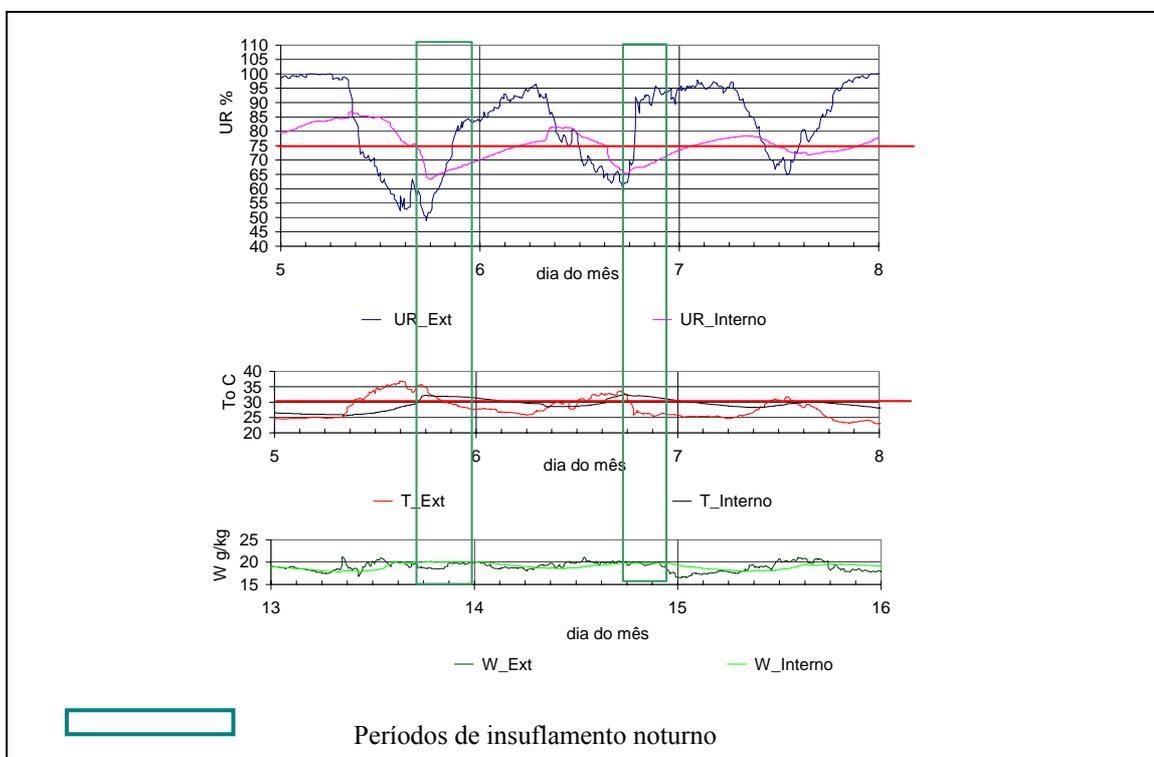
flexibilização dos critérios de utilização das estratégias de controle avaliadas, principalmente no que se refere à possibilidade de acionamento do sistema de insuflamento de ar externo.

Quanto ao estabelecimento dos critérios de acionamento, concluímos que, diante do comportamento identificado no ambiente, com e sem o sistema de insuflamento acionado, pode-se considerar que há possibilidades de ajustes nos critérios de acionamento do sistema, frente à capacidade de resposta às variações identificadas durante o monitoramento, que possivelmente ampliariam a aplicabilidade da estratégia de insuflamento de ar externo.

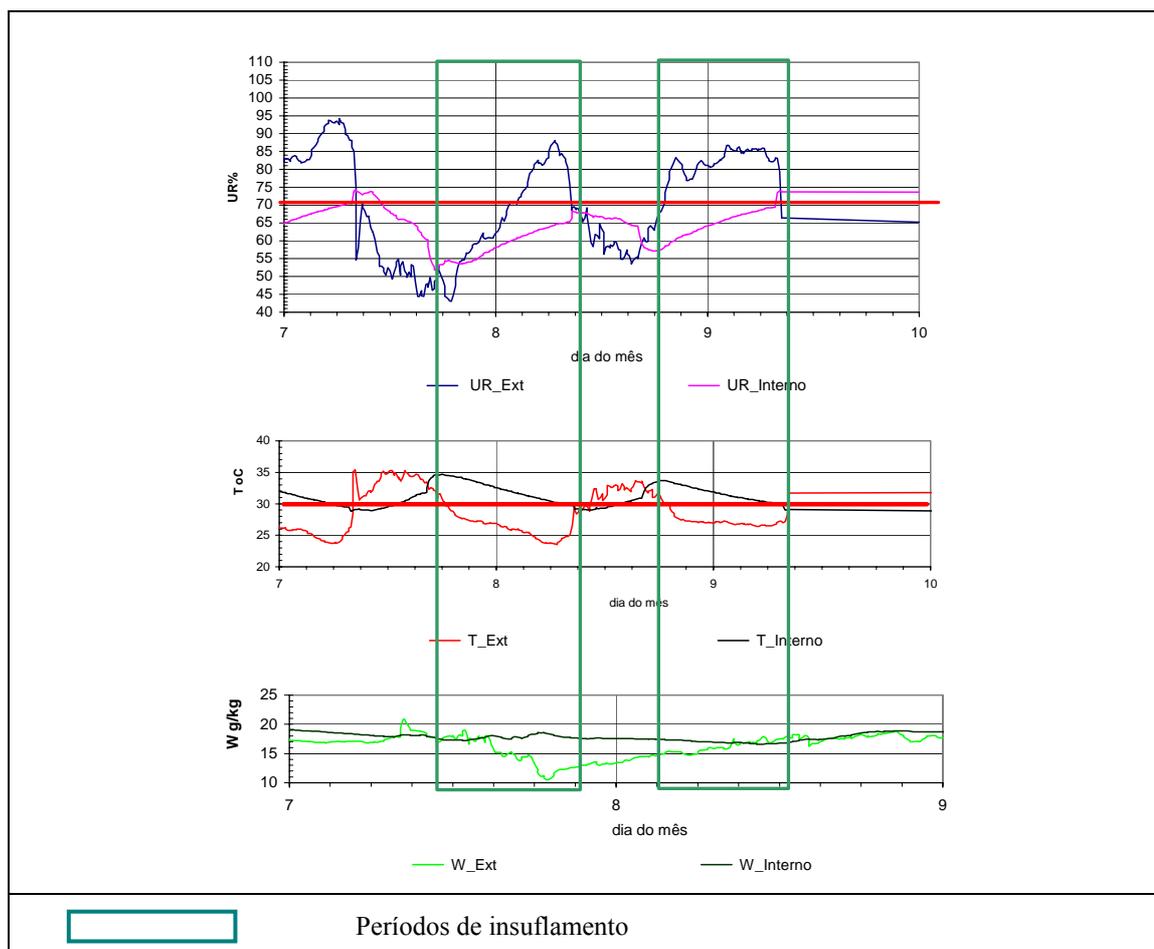
Se durante o acionamento do sistema de insuflamento verificou-se que não houve uma equalização dos valores de temperatura e UR, pode-se estimar que há uma determinada faixa de amortização destes valores e variações que faz com que possamos ser mais flexíveis nos critérios de acionamento, confirmando assim o 5º critério de acionamento indicado como o mais adequado. Por exemplo, se considerarmos que, mesmo com os valores da UR externa estando acima de 75%, mas a umidade relativa interna estando abaixo de 75%, poder acionar o insuflamento assim que as temperaturas externas começarem a baixar, e sempre que o IP externo estiver melhor que o IP interno, fazendo com que a umidade interna chegue ao máximo de 75%, quando o sistema seria desligado (figuras 90, 91 e 92). A aplicação deste critério permitirá um maior período de insuflamento, possibilitando uma amenização da temperatura nos meses de verão. Além disto, pelo fato de o comportamento do IP ser inversamente proporcional ao da W ao considerarmos o IP externo > que o IP interno, poderíamos estar reduzindo os níveis de W interna ao insuflarmos o ar externo nestes momentos.



**Figura 90 - Indicação do Período de Insuflamento Previsto para Dias do Mês de Março de 2002.**



**Figura 91 - Indicação do Período de Insuflamento Previsto para Dias do Mês de Dez de 2002.**



**Figura 92 - Indicação do Período de Insuflamento Previsto para Dias do Mês de Janeiro de 2003.**

Na verdade, a extensão destes períodos de insuflamento indicados nas figuras 90, 91 e 92 dependerá do tempo que levará a UR interna a chegar próximo de 75%, ou não. Quando Reilly e Nishimura (1995) fazem observações sobre o equilíbrio de temperatura e UR nos materiais, eles relacionam que, por não ser instantaneamente que os materiais do acervo assumem as condições de contorno de pequenas oscilações de temperatura e UR do ambiente, deveríamos considerar, em qualquer avaliação de controle, a amortização das variáveis ambientais passíveis de acontecerem até se chegar ao devido equilíbrio das condições ideais.

É importante enfatizar que, com relação às demais estratégias indicadas na Tabela 19 do capítulo 4, item 4.2, as porcentagens relacionadas ao uso do insuflamento para resfriamento provavelmente seriam ampliadas de 6,3% para até 15% se aplicado o 5º critério de acionamento apontado, pelo fato de estarmos proporcionando a redução das temperaturas internas com o próprio insuflamento de ar, incorporando assim alguns dos pontos que antes haviam sido

considerados para utilização de ar condicionado. Além disto, vale salientar a importância da utilização de algum sistema de desumidificação para os períodos de excessiva umidade e temperaturas inadequadas para insuflamento, já que foi, segundo as estimativas feitas, a principal estratégia a ser utilizada. Ou, no caso dos meses de inverno, permitir um aumento da temperatura próxima de 25° C para que possibilite a redução das amplitudes e valores de UR.

## 5. CONCLUSÃO

Diante da complexidade de fatores que interferem na conservação museológica, vários campos de pesquisa estão abertos e incipientes ainda de informações. No início do trabalho, vislumbrava-se que seria possível alcançar toda a dimensão da avaliação do comportamento ambiental de um museu, através da avaliação do comportamento do edifício frente às alterações climáticas exteriores. Considerava-se também que a adoção dos parâmetros recomendados em outros trabalhos semelhantes possibilitaria a eficiência dos sistemas propostos, garantindo assim a obtenção de parâmetros climáticos adequados à conservação da reserva técnica do museu em estudo.

Porém, com o desenvolvimento do trabalho, começaram a surgir várias limitações e indagações que não tinham respostas claras; ao contrário, iam abrindo mais e mais dúvidas a respeito, demonstrando que as condições de contorno dos problemas relacionados à conservação de acervos são extremamente complexas e, na maioria das vezes, necessitam de uma compreensão e abordagem multidisciplinares. Fato que corrobora as afirmações de vários dos autores consultados, de que um trabalho de investigação museológica é transdisciplinar, e tem de ser interdisciplinar. Ou seja, o conhecimento que um profissional precisa ter para fazer uma abordagem museológica deve transcender a sua disciplina de formação, seja ele um conservador, um arquiteto, engenheiro, químico, biólogo ou físico, porém, ele não poderá sozinho abarcar toda a complexidade de avaliações que necessitam serem feitas para o desenvolvimento desta ciência, e isto somente acontecerá se forem desenvolvidos trabalhos conjuntos e pesquisas complementares que respondam às indagações ainda em aberto.

O trabalho não se constituiu em responder todas as indagações, mas principalmente em esclarecer as possibilidades de respostas indicando as limitações existentes na aplicação dos parâmetros internacionais à realidade climática e tecnológica do Museu em estudo.

Na verdade, esta pesquisa possibilitou uma aproximação das discussões mais emergentes sobre o tema, sendo sintetizados, nos capítulos 1 e 2, os principais referenciais teóricos disseminados pelas principais instituições de pesquisa do mundo, sendo de grande utilidade para a análise proposta. Vimos, nesta revisão bibliográfica, que muito se discute no mundo hoje sobre conservação preventiva, e que no Brasil ainda carecemos de publicações que discutam e esclareçam a realidade local, apesar de sabermos que muitos museus, com esforços quase heróicos, têm tentado desenvolver seus métodos de controle, porém, ainda sem

sistematizações de grupos de pesquisa que integrem e disseminem estes conhecimentos. Um exemplo disto é que, durante a pesquisa, encontramos um livro organizado por MENDES et. al. (2001), publicado pela UFRJ, sobre o tema Conservação Conceitos e Práticas, contudo o livro, apesar de ser uma publicação de uma universidade brasileira, trata de uma coletânea de artigos de diversos pesquisadores internacionais, não mostrando nenhuma pesquisa desenvolvida no Brasil.

Apesar disto, temos de enfatizar a grande importância do conhecimento técnico destes pesquisadores e instituições internacionais que aos poucos começam a ver que realidades diferentes das suas merecem também um olhar e atenção especiais, como as situações de países em desenvolvimento e, sobretudo em países de clima tropical ou quente e úmido, que têm de lidar com as mesmas problemáticas de degradação, todavia, sob condicionantes físicas, climáticas e financeiras bem diferenciadas.

No capítulo 2, foram apresentados os principais fatores de interferência dos valores e variações de temperatura e umidade sobre os processos de degradação, levando em conta considerações internacionais sobre os limites estabelecidos como ideais para controle ambiental. Assim como também foram correlacionadas as diferentes possibilidades de utilização de sistemas auxiliares de monitoramento e controle ambiental.

No capítulo 3, foi exibida a metodologia utilizada na pesquisa, indicando as peculiaridades tanto do edifício, como do acervo e das condições climáticas da cidade onde se encontra o Museu, destacando ainda as estratégias de controle indicadas para conforto humano na cidade de Florianópolis, ressaltando as limitações destas estratégias frente às limitações referentes às necessidades museológicas mostradas no capítulo 2. Ainda foram abordados os sistemas de monitoramento e controle ambiental propostos para avaliação da reserva técnica do Museu em estudo. É importante frisar aqui que a opção pela instalação dos sistemas na reserva técnica do Museu se deu em virtude da possibilidade de um maior controle sobre as condicionantes de interferência no espaço. Por ser este de acesso restrito e fechado ao exterior, nos permitiu uma análise mais criteriosa a respeito dos fatores de interferência sobre os valores e variações diagnosticadas de temperatura e umidade.

No capítulo 4, foram mencionados os resultados alcançados no período de monitoramento e avaliação do sistema de insuflamento, assim como as considerações sobre a possibilidade de aplicação das estratégias de controle indicadas pela bibliografia. Pôde-se observar, nas Tabelas 17 e 18 do capítulo 4, item 4.2, as condições peculiares das variáveis de temperatura e umidade relativa encontradas, vislumbrando-se a dificuldade de contemplar o

nível de controle ambiental requerido para o Museu, simplesmente com estratégias passivas de controle ambiental. Fica evidenciado também, na Tabela 19, que, dentre as estratégias possíveis de serem aplicadas, a maior necessidade seria de utilizar um sistema de desumidificação auxiliar, fato decorrente dos altos valores freqüentes de UR na cidade de Florianópolis.

Quanto às análises feitas sobre o uso do sistema de insuflamento de ar, no item 4.3, chegou-se à conclusão de que haveriam ganhos em sua aplicação desde que considerado o 5º critério avaliado, pelo fato de se estar levando em conta tanto a possibilidade de degradação química como biológica, por considerar não só a relação entre UR e T expressas pelo Índice de Preservação, mas também por estabelecer os limites de  $UR < 75\%$  e considerar a possibilidade de insuflamento, sempre que a temperatura externa estiver menor que a temperatura interna. Estratégia esta que, com certeza, terá uma aplicabilidade ainda mais efetiva se introduzido algum processo de desumidificação no ambiente. O que se pode acrescentar nesta observação é que, em ambientes que não necessitem obrigatoriamente do controle de UR, como em ambientes residenciais, esta estratégia mostra-se bastante promissora, indicando a possibilidade de utilização de insuflamento noturno para controle de temperaturas internas elevadas.

No item 4.4, são sintetizadas, as principais considerações a respeito das incompatibilidades entre as necessidades de conservação e as características climáticas ou construtivas da realidade observada, indicando-se intervenções no edifício que contribuam para a eficiência dos sistemas propostos.

O que se pôde afirmar nesta avaliação, em curto espaço de tempo e com a visão parcial da especificidade desta formação, é que é imprescindível para qualquer planejamento de controle ambiental de um Museu a preocupação com a tipologia construtiva e a organização espacial do mesmo. Nesta pesquisa ficou claro que, mesmo lançando mão de mecanismos de controle alternativos, fica difícil superar as problemáticas de inadequação ambiental de um museu, se na sua concepção inicial de construção não se considerar as recomendações de estratégias de controle ambiental, especialmente no que tange às orientações solares, dificultando e até encarecendo as soluções tecnológicas possíveis de serem utilizadas.

Este trabalho apontou uma questão importantíssima, que é a peculiaridade da resposta do ambiente interno à implantação de estratégias de controle, não se podendo considerar como norma geral para qualquer museu, as avaliações feitas para este Museu especificamente. Entretanto, o trabalho permitiu uma aproximação com relação aos padrões das variações climáticas da cidade de Florianópolis, caracterizada por um clima de estações quentes com períodos de frio, porém, com uma umidade constantemente elevada durante todo o ano, sendo

uma das principais condições de contorno que interferem e limitam a escolha das estratégias mais adequadas de serem utilizadas para uma edificação como esta, com paredes e cobertura leves e sem isolamento térmico.

Cada vez mais se discute no meio acadêmico a necessidade da utilização do controle climático através de estratégias passivas, que tirem proveito de características de materiais construtivos e da própria implantação do edifício de forma a minimizar as variáveis climáticas externas. Porém, este conhecimento ainda tem que ser mais disseminado no mercado da construção civil, para que seja compreendido que o desempenho térmico da edificação é importantíssimo para a minimização dos gastos com sistemas auxiliares de controle que provavelmente estarão gerando um gasto energético elevado.

Estas preocupações são importantes sim, para qualquer tipo de edificação, sobretudo para edifícios que abrigam instituições museológicas, pela fragilidade de seu acervo e também pelas limitações orçamentárias que em geral estas instituições possuem. Obviamente, muitos dos museus estão localizados em edifícios históricos, os quais, na maioria das vezes, não foram construídos para abrigar tais acervos, mas que constantemente estão sofrendo intervenções de expansão ou adequação espacial sem considerar estes fatores de controle ambiental como preponderantes, muitas vezes optando por padrões estéticos incompatíveis com um bom desempenho climático e até com a própria tipologia histórica do edifício. Estas opções por tipologias inadequadas à conservação museológica são justificadas por limitações nos custos de construção, fato que acarretará, com certeza, num momento posterior, em um custo elevadíssimo de manutenção e até de recuperação do acervo. Ou ainda, são opções feitas sob a defesa ideológica de padrões estéticos contemporâneos que fazem o caráter artístico e estético do edifício preponderar sobre a função de abrigar acervos.

## 5.1.Sugestões para trabalhos futuros

Diante das conclusões levantadas, vê-se que esta temática é bastante abrangente, necessitando da continuidade dos trabalhos que visem ao aprofundamento de questões abordadas no decorrer desta pesquisa. Podemos citar aqui algumas das temáticas possíveis de serem abordadas no intuito de aprofundamento do conhecimento e domínio sobre os sistemas de controle ambiental indicados como referenciais, como, por exemplo:

- Avaliação sobre melhoria da eficiência térmica de sistemas construtivos de edifícios que abrigam museus em regiões de clima quente e úmido, procurando atestar:
  - a eficiência da diminuição de ganhos de calor por radiação através do aumento da reflectância na cobertura, ou do uso de materiais isolantes, assim como através do uso de sombreamento.
- Avaliação da aplicação dos critérios e estratégias indicadas nesta pesquisa, por um período significativo de verão e inverno, que possibilite a avaliação contínua:
  - da contribuição efetiva durante todo o ano, sobre a redução e estabilização das variáveis ambientais, T e UR, no ambiente interno do museu.
  - de outros fatores de interferência não avaliados nesta pesquisa, como qualidade do ar e controle da proliferação de microorganismos junto ao acervo.
  - além dos custos de implantação, manutenção e uso do sistema de insuflamento comparativamente à utilização de outras estratégias indicadas.

Um aspecto importante a se destacar é que uma análise mais precisa seria possível se pudessem ser avaliados dois (ou mais) ambientes com as mesmas condicionantes de tipologia, uso e implantação, onde se poderia, exatamente sob as mesmas condições climáticas, avaliar

simultaneamente as diferenças de comportamento, com e sem insuflamento, e ainda com critérios diferenciados de acionamento.

- Outra indicação de pesquisa possível e necessária é a avaliação de outras tipologias construtivas e sua adequação às necessidades ambientais de conservação às estratégias indicadas.
  - Avaliando o desempenho de tecnologias tradicionais de edifícios históricos.
  - E também avaliando novas tecnologias e tipologias construtivas mais adequadas aos requisitos de conservação.

Ainda podemos apontar alguns desdobramentos de pesquisas necessárias à complementaridade da abordagem que envolvam:

- Desenvolvimento tecnológico de suporte aos sistemas de monitoramento e controle que evitem a dependência de mecanismos caros e de fora do país, porém, que atestem sua confiabilidade de utilização.
- Capacitação técnica do pessoal ligado diretamente às instituições museológicas, no sentido de estimular pesquisas de desenvolvimento de investigação sobre a eficiência do controle ambiental utilizado, possibilitando o desenvolvimento de novas tecnologias mais adequadas a cada realidade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ DE BUERGO, Mônica. **Restauración de edificios monumentales**. Madrid. Espanha. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales – Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Gabinete de Formación y Documentación. Impreso pela ARTEGRAF S.A. 1994. Páginas 241 a 254.
- ANDRADE, Suely Ferraz de. **Estudo de Estratégias Bioclimáticas no Clima de Florianópolis**. Florianópolis, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – Ergonomia – CTC - UFSC. Dissertação de Mestrado 1996
- ARECES, José A. Planas. **Nociones Basicas de Museologia – Museografia Y Diseño**. Cuba, Consejo Nacional de Patrimonio Cultural – Centro Nacional de Conservación, Restauración y Museología – Editado pelo grupo de informática do CENCREM, La Havana Vieja. 2000
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers - **Chapter 20 - Museums, Libraries, and Archives. Applications Handbook-** 1999 - páginas 20.1 a 20.13.
- BARBOSA, Miriam Jerônimo. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. Florianópolis, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – CTC – UFSC– Tese de Doutorado 1997.
- CAMUFFO, Dario. et al. **Environmental Monitoring in Four European Museums**. Atmospheric Environment no.35 supplement no. 1 ano 2001 pp. 127-140
- CARVALHO, Claudia. **O controle ambiental para preservação de acervos na concepção dos edifícios de arquivos e bibliotecas em clima tropical úmido**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: FAU/UFRJ, 1997.
- CARVALHO, Claudia. **O espaço como elemento de preservação dos acervos com suporte em papel**. Comunicação Técnica. Centro de Memória da Academia Brasileira de Letras. Rio de Janeiro. 1998
- CASSAR, May. **Environmental Management –Guidelines for museums**. London and New York: Routledge, 1997.

- CRADDOCK, Ann Brooke. **Controle de temperatura e umidade em acervos pequenos**  
In: MENDES, Marylka (et. al. Org.) **Conservação, Conceitos e Práticas**. Rio de Janeiro:  
Editora UFRJ, 2001. p. 65-82.
- DARDES, Kathleen. **Evaluación para la conservación: Modelo propuesto para evaluar las  
necesidades de control del entorno** Getty Conservation Institute (GCI) 1998
- ERHARDT, David. TUMOSA, Charles S. MECKLENBURG, Marion F. and GOODHART,  
Mark H. McCormick. *The Determination of Allowable RH Fluctuations*, WAAC  
Newsletter, v. 17, no. 1, 1995, 19-23
- ERHARDT, David. TUMOSA, Charles S. MECKLENBURG, Marion F. and GOODHART,  
Mark H. McCormick. *A Discussion of Research on the Effects of Temperature and  
Relative Humidity on Museum Objects*, WAAC Newsletter 18-3, Volume 18, Number 3,  
September 1996.
- ERHARDT, David. and MECKLENBURG, Marion F.. *Relative Humidity Re-Examined.  
Preventive Conservation: Practice, Theory, and Research. Preprints of the Contributions  
to the Ottawa Congress*. London: The International Institute for Conservation of Historic  
and Artistic Works (IIC), 1994, pp. 32-38.
- GOULART, S. LAMBERTS, R.; FIRMINO, S., 1997, **Dados Climáticos para Projeto e  
Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**, PW Editores.
- GÓMEZ, <sup>a</sup>F. & CZAJKOWSKI, J. D. **El confort en la conservación de bienes históricos y  
culturales**. Universidad Nacional de La Plata Argentina. Artigo publicado no V ENCAC -  
Fortaleza 1999.
- GÓMEZ, <sup>a</sup>F. & CZAJKOWSKI, J. D **Condiciones Ambientales en Museus**. Universidad  
Nacional de La Plata Argentina. Artigo publicado no V ENCAC - Fortaleza 1999.
- GÜTHS, S.; SOUZA, L.A. C. e PEREIRA, F.O.R. - **Sistema de Gerenciamento Térmico  
para Conservação de Coleções**, Anais do IX Congresso da Associação Brasileira de  
Conservadores e Restauradores de Bens Culturais (ABRACOR), pp. 36-39, Salvador/BA,  
1998.
- KERSCHNER E BAKER. **Practical Climate Control: A Selected , Annotated Bibliography**.  
CoOL Conservation On line -<http://palimpsest.stanford.edu> – acessado em 20/06/2002

- KERSCHNER, Richard L. *A Practical Approach to Environmental Requirements for Collections in Historic Buildings*. *Journal of the American Institute for Conservation* 31, (1992): 65-76.
- KING, Steve, PEARSON, Colin. **Controle Ambiental para Instituições Culturais: planejamento adequado e uso de tecnologias alternativas**. In: MENDES, Marylka (et. al. Org.) **Conservação, Conceitos e Práticas**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2001. p. 41-64.
- KLÜPPEL, Griselda P.; FREIRE, M.R. **Diagnóstico Ambiental do Museu de Arte Sacra da UFBA**. Artigo publicado no V ENCAC - Fortaleza 1999.
- LABUZA, T. P.: **Interpretation of Sorption Data in Relation to the State of Constituent Water**., Publicado pela Academic Press. London, pp 155-171, 1974.
- LAMBERTS, Roberto. DUTRA, Luciano, e PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores. 1997
- LEE, Nelson H. **Preservation Briefs 17: Architectural Character Identifying the Visual Aspects of Historic Buildings as an Aid to Preserving Their Character** HPS - Heritage Preservation Services do National Park Service. Washington, D.C.: Department of Interior, Government Printing office, 1998.
- MAEKAWA, Shin., TOLEDO, Franciza. **Collections in Hot & Humid Environments**, Published Getty Conservation Institute, 2000
- MAEKAWA, Shin., TOLEDO, Franciza. **Sustainable Climate Control For Historic Buildings In Hot And Humid Regions**. Publicado por PLEA 2001 - 18<sup>th</sup> International Conference on Passive and Low Energy Architecture - Florianópolis SC Brasil, 2001.
- MAEKAWA, Shin., TOLEDO, Franciza. *Controlled ventilation and heating to preserve collections in historic buildings in hot and humid regions*. published in the 13TH Triennial Meeting Rio de Janeiro ICOM-CC 2002 - Preprints Vol I. Páginas 58- 65
- MENDES, Marylka (et. al. Org.) **Conservação, Conceitos e Práticas**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2001.

- MICHALSKI , Stefan. *Relative Humidity: A Discussion of Correct/Incorrect Values. Preprints, 10th Triennial Meeting, Washington, DC, USA, 22-27 August 1993*. Paris: ICOM Committee for Conservation, 1993, pp. 614-619.
- MICHALSKI , Stefan. *Double the life for each five-degree drop, more than double the life for each halving of relative humidity*. published in the 13TH Triennial Meeting Rio de Janeiro ICOM- CC 2002 - Preprints Vol I. paginas 66-72.
- MICHALSKI , Stefan. *Technical Bulletin 23* –Publicado: *Canadian Conservation Institute* – Canada 2000.
- NAPPI, Sérgio C. B. **Umidade em Paredes** In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, 1996, Florianópolis. Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil. 1996. v.4. p.537 – 547.
- OGDEN , Sherelyn (ed.) **Caderno Técnico: Meio Ambiente**. Publicado originalmente pela Commission on Preservation and Access- Washington em 1997 –Traduzido em publicações do projeto CPBA – Arquivo Nacional. Rio de Janeiro. 2000
- PADFIELD, Tim. *The Role Of Absorbent Building Materials In Moderating Changes Of Relative Humidity*. Ph.D. thesis The Technical University of Denmark: Published from the Department of Structural Engineering and Materials, Series R no. 54, 1999
- PAPST, Ana Lúcia. **Uso de Inércia Térmica no Clima Subtropical, Estudo de Caso em Florianópolis – SC**. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. 1999.
- PAPAKONSTANTINO, K.A. KIRANOUDIS, C.T. Markatos, N.C. **Computational analysis of thermal comfort: the case of the archaeological museum of Athens**. Applied Mathematical Modelling no 24 ano 2000 pp. 477-494
- PARK, Sharon C. **HVAC For Historic Buildings**. ASHRAE Journal, Abril-1999, pp. 91-98.
- PARK, Sharon C. **Preservation Briefs 24: Heating, Ventilating and Cooling Historic Buildings: Problems and Recommended Approaches**. HPS - Heritage Preservation Services do National Park Service. Washington, D.C.: Department of Interior, Government Printing office, 1991.

- PARK, Sharon C. **Preservation Briefs 39: Holding the Line: Controlling Unwanted Moisture in Historic Buildings**. HPS - Heritage Preservation Services do National Park Service. Washington, D.C.: Department of Interior, Government Printing office, 1996.
- PEARSON, Colin. **Preservação de acervos em países tropicais** In: MENDES, Marylka (et. al. Org.) **Conservação, Conceitos e Práticas**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2001. p. 35-40.
- PEARSON, Colin. and King, STEVE. **Controle ambiental para instituições culturais: planejamento adequado e uso de tecnologias alternativas**. In: MENDES, Marylka (et. al. Org.) **Conservação, Conceitos e Práticas**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2001. p. 41-64.
- PEARSON, Colin. and DANIEL, Vinod. **Controle de pragas em museus: visão geral**. In: MENDES, Marylka (et. al. Org.) **Conservação, Conceitos e Práticas**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2001. p. 211-246.
- REILLY, J.M.; NISHIMURA, D.W. E ZINN, E.: **New Tools for Preservation Assessing Long-Term Environmental Effects on Library and Archives Collection**, Publicado pela Commission on Preservation and Access. Washington. 1995.
- SCHELHORN, M. L. e HEISS, R.: **The Influence of Relative Humidity on Thermal Resistance of Mould Spores**, Publicado pela Academic Press. London, pp 339-346, 1974.
- SCOTT, Graeme. **Formação de mofo em ambientes tropicais**. In: MENDES, Marylka (et. al. Org.) **Conservação, Conceitos e Práticas**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2001. p. 261-278.
- SEBERA, D.K. **Isoperms: An Environmental Management Tool**, Publicado pela Commission on Preservation and Access. Washington. 1994.
- TOLEDO, Franciza. *Passive Environmental Control for Museums in Hot-Humid Climates: Guidelines for Building Desing and Fabric Improvements*. London: Tese de doutorado – University College London, Institute of Archaeology, 1999
- THOMSON, Garry. *Some Hints on Measurement and Control of Climate in Historic Houses.* "Conservation Within Historic Buildings. Preprints of the Contributions of the Vienna Congress. London: The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), 1980, pp. 6-8.

TRAVIS, C. McDonald, Jr. **Preservation Briefs 35:Understanding Old Buildings The Process of Architectural Investigation** HPS - Heritage Preservation Services do National Park Service. Washington, D.C.: Department of Interior, Government Printing office, 1994.

TRINKLEY, Michael. **Considerações sobre preservação na construção e reforma de bibliotecas: planejamento para preservação.** Publicado originalmente pela Commission on Preservation and Access - Washington –Traduzido– Arquivo Nacional. Rio de Janeiro. 2000

VALENTÍN, Nieves.; GARCÍA, Rafael.; LUIS, Oscar de.; MAEKAWA, Shin. **Microbial Control in Archives, Libraries and Museums by Ventilation Systems.** Munich. Publicado por Restaurator nº.19 - ano1998, pp. 85-107.