



## **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

# **MODERNIZAÇÃO DE UMA CÂMARA CALORIMÉTRICA PARA EXECUÇÃO DE TESTES CLIMÁTICOS DE ENVELHECIMENTO ACCELERADO**

Por,  
**Rogério Chaves Figueiredo**

**Brasília, 29 de Junho de 2011**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica

## PROJETO DE GRADUAÇÃO

# MODERNIZAÇÃO DE UMA CÂMARA CALORIMÉTRICA PARA EXECUÇÃO DE TESTES CLIMÁTICOS DE ENVELHECIMENTO ACELERADO

POR,

**Rogério Chaves Figueiredo**

### **Banca Examinadora**

Prof. João Manoel Dias Pimenta (Orientador)

---

Prof. Antônio F. Parentes Fortes /ENM

---

Prof.<sup>a</sup>. Palloma Vieira Muterlle/ ENM

---

Brasília, 29 de Junho de 2011

---

## RESUMO

O presente trabalho apresenta um projeto para a modernização de uma câmara calorimétrica para a realização de ensaios de envelhecimento acelerado por meio do intemperismo. Foram dimensionadas serpentinas para a climatização do interior da câmara, bem como foram selecionadas as lâmpadas fluorescentes especiais para simular condição de exposição à radiação UV. Foi definido que a umidade será simulada por um sistema de aspersão, responsável por introduzir um *spray* de água sobre o(s) corpo(s) de prova.

Palavras-Chave: Envelhecimento Natural, Envelhecimento Artificial, Radiação Ultravioleta, Fotodegradação, Polímeros, Intemperismo.

---

## ABSTRACT

This paper presents a project for the modernization of calorimetric chamber to conduct accelerated aging tests. Cooling coils were designed for the climate system inside the chamber and were selected special fluorescent lamps to simulate the exposure to UV radiation. It was determined that the moisture is simulated by a sprinkler system, responsible for introducing a spray of water on the specimens.

Key Words: Natural Weathering Aging, Artificial Weathering Aging, Ultraviolet Radiation, Photo-degradation, Polymers, Weathering.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 O TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA .....	1
1.2 ESTADO DA ARTE.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.4 METODOLOGIA .....	4
1.5 ESTRUTURA DO RELATÓRIO.....	5
<b>2 REVISÃO DE CONCEITOS</b> .....	<b>6</b>
2.1 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA .....	6
2.2 INTEMPERISMO RELACIONADO A VIDA DOS MATERIAIS .....	8
2.3 DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS .....	10
2.3.1 TIPOS DE DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS .....	12
2.3.2 DEGRADAÇÃO TÉRMICA .....	13
2.3.3 DEGRADAÇÃO FOTOQUÍMICA .....	16
2.4 CÁLCULO DO FATOR DE ACELERAÇÃO .....	20
2.5 CONDIÇÕES PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS.....	21
2.6 EXPOSIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	22
2.7 EXEMPLOS DE ENSAIOS .....	23
2.8 PROCESSOS DE CONDICIONAMENTO DO AR.....	24
2.9 CONVECÇÃO NATURAL AO REDOR DE TUBOS .....	27
<b>3 PROJETO CÂMARA DE ENVELHECIMENTO ACELERADO</b> .....	<b>29</b>
3.1 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO .....	29
3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO .....	30
3.3 SISTEMA DE ASPERSÃO DE ÁGUA .....	33
3.3.1 DIMENSIONAMENTO DA BOMBA HIDRÁULICA.....	35
3.4 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DO AR.....	36
3.4.1 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	37
3.4.2 DIMENSIONAMENTO DAS SERPENTINAS.....	41
3.5 SISTEMA DE CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO .....	43
<b>4 MODIFICAÇÕES NA ESTRUTURA DA CÂMARA</b> .....	<b>45</b>
4.1 MODIFICAÇÕES NA ESTRUTURA DA CÂMARA.....	45
<b>5 ENSAIO SOB CONDIÇÕES NATURAIS</b> .....	<b>48</b>
5.1 METODOLOGIA PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO .....	48
5.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
<b>6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>50</b>
6.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>51</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>53</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Variáveis durante exposição de um material ao intemperismo natural .....	9
Figura 2.2- Comparação do nível de degradação e do tempo de ensaio entre envelhecimento natural (a) e acelerado (b) para amostras de polipropileno de alta resistência (OLIANI et al, 2009).....	10
Figura 2.3 - Relação entre Temperatura de exposição e Módulo de Young (BRYDSON, 1999) .....	16
Figura 2.4- Espectro Solar após atenuação atmosférica, comparado ao espectro fora da atmosfera (ICTJA 2011).....	17
Figura 2.5 – Espectro de luz emitido por uma lâmpada fluorescente convencional (PHILLIPS, 2005).....	17
Figura 2.6 Exemplo de reações fotoquímicas em grupos carbonila em cadeias poliméricas (DE PAOLI, 2008).....	19
Figura 2.7- Carta psicrométrica mostrando aquecimento e resfriamento sensíveis (ASHRAE, 2006).....	26
Figura 2.8- Carta psicrométrica mostrando umidificação e desumidificação (ASHRAE, 2006) .....	26
Figura 2.9- Carta psicrométrica mostrando aquecimento/umidificação e resfriamento/desumidificação (ASHRAE, 2006).....	27
Figura 3.1- Vista do calorímetro .....	30
Figura 3.2 – Distribuição espectral lâmpada UVB 340 comparada à luz solar em ambiente externo (ASTM G 154, 2004) .....	31
Figura 3.3- Esquema de montagem das lâmpadas fluorescentes no teto da câmara .....	32
Figura 3.4- Esquema de ligação das lâmpadas com relé e CLP.....	32
Figura 3.5- Esquema de montagem unifilar hidráulico.....	34
Figura 3.6- Perfil de temperaturas para simulação 1.....	39
Figura 3.7- Perfil de temperaturas para simulação 2.....	39
Figura 3.8- Perfil de temperaturas para simulação 7.....	40
Figura 3.9- Perfil de temperaturas para simulação 8.....	40
Figura 3.10- Desenho da serpentina .....	42
Figura 3.11- Suporte para termopar .....	43
Figura 4.1- Montagem da serpentina na estrutura metálica de suporte do piso .....	46
Figura 4.2- Vista isométrica com a montagem da estrutura do piso, serpentinas e tubulação hidráulica.....	46
Figura 4.3- Vista posterior da câmara .....	47
Figura 4.4- Vista Explodida montagem câmara com componentes.....	47
Figura A1- Vista frontal da câmara calorimétrica, porta aberta.....	54
Figura A2- Perfil de temperaturas para simulação 3.....	59
Figura A3- Perfil de temperaturas para simulação 4.....	59
Figura A4- Perfil de temperaturas para simulação 5.....	59
Figura A5- Perfil de temperaturas para simulação 6.....	60
Figura A.6- Simulação configuração com quatro grelhas de insuflamento e duas de retorno. 61	
Figura A.7- Simulação com uma grelha de insuflamento e uma de retorno .....	61
Figura A.8- Simulação com insuflamento por difusor central de 4 vias e retorno por grelha no piso da câmara.....	62
Figura A.9- Simulação com insuflamento por difusor central de 4 vias e retorno por grelhas na parede posterior .....	62
Figura A10- Esquema de ligação de sensor de temperatura ou umidade (JOHNSON CONTROLS, 2010). .....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tipos de ligações químicas e suas respectivas energias de ligação (DE PAOLI, 2008).....	18
Tabela 2.2 – Energia de fótons para diferentes valores de comprimento de onda.....	18
Tabela 2.3- Exemplos de ensaios de envelhecimento acelerado (ASTM, 2004).....	24
Tabela 3.1- Descritivo para o sistema de iluminação.....	32
Tabela 3.2- Materiais necessários para sistema de aspersão.....	36
Tabela 3.3- Parâmetros iniciais de projeto da serpentina.....	41
Tabela A1- Lista de Desenhos Técnicos.....	69

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

$c$	Velocidade de onda	[m/s]
$i$	índice de refração do meio	
$e$	Energia de fóton	[J]
$h_p$	Constante de Plank	[J s]
$E_b$	Energia radiante por unidade de área	[W/m <sup>2</sup> ]
$R$	Constante dos gases ideais	[J/mol K]
$B$	Fator pré-exponencial de Arrhenius	
$I$	Irradiância	[J/m <sup>2</sup> ]
$u$	Componente velocidade direção x	[m/s]
$v$	Componente velocidade direção y	[m/s]
$g$	Aceleração da gravidade	[m/s <sup>2</sup> ]
$h$	Entalpia específica	[kJ/kg]
$A$	Área	[m <sup>2</sup> ]
$D$	Diâmetro	[m]
$Q$	Calor por unidade de área	[kJ/m <sup>2</sup> ]
$C_p$	Calor específico a pressão constante	[kJ/kg.K]
$\dot{m}$	Vazão mássica	[kg/s]
$T$	Temperatura	[K]
$U$	Coefficiente global de transferência de calor	[W/m <sup>2</sup> .K]

## Símbolos Gregos

$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann	[W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ]
$\lambda$	Comprimento de onda	[nm]
$\beta$	Coefficiente de expansão volumétrica	[T <sup>-1</sup> ]
$\nu$	Viscosidade cinemática	[m <sup>2</sup> /s]
$\kappa$	Coefficiente de condução térmica	[W/m <sup>2</sup> K]
$\alpha$	Difusividade térmica	[m <sup>2</sup> /s]
$\Delta$	Variação entre duas grandezas similares	
$\rho$	Massa específica	[m <sup>3</sup> /kg]

## Grupos Adimensionais

$Nu$	Número de Nusselt
$Re$	Número de Reynolds
$Ra$	Número de Rayleigh
$Pr$	Número de Prandtl

## Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ISO	<i>International Organization of Standardization</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>



# 1 INTRODUÇÃO

*Este primeiro capítulo tem como objetivo apresentar o tema em estudo, uma revisão bibliográfica sobre este, bem como apresentar os objetivos propostos, metodologia utilizada para se alcançar tais objetivos e como este relatório foi estruturado.*

## 1.1 O TEMA EM ESTUDO E SUA RELEVÂNCIA

Equipamentos para testes de envelhecimento acelerado são amplamente utilizados na indústria, nas etapas de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, controle de qualidade e homologação de produto. Para tanto, são utilizados diversos modelos de equipamentos para os testes, de acordo com o material a ser testado e as condições ambientais as quais será submetido.

Nestes equipamentos, as condições climáticas são reproduzidas por meio de variações da temperatura e da umidade relativa, bem como da variação da exposição à radiação solar, muitas vezes simulada por uso de lâmpadas especiais. Alguns equipamentos também simulam a presença de salinidade, encontrada em regiões litorâneas. Assim, o material é submetido a diversos ciclos que simulam condições críticas de trabalho, em que cada ciclo representa de forma acelerada tais condições.

Muitos materiais presentes em nosso cotidiano são sensíveis à exposição solar, tendo sua vida afetada de forma bastante significativa. Como exemplo, materiais fabricados com polipropileno e polietileno são muito sensíveis à radiação solar, principalmente no espectro do ultravioleta (UV) (BRYDSON, 1999).

Em ensaios de vida acelerada, utilizar o Sol como fonte de radiação não se mostra uma opção aceitável, uma vez que este apresenta variações na energia incidente na superfície terrestre, ocasionadas por diversos fatores, como a sazonalidade (verão e inverno), a posição relativa no céu (ao meio dia apresenta, em geral, maior intensidade de radiação), presença de nuvens e poluentes atmosféricos que filtram parte da radiação e influenciam na intensidade da radiação que chega ao nível do solo. Desta forma, para suprir estas deficiências, foi necessário o desenvolvimento de novos meios para se realizar tais testes. Uma solução que se mostrou bastante aceitável foi a utilização de fontes artificiais de luz, como alguns tipos de lâmpadas especiais que emitem luz com um espectro próximo ao do Sol na superfície.

Atualmente são utilizadas lâmpadas especiais para simular condições críticas de exposição solar nos ensaios de envelhecimento acelerado. Desta forma, os materiais são expostos a níveis de radiação mais críticas na região espectral em que é mais sensível, de forma mais constante e por períodos de

tempo maiores. Desta forma, pode-se garantir uma exposição uniforme do material às condições do ensaio de uma maneira que seria impossível de se conseguir numa exposição natural.

Existem normas específicas para cada tipo de lâmpada atualmente utilizada como fonte de luz para ensaios de envelhecimento acelerado. Normas como a ASTM G151 (ASTM, 2004), que trata sobre o ensaio com fonte de luz artificial em geral, a ASTM G154 (ASTM, 2004) sobre o uso de lâmpadas fluorescentes e a ASTM G155 (ASTM, 2004) para o uso de lâmpadas de xenônio são as referências para os ensaios de vida acelerada com a presença de radiação e formam a base teórica deste trabalho.

Este tipo de equipamento tem grande importância pois permite visualizar de forma mais rápida e menos custosa os efeitos causados pelo intemperismo em diversos materiais, principalmente os poliméricos. Desta forma, permite que se acelere determinadas etapas no processo de criação de um novo produto ou até mesmo para controle e qualidade. Assim, com menores custos e tempos menores pode-se ter um produto mais competitivo e de melhor qualidade, o que para a indústria é um ponto bastante positivo, bem como para o consumidor final, pois terá um produto de melhor qualidade e menor preço.

## **1.2 ESTADO DA ARTE**

O envelhecimento acelerado é uma técnica antiga de avaliação para diversos materiais, principalmente para os poliméricos. O domínio sobre o processo é muito importante, uma vez que a luminosidade incidente sobre uma superfície não é constante, varia ao longo do dia, mês, ano, assim como da posição geográfica onde se encontra exposta.

Os testes de envelhecimento acelerado têm como principal objetivo estudar como um determinado material se degrada quando exposto à condições climáticas adversas, como por exemplo climas muito quentes e úmidos, muito comuns na região Norte do País, ou climas muito quentes e secos, como o encontrado em certos períodos do ano no Centro-Oeste brasileiro, onde também são expostos a níveis de radiação muito elevados, principalmente a ultravioleta (UV), a mais danosa tanto para a saúde humana (pode causar câncer de pele) quanto para diversos materiais de uso cotidiano.

No início eram utilizadas lâmpadas de arco de carbono para simular exposição à radiação solar. Esta foi uma descoberta feita ao se observar que as cortinas de teatros perdiam a cor com o tempo. Naquela época, no início do século 19, ainda não se conhecia muito bem os efeitos da radiação. Tais lâmpadas possuem um espectro de luz bem semelhante com a luz solar, principalmente na porção do UV.

Desde o século 19 se percebeu que alguns materiais quando expostos à radiação emitida por estas lâmpadas se degradavam mais rapidamente. Este tipo de lâmpada emite luz quando uma corrente

elétrica passa por dois eletrodos de carbono, sendo uma luz bastante clara e intensa, que pode ser prejudicial para as pessoas quando expostas por determinados períodos de tempo a essa luminosidade. Com o passar do tempo e com o desenvolvimento de novas lâmpadas, as de arco de carbono deixaram de ser utilizadas em novos testes por serem mais caras e menos precisas que as demais.

Existem basicamente dois tipos de testes de envelhecimento. O mais comum e o primeiro a ser utilizado é o envelhecimento natural. Neste tipo de ensaio as amostras são expostas às condições climáticas naturais, em locais que apresentam condições de clima adverso por períodos suficientes para se analisar o comportamento da amostra. São ainda muito empregados, principalmente para comparar os resultados obtidos por meio de ensaios de envelhecimento natural com os obtidos em ensaios de envelhecimento acelerado.

O segundo tipo é o ensaio de envelhecimento acelerado. Neste caso são utilizados equipamentos em laboratórios de forma a simular condições climáticas controladas. Desta forma é possível realizar um teste de vida em um período de tempo bem menor, simulando tempos de exposição de meses ou até anos em curtos espaços de tempo. Isto permite encurtar muito o período de testes e obter resultados de maneira mais rápida e econômica. Por este motivo, este tipo de teste vem ganhando muita projeção, principalmente em países industrializados.

Em ensaios de envelhecimento acelerado de polímeros através de radiações UV, uma exigência básica é a disponibilidade de um equipamento adequado para se realizar tal experimento. Por diversas razões, a aquisição deste equipamento nem sempre é possível devido ao custo, o que torna muitas vezes impossível a realização de pesquisas importantes na área de materiais. Uma alternativa para este problema é construir o equipamento, uma vez que este não depende de mecanismos sofisticados para funcionar.

Existem disponíveis no mercado algumas opções de aparatos de envelhecimento acelerado. Destacam-se as das marcas Q-Lab e Atlas, ambas importadas e as da Bass, nacional mas produzidos aqui com tecnologia importada. Um equipamento destes custa em média cerca de US\$ 5 mil, dotados de lâmpadas fluorescentes especiais, cada uma com um custo unitário da ordem de US\$ 150,00. Existem alguns laboratórios que realizam testes de intemperismo acelerado, como por exemplo o Instituto Mauá de Tecnologia e alguns Laboratórios do SENAI (Lençóis Paulista e São Bernardo do Campo). Em geral o custo chega a cerca de R\$ 60,00 por amostra por dia.

Para a construção de um equipamento de ensaio de envelhecimento acelerado devem-se observar alguns parâmetros importantes. Dentre estes parâmetros destacam-se o tipo de lâmpada a ser usada como fonte de radiação, a disponibilidade de materiais, a mão-de-obra para a execução do projeto e o sistema de controle e aquisição de dados. Os equipamentos utilizados para ensaios de vida acelerada por meio de intemperismo são compostos, em geral, de três principais componentes: sistema de

condicionamento do ar, tanto para o resfriamento do ar quanto para o aquecimento, gerador de vapor e fonte de luz, que pode ser natural ou artificial. No presente trabalho será adotada fonte de luz artificial, por meio de lâmpadas fluorescentes.

As normas ASTM G 151 (ASTM, 2004) e ASTM G 154 (ASTM, 2004) definem os parâmetros necessários para se realizar um ensaio de vida acelerada com simulação de radiação solar. Nelas são definidos como o ensaio deverá ser realizado e em quais condições. Existem outras normas de outras instituições e empresas, específicas para cada material a ser testado, mas todas têm como referência as normas da ASTM. Como exemplos de normas de outras instituições, podem ser citadas: SAE J2020, SAE J 2527-2004, Ford DVM 0038 MA Nissan NES MO 094, entre outras.

### **1.3 OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um projeto de modernização de uma câmara calorimétrica, já existente, para a execução de ensaios climáticos de vida acelerada sob condições de temperatura, umidade e radiação controladas.

Para tanto serão necessárias etapas complementares para a execução deste trabalho. Como objetivos secundários serão necessários definir um sistema de iluminação artificial para simular condições de exposição à radiação solar, um sistema de refrigeração e aquecimento do ar interno, um sistema de umidificação e desumidificação, bem como instrumentação para coleta de dados e controle dos ensaios.

Espera-se com a conclusão deste trabalho que este equipamento possa ser construído e utilizado para diversos testes em diversos tipos de materiais, inclusive de equipamentos completos em funcionamento, como por exemplo, analisar como coxins utilizados em automóveis se comportam em testes de envelhecimento acelerado quando submetidos à mesma carga de trabalho ou avaliar a degradação de vaporizadores costais, muito utilizados no combate à dengue e muito suscetíveis ao intemperismo.

### **1.4 METODOLOGIA**

Para se alcançar os objetivos propostos por este relatório foram necessárias algumas etapas, descritas a seguir.

Primeiramente foi realizada uma pesquisa para se inteirar sobre o tema, com foco em trabalhos realizados no País e em normas técnicas. Como a bibliografia neste caso não foi suficiente, foi necessário recorrer a trabalhos realizados por outras instituições, em sua maioria situadas na Europa e nos Estados Unidos.

Nesta etapa foram feitos estudos sobre as normas existentes, principalmente as da ASTM, relativas aos testes de envelhecimento acelerado de materiais poliméricos. Como segunda etapa foi necessário um estudo sobre alguns conceitos importantes que influenciam nos testes de envelhecimento acelerado, por meio de livros acadêmicos de diversas áreas.

Foram selecionados e/ou dimensionados os diversos componentes necessários para o correto funcionamento da câmara de envelhecimento acelerado

Para a realização do teste sob exposição em condições naturais foi necessária a construção de um suporte para os corpos de prova. Este suporte foi fabricado utilizando-se materiais e equipamentos disponíveis na oficina do SG-9, com auxílio dos técnicos. Mais detalhes seguem no capítulo cinco.

## **1.5 ESTRUTURA DO RELATÓRIO**

O presente relatório está organizado da seguinte maneira:

O primeiro capítulo refere-se à introdução, com uma breve descrição do tema abordado e sua importância. Este capítulo apresenta também uma revisão bibliográfica sobre o tema em estudo, que aborda as principais ideias acerca do assunto, os objetivos propostos neste projeto bem como a metodologia utilizada para se alcançar tais objetivos. O segundo capítulo refere-se ao entendimento de alguns fenômenos relacionados ao envelhecimento de materiais poliméricos bem como as condições necessárias para a realização de um ensaio de envelhecimento acelerado e uma seção com alguns exemplos destes.

O terceiro capítulo trata sobre o projeto e seleção dos diversos componentes deste tipo de equipamento, como o sistema de iluminação artificial, o sistema de geração de umidade, o sistema de condicionamento do ar e o sistema de controle. O quarto capítulo apresenta as modificações necessárias para se adaptar o calorímetro para que este possa realizar testes de envelhecimento acelerado. Neste capítulo são encontrados desenhos de montagem.

O capítulo 5 trata sobre o teste realizado sob condições de exposição natural, com a descrição do procedimento adotado e do aparato experimental utilizado neste experimento. O capítulo 6 trata sobre as conclusões e trabalhos futuros, apresentando de forma sucinta as conclusões deste trabalho o que deverá ser feito em seguida para que a câmara de envelhecimento acelerado possa ser concluída.

Na parte de Anexos seguem alguns dados complementares, relativos aos equipamentos utilizados neste projeto bem como dados auxiliares para o cálculo de determinadas grandezas e os desenhos técnicos relativos à modernização da câmara: base elevada do piso para instalação da serpentina inferior, serpentina e modificações na estrutura da câmara.

## 2 REVISÃO DE CONCEITOS

*Este segundo capítulo visa apresentar, de forma resumida e objetiva, alguns dos conceitos introduzidos no Capítulo 1. Serão abordados temas relativos à compreensão do tema proposto por este trabalho.*

### 2.1 RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A radiação é uma das três formas de troca de calor conhecidas. Toda a energia emitida pelo Sol devido a suas reações químicas chega à Terra por meio da Radiação, uma vez que este tipo de transferência de calor não necessita de um meio físico para se propagar. James Clerk Maxwell desenvolveu a base da teoria da radiação em 1864, com a introdução do conceito de ondas eletromagnéticas. Heinrich Hertz, em 1887, demonstrou a existência de tais ondas.

As ondas eletromagnéticas transmitem energia como qualquer outra onda e trafegam, no vácuo, a uma velocidade  $C_0=2.9979 \times 10^8$  m/s. As ondas são caracterizadas por sua frequência  $\nu$  e pelo comprimento de onda  $\lambda$  e são relacionadas pela Eq. 1, representada abaixo.

$$c = \lambda \nu, \quad (1)$$

em que  $c$  é a velocidade de propagação da onda, em m/s;  $\lambda$  é o comprimento de onda, em metros;  $\nu$  é a frequência da onda, em Hz. Tanto o comprimento de onda como a velocidade de propagação dependem do meio onde esta transita. A relação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio pode ser dada pela seguinte equação, em que  $i$  é o índice de refração do meio.

$$C_0 = \frac{c}{i}. \quad (2)$$

Ao contrário destas duas grandezas, a frequência da onda não depende do meio, depende apenas da fonte emissora. Pela Eq. 1 pode-se notar que a frequência e o comprimento de onda são inversamente proporcionais.

Max Planck, em 1900, propôs, junto com sua teoria quântica, o comportamento da onda como um conjunto de “pacotes” de energia, chamados fótons, que trafegam transportando energia. Desta forma, propôs a seguinte relação entre a quantidade de energia transportada por cada “pacote” e sua frequência, dada pela Eq. 3.

$$e = h_p \nu, \quad (3)$$

em que  $h_p$  é a constante de Planck, com valor de  $6.6256 \times 10^{-34}$  J s. Esta equação pode ser reescrita da seguinte forma, em que pode-se notar que o comprimento de onda é inversamente proporcional à energia desta, ou seja, quanto maior o comprimento de uma onda menor será sua energia e vice-versa.

$$e = \frac{h_p}{\lambda} c. \quad (4)$$

Todo corpo com uma temperatura superior ao zero absoluto (0 K) emite calor. A radiação térmica é definida como a porção do espectro entre 100 a 100000 nm ( $10^{-9}$  m). Nesta faixa de comprimento de onda se encontram a região de luz visível, o infravermelho e o ultravioleta. A região de luz visível se estende entre 400 a 760 nm.

Fonte de luz é a definição para um corpo que emite radiação no espectro da luz visível. O Sol é a fonte de luz principal encontrada na Terra, seu espectro de radiação se estende entre 300 a 3000 nm. Quase toda a radiação emitida pelo Sol é luz visível. As demais faixas do espectro se dividem entre radiação infravermelha (entre 760 e 3000 nm) e ultravioleta (entre 300 e 400 nm).

Os elétrons de todas as matérias acima do zero absoluto estão em constante movimento, ou seja, estão em constante processo de transferência de calor, emitindo, absorvendo e ou transmitindo energia em sua vizinhança. Desta forma, a radiação é um fenômeno volumétrico, exceto para corpos opacos, em que neste caso se torna um fenômeno de superfície, já que a radiação emitida no interior do corpo não chega à superfície e a radiação absorvida pelo corpo não chega às camadas mais internas.

Como dito anteriormente, um corpo a uma temperatura acima do zero absoluto emite radiação em vários comprimentos de onda, bem como em várias direções possíveis. A quantidade de energia emitida pelo corpo em sua superfície em cada comprimento de onda depende do material, da condição de sua superfície e da temperatura desta.

Ou seja, a radiação emitida por dois corpos distintos a uma mesma temperatura pode ser bastante diferente. Assim, foi idealizado um determinado corpo, chamado de corpo negro, em que a energia emitida por radiação é máxima em todos os comprimentos de onda a uma determinada temperatura de superfície.

Um corpo negro é definido como um perfeito emissor e absorvedor de radiação. A uma determinada temperatura superficial e a um dado comprimento de onda, nenhum corpo emite mais energia que um corpo negro. Este absorve qualquer radiação incidente, bem como emite radiação por unidade de área em todas as direções, sendo definido como emissor difuso.

Joseph Stefan, em 1879, determinou experimentalmente a radiação emitida por unidade de área e por unidade de tempo da seguinte forma:

$$E_b(T) = \sigma T^4, \quad (5)$$

em que  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  é a constante de Stefan-Boltzmann e  $T$  é a temperatura absoluta da superfície. Esta relação foi posteriormente verificada analiticamente por Ludwig Boltzmann, em 1884.

A Equação 5, acima, também é conhecida como a Lei de Stefan-Boltzmann. Por meio desta equação pode-se conhecer a soma total da energia emitida por todos os comprimentos de onda. Max Planck, em 1901, desenvolveu uma relação entre a distribuição espectral de energia de um corpo negro em função do comprimento de onda, que pode ser expresso da seguinte forma:

$$E_{b\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2/\lambda T) - 1]}, \quad (6)$$

em que  $C_1 = 2\pi^5 h^6 c^2 / 15$  [ $\text{W } \mu\text{m}^4/\text{m}^2$ ] e  $C_2 = hc_0/k$  [ $\mu\text{m K}$ ], sendo  $k$  a constante de Boltzmann, com valor de  $k = 1.38065 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ . A radiação emitida pelo Sol pode ser aproximada pela radiação emitida por um corpo negro com temperatura superficial de cerca de 5780 K. Neste caso, o pico de energia ocorre na região do visível, sendo este encontrado próximo a 500 nm.

## 2.2 INTEMPERISMO RELACIONADO A VIDA DOS MATERIAIS

Um dos principais modos de falha dos materiais está relacionado ao intemperismo e as consequentes reações químicas desencadeadas por este mecanismo. Todos os polímeros se degradam no meio ambiente. Pode-se definir a degradação como o resultado de interações complexas de efeitos sinérgicos de radiação, temperatura e umidade, para além de outros fatores ambientais.

Os materiais estão sujeitos à ação de diversos fatores que ocorrem de forma aleatória na natureza, como por exemplo a radiação solar, a umidade presente no ar atmosférico e as variações na temperatura ambiente (amplitude térmica), bem como diversos outros fatores secundários, mas não menos importantes.

Tais fatores atuam como catalisadores de reações químicas que podem levar a alterações na estrutura molecular, alteração nas propriedades mecânicas bem como alterações visuais, como a presença de descolorações e fissuras superficiais. Abaixo, na Fig. 2.1, segue um esquema ilustrativo dos principais agentes do intemperismo natural.

A energia radiante de fontes luminosas ou artificiais, seja ultravioleta ou visível, afeta de modo significativo a estabilidade de produtos fotossensíveis, pois tem efeito deteriorativo, uma vez que inicia e acelera reações de degradação através da ação fotoquímica. Quanto menor o comprimento de onda maior a energia de radiação e maior o dano causado ao material. Os polímeros sofrem



degradação oxidativa quando expostos à luz, o que acarreta em descoloração e fragilização do material, comprometendo suas propriedades físicas e mecânicas.



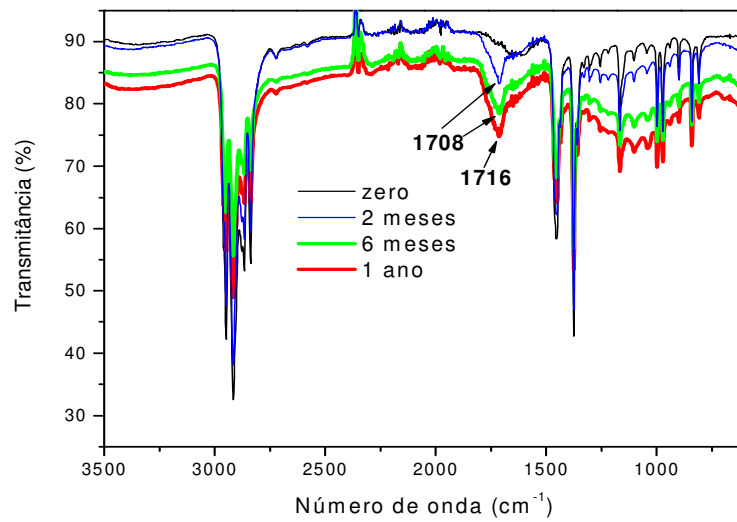
Figura 2.1- Variáveis durante exposição de um determinado material ao intemperismo natural

Nos ensaios de vida acelerada tais fatores são simulados por equipamentos em laboratório, específicos para este tipo de aplicação. No laboratório, tais condições são simuladas de forma a acelerar o processo de envelhecimento do corpo de prova afim de obter resultados de forma mais rápida (Fig. 2.2), uma vez que ensaios realizados em condições naturais podem levar meses ou até mais.

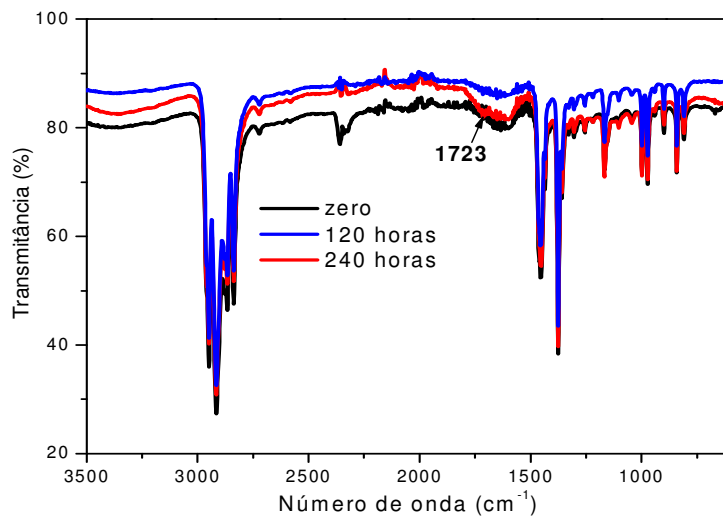
Como exemplo, a radiação solar é simulada pela utilização de lâmpadas especiais, a presença de umidade é obtida por meio de geradores de vapor, *sprays* de água ou imersão do corpo de prova, bem como a temperatura interna é controlada por meio de aquecedores e refrigeradores de ar. Todos estes equipamentos necessitam de um controle preciso de operação para que as condições de ensaio sejam garantidas.

Como pode ser visto pela Fig. 2.2, em que foi avaliado o nível de transparência de corpos de prova de polipropileno após diferentes períodos de ensaio, há uma relação entre o tempo de ensaio natural e acelerado. Neste ensaio as condições adotadas foram dois ciclos de quatro horas cada, sendo um com exposição à radiação e temperatura ambiente de 50° C e outro sob condensação de umidade a 40° C (OLIANI et al, 2009).

Neste caso, pode-se notar que houve uma semelhança nos resultados obtidos, em que um período de 2 meses foi reduzido a um ensaio de apenas 120 horas (5 dias), ou seja, 8% do tempo necessário para o ensaio com exposição natural. Isto é, foram realizados 30 ciclos sob exposição à radiação e mais 30 ciclos sob exposição à condensação de umidade que representaram cerca de 60 dias de exposição natural, desta forma, cada ciclo de oito horas representou 2 dias de exposição natural.



(a)



(b)

Figura 2.2- Comparação do nível de degradação e do tempo de ensaio entre envelhecimento natural (a) e acelerado (b) para amostras de polipropileno de alta resistência (OLIANI et al, 2009)

## 2.3 DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS

Luz e oxigênio induzem a reações químicas de degradação em diversos materiais, tanto naturais como feitos pelo homem, dentre este último os mais representativos são os plásticos. Estas reações podem levar a mudanças visuais, mudanças na estrutura molecular e nas propriedades mecânicas e físicas.

A radiação ultravioleta é reconhecida como fator degradante de materiais poliméricos pois está associada ao mecanismo de fotodegradação. Existem meios de se prevenir ou diminuir os efeitos do envelhecimento, como por exemplo a adição de compostos químicos para estabilizar a estrutura molecular, diminuindo os danos causados pelo intemperismo, principalmente o causado pela radiação UV, mas em geral este é um recurso que encarece o produto final e portanto é utilizado em aplicações mais específicas.

Segundo Feldman, em seu trabalho sobre caracterização de polímeros, o envelhecimento de um polímero se refere a qualquer processo físico e/ou químico produzido pela interação entre o material e o meio. A energia radiante pode produzir profundas mudanças em materiais orgânicos, conforme a substância irradiada e a natureza da radiação. A nível molecular, este fenômeno pode modificar a estrutura química do material, sua composição e sua morfologia. Estas mudanças podem implicar em diferentes efeitos macroscópicos, como alteração nas propriedades mecânicas, elétricas, químicas e térmicas (BRYDON, 1999). Assim, o fenômeno de envelhecimento pode ser considerado um fenômeno de degradação do material. Conhecer estes mecanismos de degradação têm grande importância na Ciência de Materiais.

A radiação é capaz de atuar no orbital dos elétrons dos átomos e, portanto, nas ligações interatômicas. A radiação ultravioleta proveniente do espectro solar tem sua energia aumentada inversamente ao comprimento de onda, e radiações com comprimento de onda próximo de 350 nm apresentam energia suficiente para quebrar ligações entre os átomos de carbono e produzir radicais livres. O efeito da radiação ultravioleta consiste em acelerar a taxa de oxidação dos polímeros.

As principais propriedades dos polímeros dependem da natureza das moléculas constituintes e da força de ligação entre elas. Portanto, as propriedades físicas dos polímeros são governadas pela estrutura e tamanho das macromoléculas que determinam as forças intermoleculares.

Os materiais poliméricos, como os plásticos encontrados em diversos produtos presentes em nosso cotidiano, sofrem danos quando expostos à radiação solar, principalmente a ultravioleta (UV). Estes materiais sofrem reações químicas oxidativas que podem diminuir suas vidas em serviço (RABELLO, WHITE, 1997). É de conhecimento geral que os polímeros são suscetíveis ao intemperismo.

O fenômeno de degradação é baseado numa combinação de oxidação pela ação do oxigênio atmosférico com uma fotodegradação que envolve fótons de luz ultravioleta solar, ou proveniente de uma outra fonte luminosa. Além disso, este processo é acelerado pela exposição a altas temperaturas, como poderá ser visto na próxima seção deste capítulo, bem como as esforços solicitantes ou residuais, provenientes do processo de fabricação e condições de serviço da peça.

O mecanismo de fotodegradação envolve a absorção de radiação UV e a consequente oxidação em processos auto catalíticos, o que provoca redução no peso molecular e alteração da estrutura química. Quando expostos à radiação UV, um enfraquecimento progressivo é observado na superfície exposta. Isto ocorre devido a fissuras microscópicas na superfície da resina, que sofre com perda de massa molecular devido a reações oxidativas. Em geral, a absorção da radiação UV é muito boa em polímeros, fazendo com que a região afetada fique bem próxima à superfície, entre 0,7 a 1,2 mm de espessura.

Existem formas de se prevenir os efeitos do envelhecimento de polímeros, como por exemplo a utilização de aditivos durante o processo de fabricação. Estes aditivos atuam como absorvedores de radiação UV, impedindo que as cadeias poliméricas sejam degradadas.

De uma forma geral, os efeitos da degradação polimérica são os seguintes:

- Alterações na estrutura química: a degradação oxidativa conduz à formação de ligações duplas conjugadas;
- Alterações na superfície do polímero: a maior parte das reações de degradação processa-se na superfície do material. Devido à degradação essa superfície pode tornar-se quebradiça, descolorada e perder o seu brilho natural;
- Perda das propriedades mecânicas do polímero;
- Fragilização do polímero;
- Formação de radicais livres;
- Formação de produtos tóxicos;
- Redução da massa molecular devido a quebras nas cadeias poliméricas ou aumento dessa massa molecular devido à formação de ligações cruzadas;
- Perda de aditivos e agentes plastificantes;
- Diminuição da transparência (amarelamento da superfície).

### 2.3.1 TIPOS DE DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS

Os diferentes mecanismos de envelhecimento são divididos em duas principais categorias, uma ligada à mudanças na estrutura química do material, chamada de envelhecimento químico, e outra que não envolve alteração das cadeias poliméricas, chamada de envelhecimento físico. A seguir tem-se alguns exemplos de degradação química.

- **Degradação térmica:** todos os polímeros podem ser degradados por influência do calor, seja durante o processo de fabricação ou quando estão em serviço. Este tipo de degradação pode acontecer na ausência de ar, mas o processo é bastante acelerado na presença de oxigênio. A degradação térmica é a causa mais comum para a degradação de polímeros, tendo sido objeto de bastantes estudos ao longo destes últimos anos;

- **Degradação foto-oxidativa (fotoquímica):** neste tipo de degradação as ligações químicas dos polímeros são quebradas pelas radiações ultravioleta de maior energia, levando à oxidação das cadeias poliméricas. Neste caso o próprio polímero ou impurezas que este contém absorverão essas radiações, resultando na perda de propriedades do material polimérico;
- **Degradação hidrolítica:** alguns polímeros contêm grupos funcionais sensíveis aos efeitos da água, principalmente aqueles que têm tendência a absorvê-la. Esses polímeros degradam-se sob a ação da umidade, sendo os principais produtos de degradação ácidos, ésteres e glicóis;
- **Degradação Química:** neste processo, líquidos corrosivos ou gases, como por exemplo o ozônio, atacam as estruturas poliméricas, causando a quebra de suas cadeias ou oxidando os seus grupos funcionais;

Destes tipos de degradação descritos acima, os mais importantes são os relativos à degradação térmica e à degradação foto-oxidativa, que serão discutidas a seguir.

### 2.3.2 DEGRADAÇÃO TÉRMICA

Os polímeros orgânicos possuem temperaturas de utilização relativamente baixas quando comparadas aos metais e aos cerâmicos, da ordem de 100 a 200 °C. Esta sensibilidade térmica advém do fato de os polímeros possuírem ligações covalentes entre seus átomos constituintes, sendo este tipo de ligação com uma energia de dissociação relativamente baixa (DE PAOLI, 2008).

Outra questão que influencia na sensibilidade térmica de um polímero é sua capacidade de transmitir calor pela massa polimérica, ou seja, à sua condutividade térmica. Quanto maior a condutividade mais eficiente o calor é transportado por esta massa e maior será a degradação térmica.

Como, em geral, os polímeros são bons isolantes térmicos, o tempo de exposição a uma determinada temperatura é um fator importante. Tempos de exposição muito pequenos não contribuem para a degradação térmica, portanto, o tempo de exposição deverá ser suficientemente longo para que se dê início à degradação da cadeia polimérica. Como exemplo, um filme de polietileno exposto a uma temperatura de 50 °C durante poucos minutos não acarretará em nenhuma mudança em sua estrutura. Porém, se a exposição for de algumas horas se observará um amarelamento do filme, fenômeno típico de processos de termo-oxidação (DE PAOLI, 2008).

Para que ocorra a quebra das ligações químicas com calor seria necessário que a energia fornecida fosse maior ou igual que a energia de ligação. Desta forma, em temperaturas até a ordem de 80 °C o

processo de quebra de ligações não deveria ocorrer, uma vez que a energia provida pelo calor não é suficiente para superar a energia de ligação entre os átomos de um polímero.

Uma explicação para a ocorrência de rompimentos de ligação na cadeia principal de uma macromolécula à temperaturas inferiores a 100 °C está associada à probabilidade de ocorrer uma interação construtiva entre os movimentos vibracionais das ligações C-C (ligação carbono-carbono) ao longo da cadeia (DE PAOLI, 2008). Se este movimento vibracional estiver fora de fase a interação será destrutiva e diminuirá este movimento vibracional. Todavia, se este movimento estiver em fase haverá uma amplificação do efeito por interação construtiva.

Desta forma há uma determinada probabilidade que ocorra o efeito construtivo em certo número de ligações químicas ao longo da cadeia principal, ao ponto de ocorrer uma probabilidade não nula para a acumulação de energia em uma única ligação. Se esta energia for maior que a energia da ligação, então, estatisticamente é possível ocorrer o rompimento desta ligação a temperaturas muito mais baixas do que aquelas onde se atinge a energia da ligação química envolvida.

Ou seja, em polímeros lineares compostos de unidades repetitivas idênticas com a mesma energia de ligação, as quebras de ligação ocorrerão, mesmo a temperatura ambiente, com uma distribuição estatística ao longo da cadeia e em todas as macromoléculas do sistema.

A presença de ligações com energia de ligação mais baixa que se quebram com maior probabilidade que as de energia de ligação mais alta ao longo da cadeia ou em substituintes irá claramente acelerar o processo de degradação térmica por este mecanismo. É o caso, por exemplo, das ligações C-H em átomos de carbono terciário ou ligações fracas originadas de defeitos na cadeia polimérica.

Os modos de iniciação da degradação térmica podem ser processos que implicarão em cisão aleatória de cadeias, cisão aleatória de grupos laterais, ruptura de ligações fracas no meio da cadeia ou em grupos laterais ou ruptura de ligações em grupos reativos na extremidade da cadeia. Como em qualquer caso de quebra de ligação química há a formação de radicais livres. Na presença de oxigênio atmosférico ocorrerá a oxidação e, paralelamente à formação de radicais livres, pode ocorrer a despolimerização.

Uma explicação para a contínua degradação de um material está relacionada com a teoria da cinética química. Em 1889, Svante Arrhenius, um químico sueco, propôs uma equação empírica que relacionava a dependência entre a velocidade das reações químicas com a temperatura. Esta equação pode ser visualizada abaixo.

$$K = B e^{-E_a/RT}, \quad (7)$$

em que:  $k$  é a constante de velocidade;  $B$  é o fator pré-exponencial de Arrhenius;  $E_a$  é a energia de ativação (J/mol);  $T$  é a temperatura absoluta (em K) e  $R$  é a constante dos gases ideais (8,314 J/mol K). Esta equação também pode ser utilizada para se calcular os coeficientes de aceleração, de grande utilidade quando se pretende realizar testes de intemperismo artificiais (ver seção 2.4 deste capítulo).

Como pode ser visto, com um aumento da temperatura tem-se um conseqüente aumento da velocidade de reação do processo de degradação, o que explica a diminuição das propriedades físicas/químicas de um material sujeito a uma temperatura ao longo do tempo. Claro que isto depende da energia de ativação, ou seja, quanto maior a energia de ativação menos provável será a ocorrência das reações de degradação.

Isto pode ser verificado linearizando a Eq. 7 ao se aplicar o logaritmo neperiano nos dois lados da equação. Desta forma ela pode ser escrita da seguinte forma:

$$\ln K = \ln B - \frac{E_a}{RT}. \quad (8)$$

Neste caso pode-se ver que a Eq. 8 está na forma de uma reta do tipo  $y = a - bx$ , em que  $\ln K$  está no eixo das ordenadas e  $1/T$  está no eixo das abcissas. O parâmetro  $B$  pode ser obtido pela intersecção da reta quando  $1/T$  se iguala a zero e tem as mesmas dimensões do termo  $K$ . O termo  $-E_a/R$ , obtido pela inclinação da reta, é a energia de ativação da reação química.

Um bom exemplo dos efeitos da degradação térmica ocorre com o nylon 66, o mais comum e mais utilizado polímero em produtos convencionais, como por exemplo redes de proteção residencial, linhas de pesca, entre outros. Quando em ambientes fechados, ou protegidos da luz solar, não demonstram nenhuma alteração significativa das propriedades sobre o envelhecimento em temperatura ambiente.

Neste caso, a exposição contínua ao ar em temperaturas acima de 60 °C irá causar descoloração da superfície e uma menor resistência à impacto das peças. A vida útil de uma peça em serviço a 100 °C será da ordem de apenas quatro a seis semanas (BRYDSON,1999), o que mostra a influência da temperatura na vida deste material.

Abaixo, pode-se ver pela análise da Figura 2.3 que com o aumento da temperatura de exposição ocorre uma acentuada queda no valor do módulo de elasticidade do nylon 66. Ao se dobrar a temperatura de exposição o valor do módulo de Young decresce cerca de 30%. Associado a esse mecanismo também está presente a formação de microfissuras na superfície da peça, provocada pela ação combinada da radiação UV, que acelera ainda mais o processo de degradação e a conseqüente diminuição da vida em serviço do material.

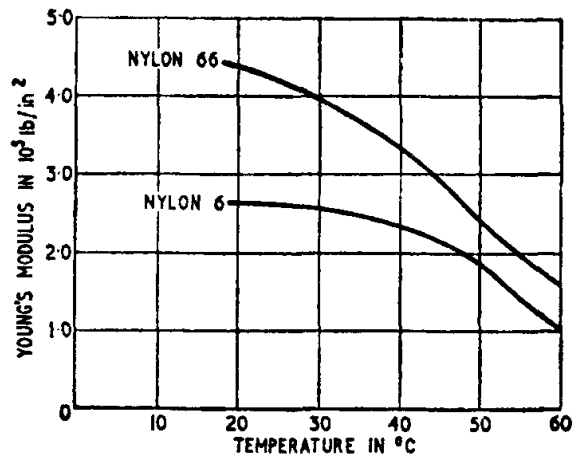


Figura 2.3 - Relação entre Temperatura de exposição e Módulo de Young (BRYDSON, 1999)

### 2.3.3 DEGRADAÇÃO FOTOQUÍMICA

As reações fotoquímicas são aquelas que ocorrem com a participação de uma molécula em um estado eletrônico excitado, ou seja, quando as moléculas absorvem uma quantidade de energia igual ou superior à diferença de energia entre o estado excitado e o estado fundamental, sendo este último definido como a combinação dos orbitais atômicos que participam das ligações químicas entre os átomos que constituem a molécula como um todo.

Estes estados excitados podem ser gerados pela absorção de luz nas faixas de comprimento de onda que vão do ultravioleta ao visível. Quando a molécula está no estado excitado ela pode decair para seu estado fundamental por meio da dissipação de energia, com a emissão de luz ou por meio de reações químicas. A fonte de energia mais importante neste caso é a luz solar.

A luz do Sol é filtrada pela atmosfera (principalmente na região de baixo comprimento de onda) e chega à superfície da Terra com uma faixa de comprimento de onda que vai do infravermelho ( $\lambda \geq 700$  nm), passando pelo espectro visível (entre 400 nm a 700 nm) até o ultravioleta ( $\lambda \leq 400$  nm). Abaixo, na Fig. 2.4, segue um gráfico demonstrativo que relaciona o espectro de luz solar fora da atmosfera e na superfície da Terra.



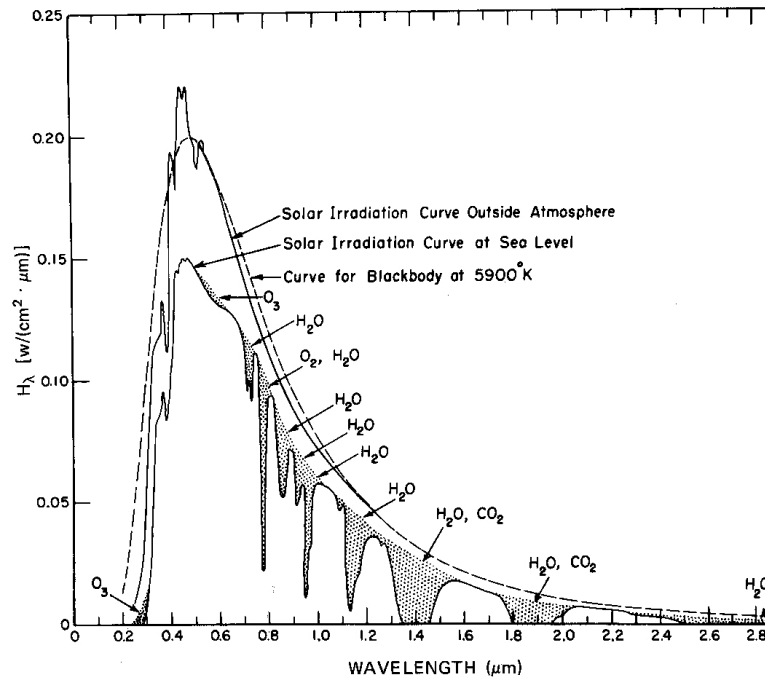


Figura 2.4- Espectro Solar após atenuação atmosférica, comparado ao espectro fora da atmosfera (ICTJA 2011)

Uma outra importante fonte de luz ultravioleta são as lâmpada fluorescentes de modo geral. Estas lâmpadas funcionam de forma a converter a luz ultravioleta emitida pelo plasma do gás contido no tubo em luz visível por uma camada composta por sais de terras raras que absorvem luz ultravioleta e emitem luz na região do visível, depositado no interior do tubo de vidro. Na Fig. 2.5 segue o espectro de radiação de uma lâmpada fluorescente convencional.

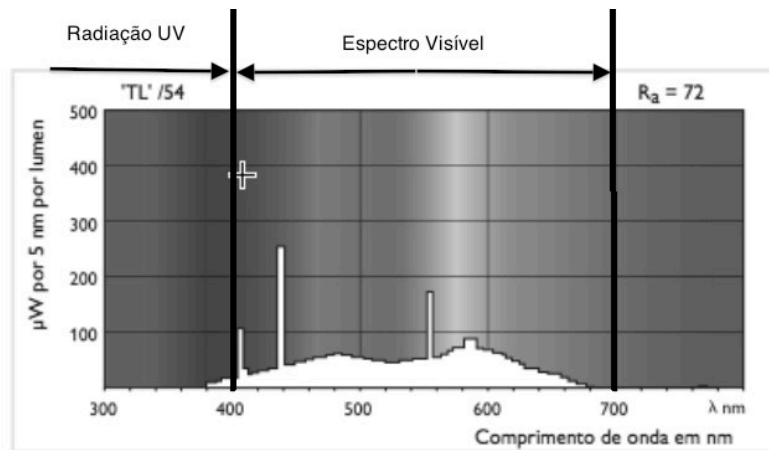


Figura 2.5 – Espectro de luz emitido por uma lâmpada fluorescente convencional (PHILLIPS, 2005)

Na Tabela 2.1 encontra-se o valor da energia de ligação química dos principais tipos de ligação mais suscetíveis no processo de absorção de luz e consequente excitação dos átomos envolvidos com a ocorrência da degradação da cadeia polimérica (DE PAOLI, 2008).

Os grupos químicos mais comuns presentes nos polímeros que serão responsáveis pela absorção de luz na região do espectro solar são as ligações duplas C=C conjugadas, os anéis aromáticos (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>) e as ligações C=O. Estas ligações darão origem a um estado excitado, que posteriormente dará origem a iniciação do processo de degradação da cadeia polimérica. Pode-se ver que os valores de energia por comprimento de onda e a energia de ligação possuem a mesma ordem de grandeza.

Por meio da Equação 4, apresentada na seção 2.1, pode-se calcular a energia dos fótons emitidos por estas fontes de luz para diferentes valores de comprimentos de onda. Na Tabela 2.2 abaixo são mostrados a energia de fóton para alguns valores selecionados de comprimento de onda.

Tabela 2.1 – Tipos de ligações químicas e suas respectivas energias de ligação (DE PAOLI, 2008).

<b>Tipo de ligação</b>	<b>Energia de ligação [kJ/mol]</b>
C-H aromático	460
C=C	612
C=O aldeído	742
C=O cetona	746
C=O éster	750
C=O amida	750

Tabela 2.2 – Energia de fótons para diferentes valores de comprimento de onda.

<b>Faixa do espectro de luz</b>	<b>Comprimento de onda [nm]</b>	<b>Energia de fóton [kJ/mol]</b>
UV	200	598
	250	478
	300	399
	350	342
	400	299
Espectro visível	450	266
	500	239
	550	217
	600	199
	650	184
	700	171

A Equação 9 representa o processo de absorção de luz por qualquer cromóforo (grupo químico responsável pela absorção de luz) presente no polímero, que gera um estado excitado, representado por  $M^*$ , sendo  $e$  a energia proveniente da luz solar. Na Equação 10 este estado excitado  $M^*$  reage com uma molécula  $A$  em seu estado fundamental (pode ser um aditivo) produzindo  $MA$ .

Na Equação 11, a macromolécula no estado excitado sofre uma quebra homolítica (quebra de ligação covalente com um elétron permanecendo ligado a cada fragmento, formando dois radicais livres) de uma ligação química localizada no cromóforo, o que produz dois radicais livres  $\dot{M}$ . Estes radicais livres darão início ao processo de oxidação ou causar reticulação, dependendo do ambiente ao qual se encontra o polímero.



Abaixo, na Figura 2.6 pode-se ver um exemplo de reações fotoquímicas em grupos carbonila ( $C=O$ ) em cadeias poliméricas, denominadas de reações do tipo Norrish. Na reação Norrish do tipo I haverá a formação de radicais livres que, na presença de oxigênio provocará reações de oxidação. Na reação Norrish do tipo II haverá formação de uma ligação dupla  $C=C$  na extremidade da cadeia, que também é responsável por iniciar o processo de oxidação.

Um aspecto importante e que deve ser observado é que as reações de degradação fotoquímicas ocorrem na superfície dos polímeros, uma vez que a penetração da luz se restringe a poucos milímetros de espessura. Além dessa baixa penetração, durante a exposição à luz solar ou artificial, grande parte dela será refletida ou espalhada antes de penetrar no polímero. Pelo fato de tais processos se limitarem à região superficial, são mais afetados pela presença do oxigênio atmosférico.

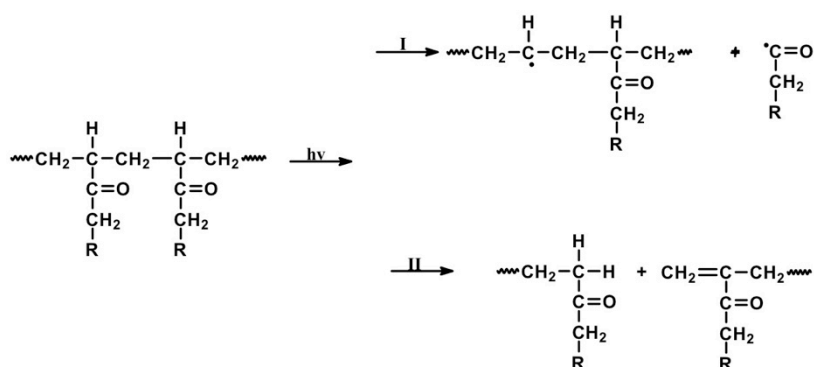


Figura 2.6 Exemplo de reações fotoquímicas em grupos carbonila em cadeias poliméricas (DE PAOLI, 2008)

Como exemplo de polímero que sofre com os efeitos da degradação fotoquímica tem-se o polietileno, cuja a oxidação ocorre em geral a uma temperatura de cerca de 50° C em condições controladas, mas quando sob ação da radiação UV este processo pode ocorrer a temperatura ambiente (BRYDSON, 1999). Estas reações podem causar descoloração do material, bem como surgimento de trincas superficiais.

## 2.4 CÁLCULO DO FATOR DE ACELERAÇÃO

Avaliar a durabilidade a longo prazo de polímeros demanda um tempo bastante considerável, algo entre meses ou até anos de ensaios sob condições naturais. Como discutido neste trabalho, a adoção de equipamentos de envelhecimento tem como principal objetivo encurtar este tempo, mas de forma a reproduzir os mesmos mecanismos de degradação e de modos de falha como na vida real. Para se utilizar tais testes como ferramentas de previsão de falha, deve-se conhecer o fator de aceleração responsável por encurtar o tempo de ensaio em relação à vida real dos produtos.

Existem diferentes formas para o cálculo de fatores de aceleração para ensaios de intemperismo acelerado. Uma forma bastante simples de se calcular tal fator de aceleração é por meio da equação de Arrhenius modificada, que traz resultados bastante eficazes. Tal equação, proposta por Haillant et al, fornece resultados bastante aceitáveis quanto a aceleração dos mecanismos de degradação envolvidos no processo de deterioração de um dado material, induzidos pela ação da radiação UV e do aumento da temperatura. A partir da Equação 7, com a introdução do termo de Irradiância  $I$  ( $J/m^2$ ) tem-se:

$$K = IB e^{-E_a/RT} \quad (12)$$

Fazendo-se a relação entre o processo acelerado e o natural tem-se a seguinte expressão:

$$\frac{K_1}{K_2} = \left(\frac{I_1}{I_2}\right) e^{\left(\frac{E_a}{R}\right)\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} = BF_I AF_T = BF, \quad (13)$$

em que o subscritos  $1$  representam os valores obtidos no ensaio artificial e os subscritos  $2$  representam os valores obtidos pelo ensaio natural.  $BF_I$  é o fator de aceleração devido ao aumento da Irradiância enquanto que  $BF_T$  é o fator de aceleração devido ao aumento da temperatura.

Pode-se ver que para garantir valores de  $BF$  maiores que 1 os ensaios de envelhecimento acelerado devem ser realizados sob condições de irradiação mais elevadas, com a utilização de lâmpadas, que juntas forneçam valores de  $I$  maiores que o encontrado em ambientes externos.

Para o cálculo de fator de aceleração devido a diferença de intensidade entre a luz emitida pela lâmpada e pelo Sol pode-se utilizar a Equação 14, descrita abaixo. Neste caso, usa-se uma referência com relação à luz emitida pelo Sol, que pode ser obtida por meio de normas, como por exemplo a

ASTM G159 (ASTM, 2004), que fornece os valores de energia incidente por comprimento de onda por meio de tabelas. Esta relação, proposta por Mahoney et al, é dada por:

$$BF = \frac{\int_{n_1}^{n_2} X(\lambda) d\lambda}{\int_{n_1}^{n_2} R_{ef}(\lambda) d\lambda}, \quad (14)$$

em que  $n_1$  e  $n_2$  são os intervalos de comprimento de onda analisados,  $X(\lambda)$  são os dados de energia emitida pela lâmpada por comprimento de onda e  $R_{ef}(\lambda)$  são os dados de energia emitida pelo Sol por comprimento de onda.

## 2.5 CONDIÇÕES PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

Em geral, empresas ligadas à área automotiva e à fabricação de polímeros possuem normas internas específicas para a realização de ensaios de envelhecimento acelerado. Tais normas, como as citadas no Capítulo 1, são norteadas por normas de instituições renomadas, caso da ASTM.

Ainda que tal técnica possibilite uma redução no tempo médio dos ensaios de envelhecimento, esta não exclui a realização de um ensaio sob condições naturais para a validação dos testes. Este ensaio é realizado com a intenção de comparar os resultados obtidos em ambos os testes. Desta forma, o ensaio acelerado é calibrado de forma a obter o mesmo nível de degradação do material que seria esperado caso este fosse submetido ao intemperismo natural. Este teste é em geral chamado de teste de controle.

Para se conseguir uma correlação entre ensaios naturais e em laboratório são necessárias algumas observações. Há um número significativo de fatores que alteram o grau de correlação entre ensaios de vida acelerada e ensaios realizados sob condições externas, entre eles:

- Diferenças no espectro de radiação entre a luz solar e entre a emitida por fontes artificiais (lâmpadas);
- Intensidade de luz emitida por lâmpadas maior que a encontrada em ambientes externos;
- Temperaturas do corpo de prova durante ensaios mais altas que em condições normais de exposição;
- Condições de teste em que o corpo de prova é submetido continuamente à iluminação, ao invés de ciclos de claro/escuro;
- Condições de exposição com valores irreais de umidade, temperatura ambiente e radiação incidente.

Tais fatores devem ser levados em consideração pois influenciam de forma significativa a vida de alguns materiais. Para que o ensaio reproduza condições próximas às encontradas na natureza é necessário que as condições do teste sejam semelhantes ao do ciclo de vida do material.

Como exemplo, um teste em que o corpo de prova é submetido continuamente à radiação não condiz com a realidade. Neste caso é necessário que haja alternância entre períodos com luminosidade e períodos com ausência de luz. Da mesma forma, os outros parâmetros, como temperatura ambiente, temperatura do corpo de prova e umidade devem estar entre valores factíveis, ou seja, valores que ocorrem na natureza e não valores extremamente altos ou baixos, que não simulariam condições reais de exposição.

Ao se realizar um ensaio deste tipo deve-se ter em mente que nenhum teste em laboratório consegue reproduzir de maneira exata o ciclo de vida real de operação de uma determinada peça ou produto. Como visto, existem vários fatores que influenciam na vida de um determinado material, como por exemplo a presença de poluentes atmosféricos, a quantidade de radiação solar incidente, a temperatura e umidade externas, entre outros. Estes fatores ocorrem de forma aleatória na natureza, tanto em intensidade quanto no período em que ocorrem.

Os resultados destes testes apenas podem ser levados em consideração quando conseguem reproduzir de forma satisfatória o que seria esperado na vida real. Casos em que o ensaio é realizado sob condições irreais devem ser desconsiderados para análise do ciclo de vida do material testado.

## **2.6 EXPOSIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA**

Para a exposição do corpo de prova são necessárias algumas observações, que devem ser levadas em consideração para uma correta análise do material em teste. Todas estas observações constam nas normas da ASTM (ASTM G 151 e G 154, ASTM, 2004) utilizadas como parâmetros neste trabalho.

Embora existam diferenças entre os ensaios para diferentes materiais, com vistas em padronizar os testes algumas providências devem ser levadas em consideração. Desta forma garante-se uma maior reprodutividade dos ensaios. Para tanto, a norma ASTM G 151 (ASTM, 2004) define algumas referências a serem seguidas para a realização de um ensaio climático com uso de fonte de luz artificial. Para cada tipo de fonte de luz, tanto artificial quanto natural, existem normas específicas para a seleção do equipamento ideal e para as condições de instalação, operação e aquisição de dados.

Como exigências das normas internacionais relativas a este tipo de ensaio, deve-se garantir que o corpo de prova, em todas as faces expostas, receba pelo menos 70% da energia total emitida pelas lâmpadas. Se ao menos uma das faces do corpo de prova estiver numa região em que o nível de

radiação se situe entre 70-90%, este deve ser periodicamente reposicionado, de forma a garantir que todas as faces sejam expostas ao mesmo nível de radiação durante o período do ensaio.

Se todas as faces do corpo de prova estiverem numa região em que o nível de radiação seja maior que 90% não há a necessidade de reposicioná-lo periodicamente. No caso da simulação da presença de radiação solar, deve-se atentar aos ciclos de claro/escuro, ou seja, a alternância entre períodos com a presença de radiação e entre períodos de escuridão, em que as lâmpadas permanecem desligadas. Uma condição de contínua exposição à radiação não reflete uma condição real de uso (ver Seção 2.5).

Para a simulação da umidade no ambiente interno à câmara deve-se utilizar ao menos um dos métodos a seguir: umidificação do ar interno da câmara, introdução de vapor d'água, *spray* de água ou imersão do corpo de prova em água ou em uma solução aquosa adequada. Deve-se levar em consideração a pureza da água utilizada no ensaio, uma vez que impurezas presentes na água podem agir de forma prejudicial no ensaio.

Em alguns casos pode haver a formação de incrustações nas superfícies do corpo de prova, o que altera o resultado dos testes. Para casos em que há recirculação da água é recomendado a utilização de elemento filtrante, para que a água seja tratada antes de voltar ao sistema.

## **2.7 EXEMPLOS DE ENSAIOS**

Existem diferentes tipos de ensaios destinados ao intemperismo acelerado. Abaixo, na Tab. 2.3, pode-se ver alguns exemplos destes ensaios de envelhecimento acelerado. Estes exemplos foram retirados da norma ASTM G 154 (ASTM, 2004). Tem-se a seguir uma descrição da aplicação de cada um destes ensaios, bem como algumas características destes.

O ensaio 1 é comumente utilizado para testes em revestimentos, como tintas e vernizes, e para testes em plásticos em geral. O Ensaio 2 é mais específico para o testes de revestimentos, com uma maior frequência de exposição à radiação. Os Ensaio 3 e 4 são bastante usados para testes em materiais automotivos.

O Ensaio 5 tem aplicação em testes de materiais utilizados como revestimentos externos na construção civil, enquanto que o Ensaio 7 é utilizado para testes em revestimentos para madeira. Em geral não há um controle preciso da radiação emitida pelas lâmpadas, uma vez que o desempenho destas é influenciado pelas condições de operação e pelo tempo de serviço, uma vez que o revestimento desta tende a ficar opaco com o tempo. Para se ter um controle mais preciso é necessário fazer um ajuste da potência de iluminação para manter constante os níveis de radiação luminosa.

Tabela 2.3- Exemplos de ensaios de envelhecimento acelerado (ASTM, 2004)

<b>Ensaio</b>	<b>Tipo de Lâmpada</b>	<b>Condições de exposição</b>
1	UVA-340	8 horas de exposição UV a 60° C, 4 horas de exposição à umidade a 50° C.
2	UVB-313	4 horas de exposição UV a 60° C, 4 horas de exposição à umidade a 50° C.
3	UVB-313	8 horas de exposição UV a 70° C, 4 horas de exposição à umidade a 50° C.
4	UVB-340	8 horas de exposição UV a 70° C, 4 horas de exposição à umidade a 50° C.
5	UVB-313	20 horas de exposição UV a 80° C, 4 horas de exposição à umidade a 50° C.
6	UVB-340	8 horas de exposição UV a 60° C, 4 horas de exposição à umidade a 50° C.
7	UVA-340	8 horas de exposição UV a 60° C, 15 minutos com spray de água (sem luz), 3 horas e 45 minutos de exposição à umidade a 50° C.
8	UVB-313	8 horas de exposição UV a 70° C, 4 horas de exposição à umidade a 50° C.

Estes ensaios foram concebidos levando-se em consideração três importantes conceitos: para simular os efeitos da luz do Sol é necessária somente a faixa de comprimento de onda da região ultravioleta e não de todo o espectro de luz (os melhores resultados são obtidos com radiações UVA e UVB); a maneira mais apropriada para simular o ataque da umidade é com a condensação a quente em uma temperatura elevada; os efeitos da radiação UV e da condensação são acelerados pela elevação da temperatura de ensaio. Deve-se frisar que estes ensaios são uma aproximação da realidade e não uma condição real de exposição.

## **2.8 PROCESSOS DE CONDICIONAMENTO DO AR**

Para a realização dos ensaios, o ar dentro da câmara deverá passar por processos de condicionamento, como resfriamento e/ou aquecimento, umidificação e/ou desumidificação. Tais processos serão mostrados por meio de cartas psicrométricas a seguir, indicando as mudanças das propriedades do ar durante a mudança de um estado inicial para um estado final.

Durante o processo de aquecimento sensível do ar este tende a se deslocar para a direita na carta psicrométrica, como visto na Fig. 2.7. Desta forma, a Temperatura de Bulbo Seco (TBS) aumenta



enquanto que a umidade relativa diminui, mantendo constante a umidade absoluta. O contrário ocorre durante o resfriamento sensível, em que a umidade relativa aumenta com a diminuição da temperatura de bulbo seco.

Para manter constante ou aumentar a umidade relativa do ar no interior da câmara é necessário introduzir vapor d'água dentro da câmara. Este vapor será suprido pelo sistema de aspersão de água. Tal sistema será detalhado no próximo capítulo deste trabalho. Para se calcular a massa de vapor d'água que deverá entrar no sistema é necessário saber qual a temperatura e umidade relativa que se deseja obter ao final do processo de condicionamento e as condições de entrada do *spray* de água no sistema.

No caso da umidificação do ar ocorre um aumento da umidade absoluta e da umidade relativa, bem como da temperatura de bulbo úmida, enquanto que a temperatura de bulbo seco se mantém constante. No processo de desumidificação ocorre o contrário, há uma diminuição dos valores de umidade e temperatura de bulbo úmida. Neste caso a mudança de estado do ar ocorre na vertical na carta psicrométrica. A Fig. 2.8 mostra este processo.

Em geral, o que deve ocorrer no interior da câmara é uma combinação entre aquecimento/umidificação ou resfriamento/desumidificação. Ambos os processos são mostrados abaixo, na Fig. 2.10. Como pode ser visto, no processo 1-2,q ocorre um aumento tanto na temperatura de bulbo úmida quanto na de bulbo seco bem como um aumento tanto da umidade relativa quanto da absoluta. No processo 1-2,f ocorre a redução dessas grandezas.

Estes processos são importantes pois no início do ensaio, em que a temperatura é elevada da temperatura ambiente (média de 20° C para Brasília) para uma temperatura elevada, cerca de 70° C, deve-se introduzir massa de vapor d'água para aumentar a umidade relativa até o máximo possível. Quando ocorre um resfriamento do ar ambiente, em geral durante o ciclo de condensação, parte desse vapor d'água fica em excesso e condensa sobre as superfícies, tanto do(s) corpo(s) de prova quanto das paredes internas. É necessário, portanto, que haja um meio de se retirar essa água em excesso, como por exemplo, a instalação de um dreno no piso da câmara.

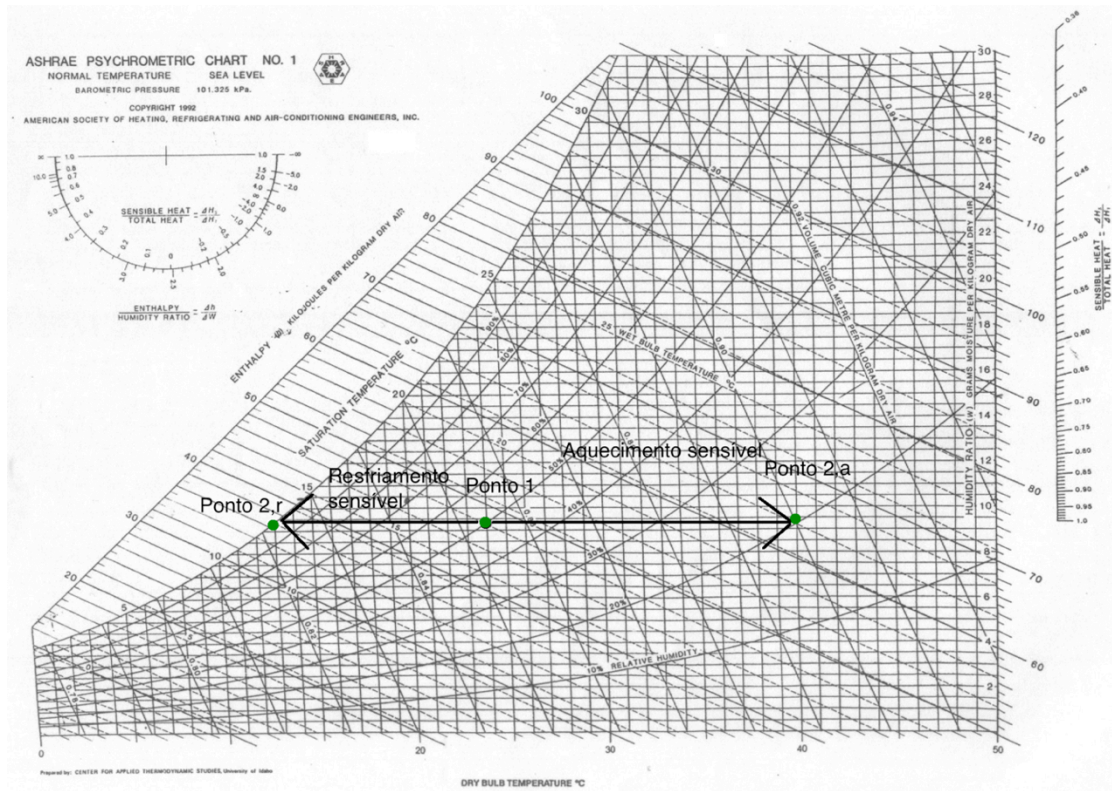


Figura 2.7- Carta psicrométrica mostrando aquecimento e resfriamento sensíveis (ASHRAE, 2006)

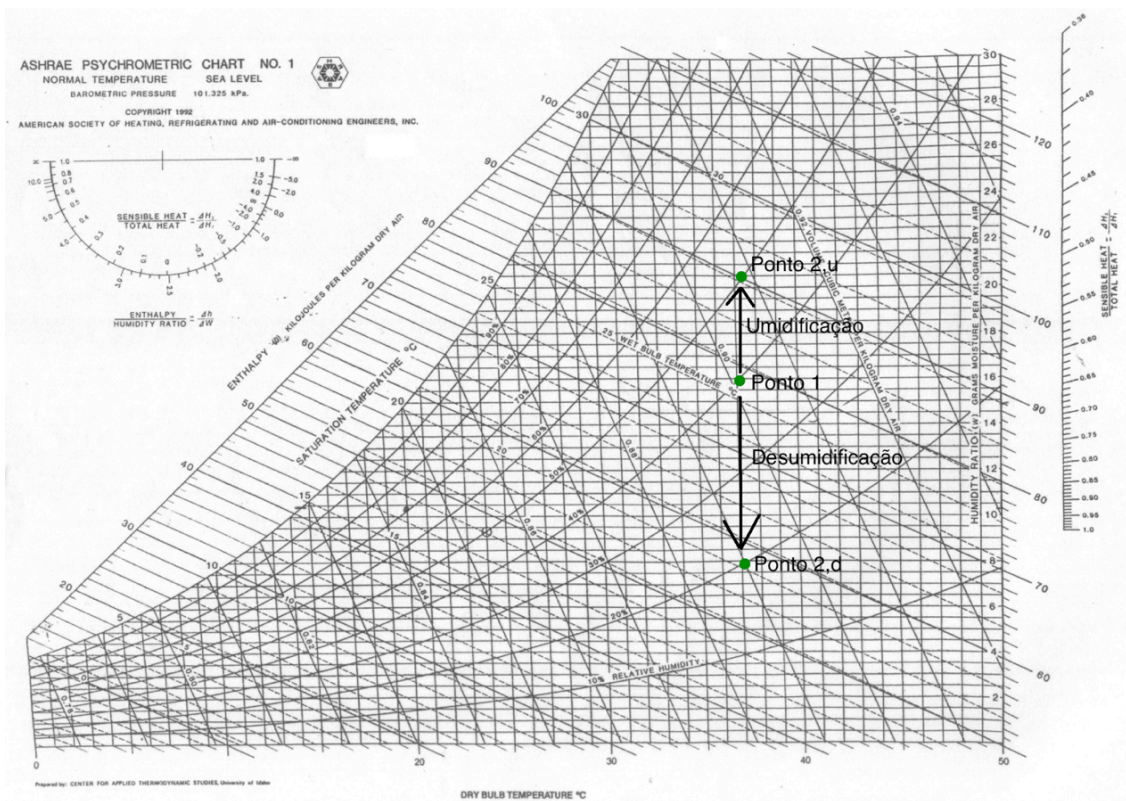


Figura 2.8- Carta psicrométrica mostrando umidificação e desumidificação (ASHRAE, 2006)

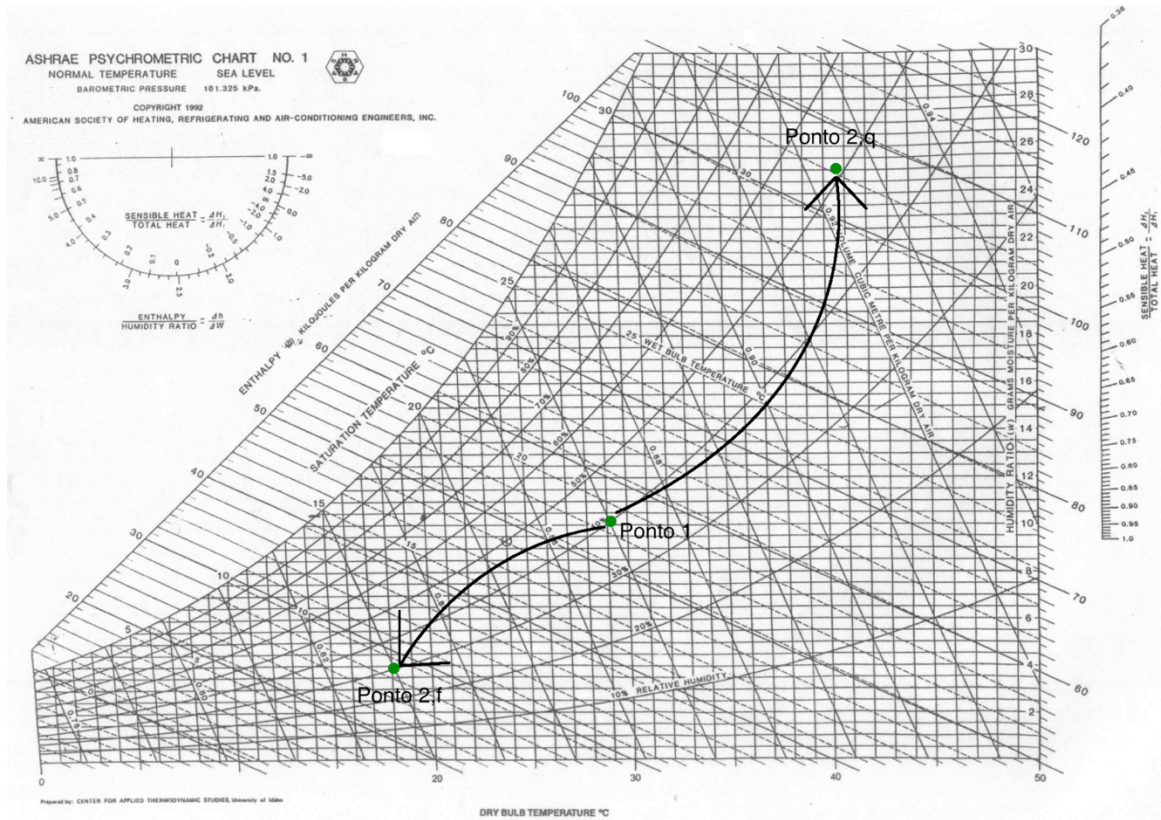


Figura 2.9- Carta psicrométrica mostrando aquecimento/umidificação e resfriamento/desumidificação (ASHRAE, 2006)

## 2.9 CONVECÇÃO NATURAL AO REDOR DE TUBOS

Na convecção natural, o movimento do fluido se dá devido a forças de flutuabilidade (empuxo), ocasionadas por um gradiente de densidade, causado por um gradiente de temperatura no interior do fluido, e uma força de campo, no caso, a força gravitacional.

As equações que descrevem o fenômeno da convecção natural são:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (15)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g\beta(T - T_{\infty}) + \nu_f \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad (16)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}, \quad (17)$$

em que  $u$  e  $v$  são as componentes da velocidade do fluido em  $x$  e  $y$ , respectivamente,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $\beta$  é o coeficiente de expansão volumétrica do fluido,  $T$  a temperatura absoluta do fluido,  $T_{\infty}$  a temperatura do ambiente ao redor do fluido,  $\nu$  a viscosidade cinemática do fluido e  $\alpha$  o coeficiente de expansão do fluido.

Para o caso da convecção natural em torno de um cilindro, a solução do problema está em resolver as seguintes equações:

$$Nu_D = \frac{hD}{k}, \quad (18)$$

$$Nu_D = \left\{ 0.60 + \frac{0.387Ra_D^{1/6}}{\left[1 + (0.559/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2, \quad (19)$$

$$Ra_D = \frac{g\beta(T-T_\infty)D^3}{\nu_f\alpha}, \quad (20)$$

$$Pr = \frac{\nu_f}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k}, \quad (21)$$

em que  $h$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção,  $k$  é a condutividade térmica,  $Nu_D$  é o número de Nusselt para um cilindro de diâmetro  $D$ ,  $Ra_D$  é o número de Rayleigh e  $Pr$  é o número de Prandtl. Tanto o número de Nusselt quanto o de Rayleigh surgem da adimensionalização das equações que governam a convecção natural.

O número de Nusselt representa a transferência de calor por convecção através do fluido em relação à condução. O número de Rayleigh relaciona os efeitos da convecção natural com as forças viscosas no fluido. O número de Prandtl relaciona a espessura relativa da camada limite hidrodinâmica e da camada limite térmica no fluido.

A taxa de transferência de calor de um tubo para o fluido ao se redor é função do coeficiente de transferência de calor por convecção e a área efetiva de troca. No caso de um cilindro, esta área é função do diâmetro externo e do comprimento total deste. Abaixo, nas Equações 22 e 23 são mostradas tais relações.

$$\dot{Q} = hA(T - T_\infty), \quad (22)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} L. \quad (23)$$

# 3 PROJETO CÂMARA DE ENVELHECIMENTO ACELERADO

*Este capítulo tem como objetivo apresentar as condições de operação e o projeto dos diferentes subsistemas constituintes de uma câmara de envelhecimento acelerado.*

## 3.1 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

A câmara será projetada para simular uma ampla gama de condições climáticas. Neste trabalho serão definidas faixas de operação relativas à temperatura e umidade do ar internos. Estas faixas de operação foram definidas de acordo com o que se encontrou na literatura relacionada aos diversos tipos de ensaios, utilizados para testes em diversos tipos de materiais, como por exemplo em plásticos e em revestimentos.

Como condições de projeto foram adotados valores máximos e mínimos para temperatura e umidade relativa, como pode ser visto abaixo:

- Temperatura: mínima de -20° C e máxima de 80° C;
- Umidade relativa: mínima de 0% e máxima de 100%.

Para a realização dos ensaios de envelhecimento acelerado a câmara deverá possuir alguns componentes para simular as diversas condições climáticas desejáveis. Abaixo segue uma breve descrição de tais componentes:

- sistema de iluminação artificial, composto por lâmpadas especiais;
- sistema de condicionamento do ar, para simular diversas condições de temperatura ambiente;
- sistema de aspersão de água, para simular condições de alta umidade relativa e exposição a chuva;
- sistema de controle e instrumentação, que mantém as condições do ensaio dentro de uma faixa escolhida pelo usuário.

Como dito anteriormente, a câmara utilizada neste trabalho foi inicialmente construída para a realização de testes em compressores. Esta possui uma porta de acesso com uma janela para a visualização do interior, quadro elétrico, dois pontos de energia 220 V e 380 V no interior e quatro

termopares, fixados às paredes internas do calorímetro. Esta pode ser vista na Fig. 3.1 abaixo. Mais detalhes seguem no Anexo I.



Figura 3.1- Vista do calorímetro

### 3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Não se pode utilizar qualquer tipo de lâmpada para o ensaio de envelhecimento acelerado. Esta deve ser específica, própria para este tipo de aplicação. Deve-se atentar para o espectro de luz da lâmpada bem como a potência desta, para que as condições de ensaio não reflitam numa condição irreal de uso.

A escolha da lâmpada depende do tipo de ensaio a ser realizado, que leva em consideração a faixa de radiação (espectro) que se deseja simular. Depende ainda de outros fatores, como por exemplo o material a ser testado, as condições climáticas a serem reproduzidas, o tipo de degradação que se deseja obter, entre outros. Para cada tipo de ensaio há um tipo de lâmpada que é a mais indicada, embora existam algumas com ampla gama de aplicações, que é o caso das fluorescentes e de xenônio.

As mais utilizadas atualmente são lâmpadas fluorescentes especiais e lâmpadas de xenônio, pois são as mais baratas (principalmente as fluorescentes) e conseguem, cada uma a sua maneira, reproduzir a faixa do espectro necessária para o ensaio.

A seguir tem-se, na Fig. 3.2, a distribuição espectral da lâmpada fluorescente do tipo UVB 340, retirada da norma ASTM G 154 (ASTM, 2004). Esta é um dos tipos mais comuns e mais adotados pois possui um espectro de luz que se aproxima ao encontrado na radiação solar em ambientes externos, na faixa de comprimento de onda do ultravioleta, região que concentra os raios solares mais

prejudiciais, tanto à saúde humana quanto a diversos materiais. Outra questão importante é o custo de aquisição e manutenção bem como a disponibilidade desta.

Existem poucas lâmpadas no mercado que se adequam aos requisitos necessários para realizar testes de envelhecimento acelerado, pois o espectro de radiação da maioria das lâmpadas comerciais se concentram a partir de 450 nm, sendo que para os ensaios de envelhecimento acelerado são a partir de 300 nm. Por isso, as lâmpadas têm um custo elevado, sendo bem mais caras que as comuns.

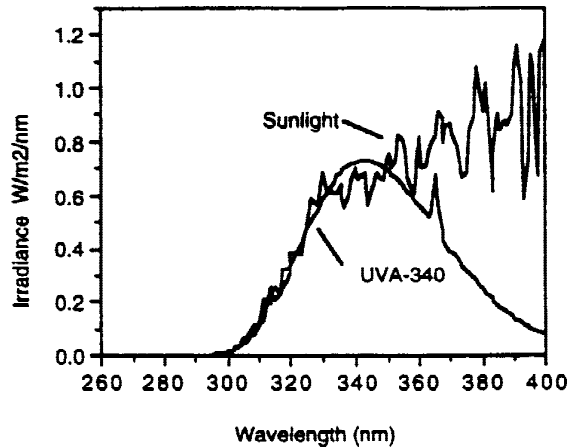


Figura 3.2 – Distribuição espectral lâmpada UVB 340 comparada à luz solar (ASTM G 154, 2004)

As lâmpadas selecionadas são do tipo UVB-340, modelo TL/12 *Medical Therapy* da marca PHILIPS, com potência de 100 Watts. Em anexo seguem mais detalhes desta lâmpada. Esta foi escolhida devido a suas características se adequarem às condições de exposição no espectro do UV e também quanto ao custo e disponibilidade no mercado.

Serão aproveitadas as instalações elétricas presentes na câmara, bastando para tanto apenas garantir que os corpos de prova estejam devidamente submetidos aos níveis de radiação exigidos pelas normas. Neste caso deverá ser realizada uma calibração para se garantir este quesito, conforme citado na norma ASTM G 151 (ASTM, 2004). As lâmpadas serão ligadas a um sistema de controle para que haja uma alternância entre ciclos de claro/escuro.

Serão adotadas um total de oito lâmpadas, dispostas duas a duas, distribuídas no teto da câmara. Cada par de lâmpadas necessitará de um reator para ser ligada. Abaixo, na Fig. 3.3, segue o esquema de montagem das lâmpadas na câmara. A ligação entre as lâmpadas será em paralelo, assim, caso uma delas queime não fechará o circuito. As lâmpadas serão ligadas em um circuito elétrico, composto também por um relé, comandado pelo controlador lógico programável (CLP). De acordo com a programação escolhida o CLP ativa/desativa as lâmpadas no tempo programado.

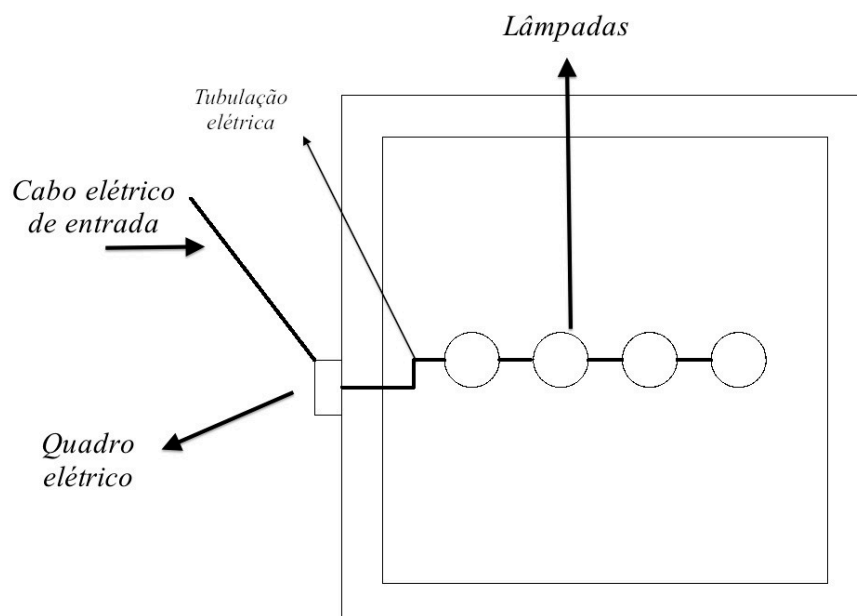


Figura 3.3- Esquema de montagem das lâmpadas fluorescentes no teto da câmara

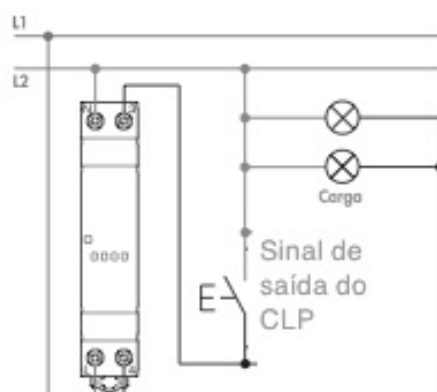


Figura 3.4- Esquema de ligação das lâmpadas com relé e CLP

Durante o período em que o relé é acionado pelo CLP as lâmpadas permanecem ligadas, até o momento em que o CLP cessa a alimentação do relé. As lâmpadas serão ligadas ao contato normalmente aberto (NA), ou seja, enquanto a bobina do relé permanece ativada pelo CLP a corrente externa (rede 220 V) passa pelo circuito elétrico. Na Tabela 3.1 segue um descritivo com os materiais para o sistema de iluminação.

Tabela 3.1- Descritivo para o sistema de iluminação

Qtd.	Material	R\$/Unid.	R\$ total
8	Lâmpada <i>Philips TL Medical Therapy</i> de 100 W	305,00	2440,00
4	Reator eletrônico 2x100 W	49,00	196,00
1	Relé	85,00	85,00
1	Tubulação elétrica (barra 3 m)	-	-



### 3.3 SISTEMA DE ASPERSÃO DE ÁGUA

A câmara climática deverá ser capaz de simular condições que vão desde baixas umidades relativas (próxima de 0%) até altos valores (100%), bem como simular condições de exposição a chuva. Dentre os três tipos descritos na norma ASTM G 151 (ASTM, 2004), para a simulação de tais condições, será adotado um sistema de *spray* de água neste trabalho.

Tal sistema será composto por um bico aspersor de água, abastecido por uma bomba hidráulica, conectada a um reservatório, estes dois últimos instalados em anexo à câmara. A água em excesso será retirada por meio de um dreno instalado no piso da câmara. Para facilitar o escoamento da água, a câmara será levemente inclinada. Neste caso sugere-se uma inclinação de 5°, para facilitar o acesso ao interior à câmara e ao posicionamento dos corpos de prova.

A água é pulverizada devido à alta pressão de trabalho do bico aspersor, sendo dispersa na câmara em gotículas, formando um *spray* de água sobre o(s) corpo(s) de prova. Desta forma, está de acordo com o estipulado pela norma ASTM G151 (ASTM, 2004).

O bico aspersor necessita de uma pressão de trabalho elevada para poder operar de forma eficaz. Para tanto será necessária a utilização de uma bomba hidráulica com uma elevação de pressão suficiente para vencer as perdas de carga e conseguir entregar a pressão necessária para a correta operação do bico aspersor.

Devido à elevada pressão de trabalho a adoção de uma tubulação comum de PVC (cloreto de polivinila) não é possível, devido à sua baixa resistência mecânica. Desta forma, será adotada uma tubulação de PP (polipropileno), mais resistente e capaz de trabalhar sob altas temperaturas (até 80°C) e com pressões mais elevadas, da ordem de 980 kPa (100 m.c.a.).

Foi adotada uma tubulação de PP da marca Amanco, modelo PPR. Tal tipo de tubulação apresenta paredes internas lisas, o que favorece um baixo fator de atrito (o que reduz a perda de carga) e impede a formação de incrustações no interior do tubo.

O aspersor selecionado foi o UM-19 BICO *SPRAY*. Este modelo de aspersor possui múltiplas saídas, espalhadas ao seu redor, o que propicia uma maior área de ação do *spray*, permitindo fazer ensaios em um volume maior. Este equipamento possui ampla gama de aplicações. Mais detalhes sobre este seguem no Anexo III.

Este tipo de montagem também permite a simulação de uma atmosfera salina, pois o material do bico aspersor é resistente à corrosão, bastando para tanto utilizar uma solução aquosa adequada. Este tipo de ensaio é bastante comum para simular condições de exposição em ambientes litorâneos.

Para o funcionamento deste sistema a bomba deverá ser acionada de tempos em tempos, sendo este período definido no programa do CLP, que se encarregará de ativar/desativar a bomba. Para tanto, esta deverá ser ligada a um circuito elétrico com um relé, com o mesmo princípio de funcionamento do circuito adotado no sistema de iluminação.

O bico aspersor será fixado na parte superior da câmara (teto) com uma orientação de 90° (a abertura por onde a água é dispersa se encontra virada para o chão). Para esta instalação será necessário furar o teto da câmara para a passagem da tubulação. Deve-se atentar para uma correta vedação deste furo para que não ocorra penetração de impurezas e consequente contaminação indesejada da atmosfera interna da câmara, para não influenciar nos resultados.

Em anexo à câmara haverá um reservatório de água que alimentará o sistema de aspersão. Este reservatório será um tambor cilíndrico de metal com capacidade para até 200 litros, com 580 mm de diâmetro e 850 mm de altura.

Este reservatório também será conectado à calha externa, que fará a água recircular pelo sistema, evitando-se assim que haja um constante reabastecimento do reservatório e desperdício de água. Esta calha será instalada por baixo da câmara, com dimensões de 200x200x500 (LarguraXAlturaX Profundidade), totalizando 20 L de capacidade. No interior desta calha será instalada uma boia elétrica, responsável por ativar a bomba de retorno. Na Fig. 3.5 pode-se ver o esquema de montagem unifilar elétrico hidráulico.

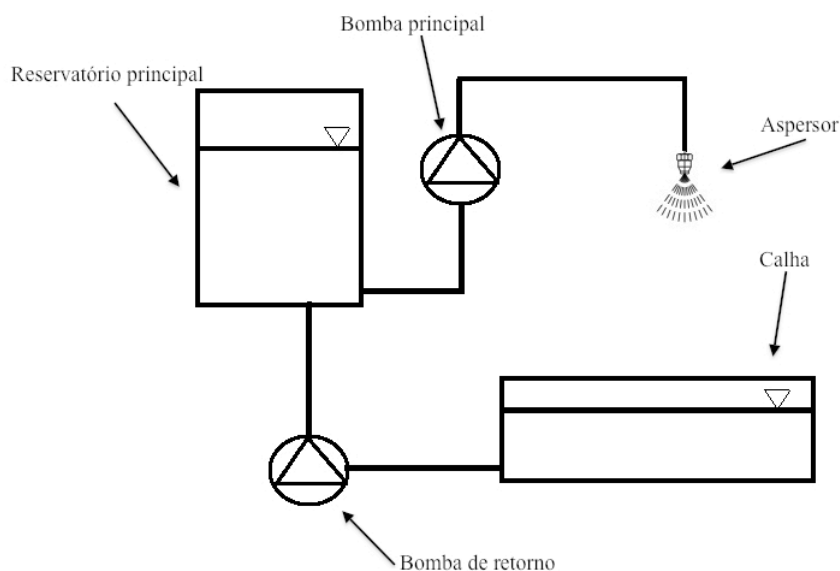


Figura 3.5- Esquema de montagem unifilar hidráulico

### 3.3.1 DIMENSIONAMENTO DA BOMBA HIDRÁULICA

Para um correto funcionamento do sistema de aspersão de água a bomba hidráulica deverá ser capaz de prover uma elevação de pressão suficiente para alimentar o aspersor e vencer as perdas de carga localizadas e distribuídas ao longo da tubulação. A seguir são apresentadas as condições de projeto:

- Altura de elevação de cerca de 1200 mm;
- Tubulação de PP (polipropileno com pressão máxima de serviço de 10 kgf/cm<sup>2</sup> e resistente a altas temperaturas) com diâmetro externo de 25 mm (1 pol) e 3000 mm de comprimento;
- Quatro joelhos 90° de 25 mm (1 pol) também de PP;
- Um bico aspersor UM-19, saída de 2 mm e rosca de ¾ pol, com uma pressão de trabalho de 940 kPa (9,6 kgf/cm<sup>2</sup>) e uma vazão de 3 L/min;

Com estes dados pôde-se calcular a elevação de pressão total que a bomba deverá fornecer para que o bico aspersor trabalhe corretamente. Para tanto foi necessário o cálculo das perdas de carga distribuídas e localizadas. Em anexo seguem os dados da tubulação utilizados para o cálculo da perda de carga e os dados sobre o aspersor utilizado. A perda de carga da tubulação é de cerca de 30 kPa (3 m.c.a.). A pressão total será então de 970 kPa (97 m.c.a.), ou seja, a bomba hidráulica deverá ser capaz de fornecer uma elevação de pressão superior a este valor.

Uma bomba hidráulica que atende a essa utilização é a da marca Schneider, modelo BC-92 S/T AV 3 CV, trifásica 220/380 V, com elevação de pressão máxima de 104 m.c.a., utilizada para abastecimento predial, agricultura, sistemas de refrigeração e indústrias em geral. No Anexo IV seguem as curvas de dimensionamento para este modelo de bomba. Para a elevação de pressão requerida a vazão de água é quase a mesma necessária para o correto funcionamento do bico aspersor, não necessitando, portanto, de um controle de vazão.

O consumo de água máximo estipulado é de cerca de 30 L/h, caracterizando um ensaio em que haverá aspersão de água durante períodos de 10 s a cada minuto, simulando uma condição de exposição a alta umidade.

A água em excesso que condensa e sai pelo dreno é canalizada para uma calha externa, acoplada na parte posterior da câmara. Próxima desta calha será instalada uma bomba de baixa capacidade, que será responsável por recircular a água de volta ao reservatório. Esta bomba será acionada por uma boia elétrica, dispositivo este que ativa a bomba quando a calha estiver cheia e a desativada quando o nível de água estiver baixo. A bomba escolhida para levar a água da calha até o reservatório principal é do mesmo modelo da bomba principal, mas com potência de 1 CV. Para uma altura monométrica de 2 m.c.a. possui uma vazão de aproximadamente 0,3 L/s.

Na tabela abaixo seguem os materiais necessários para a construção do sistema de aspersão. Na Tab. 3.2 segue um memorial descritivo com os materiais necessários para sistema de aspersão.

Tabela 3.2- Materiais necessários para sistema de aspersão

Qtd.	Descrição	R\$/Unid.
1	Bomba hidráulica Schneider, modelo BC-92 S/T AV 3 CV	1165,85
1	Tubo PPR de 1 pol (barra 3 metros)	15,27
4	Joelho 90° PPR de 1 pol	1,21
1	Bico aspersor UM 19 de 1 pol	-
1	Tambor metal 200 litros	40,00
1	Bomba hidráulica Schneider, modelo BC-92 S/T AV 1 CV	886,43
2 m <sup>2</sup>	Chapa alumínio lisa espessura 0,5 mm	-
1	Barra 3 metros tubo PVC	6,30
1	Boia elétrica	33,28
1	Tubo PVC 1 pol (barra 3 metros)	4,50
3	Joelho PVC 90° 1pol	0,21

### 3.4 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DO AR

Para um ensaio completo é necessário poder manter a temperatura interna dentro de uma faixa de operação ideal. Para tanto é necessário um sistema de condicionamento do ar, dotado de um sistema de controle capaz de manter numa faixa aceitável a temperatura no interior da câmara.

Há diversas opções disponíveis para se fazer o condicionamento do ar. Dentre estas opções disponíveis, foram escolhidas apenas duas: utilização de um *fan-coil* e utilização do método da superfície quente/fria.

Para o caso da utilização do *fan-coil*, o ar seria forçado a passar pela serpentina deste, trocando calor e sendo aquecido ou resfriado, a depender da temperatura do fluido de trabalho que abastece o *fan-coil*. Neste caso, pensou-se em algumas opções para o insuflamento do ar dentro da câmara, bem como o retorno. Mais detalhes acerca destas opções seguem em anexo.

Para o caso da superfície quente ou fria, uma superfície é mantida a uma temperatura mais elevada ou mais baixa que o ar no interior da câmara. Para o caso do aquecimento do ar, a superfície é mantida a uma temperatura mais elevada. Desta forma, há troca de calor por condução da superfície para o ar e troca de calor por convecção no ar no interior da câmara. Assim, formam-se correntes de convecção natural e o ar vai sendo aquecido à medida que o tempo passa, até que a temperatura se estabilize.

Para que a temperatura da superfície se mantenha de acordo com o desejável será acoplada uma serpentina, que será a responsável pela troca de calor. Como este tipo de equipamento ocupa uma área bastante considerável, pode-se aproximar o efeito do uso da serpentina com o da superfície. Neste caso, a superfície da serpentina será mantida a uma temperatura que pode ser considerada uniforme, uma vez que varia muito pouco ao longo de todo o comprimento. Isto pode ser conseguido com uma alta vazão ou alta massa específica do fluido de trabalho que percorre o interior da serpentina.

Após a realização de simulações computacionais, foi escolhido um sistema de serpentinas para o aquecimento/resfriamento do ar no interior da câmara. Tal sistema será composto por serpentinas feitas de cobre, onde o fluido de trabalho será circulado, aquecendo/refrigerando o ar por meio da convecção natural que se formará devido às diferenças de densidade do ar quente e/ou frio, originadas pela transferência de calor da serpentina e o ar em volta dela.

### **3.4.1 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS**

Para a realização das simulações computacionais foi utilizado o *software* de elementos finitos ANSYS 11. Foram necessários definir alguns parâmetros iniciais, como a geometria, o tipo de material e o modelo de solução. Primeiramente foi feito um modelo com as dimensões internas da câmara utilizando o WORKBENCH, ferramenta de desenho 3D do ANSYS. Este volume, na forma de um hexaedro, tem como função representar o ar interno, formando o domínio do problema.

Com o domínio criado geometricamente, foi realizada a discretização deste, ou seja, a criação da malha de elementos finitos. Para tanto, foi utilizada uma rotina do próprio programa, chamada CFX-Mesh. Tal rotina tem como objetivo criar malhas com alto grau de qualidade para o uso específico em simulações computacionais que envolvem a dinâmica dos fluidos (CFD na sigla em inglês). Para as simulações realizadas, foram criados elementos na forma de tetraedros, próprias para sistemas de dinâmicas dos fluidos. Ao todo foram criados cerca de 9050 nós e 47000 elementos.

Com a malha criada basta agora definir as condições de contorno. Para todos os casos analisados, as paredes (limites do volume) foram consideradas adiabáticas e fixas. O domínio foi definido como sendo ar, descrito como gás ideal, o vetor gravidade foi definido como sendo  $[0, -9.81, 0]$  no eixo de coordenadas cartesianas e uma massa específica de referência de  $1.1767 \text{ kg/m}^3$ , referente à massa específica do ar a uma temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$ .

O método de solução escolhido para este problema foi o SST (*Sheer Stress Trasnport*; mais detalhes em anexo), único que se adequou em apresentar resultados válidos. Foram realizadas ao todo oito simulações. Abaixo segue uma breve descrição das condições de cada uma delas.

1. Simulação 1: Piso mantido a uma temperatura fixa de 80°C e teto a 60°C;
2. Simulação 2: Piso mantido a uma temperatura fixa de 75°C e teto a 65°C;
3. Simulação 3: Piso mantido a uma temperatura fixa de 70°C e teto a 50°C;
4. Simulação 4: Piso mantido a uma temperatura fixa de 65°C e teto a 55°C;
5. Simulação 5: Piso mantido a uma temperatura fixa de 60°C e teto a 40°C;
6. Simulação 6: Piso mantido a uma temperatura fixa de 55°C e teto a 45°C;
7. Simulação 7: Piso mantido a uma temperatura fixa de 0°C e teto a -20°C;
8. Simulação 8: Piso mantido a uma temperatura fixa de -5°C e teto a -15°C.

Estes valores foram escolhidos de acordo com a Tabela 2.3, em que foram apresentados exemplos de ensaios de envelhecimento acelerado. Foram realizadas duas simulações para a mesma temperatura média do ensaio, variando a diferença entre a temperatura do teto e o piso, sendo esta variação de 20°C e 10°C, como pode ser visto nas descrições acima.

A perda de calor da câmara para o meio foi desconsiderada nos cálculos e simulações devido ao isolamento térmico existente, com uma camada de cerca e 100 mm de poliestireno entre as paredes interna e externa da câmara, material com ótimas características isolantes. No trabalho anterior (ATAÍDE; DA COSTA, 2005) onde esta câmara foi utilizada, houve uma grande preocupação com relação a este quesito, uma vez que se destinava a ser um calorímetro para ensaios de compressores.

Na Figura 3.6 é mostrado o perfil de temperatura para a simulação 1. Na Figura 3.7 é mostrado o perfil de temperatura para a simulação 2. A temperatura média destes ensaios é de 70°C. A diferença é que para a simulação 1 o perfil de velocidade apresenta intensidade de cerca de 35% maior que para a simulação 2, o que era esperado, uma vez que a diferença entre as temperaturas do teto e piso é o dobro. Para os dois casos ocorre um regime laminar, de baixo Reynolds.

Pode-se ver, pelas Figuras 3.8 e 3.9 que o perfil de temperatura para os dois ensaios foi muito próximo, variando entre 68°C a 71°C para a simulação 1 e entre 69°C a 70°C para a simulação 2, no volume onde os corpos de prova serão posicionados. Já para as simulações 7 e 8, o perfil de temperatura, para o mesmo volume, variou entre -12°C a -9°C e entre -11°C e -10°C, respectivamente. Para todos os casos, observou-se que com a diminuição entre as diferenças de temperatura entre teto e piso houve também uma menor diferença entre as temperaturas no volume no interior da câmara.

No Anexo V seguem mais detalhes acerca da simulação apresentada neste capítulo, bem como os resultados das outras simulações com o uso das serpentinas e também as simulações com a utilização de trocadores de calor do tipo *fancoil*, com diferentes configurações de insuflamento e de retorno do ar, realizadas no *software* de elementos finitos ANSYS 11.

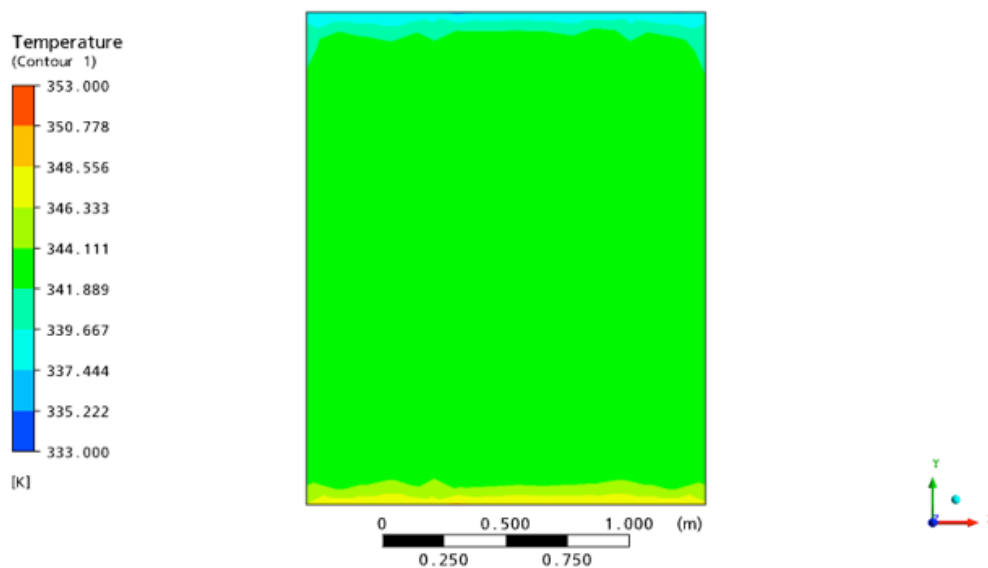


Figura 3.6- Perfil de temperaturas para simulação 1.

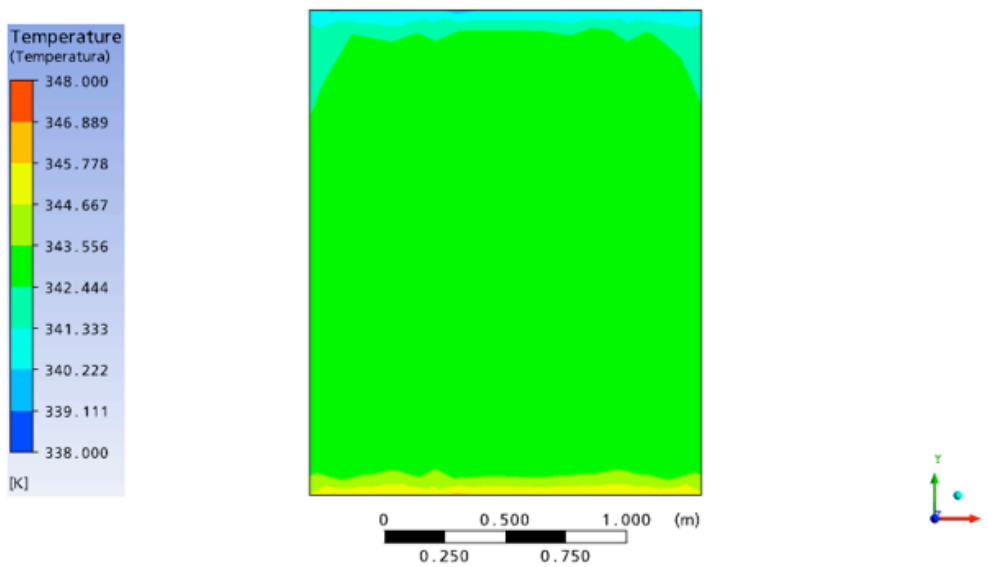


Figura 3.7- Perfil de temperaturas para simulação 2.

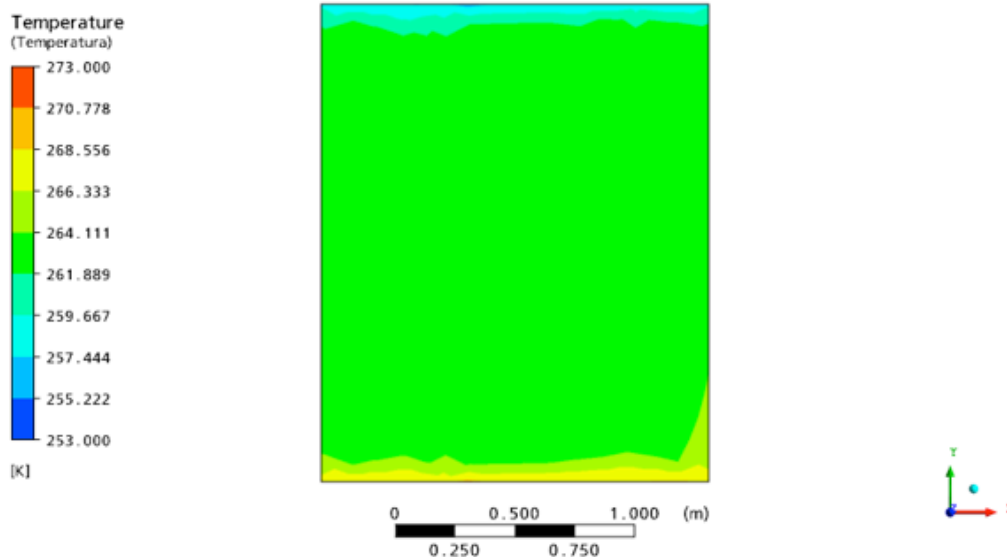


Figura 3.8- Perfil de temperaturas para simulação 7.

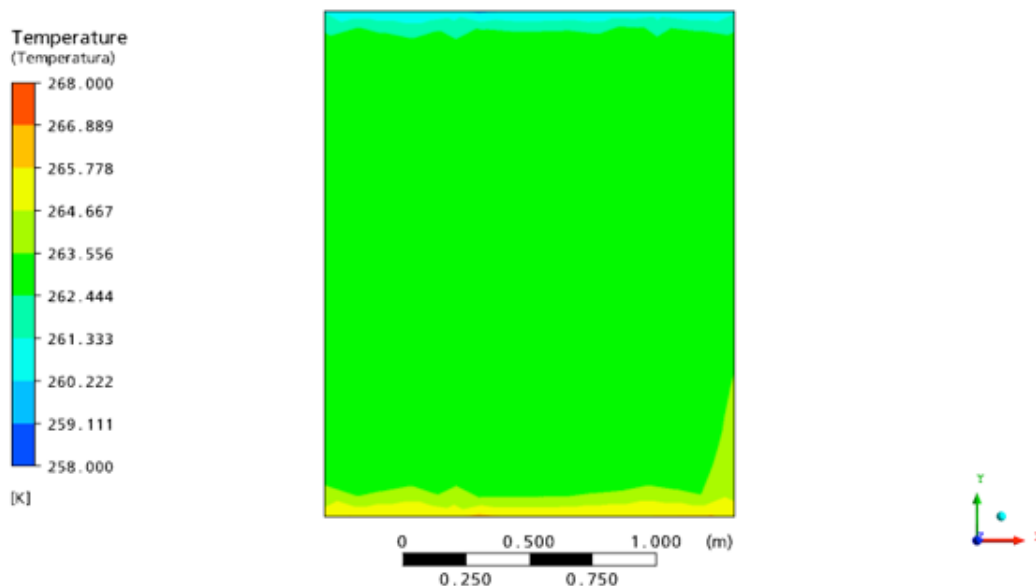


Figura 3.9- Perfil de temperaturas para simulação 8.

Como dito na seção 3.1 deste Capítulo, há a necessidade de se variar a umidade relativa no interior da câmara entre 0-100 %. Para tanto, foi selecionado um desumidificador mecânico, modelo DS 300, com vazão de 300 m<sup>3</sup>/h, capaz de retirar até 15 L de condensado a cada 24 h.

Tal dispositivo funciona com expansão direta de um gás refrigerante em um serpentina, oferecendo-se assim, uma superfície fria de contato. Desta forma, o vapor de água se condensa quando o ar úmido é forçado, por um moto ventilador, a passar por esta serpentina, caindo em um reservatório, conectado à calha de retorno. Mais detalhes deste equipamento seguem no Anexo VI.

Uma vez que em nenhuma das normas pesquisadas é citado algo sobre a velocidade do vento e levando-se em consideração que a maioria das câmaras comerciais possuem sistemas de aquecimento



por resistores, esta solução se mostrou bastante viável, uma vez que pode ser tanto utilizada para situações em que se deseja simular uma condição de atmosfera quente ou fria, devido à capacidade de fazer circular na serpentina um fluido de trabalho a temperatura desejada.

### 3.4.2 DIMENSIONAMENTO DAS SERPENTINAS

As serpentinhas são muito utilizadas como trocadores de calor entre dois fluidos. Uma das vantagens é o fato de ser bastante compacta, uma vez que a tubulação pode ser confinada a um volume menor, o que garante uma área efetiva para troca de calor bem maior que em outros trocadores. Este tipo de dispositivo é muito utilizado em processos de condicionamento de ar, com diversas aplicações.

Para o dimensionamento das serpentinhas foram necessários definir alguns parâmetros de projeto. Na Tab. 3.3 abaixo são descritos tais parâmetros.

Tabela 3.3- Parâmetros iniciais de projeto da serpentina

Descrição	Valor
Taxa de transferência de calor	1,5 kW
Temperatura fluido na entrada	90 °C
Vazão de fluido de trabalho	0,2 L/s
Diâmetro tubulação de cobre	9,52 mm (3/8 pol)

Com estes dados de entrada basta agora calcular o comprimento total da serpentina necessária para a troca de calor definida inicialmente no projeto. Para o cálculo do comprimento da serpentina foram utilizadas as Equações apresentadas no Capítulo 2, Seção 2.9. Como resultado, o comprimento total necessário  $L$  foi de cerca de 76,3 m para cada uma das serpentinhas.

Com valor total do comprimento da serpentina pôde-se determinar a geometria escolhida, para que esta pudesse caber dentro da câmara. A geometria escolhida foi a apresentada a seguir, na Figura 3.10. Para esta geometria, que aproveita a maior área possível do teto e do piso da câmara serão necessários cerca de 85 m de tubulação de cobre.

As serpentinhas serão confeccionadas a partir de uma bobina de tubo de cobre, bastando para tanto, dobrar o tubo conforme desenho técnico em anexo. O diâmetro escolhido foi com base em tubulações encontradas no mercado. Por meio de um programa executado no *software* EES foi possível variar o diâmetro da tubulação em função do comprimento total da serpentina.

Desta forma, optou-se por utilizar uma tubulação com diâmetro de 9,52 mm (3/8 pol) e uma espessura de 0,79 mm de parede (1/32 pol). Pelo catálogo do fabricante, este tubo tem um peso linear de cerca de 0,19 kg/m, ou seja, cada serpentina tem cerca de 17 kg de massa. A largura total da serpentina é de cerca de 1570 mm, o que compreende boa parte da largura do teto da câmara, que é de 1620 mm.

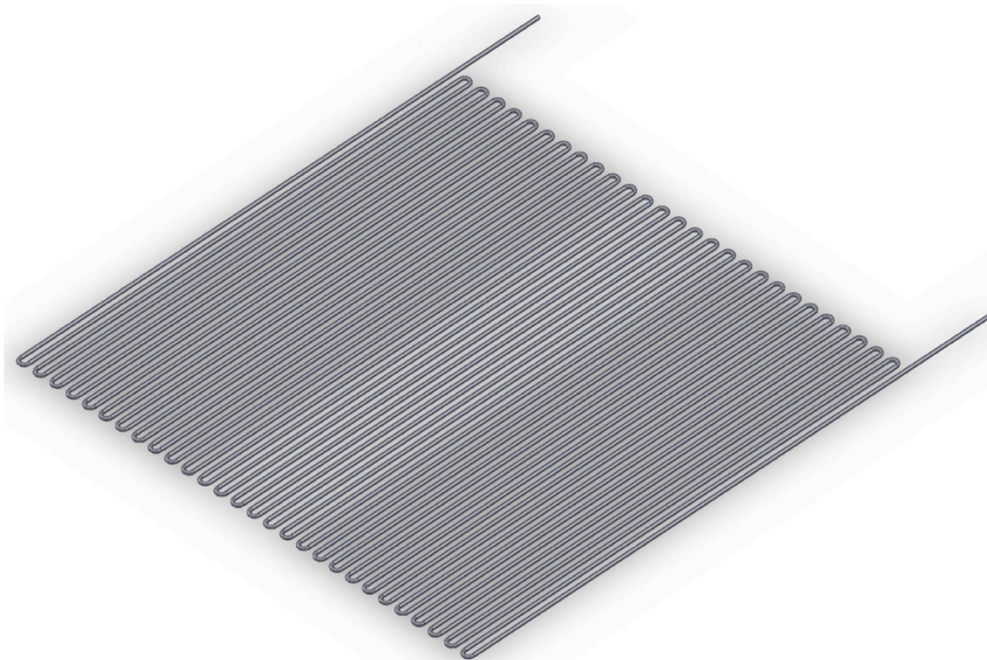


Figura 3.10- Desenho da serpentina

O fluido de trabalho será a água. Como se sabe, há uma perda de carga associada ao escoamento de um fluido dentro de um tubo, que pode ser expresso pela Equação de Darcy-Weisbach, que é em função do fluido (massa específica), diâmetro interno da tubulação, material da tubulação (fator de atrito  $f$ ), e da velocidade do escoamento.

$$\Delta P = f * \rho * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2}. \quad (24)$$

Para um regime laminar, ou seja, para Reynolds menor que  $10^5$  estas equações podem ser simplificadas. Desta forma, o valor da perda de carga ( $\Delta P$ ) calculado foi de cerca de 1,08 MPa (110 m.c.a.), sendo necessária uma bomba com capacidade de vencer tal perda de carga, além da elevação de altura, para o caso da serpentina que vai ao teto.

Desta forma, o sistema que fornecerá o fluido de trabalho deverá ser capaz de fornecê-lo a uma temperatura máxima de 90°C, uma vazão de 0.0002 m<sup>3</sup>/s (0.2 L/s) e capaz de superar uma perda de carga de cerca de 1,08 MPa (110 m.c.a.). No Anexo VII seguem os cálculos realizados para o dimensionamento das serpentinas, que foram executados no programa de computador *EES*.

### 3.5 SISTEMA DE CONTROLE E INSTRUMENTAÇÃO

Neste trabalho será adotado um sistema de controle para que as condições de ensaio possam ser mantidas durante todo o período de teste, bem como a automatização desta técnica, para facilitar o trabalho. Este sistema de controle deverá ser capaz de controlar os ciclos de claro/escuro, a temperatura interna e a geração de umidade. O ciclo claro/escuro é conseguido pela ativação/desativação das lâmpadas, assim como o jato de *spray*. Em geral, durante os ensaios, o jato de *spray* é ativado apenas durante o ciclo escuro, como pode ser visto na Tab. 2.1 do capítulo anterior.

A temperatura interna deverá ser controlada com a regulação do sistema de condicionamento do ar. Ao se atingir a temperatura selecionada este sistema é desligado, sendo religado quando a temperatura saia da faixa de operação definida para o teste. Este processo deve ser realizado de forma contínua durante todo o período de ensaio, de forma automatizada, sem que o operador tenha que interferir no controle da temperatura e dos outros parâmetros.

O controlador recebe os dados dos sensores, compara com os definidos como padrão e, caso os valores sejam diferentes, envia um ou mais sinais para atuadores, que acionam ou não cada um dos dispositivos do equipamento.

Para que este sistema atue de forma correta, serão instalados termopares e sensores de umidade no interior da câmara. Os sensores de temperatura e umidade serão montados em suportes, fixados nas paredes e na porta do calorímetro, como o mostrado na Fig. 3.11, ficando ao redor do(s) corpo(s) de prova, totalizando quatro unidades de cada termopar e duas para o sensor de umidade.



Figura 3.11- Suporte para termopar

Tal controlador deverá possuir ao menos 6 entradas analógicas, uma para cada sensor. Nas saídas do controlador serão conectados os diferentes subsistemas. Será necessária uma saída para controlar o funcionamento da bomba (*on/off*), uma saída para controlar o funcionamento do desumidificador (*on/off*), uma saída para controlar as lâmpadas (*on/off*) e uma saída para controlar o módulo externo de abastecimento do trocador de calor (serpentina). Portanto, deverá possuir 4 saídas.

O controlador escolhido foi o FX-16, da fabricante Johnson Controls (mais detalhes em anexo). O controlador FX-16 fornece controle avançado em aplicações como: controle de centrais de água gelada, sistemas de controle ambiental, sistemas de iluminação distribuída, ou seja, aplicações exigem uma programação customizada e *standalone* que satisfaça os requisitos máximos de controle. O controlador deve ser alimentado com tensão de 24 V, corrente contínua, fornecido por um transformador de 220V para 24V.

Para transferir os programas para o CLP é necessário um conversor RS-485 para RS-232, que torna possível a comunicação do CLP com um computador pessoal. O controlador FX-16 vem com um *software*, fornecido pela própria fabricante, Johnson Controls.

Este controlador possui até seis entradas analógicas e 8 digitais, com nove saídas digitais. As saídas digitais possuem módulos que podem ser configurados com cinco tipos de saídas distintas: Tipo de ajuste de posição (PAT); Tipo de ajuste de duração (DAT); Tipo *On/Off*; Tipo *Start/Stop*; Tipo pulso. Também permite a utilização de diferentes programações, de acordo com um calendário, que pode ser utilizado para determinar as diferentes condições ambientes do ensaio de envelhecimento acelerado. Em anexo seguem mais detalhes acerca deste controlador.

As entradas analógicas podem ser configuradas de várias maneiras possíveis, de acordo com os sensores escolhidos, desde de sensores ativos (corrente elétrica ou voltagem) a passivos (resistivos).

Cada entrada analógica possui um módulo de conversão do sinal de entrada para um valor numérico expressado em unidade de engenharia, utilizando o valor máximo e mínimo da escala adotada. Cada entrada pode ser configurada para receber sensores do tipo: Ni1000 JC, Ni1000 JC *Extended*, Ni1000 Landis e Gyr, Ni1000 DIN, A99, Pt1000, NTC 2k2 ohm (ver em anexo para mais detalhes acerca das faixas de operação dos sensores).

Para cada uma das entradas pode ser configurada a unidade de medida, que pode ser para temperatura, porcentagem, pressão do ar, pressão do líquido, vazão, concentração, corrente elétrica (amperagem) e voltagem.

Os termopares serão os do tipo Pt1000, compatíveis com o CLP. Tais sensores possuem faixa de operação que varia entre -60°C a 120°C, variando de acordo com o fabricante (ver exemplo em anexo).

O sensor de umidade escolhido foi o HIH-4000-001 da fabricante Honeywell. Ambos sensores podem ser integrados a um controlador do tipo CLP (Controlador Lógico Programável), que recebe e analisa os dados e decide o que fazer, de acordo com a programação escolhida. Serão ao todo 4 termopares e 2 sensores de umidade, instalados nos suportes nas paredes internas das câmara.

## 4 MODIFICAÇÕES NA ESTRUTURA DA CÂMARA

*Este capítulo tem como objetivo apresentar as modificações necessárias para a instalação dos equipamentos constituintes de uma câmara de envelhecimento acelerado.*

### 4.1 MODIFICAÇÕES NA ESTRUTURA DA CÂMARA

Nesta seção serão apresentadas as modificações necessárias para se adaptar a câmara calorimétrica para a execução de ensaios de vida acelerado. Tais modificações visam a atender as normas que regem tais ensaios, com a introdução de equipamentos específicos para o tratamento do ar e controle e automação da câmara.

Todas as modificações propostas para a modernização da câmara foram pensadas de forma a diminuir alterações na estrutura da câmara, facilitando-se a montagem dos equipamentos e mantendo a estrutura original da câmara, preservando seu bom isolamento térmico.

Para a montagem do sistema de condicionamento do ar serão necessárias poucas modificações na estrutura da câmara. Serão necessários furos (quatro no total) na parede posterior da câmara para a passagem dos tubos de ambas as serpentinas (teto e piso). Para a fixação da serpentina no teto da câmara serão adotadas abraçadeiras com rosca M6.

Cada uma destas abraçadeiras, de acordo com o fabricante, possui capacidade de 700 N de carga máxima, são fabricadas em aço zincado, bastante resistente ao intemperismo. Serão adotadas ao todo dezesseis abraçadeiras, igualmente espaçadas, dispostas em duas fileiras de oito.

A serpentina que vai no piso será montada em uma estrutura metálica de suporte, onde, por cima, será instalado um piso, em chapas de alumínio. As chapas utilizadas como piso são antiderrapantes, o que favorece a segurança de quem for entrar/sair da câmara, devido ao piso molhado, com espessura de 2,7 mm. O piso será fixado à estrutura por rebites, em duas placas de 1620 x 810 mm.

A estrutura metálica será fabricada em metalon (fabricado em ferro galvanizado), com dimensões 20x20 mm. Este material é de fácil obtenção, barato, e de fácil manuseio (corte, solda, etc.), sendo muito utilizado na oficina mecânica do SG-9. Mais abaixo, na Fig. 4.1, pode-se ver a montagem da serpentina na estrutura metálica de suporte do piso.

Para a instalação do sistema de aspersão será necessário apenas um furo no teto da câmara (bitola de 32 mm), para a entrada da tubulação hidráulica e um furo no piso, para a instalação do dreno (bitola

de 25 mm). A tubulação hidráulica será fixada na parte externa, por abraçadeiras como as utilizadas para a fixação da serpentina no teto da câmara.

Nas Figuras 4.2 e 4.3 podem-se ver a montagem da tubulação hidráulica, junto da calha de retorno e do reservatório principal (tambor metálico). Nestas Figuras também pode-se ver os furos necessários para a passagem dos tubos de cobre da serpentina.



Figura 4.1- Montagem da serpentina na estrutura metálica de suporte do piso

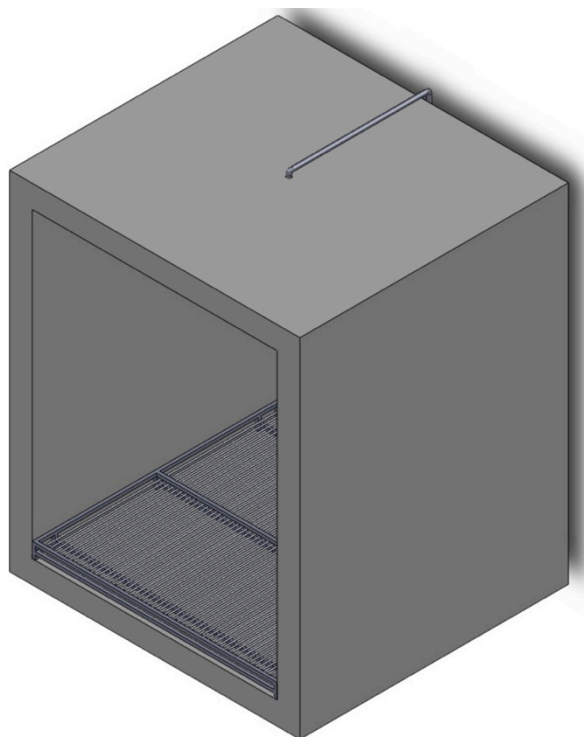


Figura 4.2- Vista isométrica com a montagem da estrutura do piso, serpentinas e tubulação hidráulica

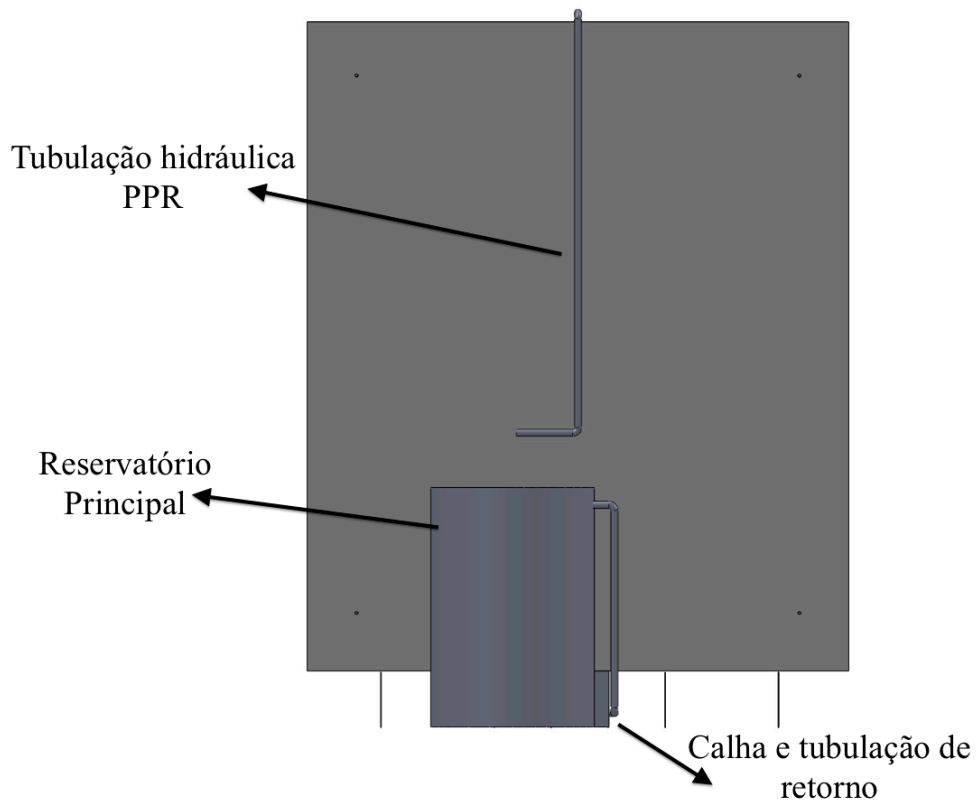


Figura 4.3- Vista posterior da câmara

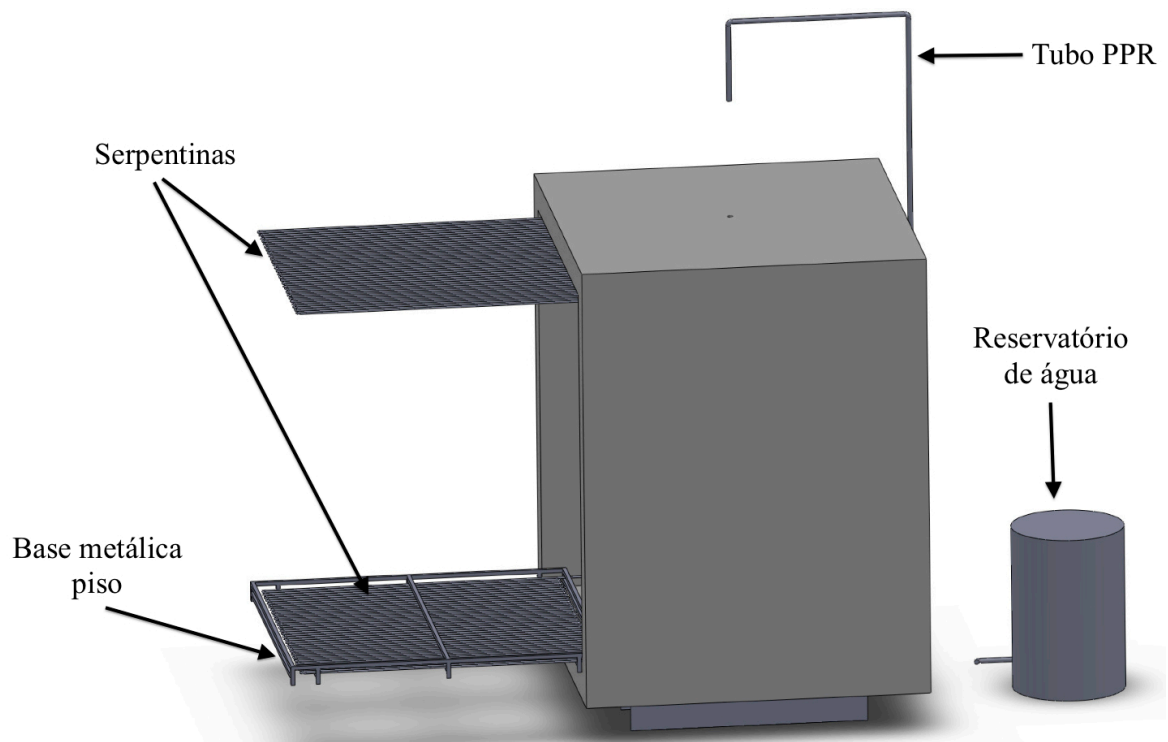


Figura 4.4- Vista Explodida montagem câmara com componentes

## 5 ENSAIO SOB CONDIÇÕES NATURAIS

*Este capítulo tem como objetivo apresentar como foi realizado o teste sob condições naturais de exposição de alguns materiais selecionados. Neste capítulo também será apresentado o aparato experimental e uma análise dos resultados obtidos.*

### 5.1 METODOLOGIA PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO

Com o objetivo de demonstrar o efeito do intemperismo nos materiais, um ensaio sob condições naturais foi realizado no período entre Janeiro e Junho de 2011. Para este ensaio foram escolhidos dois tipos de materiais poliméricos, um fabricado em polipropileno e o outro em *nylon*.

Para a realização do ensaio de envelhecimento natural foi necessário primeiramente construir um suporte para a exposição dos corpos de prova. Este foi confeccionado na oficina do SG-9, com o auxílio dos técnicos. Foi fabricado em aço, sendo este revestido com uma camada de tinta branca fosca, para evitar a formação de ferrugem.

O suporte possui uma área plana para a colocação de corpos dos prova e uma parte dedicada para ensaios de corpos delgados, como fios e cabos. Neste caso os fios ou cabos são fixados na base e são esticados, passando por cima do tubo superior e sendo fixados na outra ponta.

Como dito anteriormente, foram escolhidos dois tipos de materiais diferentes, muito utilizados no dia-a-dia. O primeiro escolhido foi o polipropileno, encontrado em diversos materiais e aqui representado por uma mangueira transparente, do tipo cristal, comumente utilizada na construção civil e em equipamentos de refrigeração. O segundo material escolhido foi o *nylon*, sendo escolhida uma corda feita deste material para ser submetida a uma exposição sob tração, para simular uma condição de trabalho.

Para obtenção dos dados climáticos foi utilizado o portal do INMET na *internet* (<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>). Neste portal pode-se encontrar o valor da temperatura de bulbo úmida, umidade relativa, nível de radiação solar, pressão atmosférica, entre outros dados. Estes dados são apresentados em formas de tabelas, em que na coluna da esquerda é apresentada a hora solar, baseada em relógios atômicos, chamada de UTC (*Universal Time Coordinated*).

O suporte foi posicionado de forma a garantir máxima exposição solar aos corpos de prova, longe de qualquer obstáculo que possa fazer sombra sobre estes. Para tanto este foi dotado de pés



adaptativos em altura, de forma a garantir uma inclinação adequada de acordo com a orientação do Sol em Brasília.

O ensaio se iniciou no dia 20/01/2011. Após o primeiro mês de exposição, duas amostras de cada um dos corpos de prova foram removidos e submetidos à inspeção visual. Não foi possível realizar testes de dureza e tração das amostras devido a não disponibilidade de equipamentos e à falta de tempo para realizar os testes. Este procedimento foi repetido após três meses e seis meses de exposição.

Durante o período do ensaio as amostras foram submetidas a um nível de radiação médio de 1495  $\text{kJm}^2$ , sendo o mês de Abril com maior incidência solar, com uma média de 1619  $\text{kJm}^2/\text{dia}$ . O dia com maior incidência solar foi 27/03/2011, com um média de 2085  $\text{kJm}^2$ .

## **5.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os corpos de prova não apresentaram um nível de degradação elevado durante o período do ensaio. Não foi possível realizar testes quantitativos, uma vez que não havia a disponibilidade de equipamentos para aferir algumas das propriedades mecânicas das amostras antes e depois do ensaio. As análises foram feitas a partir da observação visual e testes subjetivos de tato, comparando amostras sem exposição com amostras que foram expostas.

As amostras de nylon aparentaram ter as mesmas propriedades mecânicas quando comparadas a amostras não submetidas ao intemperismo, embora as amostras com mais tempo de exposição tiveram um ligeiro amarelamento.

As amostras de polipropileno mostraram grau um pouco maior de degradação. Quanto ao aspecto visual, percebe-se um ligeiro aumento na opacidade das amostras, que aumenta com o aumento do período de exposição. Quanto às propriedades mecânicas, observou-se um aumento na rigidez das amostras que ficaram mais tempo no ensaio.

Como pode ser visto por estes resultados, há a necessidade de um tempo maior para a realização de um ensaio de envelhecimento natural para se conseguir resultados mais expressivos de degradação. Mesmo no período de seis meses deste ensaio, as amostras apresentaram um pequeno nível de degradação. Isto corrobora para o uso de equipamentos para a realização de ensaios de envelhecimento acelerado, que apresenta, resultados em tempos bem mais curtos que os ensaios naturais.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

*Este capítulo tem como objetivo apresentar as conclusões, bem como apresentar os passos necessários para a continuação deste trabalho.*

### 6.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho foram adotadas serpentinas para a climatização da câmara, uma vez que conseguem fornecer um campo de temperatura praticamente constante na região onde o ensaio será efetuado; foram selecionadas as lâmpadas fluorescentes para simulação de exposição à radiação UV; foi definido como será o sistema de aspersão, que contará com um bico aspersor, alimentado por uma bomba hidráulica; foi definido o CLP para o sistema de controle e automação da câmara, que é bastante versátil e permite diversas programações diferentes.

Espera-se, que a partir deste trabalho, esta câmara possa ser construída e entrar em operação. Como dito anteriormente, este tipo de equipamento tem grande importância na indústria, principalmente nas etapas de projeto/desenvolvimento de novos produtos. Embora no País existam laboratórios especializados em realizar testes de envelhecimento acelerado, a tecnologia empregada é estrangeira.

Como etapa complementar deste trabalho há ainda o projeto do módulo externo, que fornecerá o fluido de trabalho para o sistema de condicionamento. Sem este importante equipamento a câmara não entrará em operação.

Por meio da realização de um ensaio de envelhecimento natural observou-se que há a necessidade de tempos de exposição bastante elevados, pelo menos 1 ano, dependendo do material do corpo de prova. Isto estimula o desenvolvimento de equipamentos capazes de acelerar o intemperismo e apresentar resultados em um intervalo de tempo menor. Com este projeto, espera-se que se estimule o desenvolvimento de tais tecnologias em solo Nacional, aproveitando-se do excelente capital humano existente no Brasil.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Alessandra E. F. de S.; FERREIRA, Osny P.; Revista Ibero-americana de Polímeros, “Propriedades mecânicas e visco elásticas”, Volume 7, Março de 2006.

ATAÍDE, Eduardo Juliano Lemes de Santos; DA COSTA, Marcelo Santos; Projeto de Graduação, Análise Experimental de Compressores de Refrigeração, UnB, 2005.

ASSIS, Sérgio Luiz de; Estudo Comparativo de Ensaio Acelerados para simulação da corrosão atmosférica, Dissertação para obtenção de Grau de Mestre, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN, São Paulo, 2000.

ASTM G 151, *American Society for Testing and Materials*, “Standard Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources”, 2004.

ASTM G 152, *American Society for Testing and Materials*, “Standard Practice for Operating Open Flame Carbon Arc Light Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials”, 2004.

ASTM G 153, *American Society for Testing and Materials*, “Standard Practice for Operating Enclosed Flame Carbon Arc Light Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials”, 2004.

ASTM G 154, *American Society for Testing and Materials*, “Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials”, 2004.

ASTM G 155, *American Society for Testing and Materials*, “Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials”, 2004.

ASTM G 159, *American Society for Testing and Materials*, “Standard Tables for References Solar Spectral Irradiance at Air Mass 1.5: Direct, Normal and Hemispherical for a 37° Tilted Surface”, 2004.

AZUMA, Y.; TAKEDA, H.; WATANABE, S.; NAKATANI, H.; *Outdoor and accelerated weathering tests for polypropylene and polypropylene/talc composites: A comparative study of their weathering behavior*, 2009.

BRADY, George S.; VACCARI, John A.; CLAUSER Henry R.; *Materials Handbook*, 15ª Edição, McGraw-Hill Handbooks, 2000.

BRYDSON, John Andrew; *Plastics Materials*, 7ª Edição, ISBN 0750641320, 1999.

CALLISTER, William D. Jr.; *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, 5ª Edição, ISBN 047139551X, 2001.

ÇENGEL, Yunus A.; *Transferência de Calor e Massa*, 3ª Edição, ISBN 8577260755, 2009.

DE PAOLI, Marco Aurelio; *Degradação e Estabilização de polímeros*, 2ª versão *on-line*, 2008.

DOS SANTOS, Bruce; DOS SANTOS, Robson Ribeiro; Projeto de Graduação, Instrumentação e controle de uma bancada de testes de Compressores na fase de vapor superaquecido, UnB, 2006.

FELDMAN, D.; *Polymeric Building Materials*. Elsevier Applied Science, 1989.

FERREIRA, José Carlos Correia de Gouveia; Estudo da degradabilidade de poliestireno modificado quimicamente, Universidade do Minho, 2004.

FORD DVM 0038 MA- *Outdoor Weathering – Resistance – Instrument Panels – Visual*;

- GRASSIE, N. y Scott, G. “*Polymer Degradation and Stabilization*”, Cambridge University Press, 1985.
- HAILLANT, Olivier; *Accelerated weathering testing principles to estimate the service life of organic PV modules*, 2010.
- HAILLANT, Olivier; DUMBLETON, David; ZIELNIK, Allen; *An Arrhenius approach to estimating organic photovoltaic module weathering acceleration factors*, 2011.
- INCROPERA, Frank P.; WITT, David P.; *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*, 6ª Edição, ISBN 8521615841, 2008.
- ISO 21348, *International Organization of Standardization, “Space environment (natural and artificial), Process for determining solar irradiances”*, 2007.
- JAQUES, L. F. E.; *Accelerated and outdoor/natural exposure testing of coatings*, 2000.
- MAHONEY, A. R.; CANNON, J. E.; WOODWORTH, J. R.; *Accelerated UV-Aging of Acrylic Materials Used in PV Concentrator Systems*, Albuquerque, Novo México, 1993.
- McGRATH, Paul b.; XU, Guoxiang; BURNS, Clayton W.; *Surface Degradation of Polymer Insulators under Accelerated Climatic Aging in Weather-Ometer*, Quebec, Canadá, 1996.
- NISSAN NES MO 094- *Weatherability and Light Resistance Test Methods for Synthetic Resin Parts*;
- REAL, Luis Pimentel; ROCHA, Adélia Pereira; GARDETTE, Jean-Luc; *Artificial accelerated weathering of poly(vinyl chloride) for outdoor applications: the evolution of the mechanical and molecular properties*, 2003.
- SAE J2020, *Society of Automotive Engineers, “Accelerated Exposure of Automotive Exterior Materials Using a Fluorescent UV and Condensation Apparatus”*, 2003;
- SAE J 2527, *Society of Automotive Engineers, Performance Based Standard for Accelerated Exposure of Automotive Exterior Materials Using a Controlled Irradiance Xenon-Arc Apparatus*, 2004;
- STOECKER, Wilbert F.; JONES Jerold W.; *Refrigeração e ar condicionado*; tradução José M. Saiz Jabardo et al, São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- VARGHESE, Jobi Kodiyan; NA, Sung Jae; PARK, Ji Hae; WOO, Dongjin; YANG, Inmo; LEE, Bun Yeoul; *Thermal and weathering degradation of poly(propylene carbonate)*, 2010.
- WASHINGTON L., Oliani et al; *Foto oxidação do HMS-PP sob condições de intemperismo ambiental e artificial*, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2009.
- <http://www.ija.csic.es/>, *Institut de Ciències de La Terra Jaume Almer*, acesso em 28/05/2011.
- <http://www.inmet.gov.br>, Instituto Nacional de Metrologia, último acesso em 21/01/2011.
- <http://www.phillips.com>, Catálogo lâmpadas fluorescentes, acessado em 18/11/2010.
- <http://www.umicontrol.com.br>, Catálogo bico aspersor, acessado em 23/11/2010.
- <http://www.wmotechnologies.com/pdfs/FX16.PDF>, Catálogo técnico CLP Johnson Controls FX16, acessado em 28/05/2011.

# ANEXOS

	Pág.	
Anexo I	Dados da câmara calorimétrica utilizada no projeto.	54
Anexo II	Dados da lâmpada fluorescente PHILIPS modelo TL/12 <i>Medical Therapy</i> .	55
Anexo III	Dados do aspersor selecionado.	56
Anexo IV	Dados técnicos da bomba selecionada para sistema de aspersão de água.	57
Anexo V	Simulações computacionais realizadas no <i>software</i> de elementos finitos ANSYS.	58
Anexo VI	Dados técnicos desumidificador selecionado.	63
Anexo VII	Memorial de cálculo para o dimensionamento das serpentinas.	64
Anexo VIII	Dados técnicos do CLP selecionado.	66
Anexo IX	Sensores de temperatura e umidade selecionados.	67
Anexo X	Desenhos Técnicos.	69

A câmara calorimétrica utilizada neste projeto foi originalmente desenvolvida para ensaios em componentes térmicos (ATAÍDE; DA COSTA, 2005) Esta foi construída com chapas de alumínio com uma camada de isopor entre elas.

Ela é dotada de um sistema de refrigeração composto por um *fan coil*, situado no interior da câmara, e uma unidade de água gelada, situada na parte superior externa. Estes dois componentes serão removidos, pois não serão mais utilizados. Há sensores de temperatura (termopares) espalhados no interior, fixados em hastes de metal presas às paredes esquerda, direita, posterior e à porta, utilizados para medir a temperatura do ar interno.

Suas dimensões internas são: 1620 mm de largura, 2000 mm de altura e 1625 mm de profundidade. A seguir pode-se ver algumas fotos deste equipamento, situado no Bloco G da Faculdade de Tecnologia (FT). Na Fig. A1 é mostrada uma vista do calorímetro com a porta aberta.



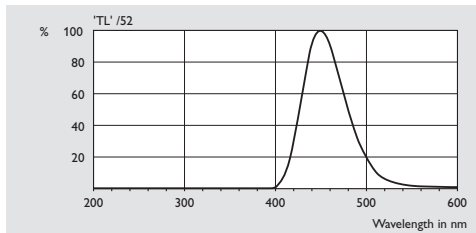
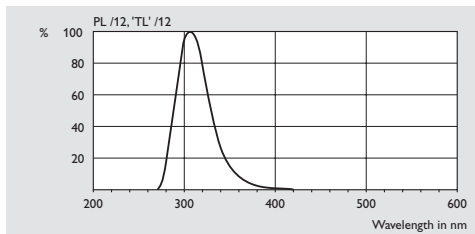
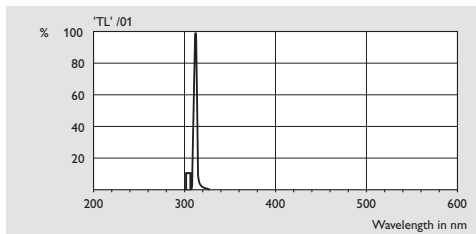
Figura A1- Vista frontal da câmara calorimétrica, porta aberta

Abaixo tem-se o catálogo da lâmpada utilizada no projeto.

**Special fluorescent lamps**

**Medical/therapy**

Type	Cap/ base	Lamp voltage V	Lamp current A	Lamp wattage W	Colour designation	UV-B radiation W	Useful life h	Depreciation 2000 hrs %	Nett weight g	Ordering number	EOC
<b>/01</b>											
TL'20W /01RS	G13	57	0.37	20	UV-B	1.90	3000	20	156	9280 100 00100	639745
TL'100W /01	R17D	122	0.97	100	UV-B	15	3000	20	410	9280 349 00100	614254
<b>/12</b>											
TL'20W /12RS	G13	57	0.37	20	UV-B	1.80	3000	20	156	9280 100 01200	628831
TL'40W /12RS	G13	101	0.43	40	UV-B	4.50	3000	20	292	9280 113 01200	628862
TL'100W /12	R17D	122	0.97	100	UV-B	11	2000	20	410	9280 349 01200	614285
PL-S9W /12	G23	60	0.17	9	UV-B	0.75	3000		41	9279 017 01200	626257
<b>/52</b>											
TL'20W /52	G13	57	0.37	20	MEDICAL		2000	20	156	8222 206 80700	612205



Spectral power distributions

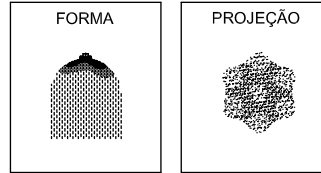
ANEXO III: Dados sobre o aspersor selecionado.



**UM-19 BICO SPRAY LAVADORES**

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

- SPRAY COM SAÍDAS MULTIPLAS (6) DISPOSTAS DE FORMA A PROJETAR O JATO DE PULVERIZAÇÃO SATURANDO TODO O ESPAÇO
- ESPECTRO DE PULVERIZAÇÃO RADIAL
- PROJEÇÃO CONE CHEIO
- ROSCA 3/4"; 1"; 1. 1/2"; 2. 1/2" - BSP OU NPT FÊMEA
- MODELO COM DISTRIBUIÇÃO UNIFORME
- PROJETADO PARA UMA EXCEPCIONAL RESISTÊNCIA AO DESGASTE
- ALTA EFICIÊNCIA PARA LAVAGEM, COM REDUÇÃO DO RISCO DE ENTUPIMENTO
- MATERIAIS: LATÃO, INOX, PVC E POLIPROPILENO

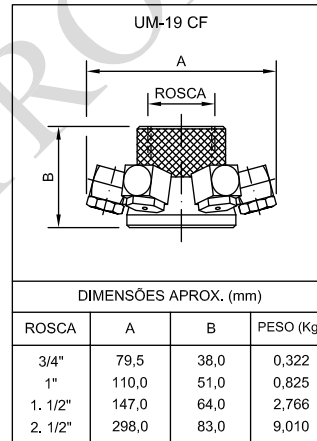


**APLICAÇÕES:**

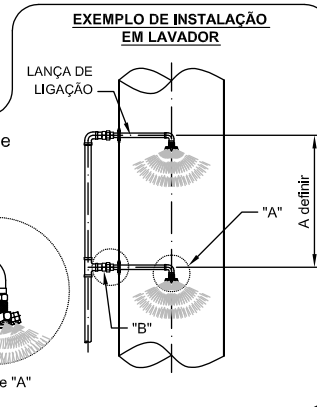
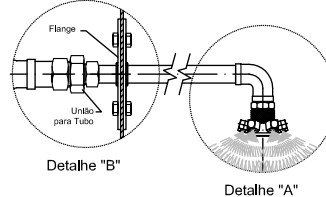
- ABATIMENTO DE PÓ
- RESFRIAMENTO
- LAVAGENS DE AR, GÁS
- CONTRA INCÊNDIO
- MISTURA
- CONTROLE DE IMPUREZAS
- CONTROLE DE ESPUMA
- QUAISQUER OUTRAS APLICAÇÕES

Fabricamos com outras especificações sob consulta

MODELO	ROSCA NPT/BSP	SAÍDA Ø mm	ÂNGULOS DISPONÍVEIS: 100° - 130° - 160°								
			VAZÃO - LIT. / MIN								
			kg / cm <sup>2</sup>								
			0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
UM-19 / 1	3/4"	1,0	0,96	1,38	1,68	1,92	2,34	2,7	3,06	3,30	3,6
UM-19 / 2		1,5	1,92	2,7	3,3	3,84	4,68	5,4	6,0	6,60	7,2
UM-19 / 3		2,0	3,84	5,4	6,6	7,8	9,6	10,8	12,0	13,2	14,4
UM-19 / 4		2,5	5,76	8,4	10,2	11,4	13,8	16,2	18,0	19,8	21,6
UM-19 / 5		3,5	9,6	13,8	16,8	19,2	23,4	27,0	30,6	33,0	36,0
UM-19 / 6		4,0	15,6	21,6	26,4	30,6	37,8	43,2	48,6	53,4	57,6
UM-19 / 7		4,5	19,2	27,0	33,0	38,4	46,8	54,0	60,6	66,6	72,0
UM-19 / 18	1"	5,5	28,8	40,8	49,8	57,6	70,2	81,6	91,2	99,6	107
UM-19 / 19		6,5	38,4	54,0	66,6	76,8	94,2	108	120	132	144
UM-19 / 20		7,5	48,0	67,8	82,8	96,0	117	138	150	168	180
UM-19 / 21		8,0	57,6	81,0	99,6	115	138	162	180	198	216
UM-19 / 22		8,0	43,8	62,4	76,2	88,2	108	126	138	150	168
UM-19 / 23	8,5	53,4	75,6	93,0	107	132	150	168	186	198	
UM-19 / 39	1.1/2"	7,5	68,4	97,2	119	138	168	192	216	240	258
UM-19 / 40		9,5	91,8	132	156	186	222	258	288	318	342
UM-19 / 41		11,5	115	162	198	228	282	324	360	396	426
UM-19 / 42		13,5	162	228	276	318	396	456	510	558	600
UM-19 / 54	2.1/2"	12,8	186	258	318	366	450	516	582	636	684
UM-19 / 55		14,2	204	294	354	414	504	582	654	714	774
UM-19 / 56		15,5	228	324	396	456	564	648	726	792	858
UM-19 / 57		17,0	276	390	474	552	672	780	870	954	1032
UM-19 / 58		20,5	342	486	594	690	840	972	1086	1194	1290



Fabricamos, também, lanças de ligação sob medida.

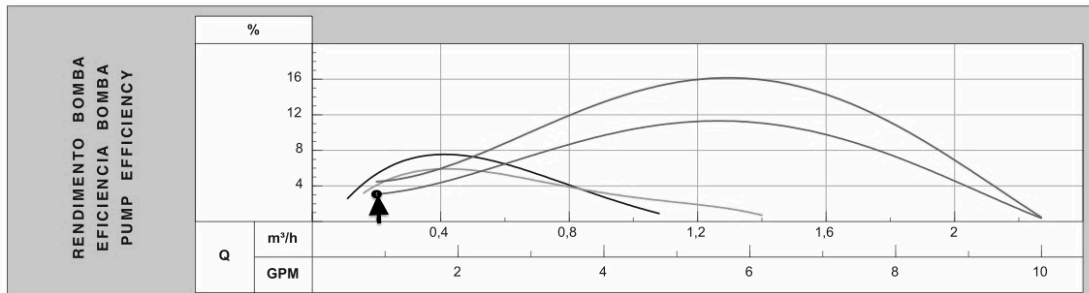
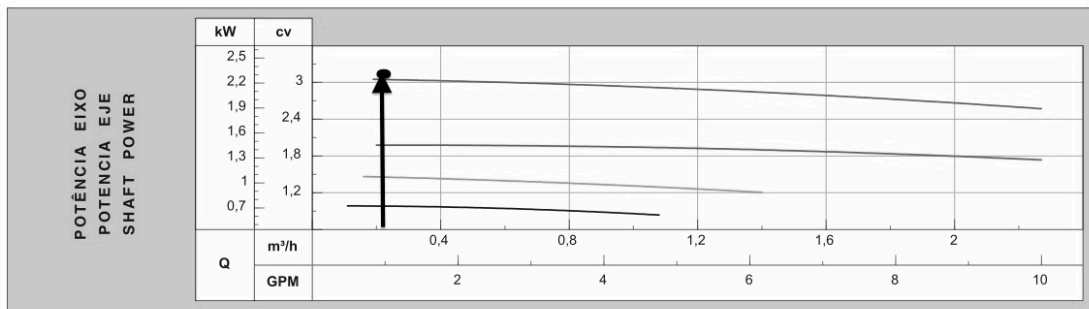
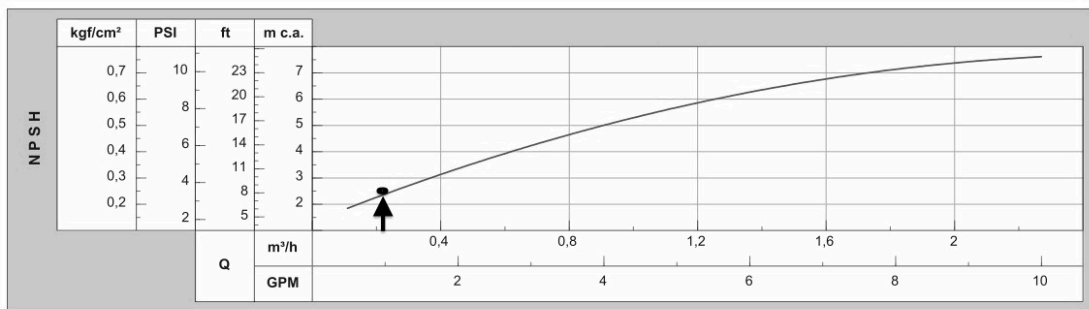
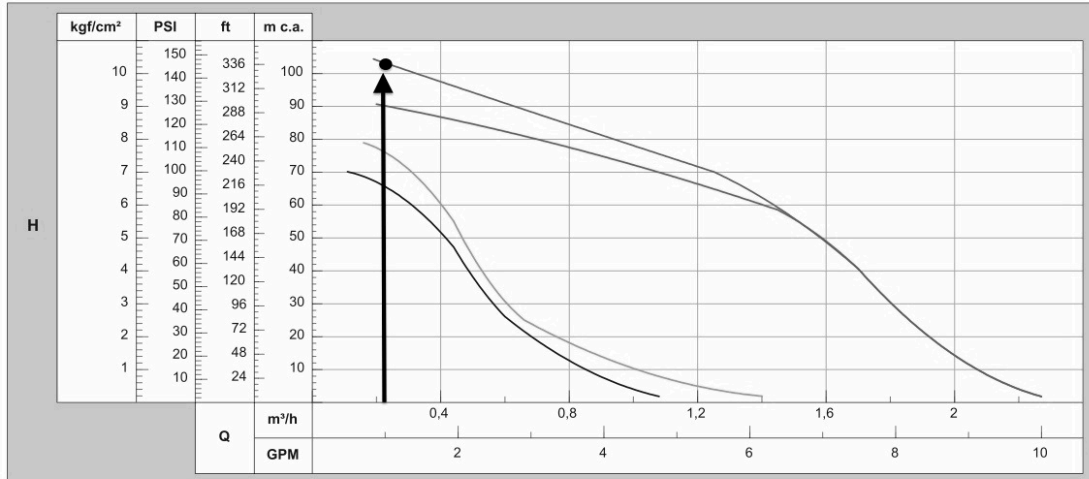


Fones: (0XX11) 4076-1066 4076-3313 - Site: www.umicontrol.com.br



ANEXO IV: Dados técnicos da bomba selecionada para sistema de aspersão de água.

<b>SCHNEIDER</b> MOTOBOMBAS	<b>MODELO</b>	<b>BC-92 S/T AV</b>	<b>80457</b>	<b>sch NAC</b>		
	<b>MODEL</b>			<b>60 Hz</b> II pólos/polos/poles		
Sucção / Succión / Suction	3/4"	Potência / Potencia / Power [kW(cv)]	0,75 (1)	1,1 (1,5)	1,5 (2)	2,2 (3)
Recalque / Descarga / Discharge	3/4"	Rotor / Impulsor / Impeller [mm]	140	150	157	154



Obs.: - Curvas características conforme ISO 9906 anexo "A".  
 - Desempeño hidráulico de acuerdo a la ISO 9906 anexo "A".  
 - Hydraulic performance according to ISO 9906 annex-A.

Revisão 00 - Março 2008

C

Como discutido no Capítulo 3 deste trabalho, foram realizadas simulações computacionais para se conhecer o perfil de velocidades do ar no interior da câmara para diferentes configurações de entrada de ar. Desta forma foi possível escolher, dentre as opções sugeridas, qual a que melhor se adequava ao projeto.

Para as simulações apresentadas anteriormente, foi adotado o modelo de solução SST (*Shear Stress Transport*). Este método é baseado no transporte da tensão de cisalhamento devido à turbulência e possui bastante acurácia. As equações que governam este modelo são apresentadas a seguir. A primeira apresentada é a da energia cinética devido a turbulência,  $k$ , e a segunda para a frequência,  $\omega$ .

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} k) = \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \beta \rho k \omega, \quad (A1)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \omega) = \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \nabla \omega \right] + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \rho \omega^2, \quad (A2)$$

O tensor de tensões é calculado como sendo:

$$\tau = \mu_t 2s - \rho \frac{2}{3} \delta k, \quad (A3)$$

Estas equações foram retiradas da documentação que acompanha o próprio *software*. Para as simulações com insuflamento de ar quente foram consideradas as seguintes condições de contorno: paredes adiabáticas e regime permanente.

A seguir, tem-se os resultados das demais simulações apresentadas no capítulo 3. Os resultados são semelhantes aos apresentados anteriormente.

Na Figura A2 é apresentado o perfil de temperaturas para a simulação 3, na Figura A3 para a simulação 4, na Figura A4 para a simulação 5 e na Figura A5 para a simulação 6, respectivamente.

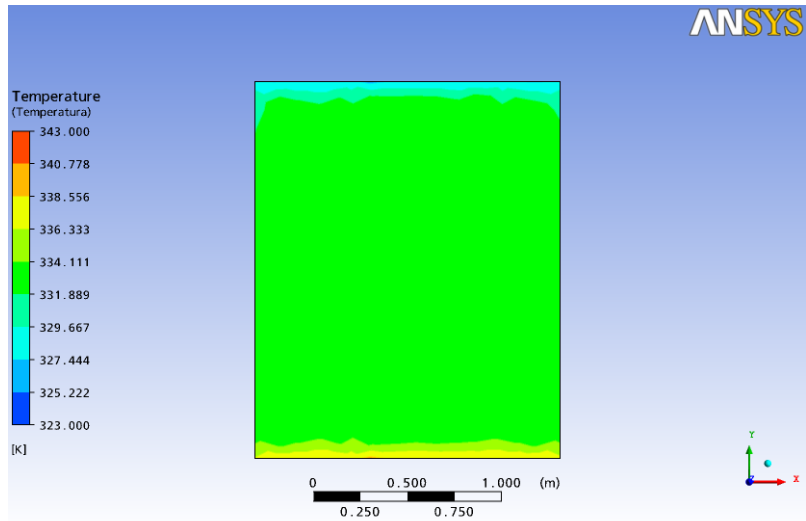


Figura A2- Perfil de temperaturas para simulação 3.

ANSYS

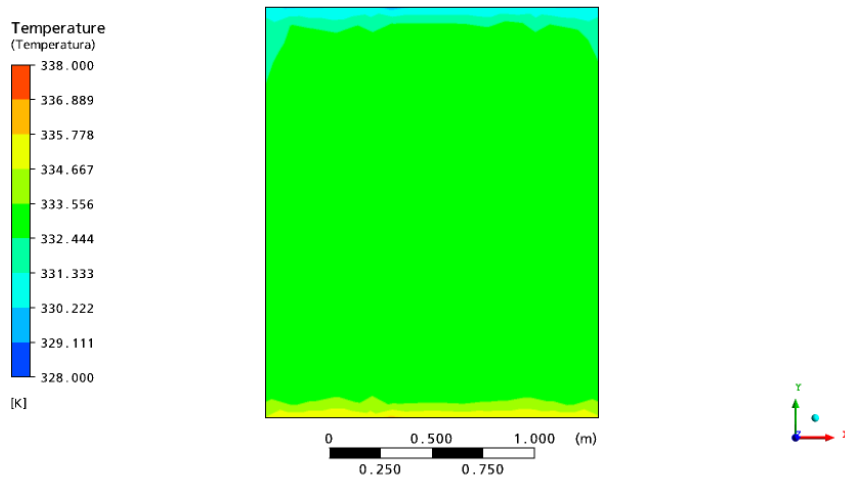


Figura A3- Perfil de temperaturas para simulação 4.

ANSYS

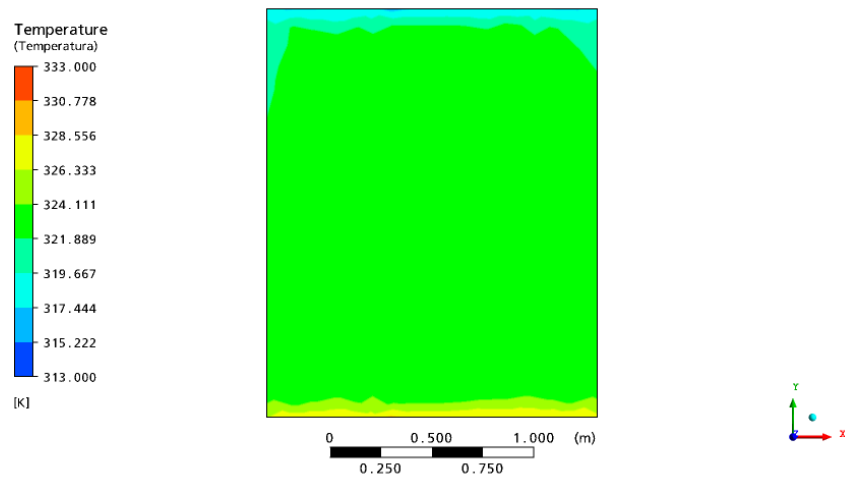


Figura A4- Perfil de temperaturas para simulação 5.

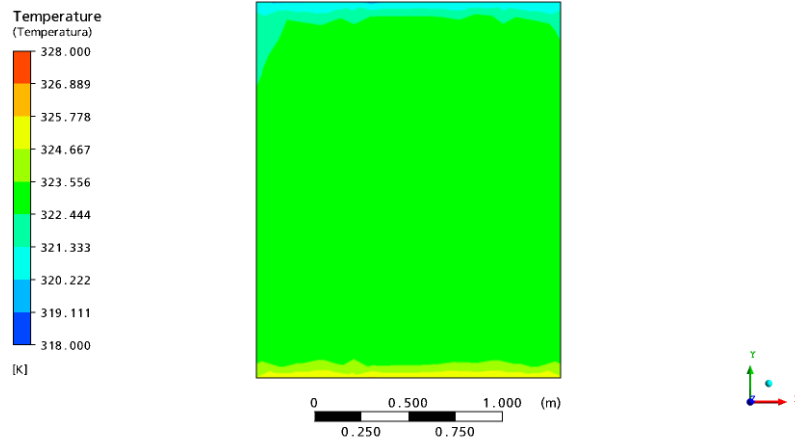


Figura A5- Perfil de temperaturas para simulação 6.

A seguir são apresentadas os resultados das simulações para o caso do uso de *fancoil*. Estas simulações foram realizadas partindo-se do pressuposto de uma alimentação de ar quente a uma temperatura de 80°C, com uma velocidade de saída dos difusores/grelhas de insuflamento de 1 m/s. Neste caso, foram consideradas quatro configurações diferentes, sendo estas mostradas nas figuras a seguir.

Em todas elas o ar seria insuflado por um *plenum* situado sobre o teto da câmara, sendo este abastecido pela saída do *fancoil*, conectados por dutos de ar. Com a utilização do *plenum* pode-se garantir um abastecimento de ar uniforme em todas as entradas de ar, pois a pressão no interior deste se mantém relativamente constante.

Na Fig. A.6 foi adotado o insuflamento do ar por quatro grelhas de insuflamento, sendo o retorno efetuado por duas grelhas situadas na parede posterior da câmara. Todas as grelhas possuem as mesmas dimensões, sendo estas 625x425 mm (LxA), da marca Trox, modelo VAT.

Na Fig. A.7 foi adotado o insuflamento sendo feito por uma grelha centralizada no teto da câmara e o retorno por uma grelha no centro do piso. Ambas as grelhas possuem as mesmas dimensões, 1025x525 mm (LxA), também da marca Trox, modelo VAT.

Na Fig. A.8 foi adotado o insuflamento sendo efetuado por um difusor de quatro vias centralizado no teto da câmara, sendo o ar insuflado a um ângulo de cerca de 45° em relação ao teto da câmara. Tal difusor possui dimensões de 800x800 mm (LxA), da marca Trox, modelo DLQ. O retorno, neste caso, foi efetuado por um grelha com 1025x525 mm (LxA), marca Trox, modelo VAT.

Na Fig. A9 foi adotado o mesmo difusor para o insuflamento do ar, mas desta foram utilizadas duas grelhas de retorno localizadas na parede posterior da câmara, sendo estas com dimensões 625x425 mm (LxA), da marca Trox, modelo VAT.

Dentre as opções de insuflamento do ar descritas acima, a opção com o insuflamento do ar por um difusor central se mostrou bastante aceitável. Com relação ao retorno do ar, pode-se ver que não há diferença significativa entre se utilizar o retorno por um plenum no piso ou por fazer o retorno pela parede posterior da câmara. Neste caso, devido à facilidade de montagem, é preferível fazer o retorno do ar por esta última alternativa.

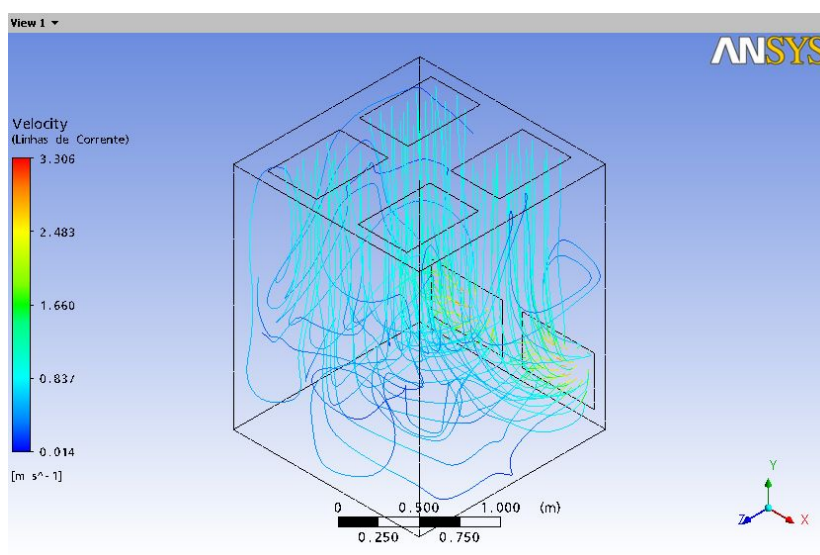


Figura A.6- Simulação configuração com quatro grelhas de insuflamento e duas de retorno

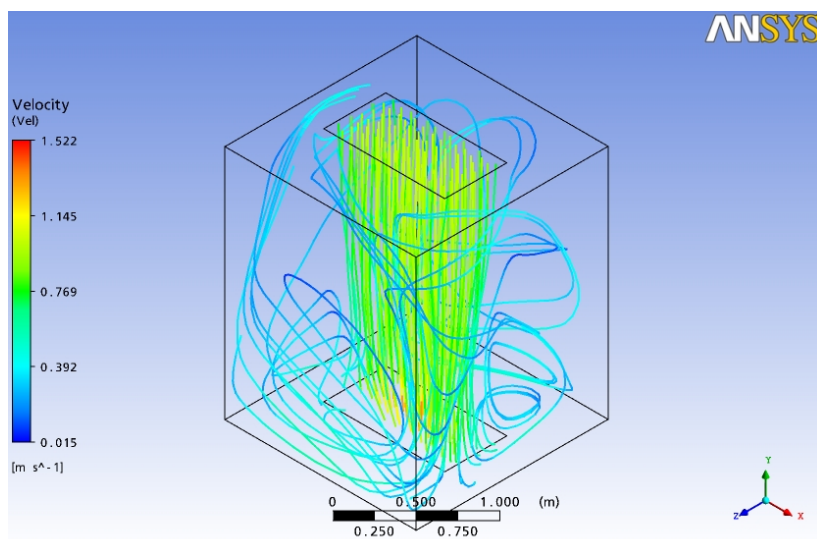


Figura A.7- Simulação com uma grelha de insuflamento e uma de retorno

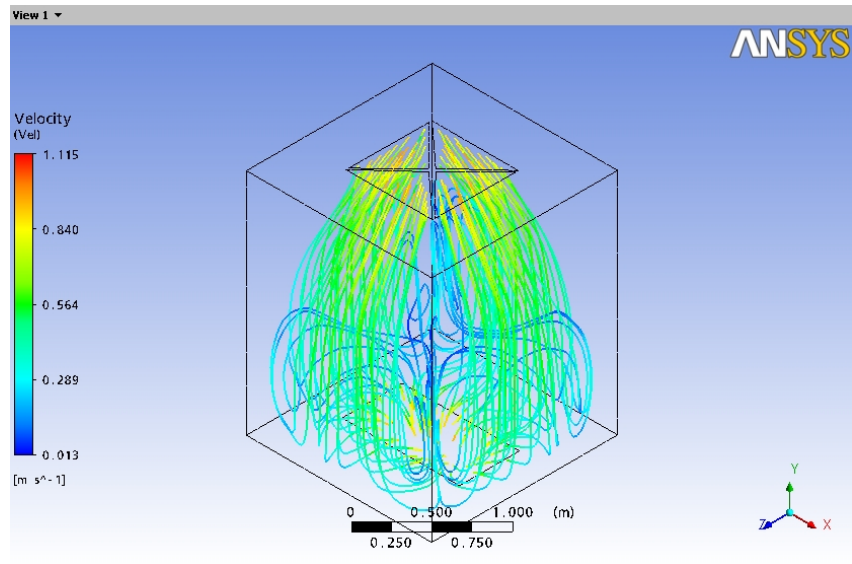


Figura A.8- Simulação com insuflamento por difusor central de 4 vias e retorno por grelha no piso da câmara

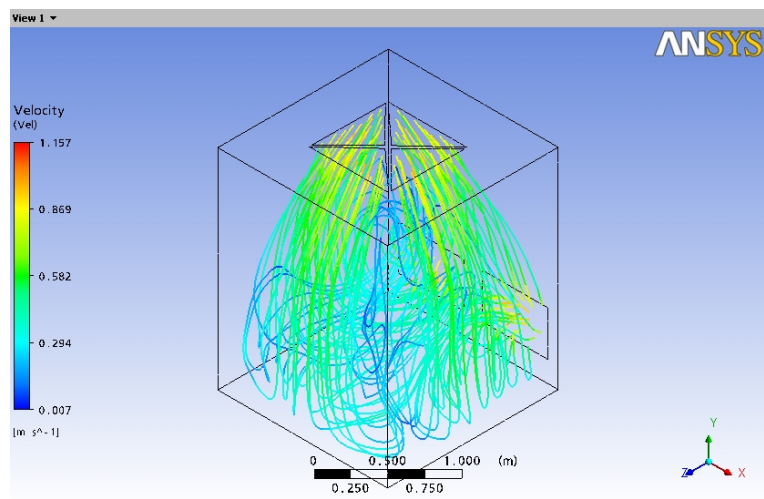


Figura A.9- Simulação com insuflamento por difusor central de 4 vias e retorno por grelhas na parede posterior

## CATALOGO TÉCNICO



### DESUMIDIFICADOR (MECÂNICO)

#### Conceito

O princípio de funcionamento é bastante simples, consiste em oferecer uma superfície suficientemente fria para condensar (mudança da fase vapor para a fase líquida) a água incorporada ao ar, tal qual uma geladeira residencial, que acumula gelo proveniente da umidade removida do ar que adentra o compartimento.

No desumidificador não ocorre a formação de gelo, indesejável para este processo, existe inclusive um moto ventilador que circula o ar do ambiente pelo aparelho, garantindo a uniformidade do índice de umidade em todo o compartimento.

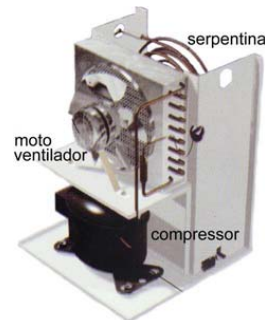


#### Principais Vantagens

- ✓ Acabamento por impregnação eletrostática (epóxi).
- ✓ Alças para pega lateral.
- ✓ Botão on/off.
- ✓ Rodízios para movimentação.
- ✓ Reservatório para o condensado.
- ✓ Adaptador para dreno direto.
- ✓ Umidostato mecânico para ajuste do índice.
- ✓ Sinaleiro indicador de reservatório cheio.
- ✓ Dispositivo antiderramamento do condensado.
- ✓ Diversas capacidades.
- ✓ Baixíssimo consumo de energia elétrica.
- ✓ Silencioso e praticamente isento de manutenção.
- ✓ Produto 100% nacional.

#### Aplicação

- Residências (closet, aparelhos eletrônicos, bibliotecas);
- Laboratórios (cromatografia, metrologia, estoque...);
- Hospitais (tomografia, radiologia, estoque...);
- Bancos (centro de computação, microfílm...);
- Produtoras (ilha de edição, arquivo de fitas...);
- Museus e Bibliotecas (sala de arquivos e documentos, sala de exposição...);
- Hotéis (eliminação de bolor e mau odor);
- Indústrias em geral (estoque, produção, eletroeletrônicos, manipulação, curtumes, conservação de peles...);
- Entre outros



#### Características Técnicas

Item	Un.	Modelos			
		DS 150	DS 200	DS 300	DS 400
Volume ambiente (capacidade)	M3	150	220	300	400
Capacidade de condensação (24 hrs.)*	Lt.	6/8	10/12	13/15	15/18
Índice mínimo***	%UR	45% a temperatura de +10°C			
Temp. mínima de funcionamento	°C	+4			
Volume de ar circulado	M3/h	500			700
Cap. do reservatório de condensado	Lt.	3			
Alimentação	V.	110/220			
Potência	Hp.	1/6	1/5	1/4	1/3
Consumo	W.	100	320	390	420
Altura	Cm.	45	49,5	49,5	60
Largura	Cm.	33,5	33,5	33,5	41
Profundidade	Cm.	35	38	38	41
Peso**	Kg.	21	27	28	34
Observações	(*) Volume de condensado obtido na média diária, à temp. de 27°C e 70% de UR. (**) Peso com o reservatório de condensado vazio. (***) Grandezas inversamente proporcionais, quanto maior a temperatura menor o índice de umidade relativa obtido.				

R. Cabo Oscar Rossini, N° 985, Pq N. Mundo, CEP 02186-030, São Paulo/SP – Fone: (11) 6967-0942

Fis. 1/1

Isolamento Termoacústico – Refrigeração – Climatização – Aquecimento – Umidade Relativa

## ANEXO VII: Memorial de cálculo para o dimensionamento das serpentinas.

---

File:C:\Documents and Settings\Mac-UnB\Desktop\Serpentinas.EES

12/5/2011 19:08:46 Page 2

EES Ver. 8.596: #2450: For use only by students and faculty in Mechanical Engineering, University of Brasília, Brazil

*Dimensionamento Serpentina*

*Dados de entrada*

$$\dot{q} = 1500 \text{ [W]} \text{ Calor que sai da serpentina para dentro da câmara nos instantes iniciais}$$

$$T_i = 90 \text{ [C]} \text{ Temperatura de entrada da água}$$

$$\text{vazao}_{\text{água}} = 0,0002 \text{ [m}^3\text{/s]} \text{ Vazão de vapor d'água}$$

$$C_p = 4217 \text{ [J/(kg}\cdot\text{C)}] \text{ Calor específico água}$$

$$C_{p,\text{ar}} = 1000 \text{ [J/(kg}\cdot\text{C)}] \text{ Calor específico do ar}$$

$$T_{\text{int}} = 25 \text{ [C]} \text{ Temperatura no interior da câmara}$$

$$k_{\text{ar}} = 0,026 \text{ [W/(m}\cdot\text{C)}] \text{ Coeficiente de condutividade térmica do ar}$$

$$\beta = 0,00367 \text{ [C}^{-1}] \text{ Coeficiente de expansão volumétrica do ar}$$

$$g = 9,81 \text{ [m/s}^2] \text{ Aceleração da gravidade}$$

$$\nu = 17,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \text{ [Pa}\cdot\text{s}] \text{ Viscosidade cinemática do ar}$$

$$D = 9,52 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \text{ [m]} \text{ Diâmetro externo do tubo da serpentina}$$

$$e = 0,79 \cdot 10^{-3} \text{ Espessura parede do tubo}$$

$$\rho_{\text{ar}} = 1,1473 \text{ [kg/m}^3] \text{ Massa específica do ar}$$

$$\rho = \rho \text{ ['Water' ; T=T}_i \text{ ; P=110]} \text{ Massa específica da água}$$

$$\mu_{\text{água}} = \text{Visc} \text{ ['Water' ; T=T}_i \text{ ; P=110]}$$

*Cálculo do comprimento da serpentina*

$$\text{vazao}_{\text{água}} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$-\dot{q} = \dot{m} \cdot [T_e - T_i] \cdot C_p$$

$$T_s = \frac{T_e + T_i}{2} \text{ Temperatura média na superfície da serpentina}$$

$$\alpha = \frac{k_{\text{ar}}}{\rho_{\text{ar}} \cdot C_{p,\text{ar}}}$$

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} \text{ Prandtl}$$

$$\text{Ra}_D = \frac{g \cdot \beta \cdot [T_s - T_{\text{int}}] \cdot D^3}{\nu \cdot \alpha} \text{ Número de Rayleigh}$$



$$\text{Nusselt}_D = \left[ 0,6 + \frac{0,387 \cdot \text{Ra}_D^{(1/6)}}{\left(1 + \left[\frac{0,559}{\text{Pr}}\right]^{(9/16)}\right)^{(8/27)}} \right]^2 \quad \text{Numero de Nusselt}$$

$$h = \frac{k_{\text{ar}}}{D} \cdot \text{Nusselt}_D \quad \text{Coeficiente de convecao natural}$$

$$L = \frac{\dot{q}}{h \cdot 3,14 \cdot D \cdot [T_s - T_{\text{int}}]} \quad \text{Calculo do comprimento da serpentina}$$

Calculo da perda de carga na serpentina

$$A = 3,14 \cdot \left[ \frac{D}{2} - e \right]^2 \quad \text{Area de escoamento}$$

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A} \quad \text{Velocidade escoamento}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu_{\text{agua}}} \quad \text{Reynolds}$$

$$f_{\text{Re}} = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} \quad \text{fator de atrito}$$

$$\Delta P = f_{\text{Re}} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad \text{Equacao de Darcy-Weisbach}$$

## Resultados:

### SOLUTION

#### Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$$A = 0,00004949$$

$$C_p = 4217 \quad [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{C})]$$

$$\Delta P = 1,078\text{E}+06$$

$$g = 9,81 \quad [\text{m}/\text{s}^2]$$

$$L = 76,29$$

$$v = 0,0000174$$

$$\dot{q} = 1500 \quad [\text{W}]$$

$$\rho = 965,4$$

$$T_i = 90 \quad [\text{C}]$$

$$v = 4,041$$

$$\alpha = 0,00002266$$

$$C_{p,\text{ar}} = 1000 \quad [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{C})]$$

$$e = 0,00079$$

$$h = 10,26$$

$$\mu_{\text{agua}} = 0,0003145$$

$$\text{Nusselt}_D = 3,758$$

$$\text{Ra}_D = 5048$$

$$\rho_{\text{ar}} = 1,147 \quad [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$T_{\text{int}} = 25 \quad [\text{C}]$$

$$\text{vazaOagua} = 0,0002 \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$\beta = 0,00367 \quad [\text{C}^{-1}]$$

$$D = 0,00952$$

$$f_{\text{Re}} = 0,01707$$

$$k_{\text{ar}} = 0,026 \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{C})]$$

$$\dot{m} = 0,1931 \quad [\text{kg}/\text{s}]$$

$$\text{Pr} = 0,7678$$

$$\text{Re} = 118079$$

$$T_e = 88,16$$

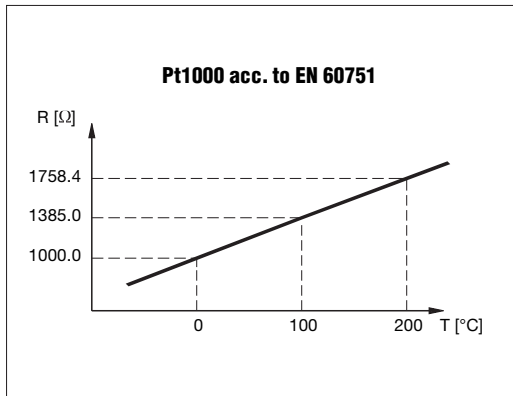
$$T_s = 89,08$$

ANEXO VIII: Dados técnicos do CLP.

<b>Product</b>	FX16 Master Controller
<b>Power Supply Requirements</b>	24 VAC $\pm$ 15%, 50/60 Hz - Class 2 Power Supply
<b>Power Consumption</b>	15 VA at max. load
<b>Internal Fuse</b>	2 A, 250 V
<b>Protection Class</b>	IP 20
<b>Isolation</b>	See Figure 44: Isolation Diagram.
<b>Ambient Operating Conditions</b>	-20°C (-4°F) to +50°C (122°F), 10 to 95% rH (noncondensing)
<b>Ambient Storage Conditions</b>	-20°C (-4°F) to +70°C (158°F), 10 to 95% rH (noncondensing)
<b>Dimensions (H x W x D)</b>	142 mm (5.6 in.) x 215 mm (8.5 in.) x 49 mm (1.9 in.)
<b>Weight (with package)</b>	0,74Kg (1.6 lb)
<b>I/O ratings</b>	See <i>Technical Specifications.</i>
<b>Connection terminals for signals and power supply</b>	Screw terminals for max. 1 x 1.5 mm <sup>2</sup> (0.002 in. <sup>2</sup> ) wires, included in the package.
<b>LON/N2 Open bus connection terminals</b>	Screw terminals, cable size 0.05 to 1.5 mm <sup>2</sup> (0.002 in. <sup>2</sup> ), AWG30 to AWG14 Belden® cable, 2-core twisted pair with shield
<b>Connection terminals for extension bus and remote display</b>	Screw terminals, cable size 0.05 to 1.5 mm <sup>2</sup> (0.002 in. <sup>2</sup> ), AWG30 to AWG14, included in the package.
<b>Single cable lengths</b>	
<b>Digital Inputs DI1 - DI8</b>	Max. 100m (328.1 ft) with diameters $\geq$ 0.6 mm (0.02 in.)
<b>Analog Inputs AI1 - AI6</b>	Max. 100m (328.1 ft) with diameters $\geq$ 0.6 mm (0.02 in.)
<b>Triac outputs (when present)</b>	Max. 100m (328.1 ft) where A $\geq$ 1.5 mm <sup>2</sup> (0.002 in. <sup>2</sup> )
<b>Analog Outputs AO1 - AO4</b>	Max. 100m (328.1 ft) where A $\geq$ 1.5 mm <sup>2</sup> (0.002 in. <sup>2</sup> )
<b>Remote Display</b>	Max. 3m (9.8 ft) if display is powered by controller. Max. 1 km (1.9 mi) if display independently powered
<b>Extension Modules</b>	Max. 1km (0.6 mi)
<b>Display and Extensions cable type</b>	Belden 4-core, twisted pair, shielded
<b>Compliance</b>	<p><b>Europe</b> – 89/336/EEC, EMC Directive: EN 61000-6-3, EN 61000-6-1 – 72/23/EEC, Low Voltage Directive: EN 60730</p> <p><b>Canada</b> – UL Listed (PAZX7), CAN/CSA C22.2 No. 205, Signal Equipment – UL Recognized (XAPX8), CAN/CSA C22.2 No. 24, Temperature Indicating and Regulating Equipment – Industry Canada, ICES-003.</p> <p><b>United States</b> – UL Listed (PAZX), UL 916, Energy Management Equipment – UL Recognized (XAPX2), UL 873, Temperature Indicating and Regulating Equipment – FCC compliant to CFR 47, Part 15, Subpart B, Class A</p>

# Pt1000

## Temperature sensors



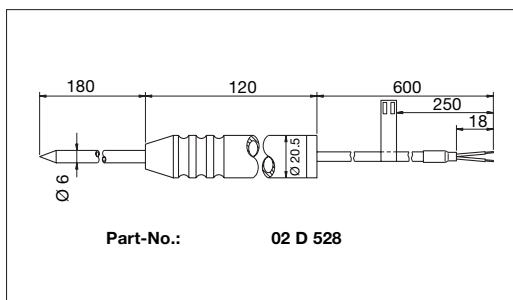
### Application:

The sensors are used for measuring the temperature in refrigeration plants. The high-quality Pt1000 temperature sensors reduce measuring errors. Due to them calibration is normally

not necessary. All technical data are determined by the sensor design and material. The constructional design leads to a short response time.

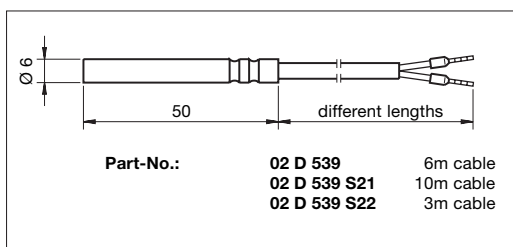
### Technical data Pt1000 acc. to EN 60751 KI.B (Sensor when built-in)

Recommended meas. current for heat. coefficient < 0.1K	DC 0.2...2mA
Sensor resistant at 0°C	1000Ω ± 1.20Ω
Change of resistance 0...100°C	3.85Ω/K
Insulation test voltage U <sub>is</sub>	AC 1.5kV



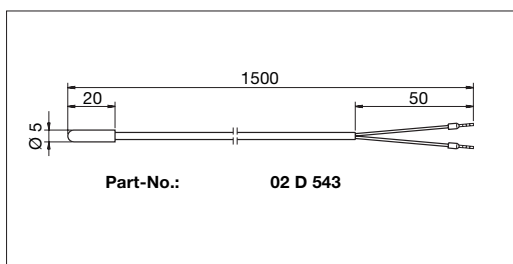
### Technical data 02 D 528

Measuring range	-60...+90°C (at the peak)
Ambient temperature range	-60...+90°C
Protection class acc. to EN 60529	IP68
Connection lead	silicone, 2 x 0.25mm <sup>2</sup>
max. Supply voltage	DC 15V
max. meas. current	0.4mA (without self-heating)
Protection tube	V4A 1.4571, accepted for use with food
Hand grip	Teflon



### Technical data 02 D 539/...S21/...S22

Measuring range	-50...+100°C
Ambient temperature range	-50...+100°C
Protection class acc. to EN 60529	IP65
Connection lead	silicone, 2 x 0.25mm <sup>2</sup>
Sensor protection	tube V4A 1.4571, two-fold rolled



### Technical data 02 D 543

Measuring range	-50...+105°C
Ambient temperature range	-50...+105°C
Protection class acc. to EN 60529	IP65
Connection lead	TPE-rubber, 2 x 0.32mm <sup>2</sup> (AWG 22)
Sensor protection	TPE-rubber, vulcanized

Special designs on request

Subject to technical modifications without notice

Product group D

Edition: 690.00121.0

## HIH-4000-001

HIH-4000 Series Integrated Circuitry Humidity Sensor, 2,54 mm (0.100 in) Lead Pitch SIP

Product Specifications	
Package Style	Solderable SIP
Termination Details	2,54 mm [0.100 in] Lead Pitch
Series Name	HIH-4000 Series
RH Accuracy	± 3.5% RH, 0-100 % RH non-condensing, 25 °C, 5 Vdc supply
RH Interchangeability	± 5% RH, 0-60% RH; ± 8% @ 60-100% RH Typical
RH Hysteresis	± 3% of RH Span Maximum
RH Repeatability	± 0.5% RH
RH response time, 1/e	15 s in slowly moving air @ 25 °C
RH Stability	± 0.2% RH Typical at 50% RH in 1 Year
Supply Voltage	4.0 Vdc to 5.8 Vdc
Supply Current	500 µA Max.
Operating Humidity Range	0 to 100% RH, non-condensing
Operating Temperature Range	-40 °C to 85 °C (-40 °F to 185 °F)
Temperature Compensation	True RH = Sensor RH / (1.0305 + 0.000044T - 0.0000011T <sup>2</sup> ) T in °C (True RH = Sensor RH / (0.9237 - 0.0041T + 0.000040T <sup>2</sup> ) T in °C)
Availability	Global
Comment	Light sensitive, shield from bright light.
UNSPSC Code	411121
UNSPSC Commodity	411121 Transducers

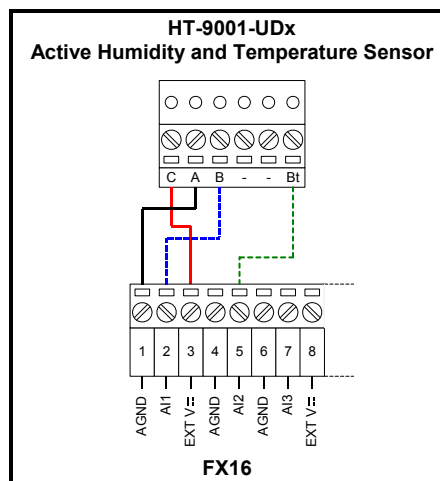
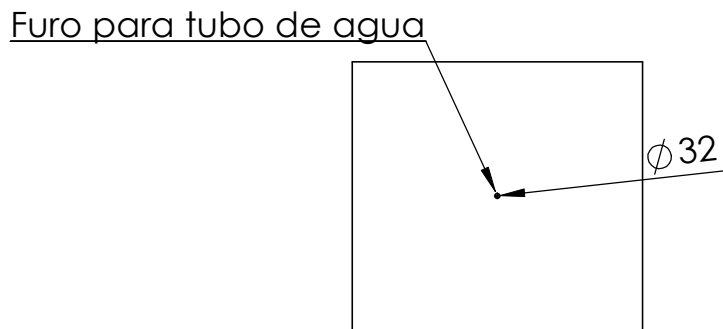
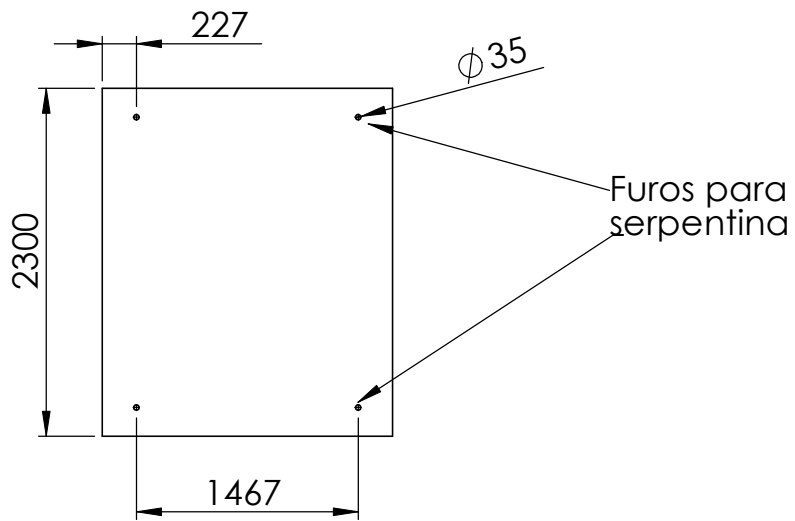
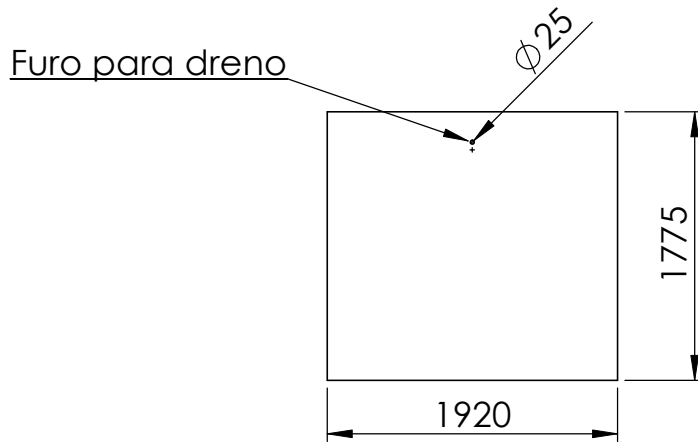


Figura A10- Esquema de ligação de sensor de temperatura ou umidade (JOHNSON CONTROLS, 2010).

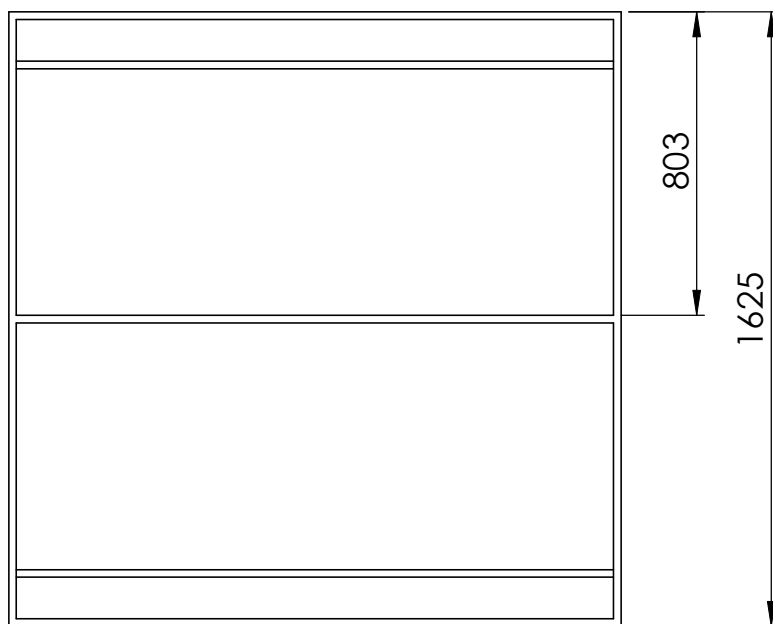
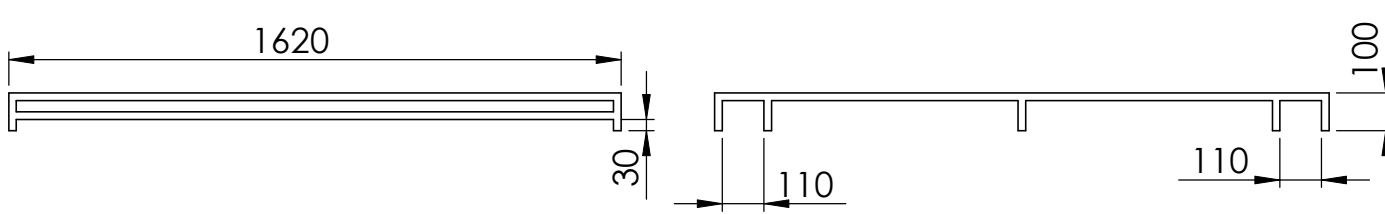
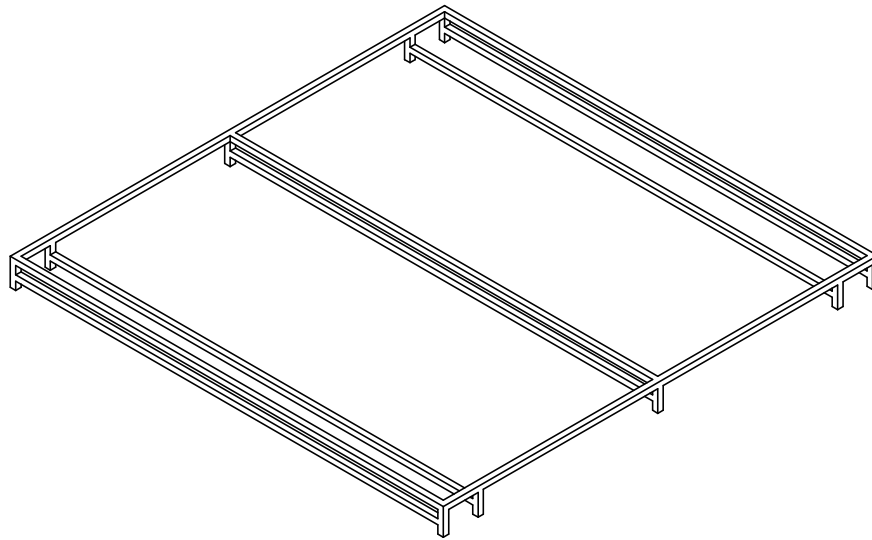
Nas próximas páginas seguem os desenhos técnicos da câmara calorimétrica com as modificações, desenho da base do piso para montagem da serpentina inferior e desenho com as dimensões da serpentina, lembrando que são duas, uma instalada no teto e uma instalada no piso.

Tabela A1- Lista de Desenhos Técnicos

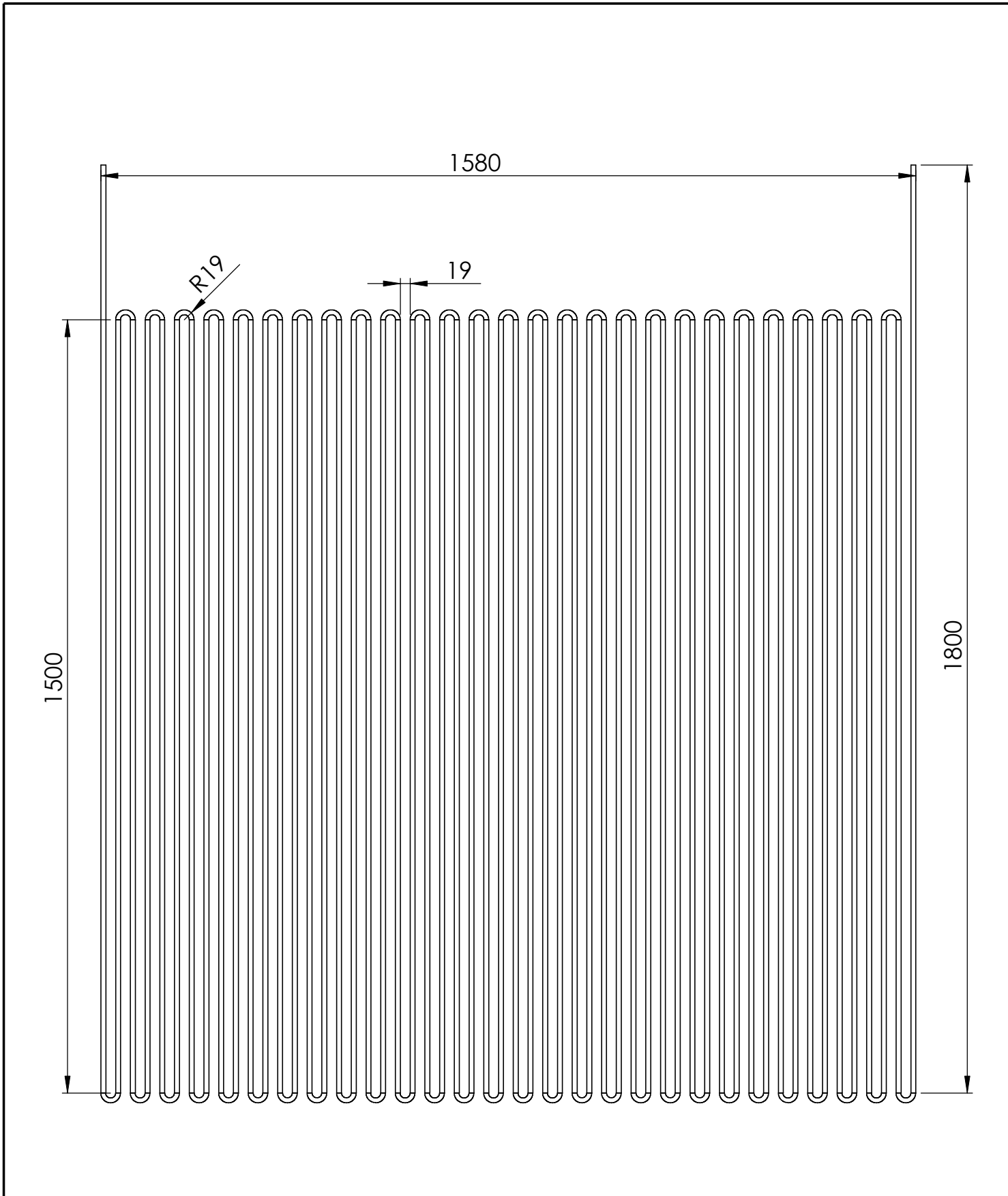
<b>Descrição</b>	<b>Pág.</b>
Desenho técnico com modificações necessárias (escala 1:50).	70
Desenho técnico base de suporte serpentina piso (escala 1:20).	71
Desenho técnico serpentina (escala 1:10).	72



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
NOME		ASSINATURA		DATA		TÍTULO: <b>Vista posterior Camara Calorimetrica</b>			
DES.						DES. Nº		A4	
VERIF.						MATERIAL:			
APROV						PESO:		ESCALA: 1:50	
MANUF						FOLHA 1 DE 1			
QUALID									



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:				ACABAMENTO:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO		REVISÃO					
								TÍTULO: <b>Estrutura da base do piso</b>							
NOME				ASSINATURA		DATA						DES. Nº		A4	
DES.															
VERIF.															
APROV															
MANUF								MATERIAL:		ESCALA: 1:20					
QUALID								Metalon 20x20		FOLHA 1 DE 1					
								PESO:							



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		NÃO MUDAR A ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
NOME		ASSINATURA		DATA		TÍTULO: <b>Serpentina</b>			
DES.						DES. Nº			
VERIF.									
APROV									
MANUF									
QUALID				MATERIAL: Tubo cobre 9,52 mm, espessura 0,79 mm		A4			
				PESO:					
ESCALA: 1:10						FOLHA 1 DE 1			