

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ALTERNATIVO DE TROCADOR DE
CALOR PARA CONSTRUÇÕES AGROINDUSTRIAIS**

MILTON SOARES

CASCABEL – PR
2007

MILTON SOARES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ALTERNATIVO DE TROCADOR DE
CALOR PARA CONSTRUÇÕES AGROINDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCADEL – PR

Julho – 2007

MILTON SOARES

“Desenvolvimento de um sistema alternativo de trocador de calor para construções agroindustriais”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação “*Stricto Sensu*” em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Alexandre Sordi
Departamento de Engenharia, FAG

Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 04 de julho de 2007.

Dedico este trabalho...

Ao Professor Ms^c. Antonio Luiz Baú, Diretor de Campus, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – *campus* de Medianeira, que propiciou a oportunidade de utilização dos laboratórios e das dependências do campus, para a efetivação das experiências pertinentes ao projeto em pauta.

Ao Professor Dr. José Airton Azevedo dos Santos, pela demonstração de confiança ao abonar a minha indicação para a condição de regularização no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola.

À Ana Maria, pela dedicação às minhas filhas Milana e Ana Carolina, verdadeiros espíritos nobres confiados a mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por viver e poder com isso realizar obras.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *campus* de Cascavel e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Curso.

Ao professor orientador Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza, por ter participado durante todo o processo de elaboração e execução deste trabalho com dedicação, incentivo e amizade.

Aos professores: Dr. Antonio Gabriel Filho, Dr. Reinaldo Prandini Ricieri, Dr. Suedêmio de Lima Silva, Dr. Joaquim Odilon Pereira, João Cândido Bracarense Costa, Dr. Celso Eduardo Lins de Oliveira, Dr. Eduardo Godoy de Souza, Dr. Miguel Angel Uribe Opazo, pelas aulas ministradas, pela disponibilidade para esclarecer dúvidas, pelas orientações, contribuições e pela cordialidade.

Aos amigos do curso de mestrado Áurea, Juliano, Luciano, Paulo Oyama, Ivair, Roger, pelo companheirismo e especialmente à Alexandra e Andréa, pelos bons momentos de convivência e amizade durante as viagens à Cascavel.

Aos professores da UTFPR, *campus* de Medianeira, Marlos Wander Grigoletto, Carlos Aparecido Fernandes, Paulo Job Brenneisen, Moacir Soares, Juliana Licurgo de Moraes Soares, Antonio Aprigio, pelo apoio e incentivo.

Aos técnicos administrativos da UTFPR, *campus* de Medianeira, representados por José Francisco Alves e Sérgio Battaglia, que muito colaboraram na construção, apoio e manutenção do experimento.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“O ser humano se sente sujeito às instabilidades
e é impotente ante os desígnios divinos”.

Heródoto

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix	
LISTA DE FIGURAS	xi	
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	xiv	
RESUMO.....	xv	
ABSTRACT.....	xvi	
1	INTRODUÇÃO..... 1	
2	REVISÃO DE LITERATURA.....3	
2.1	VENTILAÇÃO	3
2.1.1	O Conforto Térmico	4
2.1.2	Índices de Conforto Térmico.....	5
2.1.3	Formas de Transmissão de Calor.....	6
2.1.3.1	Radiação ou Irradiação.....	7
2.1.3.2	Convecção.....	7
2.1.3.3	Evaporação.....	8
2.1.4	Ventilação para o Conforto Térmico	9
2.1.5	Controle do Ambiente	9
2.2	RESFRIAMENTO EVAPORATIVO.....	11
2.2.1	Sistemas de Resfriamento Evaporativo.....	12
2.2.2	Aplicações do Sistema Evaporativo.....	13
2.2.2.1	Qualidade da água	16
2.2.2.2	Nebulização	17
2.3	UMIDADE RELATIVA DO AR.....	18
2.3.1	Umidade Relativa do Ar em Ambientes Protegidos	19
2.4	DESEMPENHO DO RESFRIAMENTO EVAPORATIVO	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	LOCALIZAÇÃO DO PROJETO	22
3.1.1	Características Climatológicas.....	23
3.2	DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO TROCADOR DE CALOR	25
3.3	MONTAGEM DO EXPERIMENTO	27

3.3.1	Descrição dos Componentes do Dispositivo.....	28
3.4	METODOLOGIA PARA COLETA DE DADOS	30
3.5	DETERMINAÇÃO DOS VALORES DOS PARÂMETROS DE VELOCIDADE DO AR	34
3.5.1	Aferição dos Dados de Velocidade do Ar	35
3.6	DETERMINAÇÃO DE VALORES DOS PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE, UTILIZANDO OS CONDUTORES DE ÁGUA	35
3.6.1	Procedimento de Medição da Etapa I.....	36
3.6.2	Procedimento de Medição da Etapa II.....	37
3.6.3	Procedimento de Medição da Etapa III.....	38
3.6.4	Período Experimental e Coleta de Dados.....	38
3.6.5	Delineamento Estatístico	38
3.6.6	Consumo de Energia pelo Sistema Trocador de Calor.....	39
3.6.7	Consumo de Água pelo Sistema Trocador de Calor.....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
4.1	ENSAIOS DO DISPOSITIVO TROCADOR DE CALOR.....	42
4.2	AS ETAPAS NO LABORATÓRIO.....	43
4.3	ANÁLISE DA FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA	44
4.3.1	Avaliação da Primeira Etapa de Resfriamento (Etapa I).....	44
4.3.2	Análise da Segunda Etapa de Resfriamento (Etapa II)	54
4.3.3	Análise da Terceira Etapa de Resfriamento (Etapa III).....	65
4.3.4	Avaliação do Consumo de Energia Elétrica pelo Sistema	76
4.3.5	Avaliação do Custo do Sistema	76
4.3.6	Avaliação do Consumo de Água pelo Sistema	77
5	CONCLUSÕES.....	79
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICES 85	
	APÊNDICE A - RELAÇÃO DE MATERIAL UTILIZADO, DIMENSÕES E ESPECIFICAÇÕES DE COMPONENTES UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DO TROCADOR DE CALOR	86
	APÊNDICE C - DADOS DAS VARIÁVEIS DE EXPERIMENTAÇÃO DA ETAPA II	88

APÊNDICE D - DADOS DAS VARIÁVEIS DE EXPERIMENTAÇÃO DA ETAPA III.....	90
APÊNDICE F - DADOS DE CONSUMO DE ÁGUA DAS ETAPAS I, II E III.....	91
APÊNDICE G - DADOS PERCENTUAIS DIÁRIOS DO CONSUMO DE ÁGUA DAS ETAPAS I A III.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Temperatura ambiente ideal para criação de aves.....	10
Tabela 2 -	Umidade relativa ótima para as principais espécies cultivadas em ambiente protegido	19
Tabela 3 -	Dados de consumo de água - Etapas I, II e III.....	40
Tabela 4 -	Dados percentuais diários do consumo de água - Etapas I, II e III.....	40
Tabela 5 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 10 horas – Etapa I	45
Tabela 6 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 11 horas - Etapa I	47
Tabela 7 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 12 horas - Etapa I	48
Tabela 8 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 13 horas - Etapa I	49
Tabela 9 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 14 horas - Etapa I	51
Tabela 10 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 15 horas - Etapa I	52
Tabela 11 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 16 horas - Etapa I	53
Tabela 12 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 10 horas - Etapa II	55
Tabela 13 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 11 horas - Etapa II	57
Tabela 14 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 12 horas - Etapa II	59
Tabela 15 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 13 horas - Etapa II	60

Tabela 16 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 14 horas - Etapa II	61
Tabela 17 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 15 horas - Etapa II	63
Tabela 18 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 16 horas - Etapa II	64
Tabela 19 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 10 horas - Etapa III	66
Tabela 20 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 11 horas - Etapa III	68
Tabela 21 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 12 horas - Etapa III	70
Tabela 22 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 13 horas - Etapa III	71
Tabela 23 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 14 horas - Etapa III	72
Tabela 24 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 15 horas - Etapa III	74
Tabela 25 -	Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 16 horas - Etapa III	75
Tabela 26 -	Relação de material, dimensões, especificações e valores de componentes utilizados na construção do sistema.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Resfriamento evaporativo.....	11
Figura 2 -	Sistema de resfriamento evaporativo <i>pad cooling</i>	13
Figura 3 -	Galpões com instalação de nebulizadores.	17
Figura 4 -	Ilustração da localização do projeto.....	22
Figura 5 -	Ilustração das condições climáticas.....	23
Figura 6 -	Ilustração das temperaturas médias.....	24
Figura 7 -	Ilustração das condições de umidade relativa.	24
Figura 8 -	Ilustração do posicionamento da entrada de ar e ventilação...25	
Figura 9 -	Isométrico do sistema para circulação de água.....	26
Figura 10 -	Vista frontal da instalação do dispositivo.	27
Figura 11 -	Vista interna da instalação da motobomba hidráulica.....	28
Figura 12 -	Circuito de circulação de água.....	29
Figura 13 -	Circuito de circulação de água e registros de fluxo.	29
Figura 14 -	Vista interna da instalação do exaustor axial.....	30
Figura 15 -	Termohigrômetro digital Minipa.	31
Figura 16 -	Termohigrômetro digital Instrutemp.	31
Figura 17 -	Termostato digital.	32
Figura 18 -	Multímetro digital.	33
Figura 19 -	Termômetro de mercúrio.	33
Figura 20 -	Termo-Anemômetro digital.	34
Figura 21 -	Reservatório de água para alimentação do sistema.....	41
Figura 22 -	Condutores de distribuição de água e registros.....	42
Figura 23 -	Medidor de pressão, registro de vazão, calha e reservatório de água.....	43
Figura 24 -	Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 10 horas.	44
Figura 25 -	Valores de umidade relativa da Etapa I, às 10 horas.	45
Figura 26 -	Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 11 horas.	46
Figura 27 -	Valores de umidade relativa da Etapa I, às 11 horas.	46
Figura 28 -	Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 12 horas.	47

Figura 29 -	Valores de umidade relativa da Etapa I, às 12 horas.	48
Figura 30 -	Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 13 horas.	49
Figura 31 -	Valores de umidade relativa da Etapa I, às 13 horas.	49
Figura 32 -	Temperaturas externas e internas da Etapa I às 14 horas.	50
Figura 33 -	Valores de umidade relativa da Etapa I às 14 horas.	50
Figura 34 -	Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 15 horas.	51
Figura 35 -	Valores de umidade relativa da Etapa I, às 15 horas.	52
Figura 36 -	Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 16 horas.	53
Figura 37 -	Valores de umidade relativa da Etapa I às 16 horas.	53
Figura 38 -	Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 10 horas.	55
Figura 39 -	Valores de umidade relativa da Etapa II, às 10 horas.	55
Figura 40 -	Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 11 horas.	56
Figura 41 -	Valores de umidade relativa da Etapa II, às 11 horas.	57
Figura 42 -	Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 12 horas.	58
Figura 43 -	Valores de umidade relativa da Etapa II, às 12 horas.	58
Figura 44 -	Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 13 horas.	59
Figura 45 -	Valores de umidade relativa da Etapa II, às 13 horas.	60
Figura 46 -	Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 14 horas.	61
Figura 47 -	Valores de umidade relativa da Etapa II, às 14 horas.	61
Figura 48 -	Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 15 horas.	62
Figura 49 -	Valores de umidade relativa da Etapa II, às 15 horas.	63
Figura 50 -	Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 16 horas.	64
Figura 51 -	Valores de umidade relativa da Etapa II, às 16 horas.	64
Figura 52 -	Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 10 horas.	66
Figura 53 -	Valores de umidade relativa da Etapa III, às 10 horas.	66
Figura 54 -	Temperaturas externas e internas da Etapa III às 11 horas.	67
Figura 55 -	Valores de umidade relativa da Etapa III às 11 horas.	68
Figura 56 -	Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 12 horas.	69
Figura 57 -	Valores de umidade relativa da Etapa III, às 12 horas.	69
Figura 58 -	Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 13 horas.	70
Figura 59 -	Valores de umidade relativa da Etapa III, às 13 horas.	71
Figura 60 -	Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 14 horas.	72
Figura 61 -	Valores de umidade relativa da Etapa III, às 14 horas.	72
Figura 62 -	Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 15 horas.	73

Figura 63 -	Valores de umidade relativa da Etapa III, às 15 horas.....	73
Figura 64 -	Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 16 horas...	74
Figura 65 -	Valores de umidade relativa da Etapa III, às 16 horas.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.

°C	grau Celsius;
m min⁻¹	metro por minuto;
cm s⁻¹	centímetro por segundo;
ft min⁻¹	pé por minuto;
%	por cento;
UR	Umidade Relativa;
g m⁻³	grama por metro cúbico;
h	hora;
km h⁻¹	quilômetro por hora;
m	metro;
m²	metro quadrado;
m³	metro cúbico;
cv	cavalo vapor;
rpm	rotações por minuto;
Hz	Hertz;
PVC	Poli Cloreto de Vinil;
mm	milímetro;
HP	cavalo
m³ min⁻¹	metro cúbico por minuto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
mca	metro de coluna de água
CFC	Clorofluorcarbono
HFC	Hidrofluorcarbono
pH	potencial hidrogeniônico

RESUMO

As condições de climatização exigidas no interior das construções agroindustriais e em outros ambientes, bem como a busca para o conforto térmico de atividades produtivas com um mínimo de custo em materiais, energia e equipamentos apresentam a necessidade de desenvolvimento de dispositivos alternativos de resfriamento de ambientes com essas características. O presente trabalho estabeleceu como objetivo a montagem e avaliação do funcionamento de um dispositivo alternativo de trocador de calor para resfriamento de um ambiente aleatório, bem como avaliar a economia com o consumo de água e energia. Esse experimento foi construído e realizado nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, em Medianeira - PR, em um recinto adaptado para esse fim. O sistema é composto por uma estrutura de circulação de água impulsionada por uma bomba hidráulica de baixa pressão e uma rede de tubulação em PVC formadora de uma cortina de água, uma calha condutora de água e um reservatório. Foram utilizados instrumentos de medição de temperatura, de velocidade do ar e de umidade relativa do ar, instalados em pontos estratégicos, possibilitando a coleta de dados para a posterior análise do funcionamento do experimento. Associado a um sistema de ventilação forçada, o dispositivo apresentou, em três etapas completas de testes, resultados que indicaram que a temperatura do ambiente pode ser reduzida na faixa de 3 a 4°C e com acréscimo de 10 a 12% de umidade relativa. O equipamento mostrou versatilidade de construção e de funcionamento, apresentando boa capacidade de economia de energia e de consumo de água. O dispositivo tem um aspecto funcional simplificado, seu custo é acessível e não oferece nenhum aspecto que possa acarretar a alteração do meio ambiente.

Palavras-chave: trocador de calor, resfriamento, temperatura, meio ambiente.

DEVELOPMENT OF AN HEAT CONDUCTOR ALTERNATIVE SYSTEM FOR AGROINDUSTRIAL FACILITIES

ABSTRACT

The conditions of climatization required in the interior of the agroindustrial constructions and in other environments, as well as the search for the thermal comfort of productive activities with a minimum cost in stuff, energy and equipment presents the alternative devices development need of environments cooling with those characteristics. The present study aimed at the assembly and evaluation of operation of an alternative device of a conductor of heat for cooling of a random environment, as well as to evaluate the economy of the consumption of water and energy. That experiment was built and carried out in Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, in Medianeira, PR, in a place adapted for that. The system is composed by a stimulated water circulation structure by a hydraulic pump of low pressure and a net of PVC tubes which makes a drapery of water, a water conductor gutter and a reservoir. It was utilized temperature measurement, speed of air and relative humidity of air instruments, which were installed in strategic points enabling the data collecting for the subsequent analysis of the experiment operation. Associated to a forced ventilation system, the device presented, in three complete phases of tests, results that indicated that the temperature of the environment can be limited to 3 to 4°C and with addition of 10 to 12% of relative humidity. The equipment showed construction and operation versatility, presenting good capacity of energy saving and of water consumption. The device has a functional simplified aspect; its cost is reasonable and offers no aspects that can cause the environment alteration.

Keywords: conductor of heat, cooling, temperature, environment.

1 INTRODUÇÃO

O grande desenvolvimento do setor agrícola brasileiro apresenta a necessidade de pesquisa e o conseqüente estabelecimento de novas tecnologias para atender às exigências do seu crescimento. Atentando para essa necessidade, os pesquisadores buscaram a elaboração de projetos de equipamentos que tivessem as características de funcionamento simples, com baixo consumo de energia, custo acessível e cuidado com a proteção do meio ambiente.

O Brasil, por sua extensão territorial, pela diversidade do clima e dos recursos ambientais, tem necessidade de criação de recursos técnicos para suprir as exigências diversificadas de produção nas diferentes regiões. Nas regiões Sul e Sudeste, especificamente, onde as temperaturas no verão são acentuadamente altas e no inverno bastante baixas, a atividade produtiva agrícola requer um planejamento que esteja direcionado para a solução dos problemas gerados com as dificuldades que cada atividade apresenta no respectivo momento. Os produtores buscam por equipamentos que tenham um rendimento satisfatório na realização de operações agrícolas, proporcionando conforto ao operador, baixo custo de manutenção e com menor consumo de combustível nas operações.

Tomando-se como exemplo a Avicultura, verifica-se que ela é uma atividade que depende muito do conforto térmico das aves, especialmente porque nos últimos anos elas passaram por avançado melhoramento genético, apresentando, com isso, elevado potencial produtivo. Os pesquisadores concluem que é preciso uma estrutura adequada para manter as aves protegidas dos efeitos ambientais externos e, nesse ponto, verifica-se que a versatilidade é um fator fundamental, pois o aviário deve estar preparado para proporcionar o melhor conforto térmico nos dias quentes e impedir que o calor gerado no interior das instalações seja facilmente dissipado nos dias frios.

A falta de controle dos aspectos de conforto nos ambientes de produção, por exemplo, nos aviários, pode trazer uma série de complicações aos respectivos aspectos produtivos. Nesse caso específico, sendo animais homeotérmicos, nem mesmo o seu mecanismo termorregulador garante a sua segurança, se não estiver dentro de limites adequados de temperatura e de umidade e, para manter o bem estar das aves no ambiente de desenvolvimento, a qualidade do ar também deve estar em níveis compatíveis.

Uma alternativa viável para um efetivo controle de temperatura e umidade em ambientes fechados e protegidos é a utilização de um sistema de resfriamento evaporativo, associado a um sistema de ventilação forçada para proporcionar um índice maior de umidade e menor temperatura no ambiente. Esses equipamentos estão disponíveis no mercado em grande variedade de tipos e modelos para atender às necessidades de cada caso, considerando-se que o ar disponibilizado pelos equipamentos é totalmente renovado, resfriado, umidificado, filtrado e limpo, com custo de instalação e de operação variado, esse sistema evaporativo tem aplicação em quase todo tipo de ambiente, com uma gama de utilização muito mais abrangente do que o ar condicionado e a ventilação tradicional.

Assim, nos ambientes em que a manutenção de elevada umidade relativa é requisito necessário para as condições exigidas pelo processo agrícola produtivo ou exijam a manutenção de temperatura a níveis compatíveis para o correto controle produtivo, é necessária a realização de estudos para equacionar as condições para utilização de equipamentos alternativos, capazes de oferecer um trabalho eficiente de redução de temperatura e umidade.

Considerando as condições apresentadas acima, foi estabelecido como objetivo para esta pesquisa desenvolver o projeto e a construção de um sistema de trocador de calor com versatilidade para utilização na climatização de construções agroindustriais, bem como outras utilizações que visem à redução de temperatura, objetivando atender aos parâmetros de baixo consumo de energia, custo acessível e proteção ao meio ambiente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 VENTILAÇÃO

Os conceitos fundamentais de ventilação definem que ventilar significa deslocar o ar. Na prática, o deslocamento do ar tem como finalidade a retirada ou o fornecimento de ar a um determinado ambiente, ou seja, a renovação do ar. Essa renovação tem como fim primordial a obtenção, no interior de um recinto fechado, de ar com um grau de pureza e velocidade de escoamentos compatíveis com as exigências fisiológicas para a saúde e o bem-estar dos seres que ali estiverem inseridos e uma adequada distribuição do mesmo no local (MACINTYRE, 1990).

A ventilação é a operação realizada por meios mecânicos que visa controlar a temperatura, a distribuição do ar, a umidade e a eliminar agentes poluidores do ambiente.

Segundo MACINTYRE (1990), os sistemas de ventilação podem ser classificados em dois grupos:

- Natural, quando não são empregados recursos mecânicos para provocar o deslocamento do ar.
- Geral, quando se empregam equipamentos mecânicos, do tipo ventilador, para a ventilação do recinto.

O ar em movimento favorece a transferência de calor através da pele, de modo a eliminar o excesso de calor produzido ou adquirido pelo corpo, em consequência do calor reinante no ambiente.

Para que, em um clima tropical, seja possível trabalhar com as condições ambientais necessárias à saúde e secundariamente à produtividade, deve-se procurar atender a condições adequadas de ventilação.

2.1.1 O Conforto Térmico

A sensação de conforto térmico é definida por norma, como “o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa” (ASHRAE, 1983).

Em outras palavras, seria a condição em que o indivíduo se encontra em perfeito equilíbrio térmico com o meio ambiente, havendo uma neutralidade térmica, não sendo necessário que o ambiente seja aquecido ou resfriado. Pois o homem, animal homeotérmico, tem necessidade de manter a temperatura de seu organismo em torno de um valor constante de 37°C, com os limites situando-se entre 35 e 40°C. Tal condição de conforto pode ser obtida pelo uso de vestimentas adequadas e do ambiente térmico, denominados segunda e terceira peles, respectivamente (DUMKE; KRÜGER, 2002).

As principais variáveis climáticas e físicas, relacionadas ao conforto térmico são: temperatura, umidade relativa, velocidade de flutuação da corrente de ar e radiação solar incidente. Elas guardam estreitas relações com: regime de chuvas, vegetação, permeabilidade do solo, águas superficiais e subterrâneas, topografia, entre outras características locais que podem ser alteradas pela presença humana.

As exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas ao funcionamento do organismo, cujo mecanismo, complexo, pode ser, de modo grosseiro, comparado a uma máquina térmica que produz calor em função de sua atividade. O calor gerado pelo organismo deve ser dissipado em igual proporção ao ambiente, a fim de que não eleve nem diminua a temperatura interna do corpo. Quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrerem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho, sob esse ponto de vista, é máxima (MACINTYRE, 1990).

Condições térmicas ambientais que causam sensação de frio ou de calor fazem com que o organismo perca mais ou menos calor que o necessário para a manutenção de sua homeotermia, a qual passa a ser obtida com um esforço adicional que representa sobrecarga, com queda do rendimento no trabalho, até o limite, sob condições de rigor excepcionais, perda total da

capacidade para realização de trabalho e/ou problemas de saúde (FROTA; SHIFFER, 2005).

2.1.2 Índices de Conforto Térmico

Foram desenvolvidos índices, para caracterizar ou quantificar as zonas de conforto térmico adequadas às diferentes espécies animais, apresentando, em uma única variável, tanto os fatores que caracterizam o ambiente térmico que circunda o animal quanto o estresse que esse ambiente possa estar causando a ele (PERISSINOTO, 2003). No desenvolvimento de um índice de conforto térmico são considerados os fatores meteorológicos relevantes para a criação de certo animal e ressalta-se o peso que cada fator possui nesse índice, conforme sua importância relativa também ao animal.

As respostas dos animais ao estresse térmico são fisiológicas e comportamentais, variando de espécie para espécie e dentro da espécie, conforme o estágio de desenvolvimento do animal. Devido a essas variações, os índices desenvolvidos para determinada espécie e fase de crescimento, em determinado ambiente físico, nem sempre podem ser aplicados a outros animais nem utilizados em regiões com características climáticas diferentes das encontradas no local de origem do índice (PERISSINOTO, 2003).

Conforme observa NÄÄS (1998), os índices de conforto podem ser classificados de acordo com a maneira que foram desenvolvidos em:

- Índices biofísicos: o desenvolvimento é baseado nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos de conforto com as trocas de calor que os originam.
- Índices fisiológicos: baseiam-se nas relações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura ambiente, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar.
- Índices subjetivos: são baseados nas sensações subjetivas de conforto, experimentadas em condições nas quais os elementos de conforto térmico variam.

Para a correta definição dos parâmetros de instalação de dispositivos que modifiquem as condições ambientais, é necessário que se considerem os índices relativos às atividades que serão realizadas no referido ambiente.

2.1.3 Formas de Transmissão de Calor

Os processos naturais por meio dos quais ocorre o intercâmbio de calor entre o corpo e o meio são condução e convecção entre o corpo e o ar ambiente, radiação entre o corpo e as superfícies circundantes e a evaporação do líquido dos pulmões e da superfície da pele pela transpiração (KRÜGER, 1993).

O conjunto de fenômenos que caracterizam essa passagem de calor, segundo análise de COSTA (1982), pode efetuar-se pelas três maneiras destacadas acima, obedecendo, cada uma delas, a leis próprias, embora admitindo em comum as seguintes características:

- necessidade de uma diferença de temperatura entre duas regiões;
- o fluxo térmico sempre se verifica no sentido das temperaturas decrescentes.

As observações de FROTA e SHIFFER (1995) mostraram que o conforto térmico é um conceito subjetivo, portanto, em um determinado ambiente pode propiciar um adequado conforto a uma pessoa, porém, pode causar certo desconforto, com uma sensação de frio ou calor, a outra. Por isso, ao estudar o assunto que envolve conforto térmico, deve-se ter a preocupação em obter condições ambientais que propiciem neutralidade ao maior número de seres possíveis.

Pode-se, portanto, analisar os modos pelos quais o ar em movimento é favorável ao conforto ambiental, considerando os aspectos em que a temperatura do corpo reage (MACINTYRE, 1990). Para os animais, deve-se procurar, de uma forma geral, considerar os aspectos de minimização dos efeitos térmicos pela construção de seus abrigos.

2.1.3.1 Radiação ou Irradiação

O corpo humano transmite ou recebe calor por radiação, conforme sua temperatura seja maior ou menor que a das superfícies existentes no ambiente. A transferência de calor por radiação depende das temperaturas do corpo e das superfícies circundantes, mas não necessita da movimentação do ar para que se processe, pois a propagação se realiza sob a forma de energia radiante. Quando esta energia radiante atinge a superfície do corpo, transforma-se em calor.

A radiação se realiza sob a forma de ondas do tipo das eletromagnéticas e não necessita de ar nem qualquer outro meio intermediário para se propagar (MACINTYRE, 1990).

2.1.3.2 Convecção

Quando a temperatura do ar ambiente é inferior à da pele, processa-se uma perda de calor do corpo para o ar, por efeito de condução e de convecção. A condução se dá pelo contato do corpo com a película de ar que o envolve. Isto porque, na condução, o calor se propaga de molécula a molécula sem transporte de massa (MACINTYRE, 1990).

Se o ar aquecido pela pele for removido por uma corrente de ar, estabelece-se com o ar ambiente uma corrente de convecção; a velocidade da convecção aumentará e a temperatura do corpo irá diminuindo. Isso explica porque a corrente de ar proporcionada por um ventilador produz sensação de frescor.

As correntes de ar por convecção se realizam porque o ar quente, sendo de menor densidade que o ar frio, tende a elevar-se, à medida que o ar frio, mais denso, desce, ocupando o espaço do ar quente ascendente (MACINTYRE, 1990).

2.1.3.3 Evaporação

Nem sempre a perda de calor do corpo humano por radiação e convecção é suficiente para regular a temperatura do corpo. Então, entram em atividade as glândulas sudoríparas, de modo que o corpo possa perder calor por efeito da evaporação da umidade que se forma na pele. Simultaneamente, com a transpiração ocorre um fenômeno de mudança de estado físico, com a transformação do suor em vapor d'água. À medida que umidade evapora sobre uma superfície quente, extrai calor, resfriando a superfície.

De uma forma resumida, o movimento do ar tem por efeito: acelerar a perda de calor por convecção, auxiliar o corpo a dissipar o calor fornecido por condução na camada de ar superficial da pele e auxiliar a perda de calor por transpiração, permitindo ao homem suportar temperaturas até certo ponto elevadas (MACINTYRE, 1990).

Em locais cujas temperaturas variam entre 21 e 24°C, um deslocamento de ar, com velocidade de 12 m/min provoca uma sensação refrescante, confortável, não sendo considerado, porém, a umidade relativa do ar no recinto.

O conforto ambiental só se tornará possível com a remoção da umidade do ar. Esta remoção pode ser obtida, em alguns casos, com a utilização de um sistema de ventilação.

Nas considerações de MACINTYRE (1990), para uma umidade relativa do ar moderada, pode-se ter uma idéia do bem-estar proporcionado pelo ar em movimento, comparando e exprimindo seu efeito em função da diminuição da temperatura do ar (medida com o termômetro de bulbo seco), que produziria o mesmo efeito refrescante caso estivesse calmo.

Segundo a ABNT, para ambientes “normais” a velocidade do ar em determinadas zonas nos recintos, deve estar compreendida entre 1,5 e 15 m/min.

2.1.4 Ventilação para o Conforto Térmico

A compreensão dos benefícios da ventilação para o conforto humano supõe o conhecimento de certos fatos relacionados ao comportamento do organismo humano, em face de variações de temperatura. Os mamíferos e, por conseqüência, o homem, são homeotérmicos, isto é, conseguem, até certo ponto, manter uma temperatura relativamente constante para seu corpo, independentemente da temperatura do ambiente em que se encontram (MACINTYRE, 1990).

2.1.5 Controle do Ambiente

Na análise dos aspectos relativos ao avanço tecnológico, referente ao manejo dos animais, deve-se considerar que os problemas estão diretamente relacionados às condições ambientais apropriadas. Segundo observações de CAMPOS (1995), os altos valores de temperatura ambiente vêm provocando queda de produção e mortalidade elevada no meio avícola.

Dentre os problemas estratégicos ligados à produção animal, encontra-se o projeto das instalações para o confinamento dos animais. Em alguns casos, esse aspecto pode ser o responsável maior pelo insucesso do sistema produtivo, o que torna o seu estudo de fundamental importância (PERISSINOTO, 2003).

Devido às diferenças climáticas existentes entre os diferentes países, e até mesmo entre suas regiões, os sistemas e a tecnologia existentes devem ser adaptados às condições locais. De acordo com SILVA (1999), não há um pacote que possa ser usado em todos os países, nem em todo o território nacional, pois devem ser consideradas as raças dos animais, a fase de desenvolvimento, o nível tecnológico, o nível de produção, as características climáticas e de relevo das regiões, os sistemas e instalações já existentes, entre outros. Outro fator importante é a antecipação dos problemas, evitando-se que se recorra a soluções corretivas e improvisadas somente na

época mais crítica do ano. Em algumas áreas, o controle é necessário durante todo o ano, embora o calor se acentue no verão.

Segundo a EMBRAPA (1997) - Suínos e Aves, é importante que os aviários tenham temperaturas ambientais próximas às das condições de conforto (Tabela 1). Nesse sentido, o aperfeiçoamento dos aviários, com adoção de técnicas e equipamentos de condicionamento térmico ambiental, deve superar os efeitos prejudiciais de alguns elementos climáticos, possibilitando que se alcance bom desempenho produtivo de frangos de corte em alta densidade.

Tabela 1 - Temperatura ambiente ideal para criação de aves

IDADE (SEMANAS)	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)
1	32 - 35
2	29 - 32
3	26 - 29
4	23 - 26
5	20 - 23
6	20
7	20

Fonte: Embrapa (1997)

Outro fator que se impõe é o controle da umidade relativa do ar que deve estar entre 50% e 70%.

O controle eficiente do ambiente pode empregar sistemas naturais e artificiais (SILVA, 1999). Métodos de controle naturais envolvem: arborização ao redor das instalações, galpões abertos, altura adequada do pé direito, escolha adequada do local, orientação longitudinal da instalação na direção leste-oeste, cobertura refletiva, beirais amplos e presença de lanternim. Mecanismos artificiais referem-se, basicamente, aos sistemas mecânicos para redução da temperatura do ambiente (PERISSINOTO, 2003).

Uma solução para o controle de temperatura e umidade em ambientes fechados e protegidos é o sistema de resfriamento evaporativo, que consiste em mudar o ponto do estado psicrométrico do ar para maior umidade e menor temperatura, pelo contato do ar com uma superfície umedecida ou líquida, ou com água aspergida ou pulverizada (FURLAN, 2001).

2.2 RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

O processo de resfriamento, segundo o qual se retira calor sensível e calor latente e se adiciona umidade, denomina-se resfriamento evaporativo.

Nas observações de MACINTYRE (1990), para realizar esse tipo de resfriamento, o ar deve ser insuflado por meio de um chuveiro ou de água pulverizada por aspersores. Ao atravessar a água pulverizada o ar cede calor. Esse aquecimento faz com que parte da água vaporize e, desse modo, retire o calor do ar. O ar com o vapor formado se torna mais frio e mais úmido, conforme pode ser observado na figura 1.

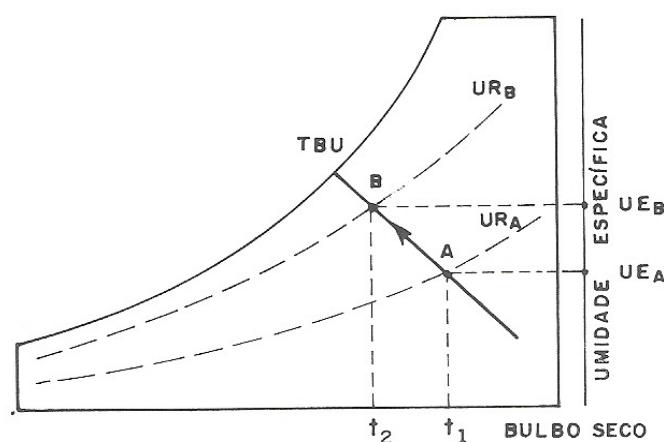


Figura 1 - Resfriamento evaporativo.

Fonte: Macintyre (1990).

O resfriamento evaporativo é um processo adiabático, ou seja, não há nenhum ganho ou perda de calor e, portanto, a energia requerida para evaporar a água é suprida pelo ar e conseqüente umedecimento do ar insaturado e redução de temperatura de bulbo seco (ABREU; ABREU; MAZZUCO, 1999). De acordo com BAETA e SOUZA (1997), em um

resfriamento evaporativo adiabático, nenhum calor externo é adicionado durante o processo e o conteúdo total de calor não varia. Somente ocorre uma mudança adiabática de calor sensível para calor latente, porém, ocasionando uma mudança ambiental que melhora consideravelmente as condições de conforto.

Nas considerações dos engenheiros da Embrapa Suínos e Aves, o condicionamento de ar por resfriamento evaporativo é um método ambientalmente amigável e energeticamente eficiente, que utiliza água e ar como fluidos de trabalho e pode ser uma alternativa econômica aos sistemas convencionais de ar condicionado, em muitos casos.

O resfriamento evaporativo tem ainda como atrativos o baixo consumo de energia, facilidade de manutenção, instalação e operação. Não utilizando gases agressivos do tipo CFC ou HFC, ele contribui para a proteção do meio ambiente. Por ser um sistema que opera com renovação total do ar, elimina-se a recirculação e a proliferação de fungos e bactérias, problema constante nos sistemas convencionais de condicionamento de ar.

2.2.1 Sistemas de Resfriamento Evaporativo

Os principais sistemas de resfriamento evaporativo consistem basicamente dos sistemas de *pad cooling* ou *pad fan* e nebulização (baixa e alta pressão). Os sistemas de *pad cooling* ou *pad fan* requerem ventilação mecânica para forçar o ar através dos painéis evaporativos. Nos sistemas de nebulização podem ser empregadas a ventilação natural ou a mecânica (FURLAN, 2001).

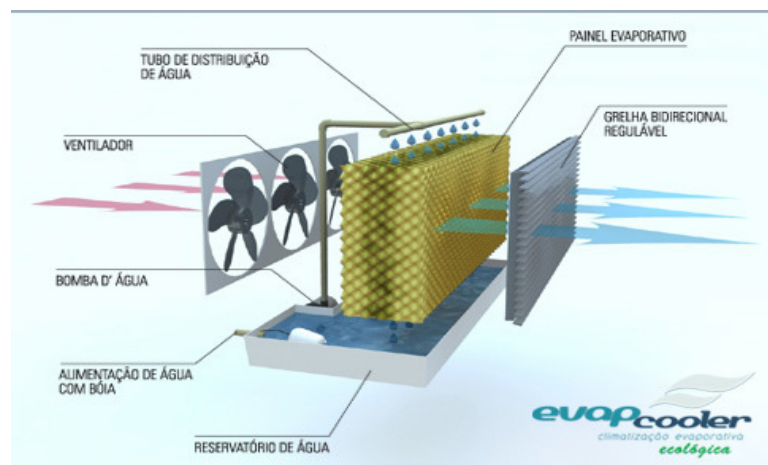


Figura 2 - Sistema de resfriamento evaporativo *pad cooling*.

Fonte: Evapcooler (2006).

Os painéis evaporativos, ilustrados na figura 2, são geralmente de material especial de celulose ou argila expandida, mantidos constantemente umedecidos por intermédio de dispositivo apropriado, através do qual o ar passa e resfria-se antes de entrar no ambiente.

Há uma grande variedade de equipamentos para renovação de ar disponível no mercado, considerando-se que o ar fornecido pelos equipamentos é totalmente renovado, resfriado, umidificado, filtrado e limpo, com custo de instalação e de operação variado, esse sistema evaporativo tem aplicação em quase todo tipo de ambiente, com uma gama de utilização muito mais abrangente do que o ar condicionado e a ventilação tradicional (FURLAN, 2001). Desse modo, a maior parte dos ambientes agroindustriais que necessitam de climatização, podem se beneficiar das vantagens do resfriamento evaporativo. Há ainda aqueles ambientes em que a manutenção de elevada umidade relativa é requisito básico para o estabelecimento das condições do processo agroindustrial.

2.2.2 Aplicações do Sistema Evaporativo

As aplicações para o resfriamento evaporativo são, entre outras, grandes áreas com grande quantidade de público, áreas nas quais funcionam

equipamentos que produzem calor, áreas de trabalho industrial em processos de manufatura, em indústrias têxteis, em alguns processos industriais que requerem um controle preciso da umidade, em minas, em abrigos de animais, no armazenamento de produtos hortifrutigranjeiros, no cultivo de plantas e para condicionamento de ar residencial e comercial.

Como exemplos, citam-se algumas das inúmeras aplicações possíveis do sistema evaporativo: aviários, galpões em geral, ambientes industriais em geral, granjas, igrejas, jardins de inverno, cinemas, cozinhas industriais, criatórios de animais em geral, incubatórios e outros.

A REVISTA AVICULTURA INDUSTRIAL Nº. 1146 (2006, p. 12) salienta em artigo:

Nas últimas décadas a avicultura tem apresentado cada vez mais investimentos na área de ambiência. Aviários totalmente climatizados surgem nos novos empreendimentos e as modificações nos aviários já existentes são constantes. Diversos tipos de equipamentos, entre eles o resfriamento evaporativo, estão sendo utilizados para tentar fornecer às aves conforto térmico para que elas possam atingir pleno desenvolvimento.

Considera também que o animal é uma máquina biológica que pode expressar todo o seu potencial de desenvolvimento quando trabalha em condições ambientais ótimas. Quando essas condições não são adequadas, geralmente ocorre um reflexo negativo na produtividade (PERISSINOTO, 2003).

O Brasil possui cerca de dois terços de seu território situados na faixa tropical do planeta, onde predominam altas temperaturas do ar, em virtude da elevada radiação solar incidente (MATARAZZO, 2004). A temperatura média do ar situa-se acima dos 20°C e a temperatura máxima se encontra acima dos 30°C, em grande parte do ano, atingindo, muitas vezes, valores entre 35°C e 38°C (TITTO, 1998). As diversas atividades agrícolas existentes nessas regiões requerem dos produtores, todas as providências que possam garantir um resultado favorável ao planejamento produtivo.

Segundo Curtis (1983) citado por SARTOR *et al.* (2001), na avicultura de corte, em condições de verão têm-se verificado, no interior dos aviários, valores de umidade relativa acima dos índices considerados toleráveis, que inibem o desempenho produtivo das aves e, nesse caso, as limitações

climáticas podem ser amenizadas a partir de um projeto de instalação adequado.

Observa-se na pecuária leiteira, que os animais vivem em equilíbrio dinâmico com o meio e a ele reagem de forma individual. Sua produção está condicionada às influências do ambiente, o qual não se mantém constante ao longo do tempo (BACCARI JUNIOR, 2001). Quando a temperatura ambiente ultrapassa os valores máximos de conforto para o animal, o ambiente se torna estressante e é necessário colocá-los em instalações que ofereçam conforto, permitindo que ele expresse todo o seu potencial para produção (MATARAZZO, 2004). As instalações devem ser construídas com a finalidade principal de reduzir a ação dos elementos climáticos (insolação, temperatura, ventos, chuvas e umidade relativa do ar). As variáveis ambientais são controladas com diferentes materiais de construção, dimensionamento dos espaços físicos disponíveis, densidade e sistema de ventilação e resfriamento (NÄÄS e SOUZA, 2003). Para o caso específico, o controle eficiente do ambiente pode empregar sistemas naturais e artificiais, visando modificar o ambiente no qual o animal está inserido e amenizar o efeito do estresse térmico. A movimentação do ar, o umedecimento da superfície do animal, o resfriamento evaporativo do ar e o uso de sombras para minimizar o efeito da radiação solar são artifícios empregados para potencializar a dissipação de calor (WEST, 2003).

O resfriamento evaporativo utilizando água gelada pode ser uma técnica adequada para o cultivo de frutas e hortaliças (TERUEL; KIECKBUSCH; CORTEZ, 2004). A principal vantagem dessa técnica consiste na possibilidade de produção nos períodos de entressafra, o que permite maior regularização da oferta e melhor qualidade dos produtos (SENTELHAS; SANTOS, 1995).

Um aspecto positivo sobre o cultivo em ambiente protegido nas regiões quentes é a atenuação de altas temperaturas que são prejudiciais ao crescimento e à produção de algumas culturas. No Brasil, diversas pesquisas têm confirmado essa hipótese, indicando que, em ambientes climatizados, os rendimentos superam àqueles obtidos no campo. O ambiente térmico no interior das instalações para suínos, em fase de terminação, tem importância vital para o sucesso da atividade suinícola (SARTOR *et al.*, 2003). Os

resultados dessas pesquisas mostraram que, em ambientes protegidos e climatizados com resfriamento evaporativo, a temperatura do ar baixou em média 3°C, quando comparado ao ambiente protegido-controle. A redução máxima de temperatura, durante dias de sol, foi de 5°C, com o conseqüente aumento da umidade relativa, que se manteve em 85%, nos ambientes com sombreamento (ROCHA, 2002).

A eficiência de aplicação do sistema de resfriamento evaporativo depende da diferença entre temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido (depressão psicrométrica) observadas na região. Em regiões com depressão psicrométrica variando de 7 a 9°C, foram observadas quedas de temperatura de 4 a 7°C, enquanto que, para depressões de 14 a 17°C, as quedas de temperatura variaram de 8 a 11°C (Whitaker, 1979 citado por FURLAN, 2001).

Em toda a Região Sul e Sudeste do Brasil, os galpões avícolas utilizam alguma forma de resfriamento evaporativo, que é inseparável do sistema de ventilação, pois a sua ação baseia-se na do fluxo de ar estabelecido ao longo do galpão. Os galpões que tenham ventiladores de agitação ou circulação admitem a incorporação de nebulizadores para o resfriamento evaporativo

2.2.2.1 Qualidade da água

Como regra geral, nas considerações dos engenheiros da Embrapa Suínos e Aves, é recomendável a utilização de água potável na alimentação dos resfriadores evaporativos.

Água com altos teores de minerais, principalmente cálcio deve ser evitada, pois a concentração dos sólidos solúveis tende a aumentar com a evaporação e, a partir de certo ponto, haverá supersaturação e precipitação dos minerais. Isto pode ser observado pela formação de depósitos na superfície da tela protetora, encontrada na abertura da entrada de ar. Água com carência de minerais, por outro lado, tende a compensar esta carência capturando minerais das colméias. Com relação ao pH, o ideal situa-se em 7 e 8, sendo aceitáveis valores entre 6 e 9.

2.2.2.2 Nebulização

O sistema de resfriamento por nebulização é constituído de bicos nebulizadores que fragmentam a água, em minúsculas gotas, distribuindo-as no interior dos ambientes na forma de jato d'água. Esse sistema pode ser operado em alta e baixa pressão. Quanto maior a pressão de trabalho do sistema maior será a quebra da gota d'água. Esse sistema de resfriamento apresenta uma grande vantagem que é a uniformidade de resfriamento em todo o ambiente, pois elimina a necessidade de ventilação forçada, resultando em um resfriamento mais efetivo e de fácil adaptação em ambientes que apresentem algum tipo de proteção (FURLAN, 2001). As desvantagens são representadas por um custo elevado de instalação, necessidade de uso de água de qualidade extranormal, apresenta o inconveniente do aumento da probabilidade da ocorrência de oxidação nas estruturas metálicas e nos equipamentos instalados no ambiente.

Com base nas observações de FURLAN (2001), o sistema com nebulização tem a mais alta eficácia entre todos os métodos de resfriamento evaporativo se a eficiência do bocal for alta e se a vazão e a pressão estiverem de acordo com as recomendações do fabricante, de forma que haja garantia de um bom desempenho do sistema. De acordo com Fang (1995) citado por FURLAN (2001), o atomizador trouxe a alternativa de introduzir uma boa qualidade de névoa, no entanto, precisa operar com ventiladores exaustores e recirculadores para promover a troca de ar. A figura 3 ilustra uma instalação na qual foram utilizados equipamentos nebulizadores.



Figura 3 - Galpões com instalação de nebulizadores.

Fonte: Evapcooler (2006).

2.3 UMIDADE RELATIVA DO AR

A umidade que geralmente se considera na prática é a umidade relativa, ou seja, a relação entre o número de gramas de umidade existente em um m³ de ar, num determinado ambiente e numa determinada temperatura e a quantidade máxima de gramas de umidade que o ar, nessa mesma temperatura, poderá conter quando estiver saturado (MACINTYRE, 1990).

A umidade relativa aumenta, portanto, com o conteúdo de água no ar e com a diminuição da temperatura ambiente. Quanto maior a umidade relativa do ar, mais lento se torna o processo de evaporação e, portanto, menor será a taxa com a qual o suor evapora do corpo; chegando à saturação, o ar não terá mais condições de possibilitar a evaporação do suor (MACINTYRE, 1990).

Ainda nas observações de MACINTYRE (1990), considera-se como faixa de conforto: temperatura entre 22º e 26ºC e umidade relativa entre 45 e 65%.

Igualmente à temperatura, umidade e qualidade do ar devem estar em níveis adequados para manter o bem estar das aves no aviário. "Entre 50 e 70%, a umidade relativa do ar é considerada ideal", segundo os engenheiros agrônomos da Embrapa Suínos e Aves. A umidade relativa do ar, no interior de um ambiente protegido, é determinada diretamente pela temperatura, numa relação inversa entre ambas: diminui durante o dia e aumenta durante a noite, no período de 24 horas, podendo variar de 30 até 100%, dependendo logicamente, das condições climáticas da região (ROCHA, 2002).

Umidade relativa alta, associada à temperatura elevada, dificulta a dissipação do calor, causando desconforto (MACINTYRE, 1990).

Para alguns casos, a umidade relativa do ar influencia a transpiração, o crescimento, a fecundação, no caso das flores, para outros ela cria dificuldades, pois, em excesso pode causar o superaquecimento das aves, trazendo prejuízos ao seu desenvolvimento.

2.3.1 Umidade Relativa do Ar em Ambientes Protegidos

Para o correto manejo das culturas em ambientes fechados ou protegidos, é necessário estudar os fenômenos causados pela umidade relativa do ar, que envolvem o cultivo das principais culturas. Segundo ROCHA (2002), quando se observam os fatores que decorrem das dificuldades de procedimentos para a atividade de cultivo de algumas plantas, verifica-se que a umidade relativa do ar representa a retenção do vapor de água do ar, cujo déficit de pressão está intimamente vinculado ao processo da evapotranspiração, afetando o equilíbrio hídrico das plantas e provocando um descompasso entre a demanda evaporativa e a capacidade do sistema radicular em absorver água e nutriente. LOURENZO MINGUES (1998) citado por FURLAN (2001), observa que nas estações e períodos mais quentes do dia, as plantas, especialmente aquelas com baixo índice de área foliar, diminuem a transpiração, sendo assim impedidas de aproveitar a energia disponível.

A umidade relativa do ar influencia a transpiração, o crescimento, a fecundação das flores e a ocorrência de doenças (CERMEÑO, 1994). Valores muito baixos de umidade relativa também podem provocar altas taxas de evapotranspiração, que podem reduzir a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produção da cultura (FURLAN, 2001). De acordo com BAÊTA e SOUZA (1997), em ambientes protegidos, as plantas teriam um desenvolvimento melhor quando expostas à alta umidade (na faixa 70 a 80%) porque, assim, o estresse evaporativo seria reduzido. A Tabela 2 apresenta uma relação de umidade relativa ótima para algumas culturas em ambiente protegido, segundo CERMEÑO (1994).

Tabela 2 - Umidade relativa ótima para as principais espécies cultivadas em ambiente protegido

CULTURA	UMIDADE RELATIVA (%)
Tomate	50 - 60
Pimentão	50 - 60
Abóbora	65 - 80
Melancia	65 - 75

Morango	70 - 80
Acelga	60 - 70
Aipo	65 - 80

Fonte: CERMEÑO (1994).

De acordo com FURLAN (2001), uma solução para superar os problemas relacionados à umidade relativa do ar no interior dos ambientes protegidos, especialmente o excesso de vapor de água, seria um adequado manejo.

2.4 DESEMPENHO DO RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

Com o aumento da temperatura da água o calor latente de vaporização decresce. Conseqüentemente, a água quente evapora mais rápido que a fria. Uma vez que, se adicionando energia à água esse processo é facilitado, é concebível que a eficiência de um sistema de resfriamento evaporativo aumente se a água fornecida fosse aquecida. Entretanto, esse argumento não considera o calor sensível adicionado à água, o qual é, no mínimo, parcialmente adicionado na ventilação do ar (SIMMONS; LOTT, 1996). Segundo MCNEILL *et al.* (1983) e Wiersma e Short (1983), citados por SARTOR *et al.* (2001), em instalações agrícolas, esse sistema é considerado mais vantajoso por apresentar baixo custo inicial e baixo custo operacional.

Fundamentado dos dados da exposição teórica, foi desenvolvido um equipamento com as características de funcionamento próximas as de equipamentos de resfriamento evaporativo padronizados comercialmente e disponibilizados no mercado. O referido equipamento teve sua construção semelhante à de um chuveiro, representado por condutos de material em PVC com furação distribuída na direção longitudinal em espaços regulares, permitindo a passagem da água e propiciando a formação de uma espécie de cortina de água, possibilitando o contato com o ar, que ao contrário dos equipamentos regulares não foi insuflado, mas teve a movimentação realizada

por um exaustor. Esse contato propiciou a ação de resfriamento, ao ser aspirado para o interior do ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO PROJETO

A presente pesquisa foi realizada nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Unidade Oeste, *campus* de Medianeira, Paraná, Brasil. O recinto está localizado no oeste paranaense com $25^{\circ}18'01.86''$ de latitude sul e $54^{\circ}06'55.50''$ de longitude oeste, com uma altitude de 111 metros, segundo dados obtidos do Google Earth, conforme figura 4.



Figura 4 - Ilustração da localização do projeto.

Fonte: Google Earth (2006).

3.1.1 Características Climatológicas

Conforme a classificação estabelecida, em 1948, por Köppen (KÖPPEN, 2006), a região de Medianeira - PR é denominada tipo Cfa - Clima subtropical, conforme se visualiza na figura 5; temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C , com verões quentes, geadas pouco freqüentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. Os ventos sopram na direção nordeste/sudoeste e leste/oeste, com velocidade média entre 33 e 46 km/h. A figura 6 mostra o comportamento da temperatura média no período da realização da experiência e a figura 7 mostra a umidade relativa do ar média, ocorrida também no mesmo período.



Figura 5 - Ilustração das condições climáticas.

Fonte: IAPAR (2006).

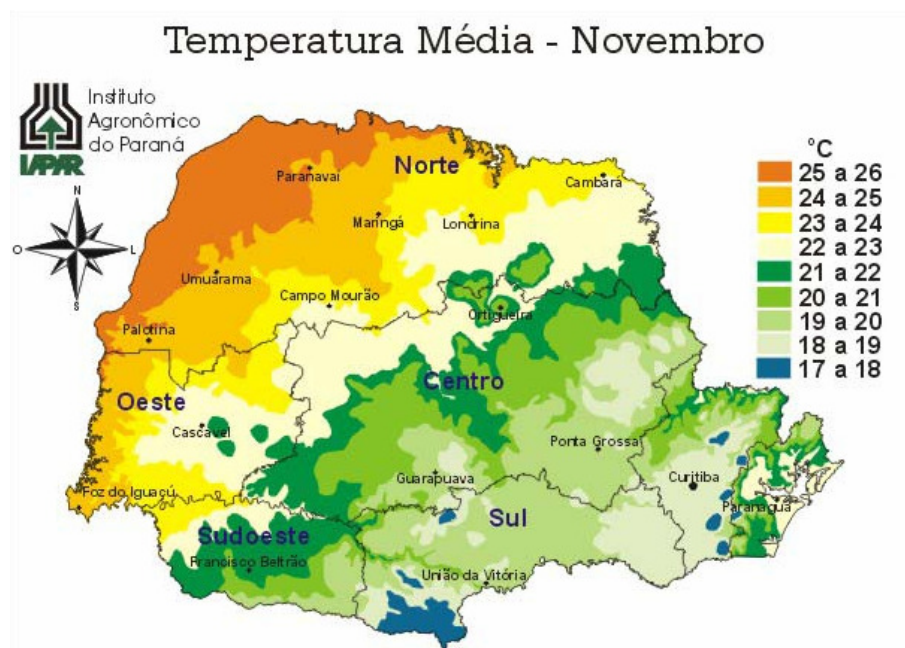


Figura 6 - Ilustração das temperaturas médias.

Fonte: IAPAR (2006).

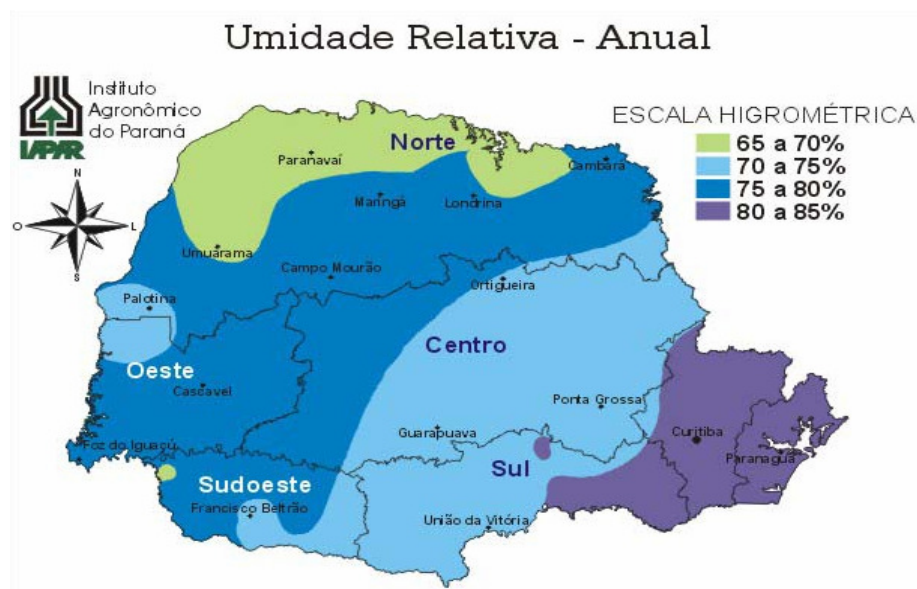


Figura 7 - Ilustração das condições de umidade relativa.

Fonte: IAPAR (2006).

3.2 DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO TROCADOR DE CALOR

Nas máquinas térmicas disponíveis no mercado e que utilizam o sistema *pad fan* de funcionamento, o ar é forçado mecanicamente a passar por um elemento umedecido, que provoca a troca de calor, pela ação de um ventilador, posicionado no lado inverso do ambiente a ser resfriado. É um processo adiabático, ou seja, não há nenhum ganho ou perda de calor e, portanto, a energia requerida para evaporar a água é suprida pelo ar e conseqüente umedecimento do ar insaturado e redução de temperatura de bulbo seco (ABREU; ABREU; MAZZUCO, 1999).

Para que o desenvolvimento do equipamento desta pesquisa tivesse uma base de apoio teórico e técnico, foi adaptado um ambiente que permitisse a observação das condições de entrada e saída de ar, pois a troca contínua do ar ambiente por ar resfriado é fundamental para manter as condições de conforto térmico no ambiente. Assim, o ar produzido pelo resfriador evaporativo ou equipamento equivalente deve ter saída adequada do ambiente (MACINTYRE, 1990). Quando as saídas forem insuficientes ou inexistentes devem ser instalados exaustores. A localização correta das aberturas naturais ou dos exaustores é fundamental para se criar o padrão de circulação de ar desejado no ambiente (figura 8).

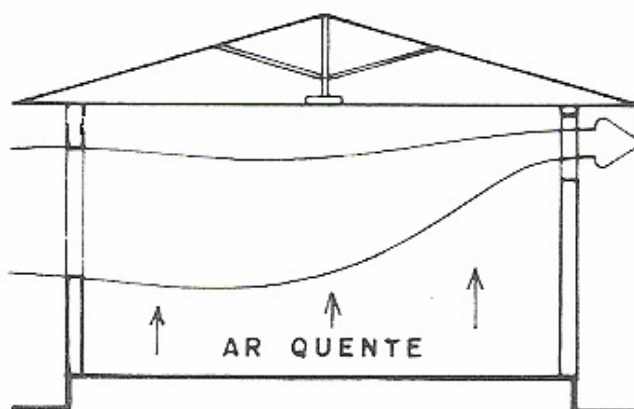


Figura 8 - Ilustração do posicionamento da entrada de ar e ventilação.

O sistema alternativo de trocador de calor para construções agroindustriais, proposto para o desenvolvimento desta pesquisa, apresentou um conjunto hidráulico composto por uma bomba de baixa pressão para pressurizar a água por meio de tubos de alimentação do sistema, representado esquematicamente na figura 9.

A cortina de água proporcionada pelo funcionamento do conjunto também oferece a oportunidade de execução do trabalho de lavagem e purificação, retirando do ar as partículas sólidas em suspensão, oferecendo ao ambiente a ser tratado essa vantagem a mais.

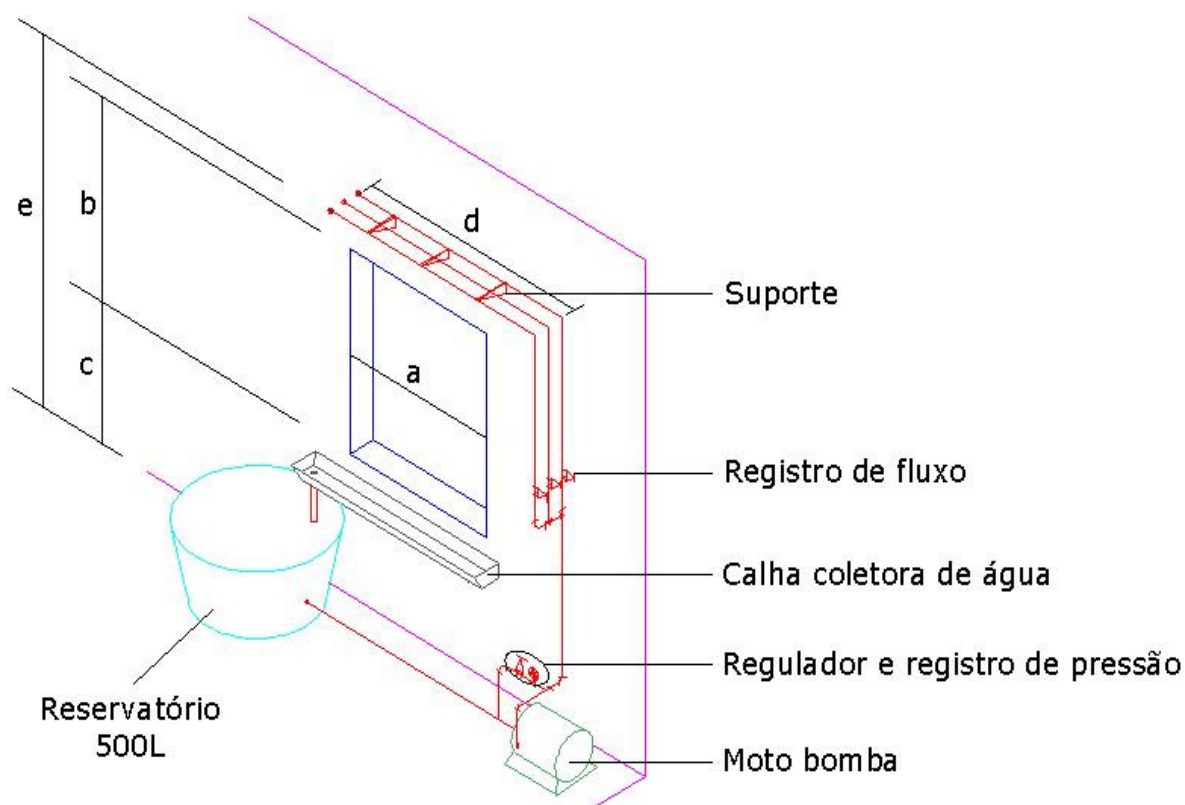


Figura 9 - Isométrico do sistema para circulação de água.

Nota: a) 1500 mm, b) 950 mm, c) 1100 mm, d) 1900 mm, e) 2300 mm.

3.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O desenvolvimento do dispositivo experimental utilizou uma bomba de baixa pressão para recirculação da água, uma linha de distribuição de água, uma calha coletora de água, um reservatório para armazenamento da água, um exaustor para circulação do ar interno, medidores de temperatura, velocidade e umidade do ar.

O ambiente utilizado para as medições, foi instalado nas dependências da UTFPR, *campus* de Medianeira - PR, formado por uma sala em construção de madeira, com 3 paredes em contato com o meio externo, sendo uma voltada para o lado leste, uma para o lado sul e a outra para o lado oeste, a última parede fazendo a composição do galpão, com uma área total de $12,3 \text{ m}^2$ e um volume total de $33,21 \text{ m}^3$. A medida do pé direito tem $2,7 \text{ m}$, com uma abertura para permitir a entrada de ar de $1,55 \text{ m} \times 0,95 \text{ m}$ com forro de madeira no teto e a cobertura com telhas de amianto em duas águas e distância de vão de $0,8 \text{ m}$ do telhado e orientação do eixo longitudinal na direção Leste-Oeste.

O espaço utilizado para a realização dos ensaios tem aberturas do lado leste, sendo uma porta de $1,68 \text{ m}^2$ e um exaustor de $0,527 \text{ m}^2$ e no lado oeste uma abertura com área de $1,425 \text{ m}^2$, na qual foi instalado o equipamento. A figura 10 mostra a localização do experimento.



Figura 10 - Vista frontal da instalação do dispositivo.

3.3.1 Descrição dos Componentes do Dispositivo

A composição do dispositivo para a realização das etapas do experimento foi baseada nos esquemas de montagem dos equipamentos comerciais de resfriamento evaporativo, com exceção do elemento evaporativo de material especial, pois, em seu lugar, foi utilizado o chuveiro formador da cortina d'água. Foi disponibilizada para a constituição do sistema, uma motobomba hidráulica de baixa pressão, de fabricação Dancor, com potência de 1/3 CV, 3400 rpm, 60 Hz, adaptada com um registro controlador de fluxo e também um medidor para controle de pressão do fluido, conforme ilustração na figura 11.



Figura 11 - Vista interna da instalação da moto-bomba hidráulica.

Para os procedimentos de circulação da água, foi construído um circuito com tubulação em PVC, conforme figura 12.



Figura 12 - Circuito de circulação de água.

O referido circuito teve sua formação definida por três ramais de tubulação de material em PVC, com funcionamento individual ou simultâneo e com diâmetro nominal de 25 mm, com furos regulares e eqüidistantes com diâmetro de 3 mm e cada ramal com seu respectivo registro de controle de fluxo, conforme mostrado na figura 13.



Figura 13 - Circuito de circulação de água e registros de fluxo.

A água pressurizada pela moto-bomba, ao ser liberada para o procedimento de circulação, passou pelos condutos distribuidores, formando a cortina d'água ao cair, sendo recolhida, posteriormente, por uma calha coletora utilizada para a canalização do seu retorno para o reservatório de água (cisterna).

Foi instalado um exaustor axial com potenciômetro para controle de velocidade, componente fundamental do sistema de ventilação, que permite a movimentação controlada do ar no interior do ambiente, conforme mostrado na figura 14.



Figura 14 - Vista interna da instalação do exaustor axial.

3.4 METODOLOGIA PARA COLETA DE DADOS

Para análise do comportamento funcional do dispositivo de troca de calor foi adotada uma metodologia de coleta de dados com os seguintes componentes¹:

- Termohigrômetro digital da marca Minipa, modelo MT-241, com relógio, display de cristal líquido, com escala de temperatura de -50 a 70°C, com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$, de umidade de 20 a 90% RH, com precisão de $\pm 5\%$ RH.

¹ As marcas e modelos de produtos e equipamentos citados neste trabalho não constituem recomendação comercial, mas somente indicativo do que foi utilizado neste estudo.



Figura 15 - Termohigrômetro digital Minipa.

O termohigrômetro digital Minipa foi utilizado para monitorar os dados de temperatura e umidade no interior do ambiente, gerando valores para serem inseridos nas planilhas previstas para a organização dos dados.

- Termohigrômetro digital da marca Instrutemp, modelo HT-200, com display de cristal líquido, com escala de temperatura de -20 a 70°C, com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$, de umidade de 20 a 99% RH, com precisão de $\pm 5\%$ RH.



Figura 16 - Termohigrômetro digital Instrutemp.

O termohigrômetro digital Instrutemp foi utilizado para monitorar os dados de temperatura e umidade do ambiente externo. As leituras dos valores obtidos para análise foram inseridas em planilhas apropriadas.

- Termostato digital da marca Full Gauge, modelo TIC-17RGTi, com display de cristal líquido, com escala de temperatura de -50 a 105°C, com precisão de $\pm 0,1^\circ\text{C}$, com temperatura de operação de 0 até 50°C, e umidade de operação de 10 a 90% UR.

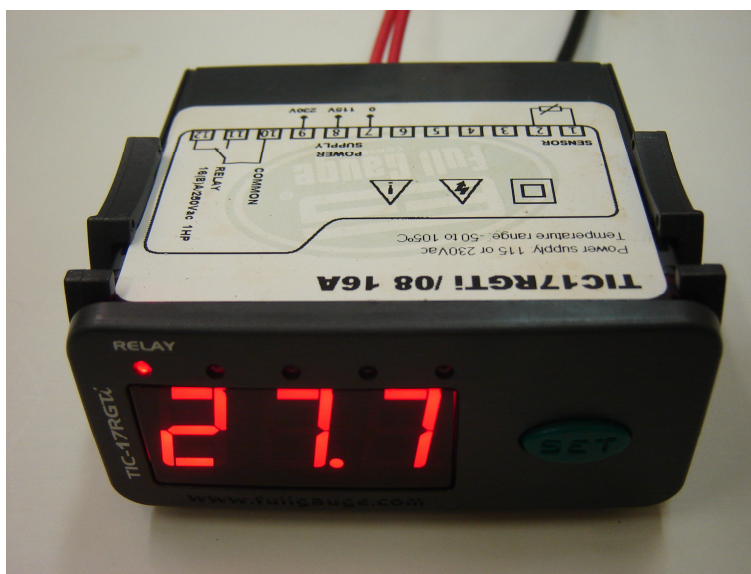


Figura 17 - Termostato digital.

O termostato digital foi utilizado para a realização das medições de temperatura da água do reservatório durante o período de observações.

- Multímetro digital da marca Icel, modelo MD-5770, com display de cristal líquido, com escala de temperatura de -40 a 400°C, com precisão de $\pm 1,0\%$;



Figura 18 - Multímetro digital.

Usado para a realização da aferição do funcionamento e correção dos valores de leitura dos instrumentos para as medições de temperatura.

- Termômetro de mercúrio para medição de temperatura de bulbo úmido e de bulbo seco e aferição da umidade relativa do ar, durante o período de observações.

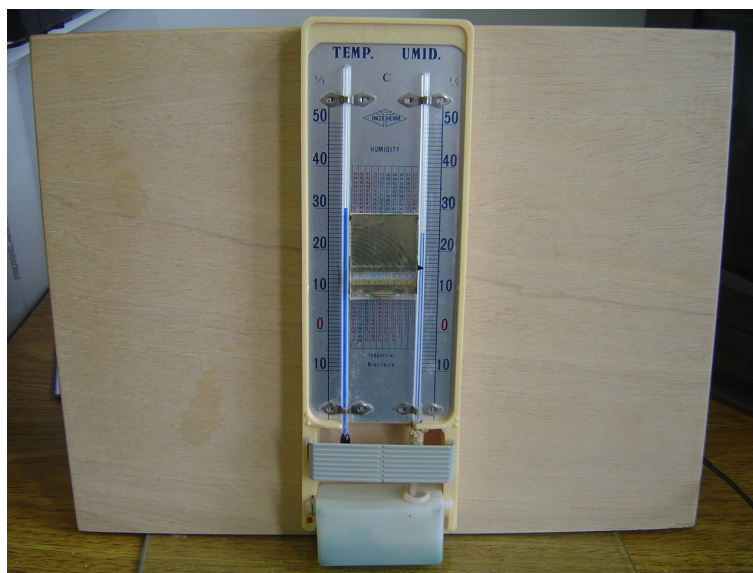


Figura 19 - Termômetro de mercúrio.

O Termômetro de mercúrio foi utilizado para medições de temperatura de bulbo úmido e de bulbo seco e umidade relativa do ar.

- Termo-anemômetro digital portátil, da marca Lutron, modelo AM-4201, com display de cristal líquido, com escala de velocidade de 0,4 a 30 m/s, com precisão de $\pm 3\%$.



Figura 20 - Termo-anemômetro digital.

Utilizado para a medição e equalização da velocidade do ar no interior do ambiente de experimentação.

3.5 DETERMINAÇÃO DOS VALORES DOS PARÂMETROS DE VELOCIDADE DO AR

Para compatibilizar a ação conjunta da ventilação forçada com o equipamento trocador de calor, foi utilizado um exaustor de ar da marca Emaf, modelo 103, com 0,50 m de diâmetro, tensão 220V, motor de 1/4 de HP, rotação 1100 rpm e vazão de ar de 105 m³/min, com o acionamento realizado por um potenciômetro com ajuste de velocidade máximo e mínimo.

3.5.1 Aferição dos Dados de Velocidade do Ar

Para a execução da aferição dos dados de velocidade do ar, foi estabelecido um parâmetro em conformidade com o que estabelece a NB-10/1978 da ABNT, para determinadas zonas de recinto, em ambientes denominados “normais”, que o valor de velocidade do ar deverá ficar entre 1,5 e 15 m/min (ABNT, 1978)

O exaustor instalado teve seu potenciômetro ajustado para velocidade máxima, que proporcionou uma velocidade do ar de 3 m/s, aferido por meio de medição por anemômetro. Valor que foi tomado como parâmetro básico utilizado para o experimento. De acordo com o que estabelece a norma da ABNT NB-10/1978, que trata da sensação de resfriamento equivalente em função da velocidade do ar local, esse valor proporciona a sensação de queda de temperatura de valores entre 3°C e 6°C.

3.6 DETERMINAÇÃO DE VALORES DOS PARÂMETROS DE TEMPERATURA E UMIDADE, UTILIZANDO OS CONDUTORES DE ÁGUA

O circuito para circulação do fluido pressurizado que possibilita o funcionamento do sistema trocador de calor constou de três ramais condutores de água instalados em paralelo e em condições de funcionamento simultâneo ou individualizados para possibilitar a análise do comportamento do contato do ar com o volume de água proporcionado pela cortina de água.

A apuração dos valores de temperatura e de umidade relativa do ar, objeto deste estudo, teve o seu desenvolvimento realizado em três etapas a seguir:

- Etapa I: Para a primeira etapa, foi utilizado somente um ramal condutor, ficando os outros dois ramais inativos, ou seja, com seus registros controladores de fluxo, fechados.

- Etapa II: Na segunda etapa, foram utilizados dois ramais condutores simultaneamente, permanecendo um ramal inativo, com o seu respectivo registro controlador de fluxo fechado.
- Etapa III: Para a terceira etapa, foram utilizados os três ramais concomitantemente.

Adotou-se, para todas as etapas de testes, um valor fixo de pressão (10 mca), estabelecido para o fluido do sistema, um valor único para o volume do tanque (300 litros), a ventilação forçada teve seus valores estabelecidos (3 m/s), segundo as tabelas de ventilação para ambientes protegidos (MACINTYRE, 1990). Os valores de umidade relativa foram examinados de acordo com os parâmetros estabelecidos para uma faixa de conforto, segundo MACINTYRE (1990), entre 45 e 65%.

Foram realizadas cinco semanas de testes. Cada semana teve três dias de observação, cada dia teve um intervalo de 6 horas ininterruptas de atividade e cada etapa teve seu dia específico de observação.

O seqüencial de atividades de experimentação e os mecanismos de manuseio do equipamento desenvolvido foram observados para proporcionar uma forma objetiva de análise. O detalhamento dessas atividades é apresentado nos parágrafos que se seguem.

3.6.1 Procedimento de Medição da Etapa I

Após a verificação do volume do reservatório, foi posicionado o sensor para medição da temperatura da água e, em seguida, observados os sensores de medição dos valores da temperatura e da umidade relativa do ar do ambiente externo. A seguir, foi ajustada a velocidade do ar no ambiente interno pela regulação de velocidade máxima do exaustor (3 m/s) com a utilização de instrumento apropriado (anemômetro) para equalizar a ventilação forçada (MACINTYRE, 1990). Com esses ajustes foram realizados as medições e aferidos os valores iniciais de temperatura do ar e da umidade relativa do ar, interna e externamente, os dados coletados foram inseridos em uma planilha, previamente preparados para o registro. Em seguida, a bomba hidráulica foi

acionada e o fluxo de água foi ajustado para uma pressão constante (10 mca) e o acionamento do ramal condutor executado pelo movimento de abertura do registro de controle de fluxo.

Com o funcionamento do equipamento iniciaram-se as medições, cujo tempo foi estabelecido em intervalos de 60 minutos, num tempo total de 6 horas de observação. Essa rotina foi estabelecida para os cinco dias em que esta etapa foi repetida. Os valores apresentados, durante as medições, foram devidamente cadastrados e analisados e os resumos foram apresentados nos itens a seguir.

O funcionamento do equipamento, utilizando um ramal condutor para realizar a atividade com uma linha de cortina de água, mostrou um comportamento satisfatório e teve um resultado de funcionamento considerado favorável.

3.6.2 Procedimento de Medição da Etapa II

Para a realização da segunda etapa de experimentos, todos os passos executados na etapa anterior foram repetidos, considerando que foram utilizados dois ramais condutores de água, ficando o último inativo ou com seu registro de fluxo fechado. A velocidade do ar foi mantida com o mesmo ajuste inicial (3 m/s) e toda a seqüência de atividades foi levada a efeito, em conformidade com a outra etapa. O experimento teve o mesmo intervalo de tempo de tratamento, no seu dia respectivo, e os resultados coletados também foram cadastrados, analisados e inseridos nas planilhas apropriadas e os resultados apresentados nos itens que se seguem. O desempenho do equipamento nessa fase mostrou um comportamento similar ao apresentado na primeira fase, no que se refere ao funcionamento geral, e as duas linhas de cortina de água apresentaram um rendimento satisfatório.

3.6.3 Procedimento de Medição da Etapa III

A terceira etapa de experimento apresentou a utilização concomitante dos três ramais condutores. De forma análoga às outras etapas, o seqüencial de operações e de atividades teve o mesmo tratamento e as medições realizadas de acordo com as condições estabelecidas e executadas nessas etapas, sendo também realizada num dia específico, com o mesmo intervalo de tempo de tratamento e os resultados coletados cadastrados nas suas respectivas planilhas e os resumos foram apresentados nos itens seguintes.

3.6.4 Período Experimental e Coleta de Dados

O trabalho foi realizado no período de 28 de novembro a 14 de dezembro de 2006, em que predominaram os dias quentes e secos do início do verão e, em seguida, de 06 a 13 de março de 2007, nos dias quentes e úmidos do final do período. Cada etapa teve seu dia específico. A etapa I teve sua realização nos dias 28/11/06, 04 e 12/12/06, 06 e 09/03/07, a etapa II foi realizada nos dias 29/11/06, 05 e 13/12/06, 07 e 12/03/07, a etapa III foi realizada nos dias 30/11/06, 06 e 14/12/06, 08 e 13/03/07. Durante todos esses dias foram monitoradas as condições climáticas do tratamento para a coleta dos dados.

O horário estabelecido para cada dia de observação teve início às 10 horas e término às 16 horas, com funcionamento ininterrupto do equipamento, sendo que a monitoração foi executada a cada hora, num total de sete vezes.

3.6.5 Delineamento Estatístico

O delineamento experimental estatístico adotado foi o DIC (Delineamento Inteiramente Casualizado), com dois tratamentos e cinco

repetições. A unidade experimental adotada foi a medida da temperatura e a medida da umidade relativa do ar. O evento teve um total de dez medidas para cada variável em cada hora. As medições foram realizadas às 10:00h, 11:00h, 12:00h, 13:00h, 14:00h, 15:00h e 16:00h e foram realizadas em três etapas que consistiram na atividade de passagem da água pelos ramais de tubulação. A Etapa I foi realizada com a passagem de água em um ramal de tubulação, a Etapa II com a passagem de água em dois ramais de tubulação e a Etapa III com a passagem de água por três ramais de tubulação.

Para o estudo de comparação das médias, adotaram-se os resultados da análise de variância entre os dois tratamentos e foram consideradas as medidas internas como um tratamento e as medidas externas como um outro tratamento. Esses procedimentos foram realizados tanto para as medidas de temperatura como para as medidas de umidade relativa do ar. O percentual de significância utilizado foi de 5%.

3.6.6 Consumo de Energia pelo Sistema Trocador de Calor

Foi registrado o consumo de energia em cada dia de teste, para o acionamento dos sistemas de ventilação forçada e de resfriamento, por meio de um multímetro. Assim, foi determinado o consumo de energia ao longo do período de teste do equipamento.

3.6.7 Consumo de Água pelo Sistema Trocador de Calor

Foi avaliado o consumo de água utilizado no período total do experimento. Para cada etapa de tratamento do sistema, foram observados os valores de perdas de água por evaporação, por funcionamento inadequado do equipamento e por desperdício na coleta para condução de retorno ao reservatório. Esse consumo foi determinado pela diferença entre a medida do volume inicial do reservatório e a medição do volume final dentro do intervalo

de tempo estabelecido para a duração do experimento diário, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados de consumo de água - Etapas I, II e III

ETAPA	DIAS	VOLUME INICIAL (l)	VOLUME FINAL (l)	CONSUMO (l)	CONSUMO TOTAL (l)
I	28/nov/06	300	288	12	62
	04/dez/06		287	13	
	12/dez/06		289	11	
	06/mar/07		288	12	
	09/mar/07		286	14	
ETAPA	DIAS	VOLUME INICIAL (l)	VOLUME FINAL (l)	CONSUMO (l)	CONSUMO TOTAL (l)
II	29/nov/06	300	280	20	106
	05/dez/06		279	21	
	13/dez/06		278	22	
	07/mar/07		279	21	
	12/mar/07		278	22	
ETAPA	DIAS	VOLUME INICIAL (l)	VOLUME FINAL (l)	CONSUMO (l)	CONSUMO TOTAL (l)
III	30/nov/06	300	270	30	149
	06/dez/06		269	31	
	14/dez/06		271	29	
	08/mar/07		271	29	
	13/mar/07		270	30	

Tabela 4 - Dados percentuais diários do consumo de água - Etapas I, II e III

DIA	VOLUME INICIAL (litros)	VOLUME FINAL (litros)	CONSUMO (litros)	PERCENTUAL (%)
28/nov/06	300	288	12	4
29/nov/06	300	280	20	6,6
30/nov/06	300	270	30	10
04/dez/06	300	287	13	4,3
05/dez/06	300	279	21	7
06/dez/06	300	269	31	10,3
12/dez/06	300	289	11	3,6
13/dez/06	300	278	22	7,3
14/dez/06	300	271	29	9,6
06/mar/07	300	288	12	4
07/mar/07	300	279	21	7
08/mar/07	300	271	29	9,6
09/mar/07	300	286	14	4,6
12/mar/07	300	278	22	7,4
13/mar/07	300	270	30	10

Foi preparado para o experimento um reservatório com capacidade para 500 litros e utilizou um volume inicial de 300 litros, para servir de base para a observação, conforme mostrado na Figura 21.



Figura 21 - Reservatório de água para alimentação do sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ENSAIOS DO DISPOSITIVO TROCADOR DE CALOR

Os ensaios realizados tiveram como primeiro objetivo, a verificação do manuseio e da funcionalidade do dispositivo trocador de calor. Como resultado, foi verificado que o equipamento mostrou uma boa praticidade de manuseio e um bom funcionamento dos elementos constitutivos.

A estrutura de construção do equipamento apresentou leveza e versatilidade e o funcionamento, além de simples mostrou boa precisão do seu manejo, conforme mostrado nas figuras 22 e 23.



Figura 22 - Condutores de distribuição de água e registros.

Em seguida, foram verificados o controle do volume da água no reservatório, o acionamento do motor da bomba e a execução do controle da regulação da pressão do fluido para a circulação, bem como o acionamento dos registros controladores de fluxo.



Figura 23 - Medidor de pressão, registro de vazão, calha e reservatório de água.

A simplicidade de construção e a leveza do conjunto possibilitaram o melhor ajuste do dispositivo com um mínimo de manobras e encontrar a forma mais equilibrada de funcionamento. Os resultados mostraram que o equipamento apresenta uma reserva de potencial que permite oferecer alternativas para a execução de pesquisas diversificadas dentro da área de controle de temperatura.

4.2 AS ETAPAS NO LABORATÓRIO

A realização dos ensaios iniciais para funcionamento do equipamento mostrou um desempenho regularizado e prático. O controle da pressão do sistema e a regularização do funcionamento da cortina d'água nos ramais condutores por meio de registros controladores de vazão executaram a tarefa com eficiência. O desperdício de água não foi excessivo e a calha condutora apresentou uma contribuição positiva na operação de recolhimento da água e posterior encaminhamento para o reservatório.

Os ensaios puderam ser realizados com a seqüência das etapas pré-estabelecidas e não apresentaram nenhuma irregularidade que pudesse alterar os passos subseqüentes de observação.

4.3 ANÁLISE DA FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

As observações dos valores coletados no período de testes realizados para todas as etapas, apresentaram os resultados que configuram o desempenho do equipamento trocador de calor proposto e os valores foram discutidos nos itens que se seguem:

4.3.1 Avaliação da Primeira Etapa de Resfriamento (Etapa I)

Para a realização das observações, o processo teve início às 10 horas e, nessa fase, que teve a utilização de um ramal condutor de água, para o período de cinco dias, foram registrados os valores de temperatura e umidade do ambiente externo e do ambiente interno do laboratório. As figuras 24 e 25 mostram o comportamento dos valores iniciais da experimentação.

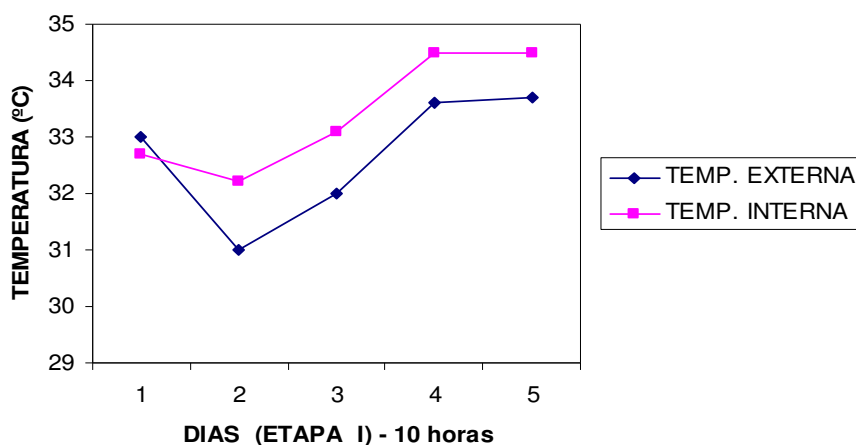


Figura 24 - Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 10 horas.

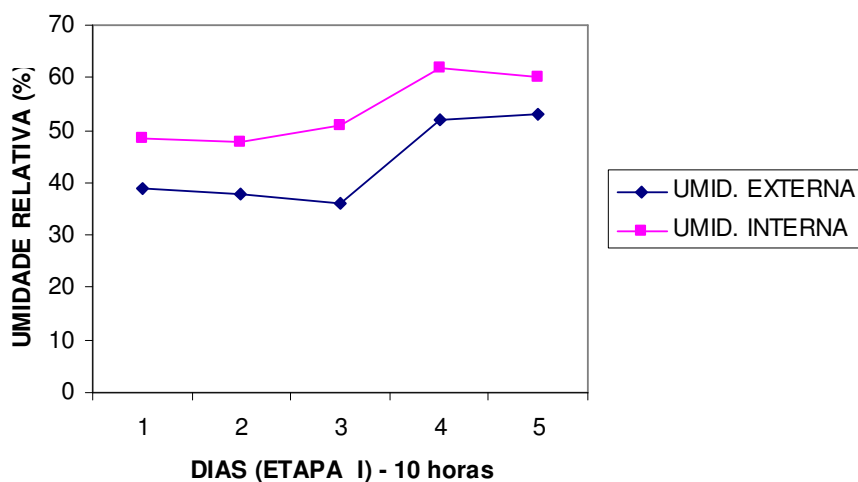


Figura 25 - Valores de umidade relativa da Etapa I, às 10 horas.

Os valores apresentados nos gráficos das figuras 24 e 25 mostram um comportamento em que o ambiente interno estava ainda sob o efeito da temperatura e da umidade relativa sem a ação de funcionamento do equipamento trocador de calor. A análise estatística é mostrada na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 10 horas – Etapa I

Horas	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
10:00	Externa	32,66	1,12768	0,31927	5,31764	NS
	Interna	33,40				
Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
10:00	Externa	43,60	4,68248	0,06241	5,31764	NS
	Interna	53,84				

Pela análise de variância realizada para comparação dos valores de temperatura, os resultados mostraram que não houve diferença estatisticamente significativa entre eles, tendo em conta, o fato de que o mecanismo de medição estava sendo acionado para a primeira observação e esses valores foram tomados como referência para a seqüência de registros.

De forma análoga, para a análise das observações dos valores de umidade relativa dos ambientes, os resultados mostraram que não houve diferença estatisticamente significativa para os mesmos.

Na fase seguinte, de observações com o equipamento realizando trabalho ininterrupto, efetivada às 11 horas, verificou-se que os resultados não apresentaram alterações significativas de comportamento, conforme indicado pelos gráficos das figuras 26 e 27.

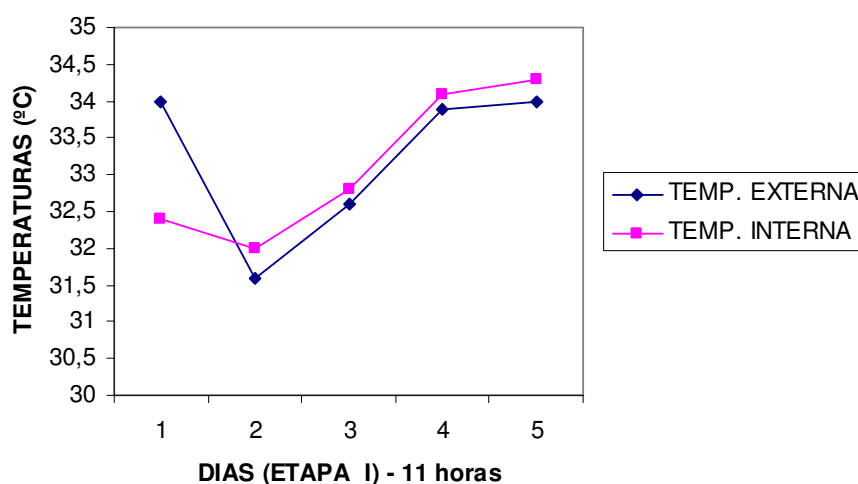


Figura 26 - Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 11 horas.

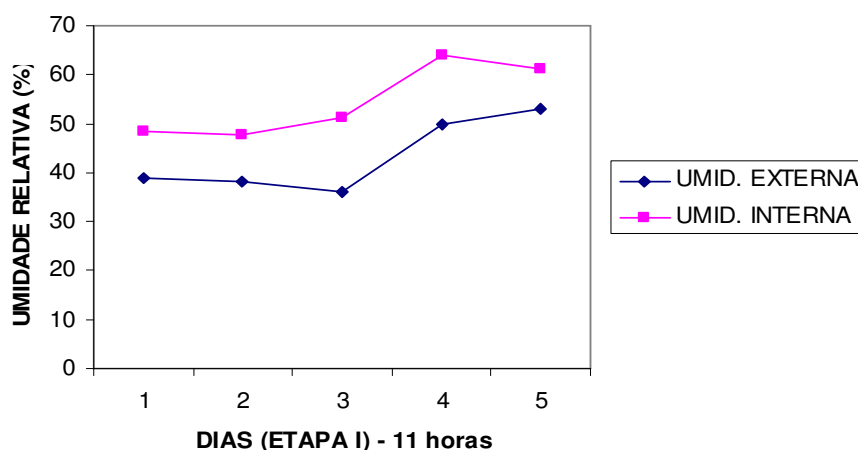


Figura 27 - Valores de umidade relativa da Etapa I, às 11 horas.

A análise estatística constatou que, para essa fase, não houve diferença estatisticamente significativa para a comparação de temperaturas.

Para a análise das observações da umidade relativa, constatou-se uma ligeira variação nos valores, indicando haver uma diferença estatisticamente significativa, conforme o quadro da Tabela 6.

Tabela 6 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 11 horas - Etapa I

Horas	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
11:00	Externa	33,22	0,02243	0,88465	5,31764	NS
	Interna	33,12				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
11:00	Externa	43,22	5,6327	0,04501	5,31764	*
	Interna	54,58				

Na fase seguinte, realizada às 12 horas, as medições de temperatura e de umidade relativa apresentaram resultados que mostraram pouca variação com relação aos valores obtidos anteriormente, conforme os gráficos das figuras 28 e 29 e o balanço estatístico mostrado na Tabela 7.

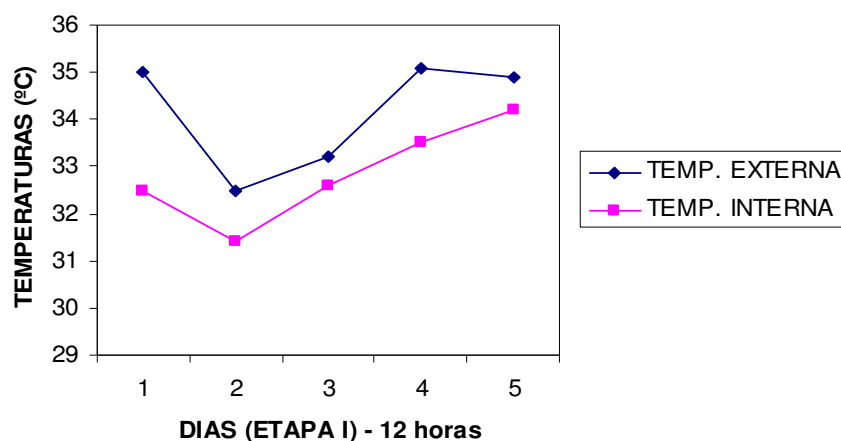


Figura 28 - Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 12 horas.

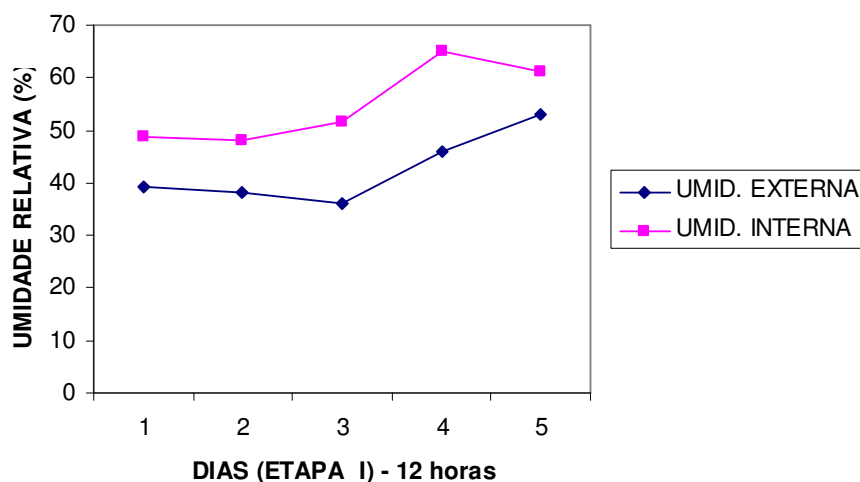


Figura 29 - Valores de umidade relativa da Etapa I, às 12 horas.

Tabela 7 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 12 horas - Etapa I

Horas	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
12:00	Externa	34,14	3,26759	0,10828	5,31764	NS
	Interna	32,84				
Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
12:00	Externa	42,88	6,03585	0,03952	5,31764	*
	Interna	54,86				

Os resultados da análise de variância realizada para essa fase, em relação à temperatura, indica ainda que não houve diferença estatisticamente significativa nesse período de tempo, mas já mostrando uma tendência para a mudança. Constatou-se, entretanto, que para as observações de umidade relativa, houve uma variação nos valores, indicando uma diferença estatisticamente significativa e o conseqüente aumento da umidade no recinto de testes.

Na fase de observação das 13 horas, os valores indicam um comportamento de mudança nas medições de temperatura e de umidade relativa, conforme mostrado nos gráficos das figuras 30 e 31. A comprovação estatística está delineada pelos dados apresentados na Tabela 8.

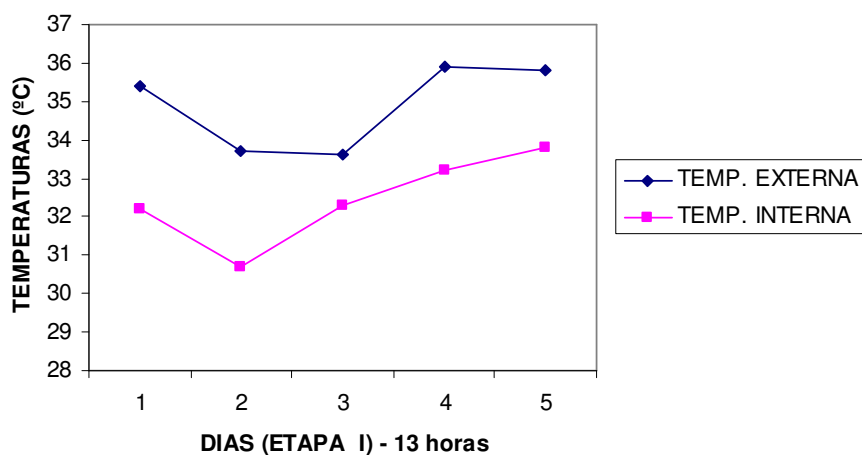


Figura 30 - Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 13 horas.

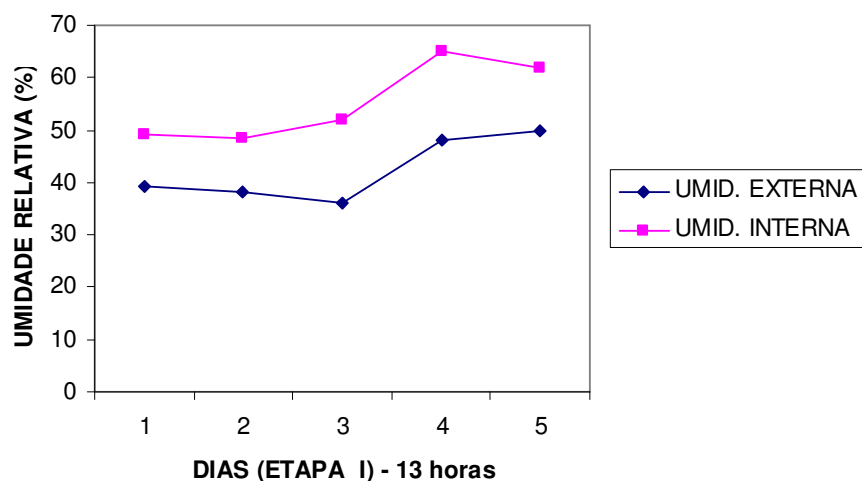


Figura 31 - Valores de umidade relativa da Etapa I, às 13 horas.

Tabela 8 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 13 horas - Etapa I

Horas	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
13:00	Externa	34,88	11,1075	0,01034	5,31764	*
	Interna	32,44				
Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
13:00	Externa	42,32	8,48718	0,01949	5,31764	*
	Interna	55,26				

Pela análise de variância realizada, os resultados mostraram que houve diferença estatisticamente significativa para os valores de comparação. O sistema apresentou uma variação no seu rendimento, causando um efeito positivo de funcionamento. A temperatura apresentou uma queda nos seus valores na faixa média de 2°C. A umidade relativa do ambiente interno também acusou uma variação nos seus valores, na faixa média de 13%.

A fase representativa das observações do horário das 14 horas teve seus valores delineados nos gráficos das figuras 32 e 33. Os elementos para a análise estatística são apresentados na Tabela 9.

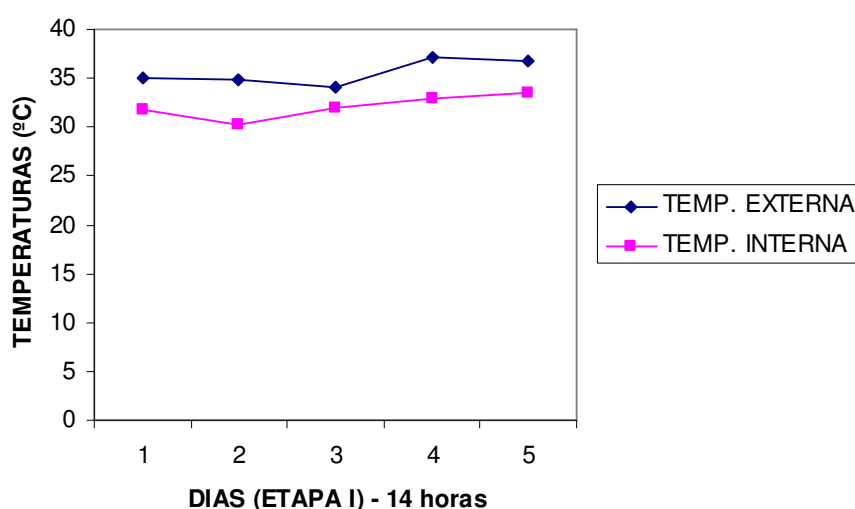


Figura 32 - Temperaturas externas e internas da Etapa I às 14 horas.

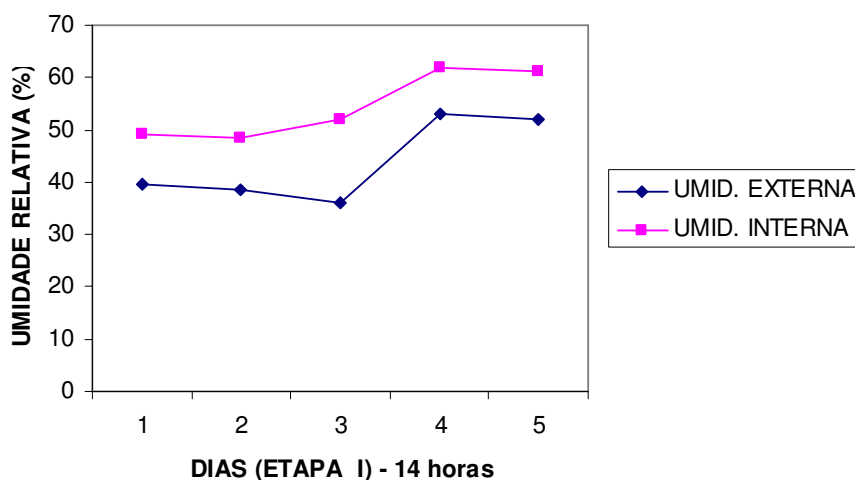


Figura 33 - Valores de umidade relativa da Etapa I às 14 horas.

Tabela 9 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 14 horas - Etapa I

Horas	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
14:00	Externa	35,52	17,819	0,00291	5,31764	*
	Interna	32,10				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
14:00	Externa	43,88	5,30391	0,05023	5,31764	NS
	Interna	54,50				

A observação dos resultados apresentados pelo sistema do equipamento testado, mostrou uma variação para menos na medida da temperatura interna, no momento em que a temperatura do ambiente externo aumentou. Essa afirmação pode ser comprovada com a verificação dos valores estatísticos mostrados, cujos resultados mostraram uma diferença estatisticamente significativa para os parâmetros de temperatura. A umidade relativa não apresentou variação conforme a análise e visualização dos valores.

As figuras 34 e 35 são representativas do comportamento das medições nos cinco dias de experimento das temperaturas e da umidade relativa nessa etapa, no horário das 15 horas. O balanço estatístico é apresentado na Tabela 10.

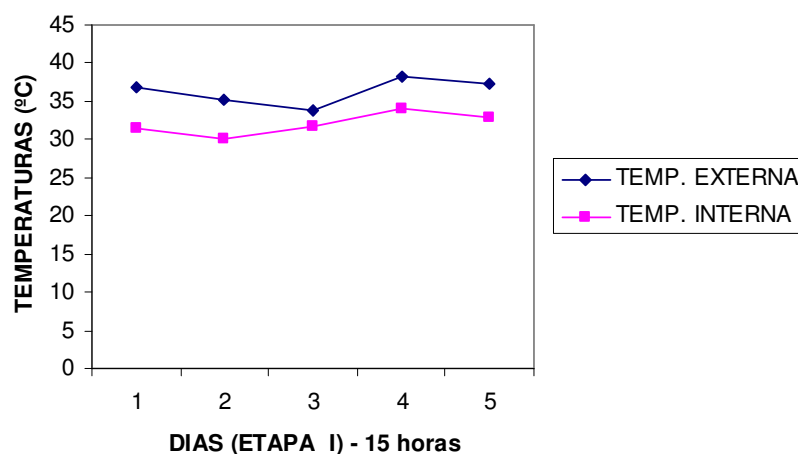


Figura 34 - Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 15 horas.

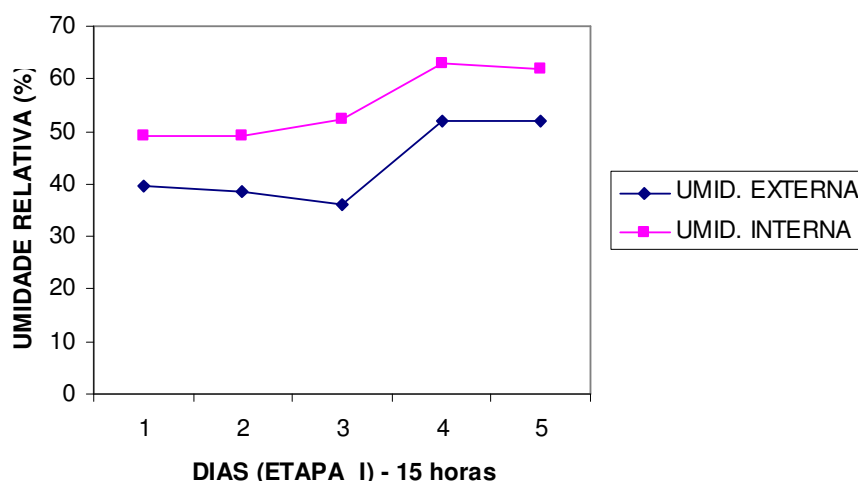


Figura 35 - Valores de umidade relativa da Etapa I, às 15 horas.

Tabela 10 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 15 horas - Etapa I

Horas	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
15:00	Externa	36,24	16,1727	0,00383	5,31764	*
	Interna	32,00				
Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
15:00	Externa	43,64	6,03578	0,03952	5,31764	*
	Interna	55,06				

Pela análise de variância realizada, os resultados mostraram que os valores de temperatura apresentaram uma diferença estatisticamente significativa, confirmando que os parâmetros de temperatura do ambiente interno continuaram em baixa. Os valores de umidade relativa também apresentaram variação, mostrando uma diferença estatisticamente significativa e indicando um ligeiro aumento nos parâmetros percentuais.

Para a fase de observação que foi realizada às 16 horas, o procedimento encerrou o processo de medição dessa etapa. Os valores de comparação dos parâmetros de temperatura são mostrados na Figura 36.

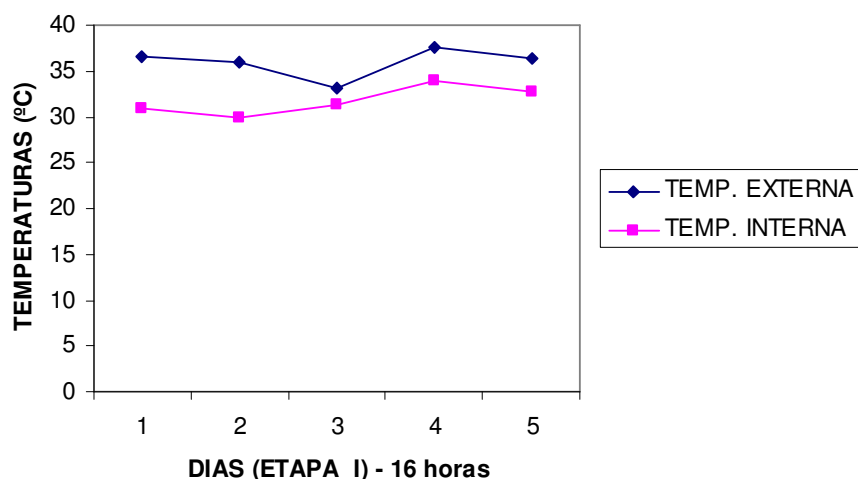


Figura 36 - Temperaturas externas e internas da Etapa I, às 16 horas.

As observações pertinentes aos parâmetros de umidade relativa externa e interna, realizadas no mesmo período às 16 horas, são descritos na Figura 37.

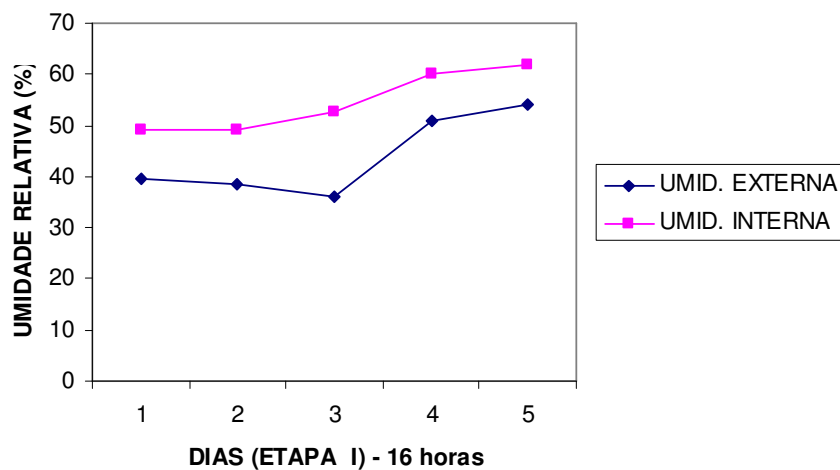


Figura 37 - Valores de umidade relativa da Etapa I às 16 horas.

Tabela 11 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 16 horas - Etapa I

Horas	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
16:00	Externa	35,94	16,4502	0,00365	5,31764	*
	Interna	31,78				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
16:00	Externa	43,84	5,78272	0,04286	5,31764	*
	Interna	54,66				

Pela análise de variância realizada, em relação à temperatura, foram observados resultados que mostraram a continuidade da diferença estatisticamente significativa, confirmando que os parâmetros de temperatura do ambiente continuaram variando. Os valores de umidade relativa também apresentaram variação, mostrando uma diferença estatisticamente significativa.

Os resultados dessa etapa de testes mostraram que o equipamento produziu uma queda da temperatura de 3°C que, segundo a NB-10/1978, está de acordo com os parâmetros de exigência para um ambiente protegido, no intervalo de tempo do experimento. Os valores de umidade relativa ficaram dentro dos padrões indicados pelas pesquisas de MACINTYRE (1990) e CERMEÑO (1994) (Tabela 2), o que demonstra um comportamento eficiente para atender às exigências de um ambiente protegido. A configuração de montagem do dispositivo apresentando um ramal condutor de água, mostrou um resultado de funcionamento satisfatório.

4.3.2 Análise da Segunda Etapa de Resfriamento (Etapa II)

Para a realização das observações, o processo teve início às 10 horas e nesta fase, que teve a utilização de dois ramais condutores de água, para o período de cinco dias, foram registrados os valores de temperatura e umidade do ambiente externo e do ambiente interno do laboratório.

As figuras 38 e 39 mostram o comportamento dos valores iniciais da experimentação.

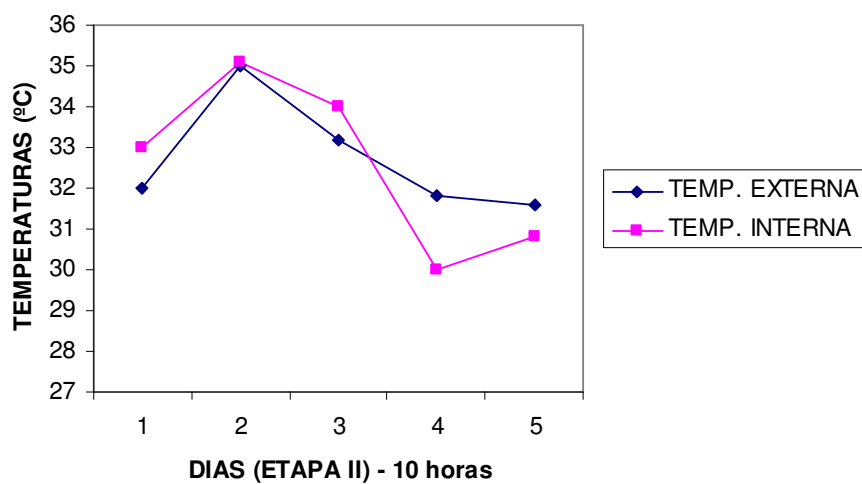


Figura 38 - Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 10 horas.

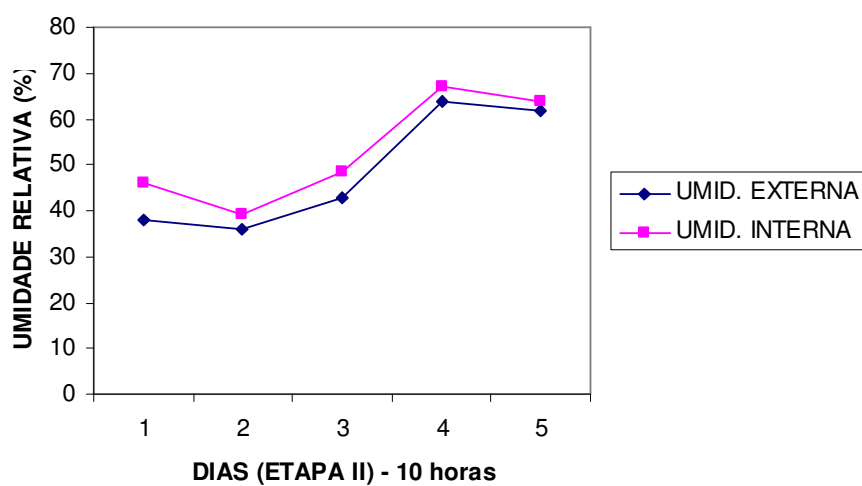


Figura 39 - Valores de umidade relativa da Etapa II, às 10 horas.

Tabela 12 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 10 horas - Etapa II

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
10:00	Externa	32,72	0,01484	0,9060	5,31764	NS
	Interna	32,58				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
10:00	Externa	48,54	0,28566	0,60755	5,31764	NS
	Interna	52,86				

Pela análise de variância realizada para comparação dos valores de temperatura e de umidade relativa dos ambientes externos e internos, os resultados mostraram que não houve diferença estatisticamente significativa para os parâmetros observados nessa primeira fase, conforme mostrado na Tabela 12 e o comportamento desses valores mostraram o ambiente interno ainda sob o efeito da temperatura e da umidade relativa acumulada sem o funcionamento do equipamento.

Na fase seguinte, no horário das 11 horas, verificou-se que os resultados não demonstraram variações que pudessem sugerir alterações nas conclusões do estudo. Esse comportamento está ilustrado nas figuras 40 e 41.

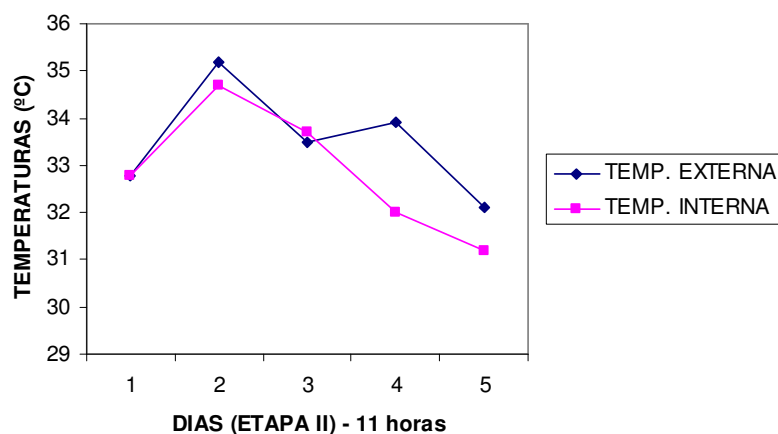


Figura 40 - Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 11 horas.

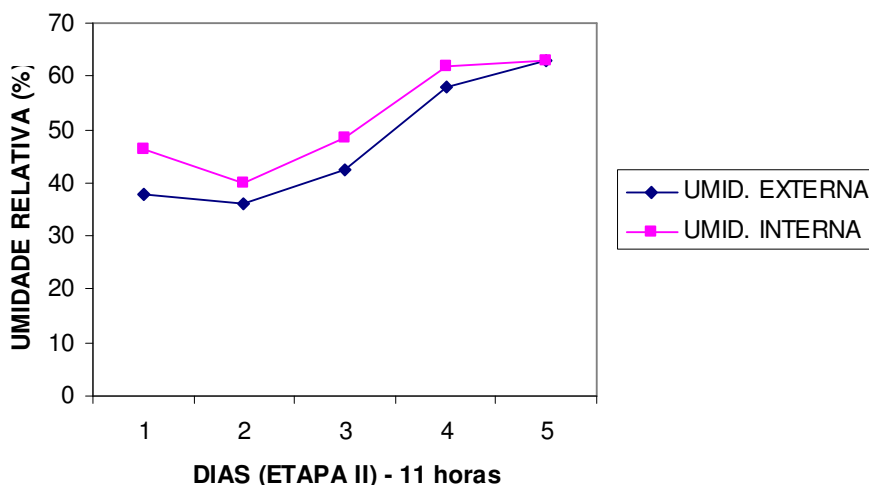


Figura 41 - Valores de umidade relativa da Etapa II, às 11 horas.

Tabela 13 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 11 horas - Etapa II

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
11:00	Externa	33,50	0,58741	0,46544	5,31764	NS
	Interna	32,88				
Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
11:00	Externa	47,52	0,38278	0,55332	5,31764	NS
	Interna	51,92				

A Tabela 13 mostra a análise estatística verificada e reitera que não houve diferença estatisticamente significativa para essa fase de tratamento tanto para a observação das temperaturas quanto para o estudo da umidade relativa.

As figuras 42 e 43 são representativas da terceira fase de observações dos parâmetros de temperatura nos cinco dias de experimento, no horário das 12 horas e o resultado estatístico é mostrado na Tabela 14.

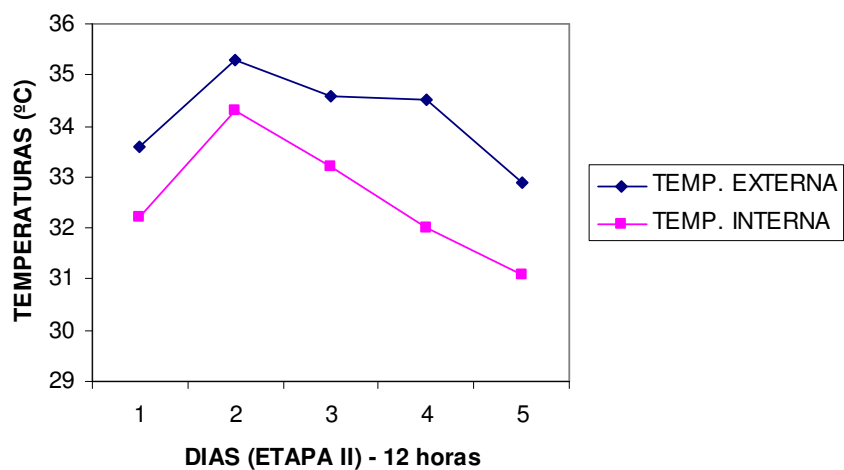


Figura 42 - Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 12 horas.

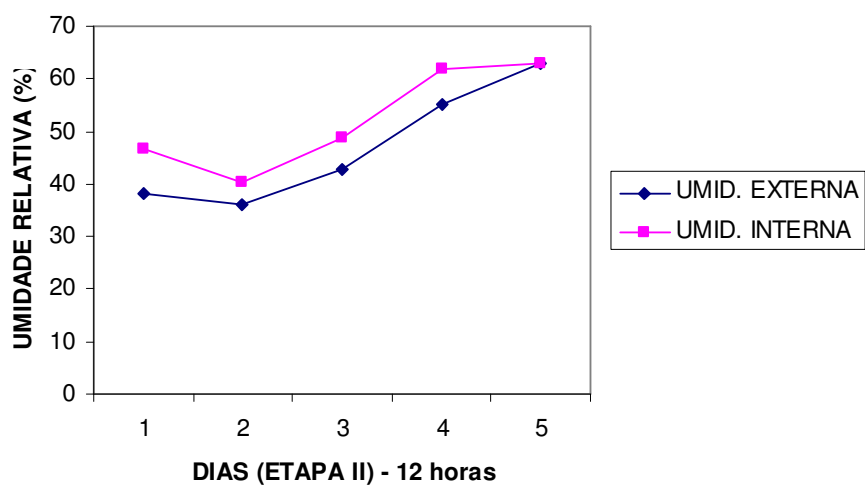


Figura 43 - Valores de umidade relativa da Etapa II, às 12 horas.

Tabela 14 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 12 horas - Etapa II

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
12:00	Externa	34,18	5,51345	0,04682	5,31764	*
	Interna	32,56				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
12:00	Externa	47,04	0,54448	0,48166	5,31764	NS
	Interna	52,08				

Nas análises de variância, realizadas com os parâmetros de temperatura, verificou-se que houve uma diferença estatisticamente significativa nesse período de tempo e foi constatada uma variação média nos valores de temperatura do ambiente interno na faixa de 1°C nos registros estudados. Quanto aos valores de umidade relativa não se observou diferença estatisticamente significativa nos valores dos sistemas em estudo.

As figuras 44 e 45 são representativas do comportamento das medições das temperaturas e da umidade relativa nessa etapa, no horário das 15 horas. O balanço estatístico é mostrado na Tabela 15.

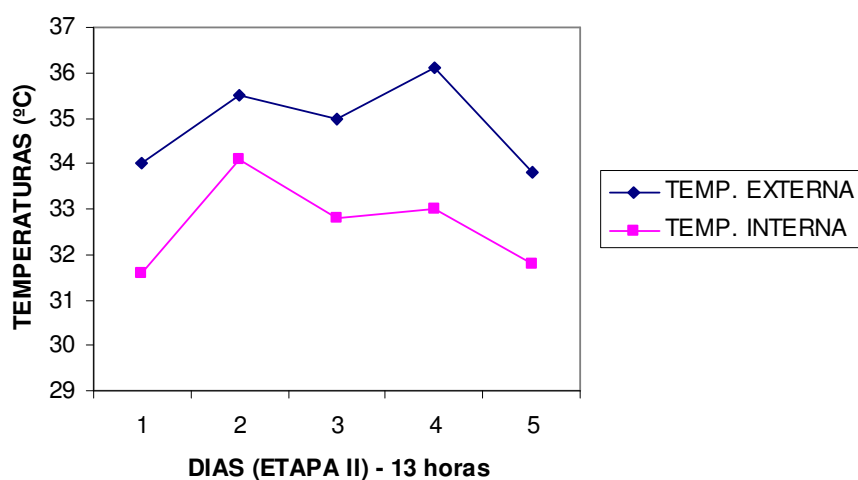


Figura 44 - Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 13 horas.

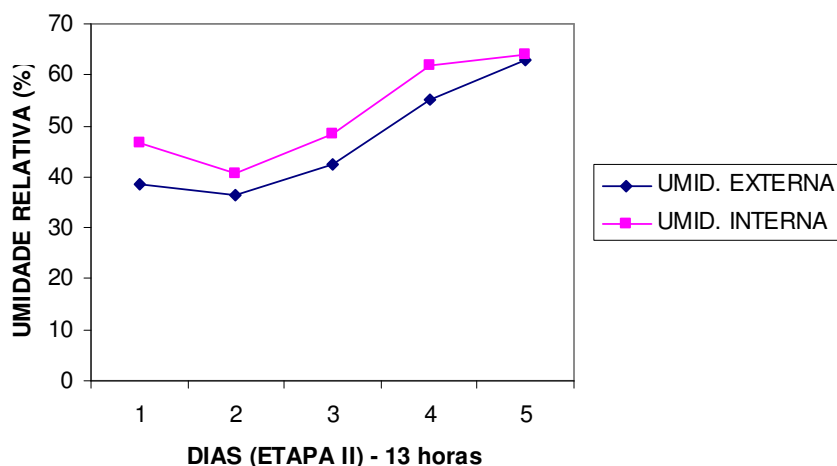


Figura 45 - Valores de umidade relativa da Etapa II, às 13 horas.

Tabela 15 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 13 horas - Etapa II

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
13:00	Externa	34,88	12,4770	0,00771	5,31764	*
	Interna	32,66				
Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
13:00	Externa	47,08	0,59753	0,46175	5,31764	NS
	Interna	52,38				

Pela análise de variância realizada os valores mostraram que houve diferença estatística significativa e, nesse período, a variação registrada mostrou que houve uma variação temperatura do ambiente interno no período de calor mais intenso, na faixa média de 2°C.

Os valores de umidade relativa não mostraram variação, não se observando diferença estatística significativa.

A fase que representa as observações do horário das 14 horas teve seus valores delineados nos gráficos representados nas figuras 46 e 47. Os elementos para as análises estatísticas estão configurados na Tabela 16.

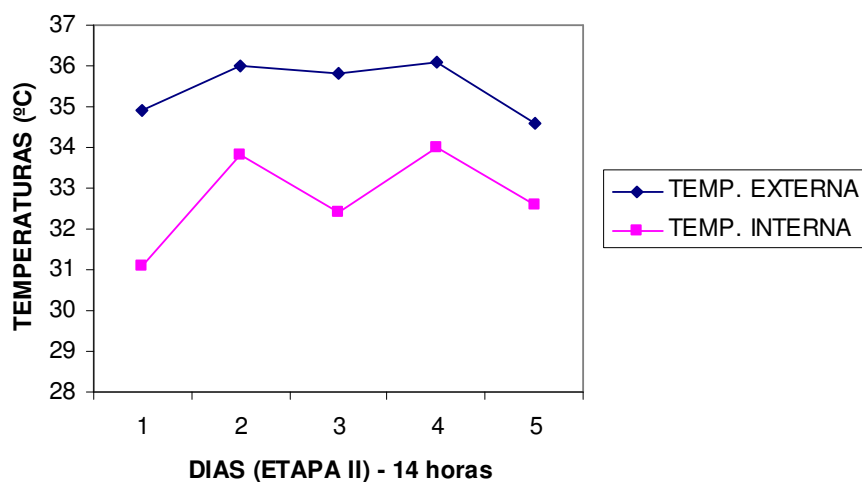


Figura 46 - Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 14 horas.

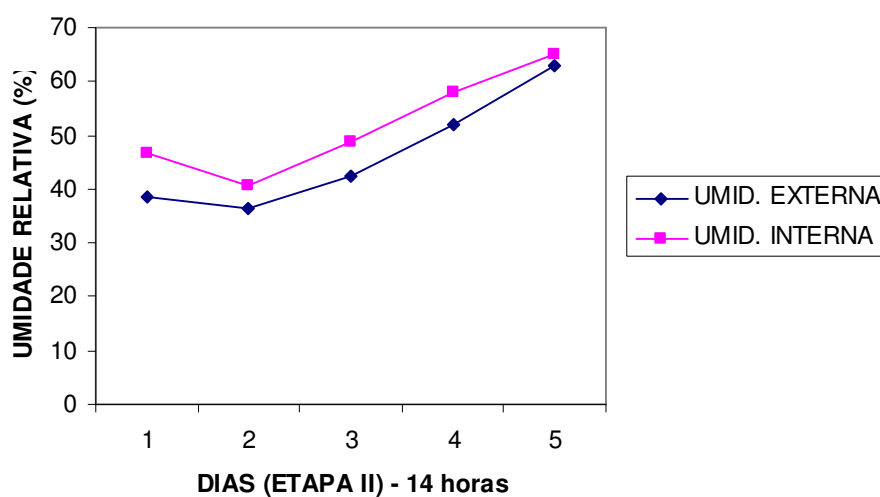


Figura 47 - Valores de umidade relativa da Etapa II, às 14 horas.

Tabela 16 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 14 horas - Etapa II

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
14:00	Externa	35,48	19,7134	0,00217	5,31764	*
	Interna	32,78				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
14:00	Externa	46,48	0,6698	0,43682	5,31764	NS
	Interna	51,84				

A realização da análise de variância mostrou que ocorreu uma diferença estatisticamente significativa para o estudo das temperaturas e nesse período houve uma variação que pode ser traduzida como uma queda na temperatura do ambiente interno, na faixa média de 2°C.

Os valores de umidade relativa não mostraram variação não se observando diferença estatisticamente significativa.

Na fase de observação das 15 horas, o comportamento dos valores apresentou as configurações ilustradas nas figuras 48 e 49. Os detalhes da análise estatística são mostrados na Tabela 17.

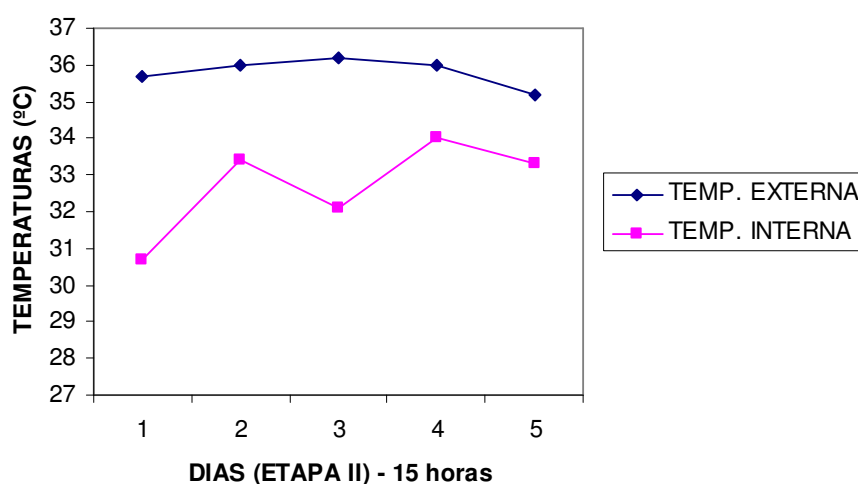


Figura 48 - Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 15 horas.

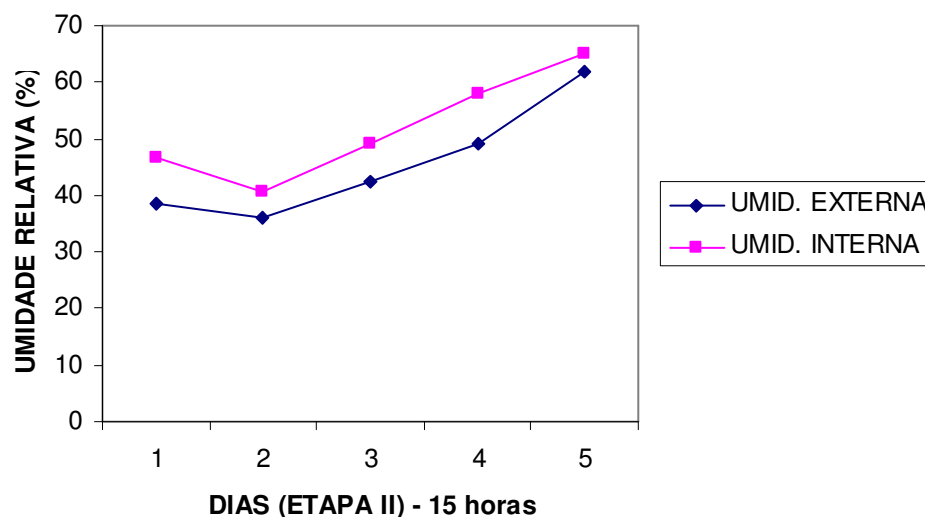


Figura 49 - Valores de umidade relativa da Etapa II, às 15 horas.

Tabela 17 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 15 horas - Etapa II

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
15:00	Externa	35,82	25,9307	0,00094	5,31764	*
	Interna	32,70				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
15:00	Externa	45,64	1,00585	0,34527	5,31764	NS
	Interna	51,96				

O estudo dos valores médios das temperaturas mostrou que houve uma diferença estatisticamente significativa, proporcionando a observação de que os parâmetros de temperatura do ambiente interno tiveram uma variação na ordem média de 2°C e que o sistema conseguiu realizar o trabalho de baixar a temperatura no período de calor mais acentuado.

Os registros de umidade relativa não mostraram variação significativa, mostrando que o sistema, com essa configuração, conseguiu baixar a temperatura sem acrescentar percentuais significativos de umidade no ambiente interno.

Para as considerações da fase das 16 horas, que fechou o processo de medição dessa etapa, os valores dos parâmetros de temperatura e de umidade relativa estão delineados nos gráficos das figuras 50 e 51 e as análises estatísticas apresentadas na Tabela 18.

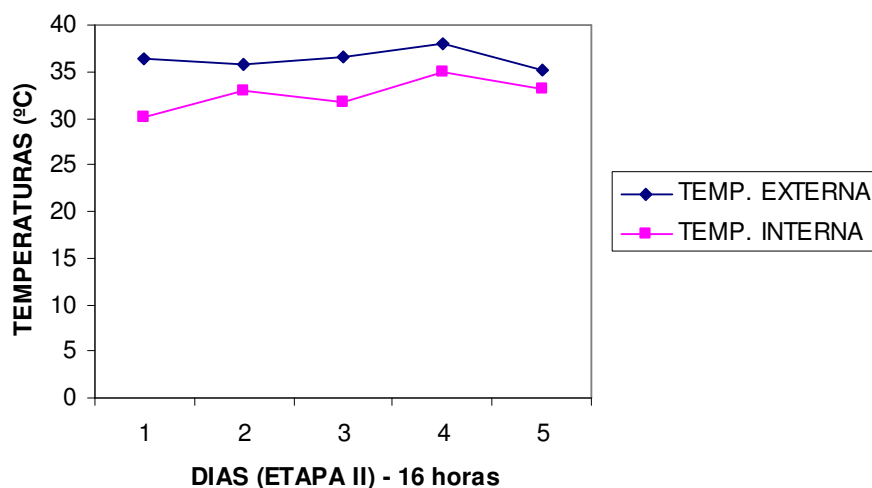


Figura 50 - Temperaturas externas e internas da Etapa II, às 16 horas.

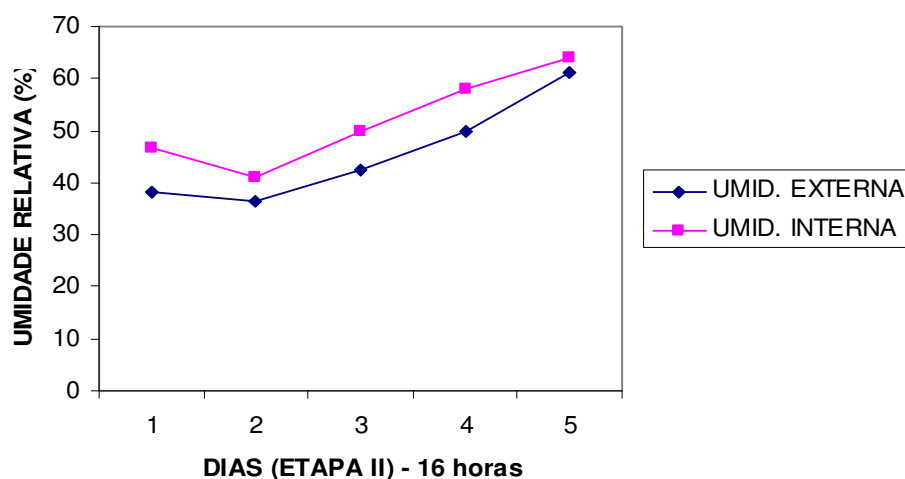


Figura 51 - Valores de umidade relativa da Etapa II, às 16 horas.

Tabela 18 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 16 horas - Etapa II

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
16:00	Externa	36,34	15,9749	0,0040	5,31764	*
	Interna	32,60				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
16:00	Externa	45,70	1,08206	0,32865	5,31764	NS
	Interna	51,98				

Pela análise de variância realizada, observa-se que os parâmetros de temperatura em estudo mostraram diferença estatisticamente significativa, confirmando que a variação demonstrou que o ambiente interno do experimento teve uma alteração nos níveis de temperatura, proporcionando um resultado favorável para as conclusões deste estudo.

Os registros da observação da umidade relativa, não mostraram diferença estatisticamente significativa, mostrando que o percentual de variação da umidade não apresentou resultados desfavoráveis.

Os resultados obtidos no desenvolvimento desta etapa mostraram que o equipamento trocador de calor alternativo, funcionando com dois ramais, apresentou uma variação nos índices médios de temperatura em até 2°C. Os valores de umidade relativa mostraram variação média de 10% nos índices. Isso mostra que o equipamento não foi eficiente para reduzir a temperatura nos níveis desejáveis para o ambiente de testes, nos horários de maior desconforto térmico ambiental, possivelmente em função da maior vazão de água nos ramais de chuveiro, ao contrário dos índices de umidade que se mostraram eficientes para atividades em ambientes protegidos.

4.3.3 Análise da Terceira Etapa de Resfriamento (Etapa III)

De acordo com os critérios adotados para os processos de observação das etapas de resfriamento, essa fase teve o sistema operacional do equipamento utilizando os três ramais condutores de água funcionando durante os cinco dias do período de tempo do processo e teve seu início também às 10 horas. Como definido nas outras fases, os valores foram delineados nos gráficos e são representados nas figuras 52 e 53.

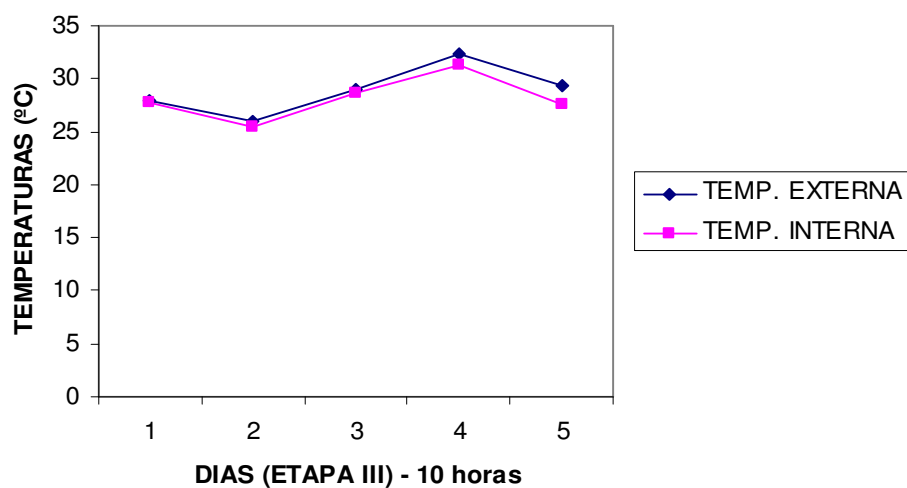


Figura 52 - Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 10 horas.

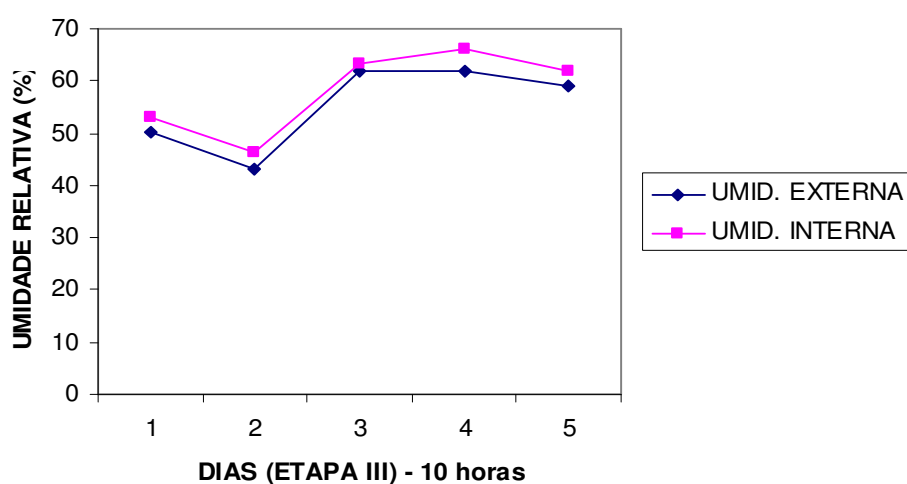


Figura 53 - Valores de umidade relativa da Etapa III, às 10 horas.

Tabela 19 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 10 horas - Etapa III

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
10:00	Externa	28,94	0,36007	0,56507	5,31764	NS
	Interna	28,10				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
10:00	Externa	55,28	0,30062	0,59846	5,31764	NS
	Interna	58,14				

Pela análise de variância realizada para comparação dos valores de temperatura e de umidade relativa dos ambientes externos e internos, os resultados mostraram que não houve diferença estatisticamente significativa para os parâmetros observados nessa primeira fase, conforme se verifica na Tabela 19. O comportamento desses valores mostrou o ambiente interno ainda sob o efeito da temperatura e da umidade relativa acumulada sem o funcionamento do equipamento.

Para a realização da segunda fase de observações dos parâmetros de temperatura nos cinco dias de experimentação do equipamento no horário das 11 horas, os valores foram compilados e ilustrados na Figura 54.

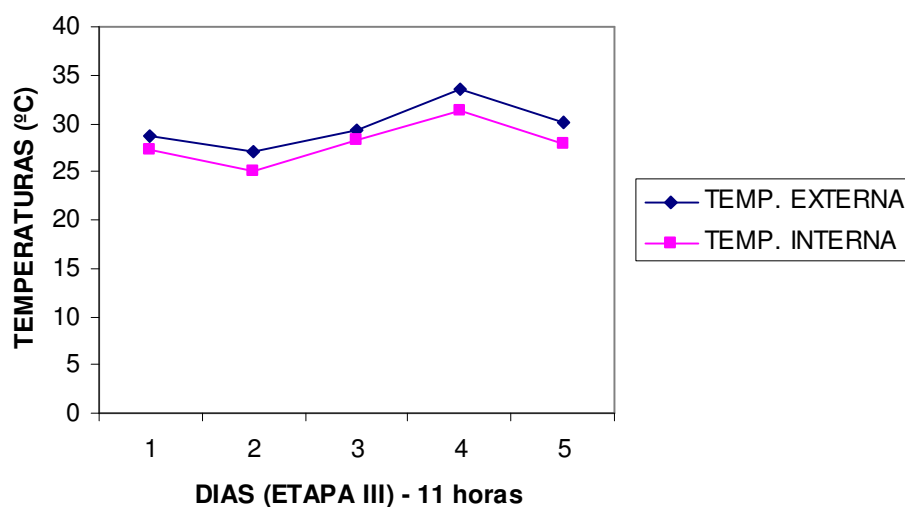


Figura 54 - Temperaturas externas e internas da Etapa III às 11 horas.

A Figura 55 é representativa do comportamento dos valores médios das medições de umidade relativa do ambiente interno e externo no horário das 11 horas.

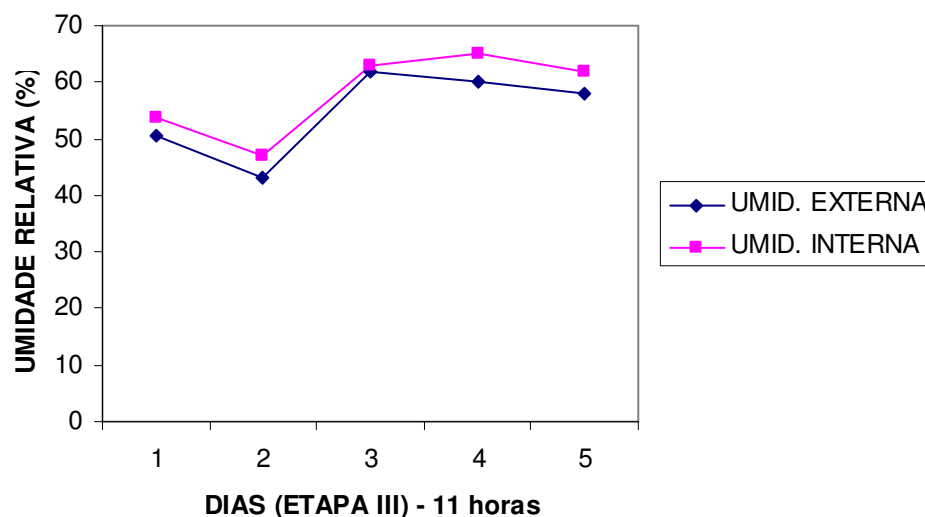


Figura 55 - Valores de umidade relativa da Etapa III às 11 horas.

Tabela 20 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 11 horas - Etapa III

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
11:00	Externa	29,72	1,39277	0,27184	5,31764	NS
	Interna	27,98				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
11:00	Externa	54,72	0,48519	0,50581	5,31764	NS
	Interna	58,12				

A análise estatística, aplicada aos valores descritos na Tabela 20, mostra que não houve diferença estatisticamente significativa para essa fase do tratamento estudado, tanto para a observação das temperaturas quanto para o estudo da umidade relativa dos ambientes pesquisados.

As figuras 56 e 57 são representativas da segunda fase de observações dos parâmetros de temperatura e umidade relativa no horário das 12 horas e o resultado estatístico é mostrado na Tabela 21.

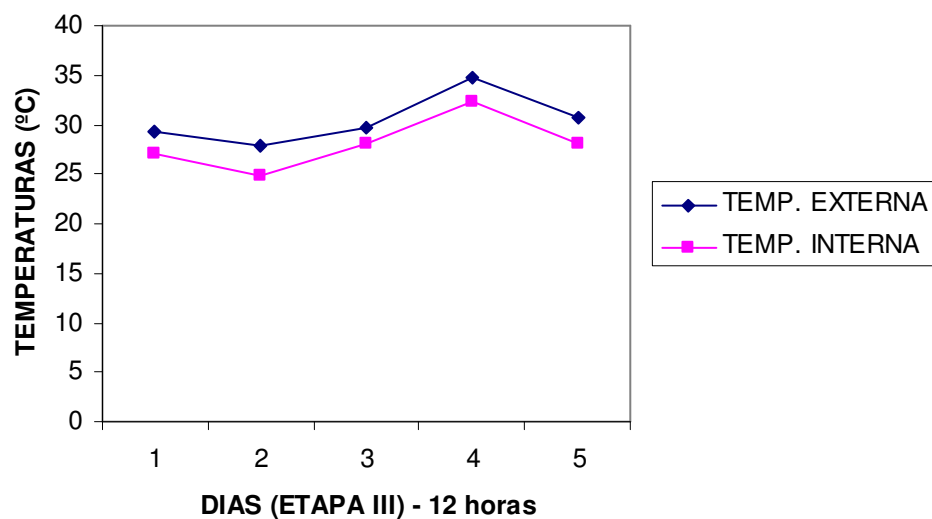


Figura 56 - Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 12 horas.

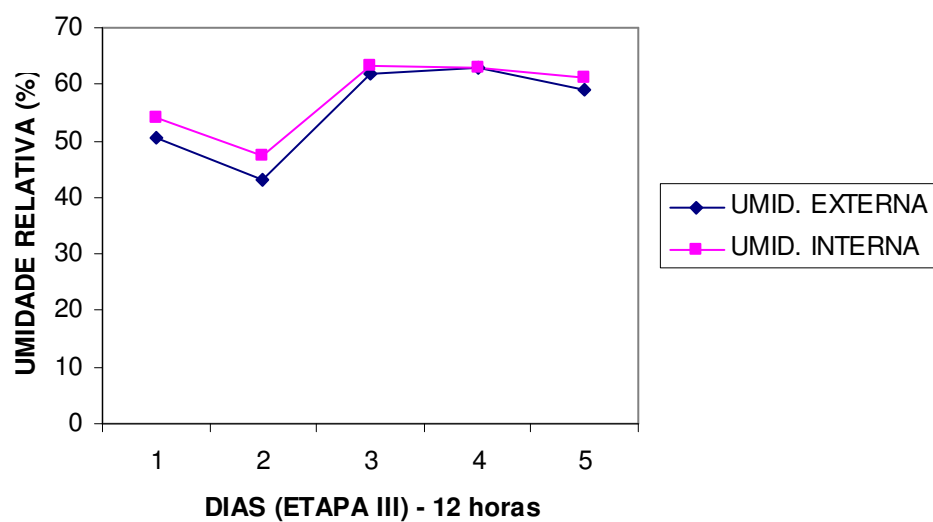


Figura 57 - Valores de umidade relativa da Etapa III, às 12 horas.

Tabela 21 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 12 horas - Etapa III

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
12:00	Externa	30,44	1,93255	0,20194	5,31764	NS
	Interna	28,08				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
12:00	Externa	55,52	0,20635	0,66172	5,31764	NS
	Interna	57,74				

Em conformidade com a análise estatística para essa fase, o resultado mostra que não houve diferença estatisticamente significativa para o tratamento estudado, verificando-se que não houve variação da temperatura do ambiente interno e que também não houve variação da umidade relativa do ambiente interno.

A terceira fase de observações realizada no horário das 13 horas tem seus parâmetros de observação de temperatura e umidade relativa ilustrados nos gráficos das Figuras 58 e 59. O resultado estatístico é mostrado na Tabela 22.

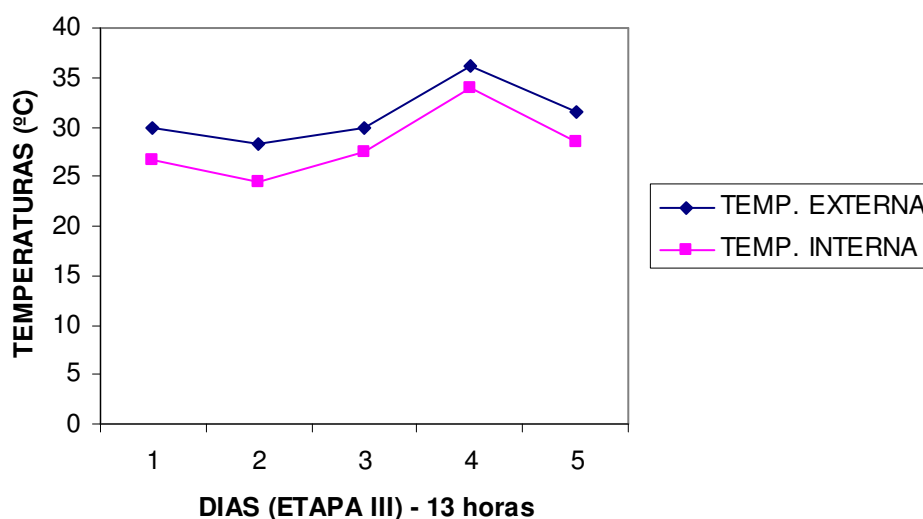


Figura 58 - Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 13 horas.

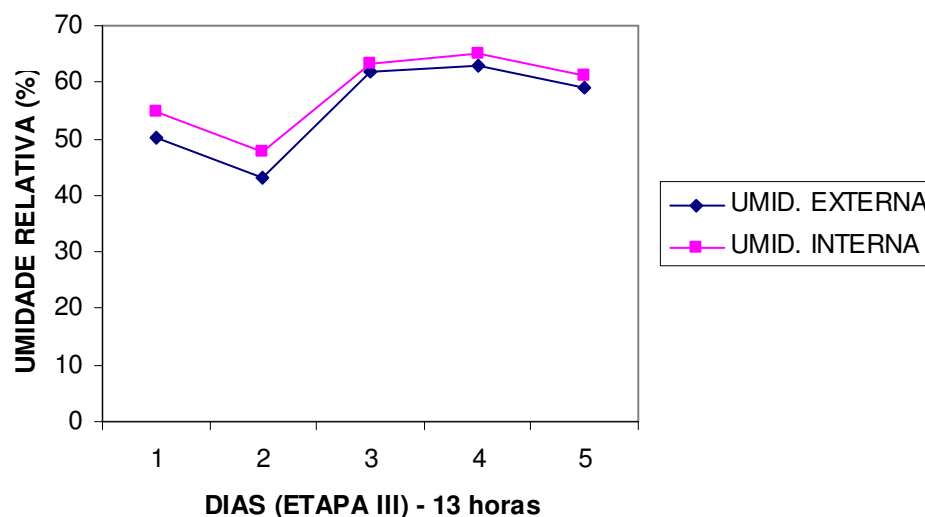


Figura 59 - Valores de umidade relativa da Etapa III, às 13 horas.

Tabela 22 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 13 horas - Etapa III

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
13:00	Externa	31,16	2,02085	0,19294	5,31764	NS
	Interna	28,20				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
13:00	Externa	55,50	0,3461	0,57256	5,31764	NS
	Interna	58,40				

A análise estatística verificada mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa para essa fase do tratamento estudado, tanto para a observação das temperaturas quanto para o estudo da umidade relativa.

A fase representativa das observações do horário das 14 horas teve seus valores compilados e estão ilustrados nas figuras 60 e 61 e os elementos para a análise estatística estão configurados na Tabela 23.

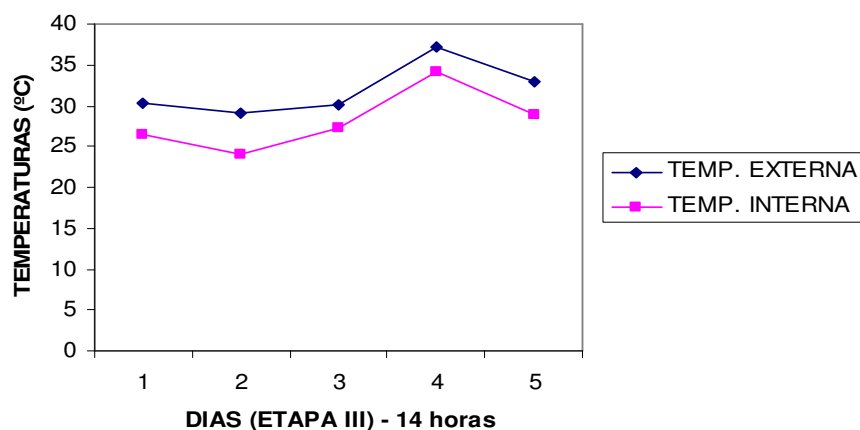


Figura 60 - Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 14 horas.

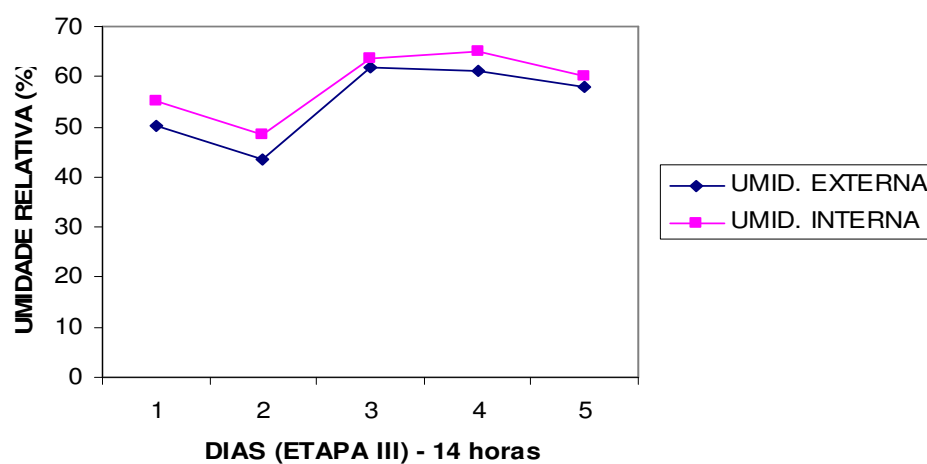


Figura 61 - Valores de umidade relativa da Etapa III, às 14 horas.

Tabela 23 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 14 horas - Etapa III

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
14:00	Externa	31,92	2,86013	0,12926	5,31764	NS
	Interna	28,16				
Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
14:00	Externa	54,88	0,60444	0,45926	5,31764	NS
	Interna	58,50				

A análise estatística verificada para essa fase do tratamento estudado mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa tanto para a observação das temperaturas quanto para o estudo da umidade relativa, significando que não houve variação nos índices.

Para as observações do horário das 15 horas, os valores de experimentação são mostrados nos gráficos das figuras 62 e 63 e os elementos para análise estatística estão configurados na Tabela 24.

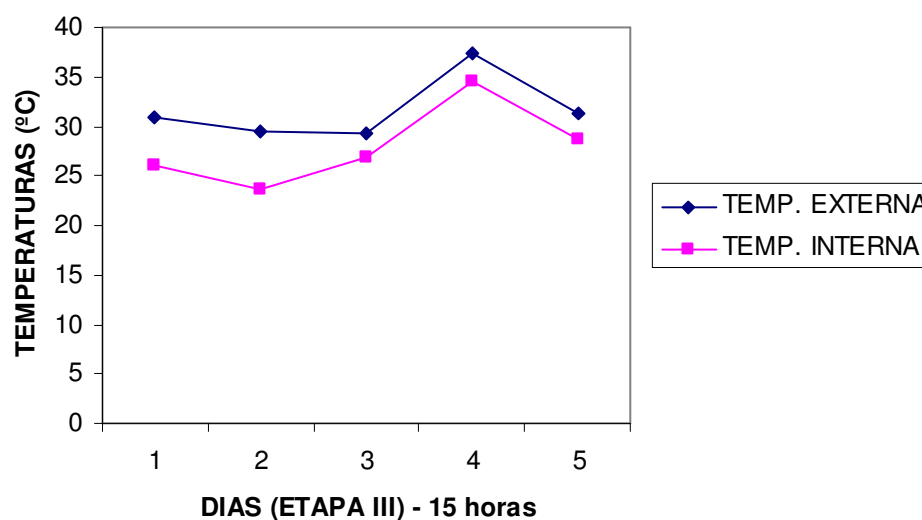


Figura 62 - Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 15 horas.

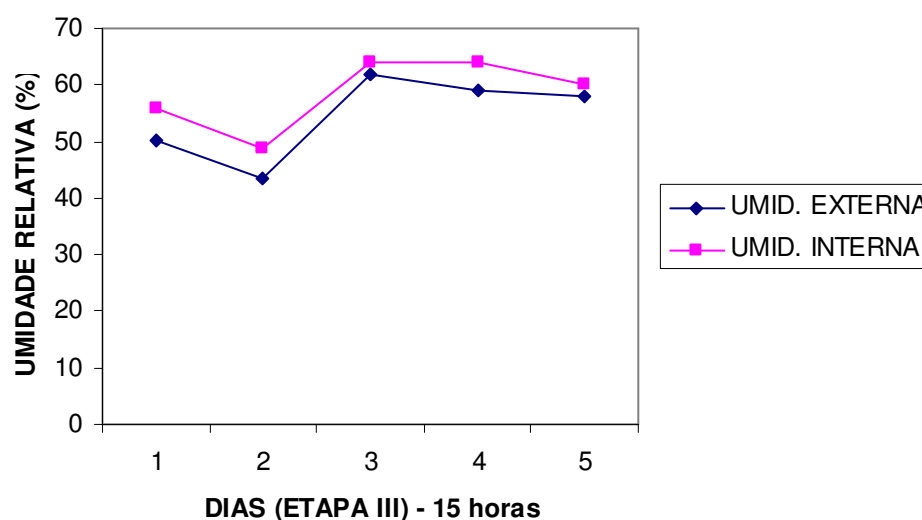


Figura 63 - Valores de umidade relativa da Etapa III, às 15 horas.

Tabela 24 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 15 horas - Etapa III

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
15:00	Externa	31,62	2,36056	0,1630	5,31764	NS
	Interna	28,00				

Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
15:00	Externa	54,52	0,83752	0,38686	5,31764	NS
	Interna	58,56				

A análise estatística verificada na Tabela 24 mostra que não houve diferença estatisticamente significativa para essa fase do tratamento estudado, tanto para a observação das temperaturas quanto para o estudo da umidade relativa.

Na fase de observação que foi realizada às 16 horas e que fechou o processo de medição dessa etapa, os valores registrados para comparação dos parâmetros de temperatura e umidade relativa dos ambientes são mostrados nas figuras 64 e 65.

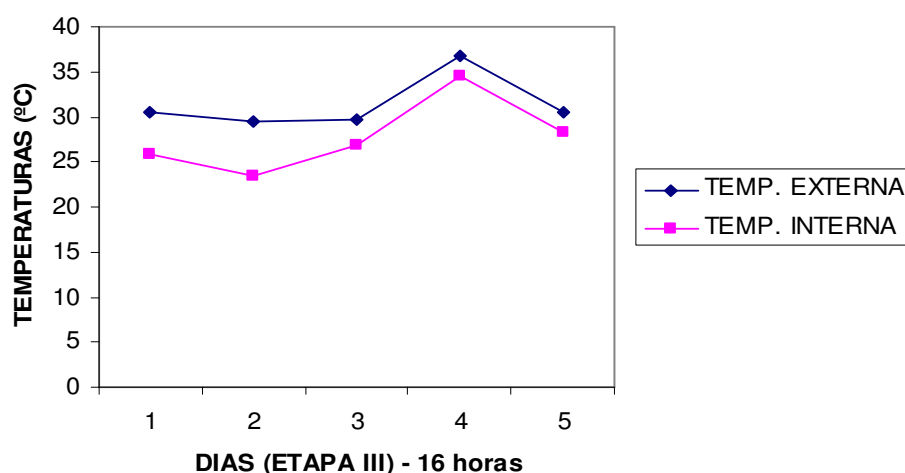


Figura 64 - Temperaturas externas e internas da Etapa III, às 16 horas.

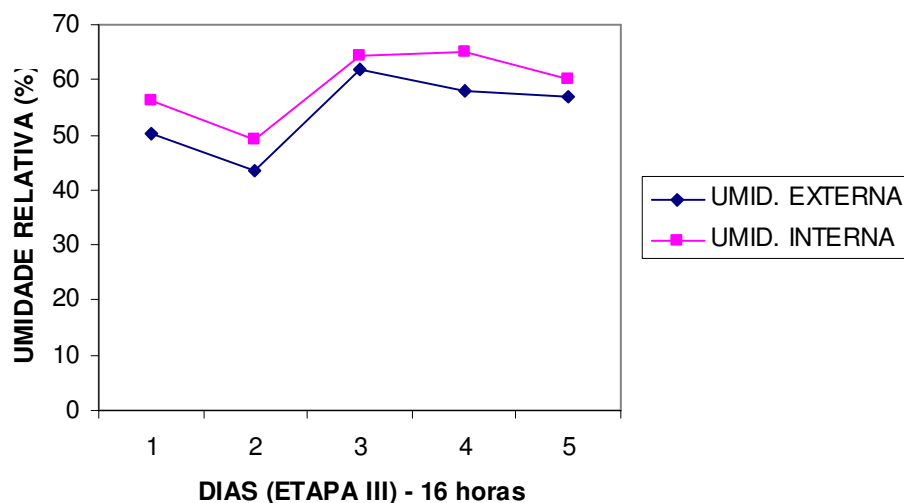


Figura 65 - Valores de umidade relativa da Etapa III, às 16 horas.

Tabela 25 - Valores estatísticos das medições de temperatura e umidade relativa das 16 horas - Etapa III

Hora	Temperatura	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
16:00	Externa	31,44	2,5450	0,14931	5,31764	NS
	Interna	27,76				
Hora	Umidade	Média	F	valor-P	F crítico	Condição
16:00	Externa	54,12	1,20857	0,30359	5,31764	NS
	Interna	58,92				

A análise estatística verificada na Tabela 25 mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa para essa fase de tratamento tanto para a observação das temperaturas quanto para o estudo da umidade relativa.

Os resultados dos testes e as análises estatísticas desenvolvidas nessa etapa mostraram que o equipamento apresentou resultado desfavorável para as condições de resfriamento do ambiente interno experimentado. Esse fato ocorreu pela maior quantidade de vazão de água impedindo uma ação mais eficiente de entrada do ar exterior para dentro do ambiente. Pela mesma razão, os valores de umidade relativa do ar não apresentaram alterações significativas. Dessa forma, verificou-se que, com essa configuração de três

ramais simultâneos, o equipamento não oferece condições para que ocorra a interação do ar com a superfície da água que haja evaporação e proporcione um desempenho mais favorável no que se refere à queda de temperatura.

Comparando o desempenho do equipamento durante as três fases de testes, os números apresentados pela análise estatística demonstraram que o melhor conjunto é o que tem a formação com um ramal condutor, pois ofereceu a vantagem de permitir um melhor contato durante a passagem do ar através da cortina de água, favorecendo a evaporação, além de permitir que os níveis de umidade relativa ficassem dentro dos padrões estabelecidos para aceitação.

4.3.4 Avaliação do Consumo de Energia Elétrica pelo Sistema

Analisando-se as medições para o desempenho do equipamento, utilizando uma moto-bomba para movimentação do fluido com potência de 1/3 CV e um motor para movimentação do exaustor, com potência 1/4 CV, a demonstração deu-se conforme delineado abaixo:

- consumo médio horário = 0,56 kW / hora;
- consumo diário: $0,56 \times 6 \text{ horas} = 3,36 \text{ kWh / dia}$;
- consumo total: $0,56 \times 90 \text{ horas} = 50,4 \text{ kWh}$.

Considerando o valor nominal do kWh = R\$ 0,19937, de acordo com a tarifa vigente da concessionária de energia elétrica: Copel Distribuição S.A. - COPEL, o custo total do consumo de energia elétrica foi de R\$ 10,048248, que é considerado acessível.

4.3.5 Avaliação do Custo do Sistema

O equipamento alternativo foi construído com materiais e instrumentos disponíveis nos laboratórios da universidade, entretanto, foi necessário adquirir alguns materiais por compra direta no comércio local. Para as considerações quanto ao custo geral do sistema trocador de calor, apresenta-se na Tabela 26, o valor de cada item.

Tabela 26 - Relação de material, dimensões, especificações e valores de componentes utilizados na construção do sistema

QT.	TIPO	DENOMINAÇÃO	VALOR (R\$)	
			UNIT.	TOTAL
03	peça	Tubo de PVC soldável de Φ 25 mm x 6000 mm	12,00	36,00
04	peça	Registro de controle de fluxo soldável Φ 25 mm	6,00	24,00
03	peça	Luva p/ registro soldável / roscável de Φ 25 mm	0,50	1,50
04	peça	Tê de PVC soldável de Φ 25 mm	0,60	2,40
09	peça	Joelho de 90° de PVC soldável de Φ 25 mm	0,50	4,50
03	peça	Cap de PVC soldável de Φ 25 mm	0,50	1,50
03	peça	Luva de PVC soldável de Φ 25 mm	0,50	1,50
02	peça	União de PVC soldável de Φ 25 mm	3,80	7,60
05	peça	Tê de 90° sold. c/rosca na bolsa central Φ 25 mm	2,00	10,00
01	peça	Registro para medição de pressão – 15 mca	6,00	6,00
01	peça	Adaptador para registro de pressão de Φ 25 mm	0,45	0,45
01	peça	Adaptador sold. c/flange p/caixa d'água Φ 25 mm	12,00	12,00
01	peça	Adaptador sold. curto c/ bolsa e rosca p/ registro	0,45	0,45
02	m ²	Tela plástica marca Sombrite	3,80	7,60
TOTAL				115,50

Fonte: UTFPR – DEMA - (2006).

O valor final observado no quadro mostra que os custos com os materiais para a construção do equipamento podem ser considerados acessíveis.

4.3.6 Avaliação do Consumo de Água pelo Sistema

Os valores de consumo de água obtidos são relacionados abaixo:

- Para a utilização de um ramal condutor de água, durante os cinco dias de observação, foram utilizados 362 litros de água e o consumo médio foi de 12,4 litros/dia, que corresponde a 3,4% do volume do reservatório, o que proporcionou um desperdício médio de 2 litros/hora.

- Para dois ramais condutores, foram utilizados 406 litros de água e o consumo médio foi de 21,2 litros/dia, que correspondente a 5,22% do volume total, representando um desperdício de 3,5 litros/hora.
- Para três ramais condutores, foram utilizados 449 litros de água e o consumo médio foi de 29,8 litros/dia, que correspondente a 6,6% do volume total, mostrando um desperdício de 5,96 litros/hora.
- Para todas as etapas de realização do experimento foram utilizados 617 litros de água, dos quais, 317 litros (51,38%) foram consumidos. No período total de observações, que corresponde a 90 horas de atividades, foram gastos, em média, 3,52 litros/hora, que representa um consumo de água, relativamente baixo se comparado a outras formas de resfriamento.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados das análises que procederam ao experimento do sistema alternativo de trocador de calor para climatização de construções agroindustriais, quando ensaiado em condições de trabalho, concluiu-se que:

- O equipamento construído para o presente trabalho mostrou versatilidade construtiva, relativa facilidade de manobras, pouca necessidade de manutenção, boa estética, custo econômico muito baixo e não acarreta alteração do meio ambiente.
- O equipamento demonstrou boa capacidade de economia de energia e de água, pois não requer nenhum tipo de tratamento especial.
- Para ambientes protegidos, nos quais a umidade relativa seja um fator preponderante, o equipamento apresentou um rendimento satisfatório, não ultrapassando os valores limites. Para ambientes, nos quais a temperatura necessite um índice de queda na faixa de 3 a 4°C com acréscimo de umidade relativa na faixa de 10 a 12%, o equipamento mostrou um comportamento favorável.

Sugere-se como objeto de estudo para futuros trabalhos de pesquisa, a utilização da tela de material plástico como elemento de evaporação, o desenvolvimento mais detalhado do equipamento para utilização em ambientes de maior dimensão, recursos de automatização para permitir maior controle das condições ambientais e suas implicações sobre o conforto térmico dos usuários.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N.; MAZZUCO, H. **Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte**. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, 1999. p. 51. Documentos, 59.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NB-10**. Conforto térmico. Rio de Janeiro, 1978.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE, **Equipments Handbook**. New York: ASHRAE, 1983.

BACCARI JUNIOR, F. **Manejo ambiental de vaca leiteira em climas quentes**. Londrina: UEL, 2001. 142 p.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa: UFV, 1997, 246 p.

CAMPOS, E. J. Programa de alimentação e nutrição para aves de acordo com o clima – Reprodutoras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÃO NA AGRICULTURA INDUSTRIAL, 1995, Campinas **Anais...** Campinas: FACTA, 1995. p. 251-257.

CERMEÑO, Z. S. **Construccion de invernaderos**. Madrid: Mundi-Prensa, 1994. 445 p.

COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo. Edgard Blucher, 1982.

CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames: The Iowa State University Press, 1983.

DUMKE, E. M. S.; KRÜGER, E. L. Avaliação paramétrica de desempenho térmico na Vila Tecnológica de Curitiba In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Londrina: ANTAC, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Resfriamento de aviários – Caracterização dos sistemas de resfriamento evaporativo – Concórdia, SC: EMBRAPA – CNPs, 1997. 28 p. (EMBRAPA – CNPs. Documentos).

EVAPCOOLER. **Climatização evaporativa**. Disponível em: <http://www.evapcooler.com.br/redir.php>. Acesso em: 20 de setembro de 2006.

FROTA, A. B.; SHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2005.

FROTA, A. B.; SHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995. 243 p.

FURLAN, R. A. **Avaliação da nebulização e abertura de cortinas na redução da temperatura do ar em ambiente protegido**. 2001. 146 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

GOOGLE EARTH. Mapas. Disponível em: <http://earth.google.com/downloads.earth.html> Acesso em: 15 de novembro de 2006.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. Disponível em: http://www.iapar.br/sma/cartas_climáticas/classificação_climática.htm. Acesso em: 15 de novembro de 2006.

KÖPPEN, W. P. **Handbuch der klimatologie**. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Classificação_do_clima_de_Köppen. Acesso em: 05 de novembro de 2006.

KRÜGER, E. L. **Ventilação de áticos como instrumento de conservação de energia em edificações**: análise comparativa de respostas de programas de simulação térmica de ambientes. 1993. 160 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 1993.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle de poluição**. Rio de Janeiro: L.C.T., 1990. 403 p.

MATARAZZO, S. V. **Eficiência do sistema de resfriamento adiabático evaporativo em confinamento do tipo *freestall* para vacas em lactação**. 2004. 155 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

McNEILL, S. G.; FEHR, R. L.; WALKER, J. N.; PARKER, G. R. Performance of evaporative coolers for mid-south gestation housing. **Transactions of the ASAE**, USA, v. 26, p. 219-222, 1983.

NÄÄS, I. A. Tipologia de instalações em clima quente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 146-155.

NÄÄS, I. A.; SOUZA, S. R. L. Desafios para a produção de leite nos trópicos conforto térmico. In: ZOOTECA, 2003, Uberaba. **Anais...** Uberaba: FAZU, 2003. p. 64-74.

PERISSINOTO, M. **Avaliação de eficiência produtiva e energética de sistemas de climatização em galpões tipo freestall para confinamento de gado leiteiro**. 2003. 140 f. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente

Agrícola) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

REVISTA AVICULTURA INDUSTRIAL. **Guia Gessulli da avicultura industrial.** n. 1146, ano 97, agosto/2006. Disponível em: <http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/listaRevista.asp>. Acesso em: 05 de novembro de 2006.

ROCHA, M. M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica.** 2002. 174 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SARTOR, V.; BAÊTA, F.C.; LUZ, M.L.; ORLANDO, R.C., Sistemas de resfriamento evaporativo e o desempenho de frangos de corte. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 17-20, 2001.

SARTOR, V. *et al.* Performance of an evaporative cooling system of a finishing phase swine barn. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p.13-17. Feb. 2003.

SENTELHAS, C. S.; SANTOS A. O. Cultivo protegido: aspectos micro climáticos. **Revista Brasileira de Floricultura e Plantas Ornamentais.** Curitiba, v. 1, n. 2, p. 108-115, 1995.

SILVA, I. J. O. Vacas produzem mais e melhor em ambientes adequados. **Balde branco**, Piracicaba, v. 35, p. 20-27. 1999.

SIMMONS, J. D.; LOTT, B. D. Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. **American Society of Agricultural Engineers, USA**, v. 12, n. 2, 1996.

TERUEL, B.; KIECKBUSCH, T., CORTEZ, L. Cooling parameters for fruits and vegetables of different sizes in a hydro cooling system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, n. 6, p. 655-658, nov.-dec. 2004.

TITTO, E. A. L. Clima: influência na produção de leite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE LEITE, 1 ed., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. v. 1, p. 10 – 23.

UTFPR/DEMAP, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento de Materiais e Patrimônio, 2006.

WEST, J. W. Effects of heats stress of production in dairy cattle. **Journal of Dairy-Science**, Geórgia, USA, v. 86, 2003.

WIERSMA, F.; SHORT, T. H. Evaporative cooling. In: HELLICKSON, M.A.; WALKER, J.N. **Ventilation of agricultural structures**. St. Joseph: ASAE, 1983. p. 103-118.

APÊNDICES

**APÊNDICE A - RELAÇÃO DE MATERIAL UTILIZADO, DIMENSÕES E
ESPECIFICAÇÕES DE COMPONENTES UTILIZADOS NA
CONSTRUÇÃO DO TROCADOR DE CALOR**

QUANT.	TIPO	DENOMINAÇÃO
03	peça	Tubo de PVC soldável de Φ 25 mm x 6000 mm
04	peça	Registro de controle de fluxo soldável Φ 25 mm
03	peça	Luva p/ registro soldável/roscável de Φ 25 mm
04	peça	Tê de PVC soldável de Φ 25 mm
09	peça	Joelho de 90° de PVC soldável de Φ 25 mm
03	peça	Cap de PVC soldável de Φ 25 mm
03	peça	Luva de PVC soldável de Φ 25 mm
02	peça	União de PVC soldável de Φ 25 mm
05	peça	Tê de 90° soldável c/roscas na bolsa central Φ 25 mm.....
01	peça	Registro para medição de pressão – 15 mca
01	peça	Adaptador para registro de pressão de Φ 25 mm
01	peça	Adaptador soldável c/flange p/caixa d'água Φ 25 mm
01	peça	Adaptador soldável curto c/ bolsa e rosca p/registro
02	m ²	Tela plástica marca Sombrite

**APÊNDICE B - DADOS DAS VARIÁVEIS DE EXPERIMENTAÇÃO DA
ETAPA IDIA: 28/novembro/2006**

HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	33	39	32,7	48,4	31
11	34	39	32,4	48,6	30,6
12	35	39,2	32,5	48,7	30,1
13	35,4	39,3	32,2	49	29,7
14	35	39,6	31,8	49	29,3
15	36,8	39,6	31,5	49	28,7
16	36,6	39,5	31	49,3	28,3

DIA: 04/dezembro/2006

HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	31	38	32,2	47,8	29
11	31,6	38,1	32	47,9	28,8
12	32,5	38,2	31,4	48	28,5
13	33,7	38,2	30,7	48,3	28,1
14	34,8	38,6	30,3	48,5	27,7
15	35,2	38,6	30	49	27,2
16	36	38,7	29,8	49,3	26,8

DIA: 12/dezembro/2006

HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	32	36	33,1	51	31,2
11	32,6	36	32,8	51,4	31
12	33,2	36	32,6	51,6	30,6

13	33,6	36,1	32,3	52	30,2
14	34	36,2	31,9	52	29,7
15	33,7	36	31,6	52,3	29,3
16	33,2	36	31,4	52,7	29

DIA: 06/março/2007

HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	33,6	52	34,5	62	25,9
11	33,9	50	34,1	64	26,2
12	35,1	46	33,5	65	26
13	35,9	51	33,2	65	26
14	37,1	53	33	62	26
15	38,3	54	34	63	26
16	37,5	51	34	60	27

DIA: 09/março/2007

HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	33,7	56	34,5	60	25,8
11	34	55	34,3	61	26,3
12	34,9	55	34,2	61	26,4
13	35,8	56	33,8	62	26,9
14	36,7	55	33,5	61	26,8
15	37,2	54	32,9	62	27,1
16	36,4	54	32,7	62	27,3

APÊNDICE C - DADOS DAS VARIÁVEIS DE EXPERIMENTAÇÃO DA ETAPA II

DIA: 29/novembro/2006					
HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	32	38	33	46	32
11	32,8	38	32,8	46,3	31,5
12	33,6	38,2	32,2	46,5	31,1
13	34	38,5	31,6	46,8	30,5
14	34,9	38,5	31,1	46,8	30
15	35,7	38,5	30,7	46,8	29,7
16	36,4	38,6	30,1	46,9	29,5
DIA: 05/dezembro/2006					
HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	35	36	35,1	39	33,7
11	35,2	36	34,7	39,8	33,4
12	35,3	36,2	34,3	40,2	33,1
13	35,5	36,3	34,1	40,5	32,6
14	36	36,3	33,8	40,6	32,2
15	36	36,2	33,4	40,8	31,8
16	35,7	36,4	33	41,1	31,5
DIA: 13/dezembro/2006					
HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	33,2	42,7	34	48,3	34,6
11	33,5	42,6	33,7	48,5	34,2
12	34,6	42,8	33,2	48,7	33,7
13	35	42,6	32,8	48,6	33,4
14	35,8	42,6	32,4	48,8	33
15	36,2	42,5	32,1	49,2	32,8
16	36,6	42,5	31,8	49,9	32,6

DIA: 07/março/2007					
HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	31,8	64	30	67	25,3
11	33,9	58	32	62	25,4
12	34,5	55	32	62	25,7
13	36,1	55	33	62	26,1
14	36,1	52	34	58	27,1
15	36	49	34	58	28,3
16	37,9	50	35	58	28,9
DIA: 12/março/2007					
HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	31,6	62	30,8	64	28,8
11	32,1	63	31,2	63	28,6
12	32,9	63	31,1	63	28,2
13	33,8	63	31,8	64	27,9
14	34,6	62	32,6	65	27,6
15	35,2	62	33,3	65	27,1
16	35,1	61	33,1	64	26,8

APÊNDICE D - DADOS DAS VARIÁVEIS DE EXPERIMENTAÇÃO DA ETAPA III

DIA: 30/novembro/2006					
HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	28	50,3	27,7	53,2	27,5
11	28,6	50,4	27,3	53,6	27,1
12	29,3	50,4	27,1	54,2	26,5
13	29,8	50,3	26,7	54,8	26
14	30,3	50,2	26,4	55,3	25,4
15	30,9	50,3	26,1	55,9	24,9
16	30,6	50,3	25,8	56,2	24,6
DIA: 06/dezembro/2006					
HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	26	43,1	25,4	46,3	25,3
11	27,1	43,2	25,1	46,9	25
12	27,8	43,2	24,8	47,3	24,2
13	28,2	43,3	24,5	47,8	23,7
14	29,1	43,4	24,1	48,4	23,1
15	29,4	43,4	23,7	48,9	22,6
16	29,5	43,4	23,4	49,2	22
DIA: 14/dezembro/2006					
HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	29	62	28,6	63,2	28,9
11	29,2	62	28,3	63,1	28,6
12	29,6	62	28	63,2	28,2
13	30	61,9	27,4	63,4	28
14	30,2	61,8	27,2	63,8	27,5
15	29,2	61,9	26,9	64	27,1
16	29,7	61,9	26,8	64,2	26,8
DIA: 08/março/2007					
HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	32,4	62	31,2	66	24,8
11	33,6	60	31,3	65	25,2
12	34,7	63	32,4	63	25,6
13	36,2	63	33,9	65	25,9
14	37,1	61	34,2	65	26,3
15	37,3	59	34,6	64	27,2
16	36,8	58	34,5	65	28,1
DIA: 13/março/2007					
HORA	TEMP. EXTERNA	UMID. REL. EXTERNA	TEMP. INTERNA	UMID. REL. INTERNA	TEMP. ÁGUA
10	29,3	59	27,6	62	27,5
11	30,1	58	27,9	62	27,3
12	30,8	59	28,1	61	27,1
13	31,6	59	28,5	61	26,7
14	32,9	58	28,9	60	26,4
15	31,3	58	28,7	60	26,1
16	30,6	57	28,3	60	25,8

APÊNDICE F - DADOS DE CONSUMO DE ÁGUA DAS ETAPAS I, II E III

ETAPA	DIAS	VOLUME INICIAL (l)	VOLUME FINAL (l)	CONSUMO (l)	CONSUMO TOTAL (l)
I	28/nov	300	288	12	62
	04/dez		287	13	
	12/dez		289	11	
	06/mar		288	12	
	09/mar		286	14	

ETAPA	DIAS	VOLUME INICIAL (l)	VOLUME FINAL (l)	CONSUMO (l)	CONSUMO TOTAL (l)
II	29/nov	300	280	20	106
	05/dez		279	21	
	13/dez		278	22	
	07/mar		279	21	
	12/mar		278	22	

ETAPA	DIAS	VOLUME INICIAL (l)	VOLUME FINAL (l)	CONSUMO (l)	CONSUMO TOTAL (L)
III	30/nov	300	270	30	149
	06/dez		269	31	
	14/dez		271	29	
	08/mar		271	29	
	13/mar		270	30	

**APÊNDICE G - DADOS PERCENTUAIS DIÁRIOS DO CONSUMO DE ÁGUA
DAS ETAPAS I A III**

DIA	VOLUME INICIAL (litros)	VOLUME FINAL (litros)	CONSUMO (litros)	PERCENTUAL (%)
28/Nov	300	288	12	4
29/Nov	300	280	20	6,6
30/Nov	300	270	30	10
04/Dez	300	287	13	4,3
05/Dez	300	279	21	7
06/Dez	300	269	31	10,3
12/Dez	300	289	11	3,6
13/Dez	300	278	22	7,3
14/Dez	300	271	29	9,6
06/Mar	300	288	12	4
07/Mar	300	279	21	7
08/Mar	300	271	29	9,6
09/Mar	300	286	14	4,6
12/Mar	300	278	22	7,4
13/Mar	300	270	30	10