

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO DO CONTROLE TÉRMICO EM AVIÁRIOS DE  
PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE**

Vitor Hugo Tokenshi Ambrosio

São Paulo  
2018

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO DO CONTROLE TÉRMICO EM AVIÁRIOS DE  
PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção de título de Graduação em Engenharia

Vitor Hugo Tokenshi Ambrosio

Orientador: Prof. Dr. Antonio Luís de Campos Mariani

Área de Concentração  
Engenharia Mecânica

São Paulo  
2018

## Catalogação-na-publicação

Ambrosio, Vitor Hugo Tokenshi

Estudo do controle térmico em aviários de produção de frangos de corte / V. H. T. Ambrosio -- São Paulo: EPUSP, 2017.  
70 p.

Trabalho de formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Ventilação 2. Controle Térmico 3. Criação de Animais I.  
Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

## RESUMO

A produção de aves para corte no Brasil é uma das indústrias nacionais de maior destaque mundial. O aprofundamento no estudo da influência das características térmicas e higrométricas aos quais as aves são sujeitos é recente, uma vez que o foco da indústria e dos produtores era primordialmente a nutrição e a prevenção de doenças.

Propõe-se um estudo mais detalhado das condições de conforto térmico para aves, a modelagem do equilíbrio térmico em um aviário, as formas de controle térmico disponíveis e as mais utilizadas.

Através de pesquisa bibliográfica foi possível obter informações acerca das características térmicas das aves, além das condições nas quais elas atingem conforto térmico, desconforto e risco à vida em diferentes fases de seu desenvolvimento.

A partir de dados obtidos de um aviário em operação, foi feita o estudo de carga térmica e da capacidade de controle ambiental presente em um aviário padrão.

Utilizando-se destes dados, foi feita a simulação do comportamento térmico e higrométrico de um aviário em condições climáticas típicas. Os resultados obtidos foram analisados sob o ponto de vista do conforto térmico e salubridade das aves, e foram propostas alternativas operação do aviário para reduzir a ocorrência de estresse térmico.

## ABSTRACT

The production of poultry in Brazil is one of the most important national industries. The evaluation and control of the ambient conditions inside the poultry houses has not been studied with the same emphasis as factors such as hygiene and food quality.

A more detailed study is proposed on the thermal comfort conditions for the birds, the modeling of the thermal balance of a poultry house and the common and available methods of thermal control used in the industry.

The ultimate goal of the project is to evaluate the current methods of thermal control in poultry houses, and investigate the possibility of improving them.

Through data obtained in the literature, the thermal characteristics of the birds, as well as the ambient conditions in which they achieve thermal comfort, discomfort and are in danger.

A poultry house in operation was analyzed to determine the cooling load and the capability of ambient control of a standard poultry house.

Using the collected data, the thermal and hygrometric behavior of the poultry house was simulated in typical climatic conditions. The results obtained were analyzed to determine the thermal comfort and health conditions of the birds, and alternatives were proposed to reduce thermal stress.

# SUMÁRIO

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
3.1. Caracterização da produção de frangos para corte .....	5
3.2. Definição das condições de conforto térmico das aves .....	6
3.3. Métodos de controle térmico mais utilizados em aviários .....	8
4. METODOLOGIA .....	14
4.1. Características térmicas das aves.....	14
4.2. Condições de conforto térmico das aves .....	15
4.3. Vazão de ar para manutenção da qualidade do ar interno do aviário .....	22
5. ESTUDO DE CASO.....	24
5.1. Características do aviário utilizado como base para o estudo .....	24
5.2. Cálculo de Carga térmica .....	26
5.2.4. Resultados dos cálculos de carga térmica.....	34
5.3. Simulação do comportamento térmico de um aviário para determinadas condições de clima e controle.....	35
6. ANÁLISE E DISCUSSÃO.....	63
7. CONCLUSÕES .....	67
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69

## **LISTA DE FIGURAS**

Fig. 1 - Projeções do Setor de Avicultura de Corte no Brasil. Reproduzido do Balanço 2016, CNA, com dados do Agricultural Outlook 2015-2024, OECD/FAO ..	1
Fig. 2 - Arquitetura básica do aviário.....	5
Fig. 3 - Diagrama de temperatura do ar na zona de conforto térmico – Abreu e Abreu (2012), adaptado de Hafez (1973).....	7
Fig. 4 - Aquecedor de ar a lenha para aviário .....	9
Fig. 5 - Ventiladores de exaustão.....	10
Fig. 6 - Fatores para seleção de vazão de ar para ventilação. ASHRAE (2007), adaptado de Christianson, Fehr, 1983 .....	11
Fig. 7 - Placa de Evaporação em um aviário.....	12
Fig. 8 - Pontos de coleta de dados.....	24
Fig. 9 - Entalpia do ar calculada a partir de medidas do interior do aviário .....	25
Fig. 10- Medidas do aviário a ser estudado.....	26
Fig. 11 - Resultado do Cálculo da Carga Térmica Máxima de Resfriamento - parcela sensível.....	35
Fig. 12 - Divisão do aviário e localização do nebulizador.....	37
Fig. 13 - Vazão de ar do sistema visando manter o IEC em condição de conforto térmico.....	39
Fig. 14 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	39
Fig. 15 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	40
Fig. 16 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	40
Fig. 17 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico .....	41
Fig. 18 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	41
Fig. 19 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	42
Fig. 20 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	42

Fig. 21 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico .....	43
Fig. 22 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	43
Fig. 23 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	44
Fig. 24 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	44
Fig. 25 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico .....	45
Fig. 26 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	45
Fig. 27 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	46
Fig. 28 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	46
Fig. 29 - Vazão de ar do sistema visando manter o IEC em condição de conforto térmico.....	47
Fig. 30 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	47
Fig. 31 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	48
Fig. 32 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	48
Fig. 33 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico .....	49
Fig. 34 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	49
Fig. 35 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	50
Fig. 36 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	50
Fig. 37 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico .....	51
Fig. 38 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	51

Fig. 39 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	52
Fig. 40 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	52
Fig. 41 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico .....	53
Fig. 42 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	53
Fig. 43 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	54
Fig. 44 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	54
Fig. 45 - Vazão de ar do sistema visando manter o IEC em condição de conforto térmico.....	55
Fig. 46 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	55
Fig. 47 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	56
Fig. 48 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	56
Fig. 49 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico .....	57
Fig. 50 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	57
Fig. 51 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	58
Fig. 52 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	58
Fig. 53 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico .....	59
Fig. 54 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	59
Fig. 55 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	60
Fig. 56 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	60

Fig. 57 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico .....	61
Fig. 58 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de conforto térmico.....	61
Fig. 59 - Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade .....	62
Fig. 60 - IEC máximo - sistema configurado para manter condição de salubridade	62
Fig. 61 - Avaliação da influência do número de aves no valor de IEC.....	64
Fig. 62 - Avaliação da influência do aumento na velocidade do ar no valor de IEC	65

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Variação da massa corporal de frangos de corte em função da idade .....	15
Tabela 2 - Índice de Entalpia de Conforto para Frangos de corte de até uma semana de vida, Barbosa Filho, 2007.....	16
Tabela 3 - Índice de Entalpia de Conforto para Frangos de corte de até duas semanas de vida, Barbosa Filho, 2007.....	17
Tabela 4 - Índice de Entalpia de Conforto para Frangos de corte de até três semanas de vida, Barbosa Filho, 2007.....	18
Tabela 5 - Índice de Entalpia de Conforto para Frangos de corte de até quatro semanas de vida, Barbosa Filho, 2007 .....	19
Tabela 6 - Índice de Entalpia de Conforto para Frangos de corte de até cinco semanas de vida, Barbosa Filho, 2007.....	20
Tabela 7 - Índice de Entalpia de Conforto para Frangos de corte de até seis semanas de vida, Barbosa Filho, 2007.....	21
Tabela 8 - Valores indicados para o Índice Entalpia de Conforto .....	22
Tabela 9 - Diretrizes da Qualidade do Ar no interior de aviário – COBB-VANTRESS(2009) .....	22
Tabela 10 - Vazão de ar em litros por minuto em função da temperatura e da idade das aves – Abreu e Abreu (2000).....	23
Tabela 11 - Propriedades dos materiais utilizados na construção.....	27
Tabela 12 - Propriedades do ar para estudo de convecção natural .....	28
Tabela 13 - Fator de correção para latitude - ASHRAE.....	32
Tabela 14 - CLTD – Paredes grupo B (para cálculo das paredes de tijolos) - ASHRAE.....	33
Tabela 15 - CLTD – Paredes grupo G (para cálculo das paredes com cortinas) - ASHRAE.....	33
Tabela 16 - CLTD – Teto tipo 1 (Chapa de aço com isolamento) - ASHRAE.....	34
Tabela 17 – fator de correção para latitude - ASHRAE.....	34
Tabela 18 - Dados climáticos selecionados para estudo .....	36
Tabela 19 - Fração da variação média diária de temperatura. ASHRAE (2005), reproduzido de ABNT(2008) .....	36

## 1. INTRODUÇÃO

A Avicultura de Corte Brasileira é uma indústria que se encontra em crescimento tanto no mercado interno quanto no exterior, com a entrada do produto nacional em diferentes mercados competitivamente.

A produção nacional de carne de frango foi de 12,9 milhões de toneladas em 2016, sendo 4,38 milhões de toneladas destinadas a exportação e a receita total obtida com esta exportação foi de US\$ 6,875 bilhões, segundo a ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal – citada pela EMBRAPA (2017), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

O estado com maior participação nas exportações é o Paraná, concentrando 35% da receita obtida por exportações no Brasil. A região sul como um todo responde por 74% da receita total (SINDIAVIPAR, Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná, 2016). A projeção para o setor é de crescimento de 22% na produção, 17% no consumo doméstico e 31% nas exportações no período entre 2014-2024, conforme estudo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, OECD, reproduzido pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2016). Os dados são apresentados na Figura 1.

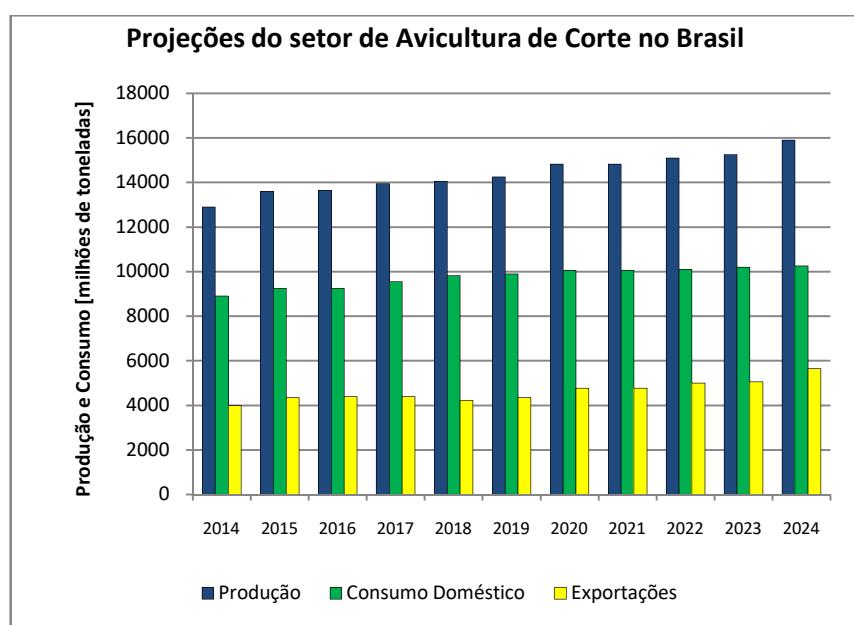


Fig. 1 - Projeções do Setor de Avicultura de Corte no Brasil. Reproduzido do Balanço 2016, CNA, com dados do Agricultural Outlook 2015-2024, OECD/FAO

O crescimento apresentado pelo setor faz com que aumente a demanda por estudos científicos voltados aos fatores que afetam a eficiência da produção, para evolução do produto nacional e para aumento da eficiência operacional da indústria nacional.

O modelo de negócios mais comum na indústria nacional consiste em uma empresa frigorífica fornecer a granjeiros independentes aves recém nascidas e a ração para alimentação, e comprar o frango desenvolvido. Este processo de criação dura geralmente 42 dias, entre a chegada e saída das aves das granjas. O valor pago aos granjeiros depende do peso final médio das aves, a mortalidade durante o processo, da condição de saúde final das aves e a quantidade de ração consumida na criação. Do ponto de vista dos granjeiros, especialmente, é fundamental o estudo das variáveis da produção uma vez que pequenas variações nas características das aves no fim do seu desenvolvimento têm grande influência no faturamento obtido e consequentemente na viabilidade financeira de seus negócios.

Historicamente a maior preocupação por parte da indústria concentrou-se nas áreas de nutrição, manejo e saúde das aves, e o resultado das pesquisas efetuadas foi significativo na prevenção da proliferação de doenças causadas por deficiências higiênicas e alimentícias das aves, e consequentemente, na mortalidade durante a produção.

Uma vez controlada a questão de morte e doenças das aves, o maior ganho de competitividade disponível no processo de produção é o aumento da eficiência, medida através da razão entre o ganho de massa corporal das aves no fim do processo de crescimento e a quantidade total de alimento consumida pelas mesmas. Além disso, existe maior demanda por aves de maior peso, o que torna ainda mais importante o esforço para obtenção de ganhos de produtividade.

O ganho de massa das aves, especialmente no terço final do processo de produção, depende principalmente do conforto das mesmas no ambiente onde se encontram, destacando-se nesta questão o conforto térmico. As aves são animais homeotérmicos, ou seja, são capazes de regular a própria temperatura corporal, mas a manutenção de aves em condições diferentes daquela que estabelece o conforto térmico prejudica o seu desenvolvimento, podendo levar a problemas de saúde.

Para a manutenção de ambiente favorável para o desenvolvimento das aves o clima brasileiro, em grande parte tropical, é um fator que aumenta o desafio para os granjeiros, devido à fragilidade dos animais e à necessidade de manutenção de condições térmicas e higrométricas limitadas. Outro fator a ser considerado é o fato de que o desenvolvimento genético de aves para corte foi feito tendo em vista a produção em clima temperado, estando as aves melhor adaptadas para o crescimento em temperaturas mais baixas.

As condições de conforto térmico para as aves variam com a sua idade, tornando imprescindível um sistema de controle térmico que seja capaz de se adaptar às condições ambientais e às necessidades das aves.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo realizar o estudo das características de equilíbrio térmico e higrométrico de aviários para produção de frangos de corte em diferentes fases do ciclo de produção e em diferentes condições climáticas, visando o melhor entendimento das formas de controle ambiental utilizadas atualmente e a sua eficácia no estabelecimento de condições favoráveis para o crescimento das aves. O desenvolvimento foi feito a partir de dados da bibliografia e de estudo de caso de um aviário em operação.

Os objetivos específicos são: dadas as condições climáticas, as características das construções de aviários e as demandas para conforto térmico das aves, verificar a capacidade do sistema de ventilação do aviário de manter as condições internas dentro dos limites de conforto térmico e de saúde das aves, para diferentes idades e quantidade de aves. Além disso, propõe-se verificar em quais situações cada tipo de controle térmico tem maior resultado na manutenção de ambiente favorável às aves.

Como objetivos secundários propõe-se estudar a viabilidade técnica e financeira de utilização de outras formas de controle térmico e verificar a possibilidade de automação do sistema de ventilação e controle térmico de um aviário, tendo em vista a grande carga de trabalho dos trabalhadores que fazem o manejo das aves no dia a dia.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Caracterização da produção de frangos para corte

A produção de frangos para corte vem sofrendo acelerado processo de modernização no Brasil, devido ao ganho de mercado mundial por parte da indústria nacional e pelos avanços técnicos que este avanço vem incentivando.

Os aviários instalados recentemente no Brasil apresentam as seguintes características:

- Aviário com planta retangular, com comprimento de cerca de 100 metros e largura de cerca de 25 metros;
- Ventilação tipo túnel com pressão negativa, promovida por exaustores na saída de ar do aviário. O escoamento de ar se dá na direção longitudinal do aviário;
- Para aumentar a eficiência do sistema de ventilação, as paredes laterais do aviário são vedadas, utilizando-se de lonas plásticas. O uso destas lonas também visa servir de barreira à entrada de luz e a troca de calor com o meio externo. Em caso de emergência estas lonas podem ser rapidamente recolhidas, evitando possíveis riscos às aves e aos trabalhadores dos aviários;
- O aviário tem iluminação interna artificial, utilizando lâmpadas com baixa emissão de calor. Os períodos com e sem iluminação artificial são rigidamente controlados;
- Os aviários dispõem de aquecedor de ar para atender às necessidades das aves, especialmente no início de suas vidas.

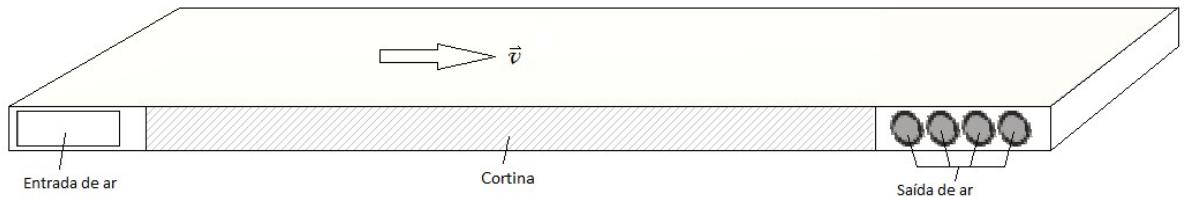


Fig. 2 - Arquitetura básica do aviário

Para o presente estudo são, também, necessárias informações a respeito da produção de frangos para corte:

- As aves são colocadas no aviário com cerca de 3 dias de vida, e são retiradas para abate com cerca de 42 dias. Estas aves são fornecidas diretamente pela empresa frigorífica que irá fazer a compra dos frangos adultos;
- As aves são resultado de extensivo trabalho de pesquisa genética, e de cruzamentos selecionados, tendo sido desenvolvidas para obtenção de melhorias de produtividade e prevenção de doenças. O manual fornecido pela empresa responsável pela seleção destas aves é uma das maiores fontes de informação para os granjeiros e para os trabalhadores responsáveis pelo manejo do aviário;
- A remuneração dos granjeiros depende principalmente do ganho de peso das aves durante o processo de criação, o percentual de morte ocorrido, a quantidade de ração consumida, e avaliação acerca da saúde das aves durante todo o processo.

A seguir é feita uma descrição das características fisiológicas das aves, especialmente relacionadas ao conforto térmico e salubridade, que tem influência sobre o processo de produção.

### **3.2. Definição das condições de conforto térmico das aves**

As aves dispõem de mecanismo termorregulador capaz de controlar a sua temperatura corporal para a manutenção de saúde. A sua produção de calor se deve principalmente devido ao metabolismo basal, que corresponde às funções vitais, tais como o sistema nervoso, circulatório, digestivo e respiratório, e à atividade muscular relacionada à movimentação e outras atividades.

No seu processo termorregulador as aves rejeitam calor sensível e latente, dependendo das condições ambientais e de sua saúde. A troca de calor sensível ocorre pelos processos de convecção e radiação. Em condições de temperatura ambiente elevada, as aves procuram aumentar a sua área em contato com o ar, e aumentar a circulação sanguínea nas zonas periféricas do corpo para promover a troca de calor por convecção. Nas condições de temperatura baixa no ambiente o

comportamento da ave é o oposto, com a diminuição da área exposta ao ar, e redução da circulação periférica. A plumagem auxilia no isolamento do corpo, sendo importante para as condições de frio.

A troca de calor na forma latente se dá pelo processo de evaporação e, uma vez que as aves não possuem glândulas sudoríparas, ocorre predominantemente nos pulmões: o ar expirado pela ave é praticamente saturado, contribuindo para a perda de calor. Em situações de temperatura elevada a ave pode sofrer um aumento da freqüência respiratória no esforço de perda de calor, o que pode causar problemas de saúde.

Dependendo das condições climáticas às quais estão expostas, as aves respondem de maneira diferente. Como apresentado no diagrama da Figura 3, proposto por Hafez (1973) e adaptado por Abreu e Abreu (2012), a produção de calor das aves sem risco para a sua saúde é minimizada quando a mesma está em situação de conforto térmico, o que é desejável do ponto de vista da produção. Neste projeto, serão avaliadas alternativas para a manutenção do maior número possível de aves em condições de conforto térmico.

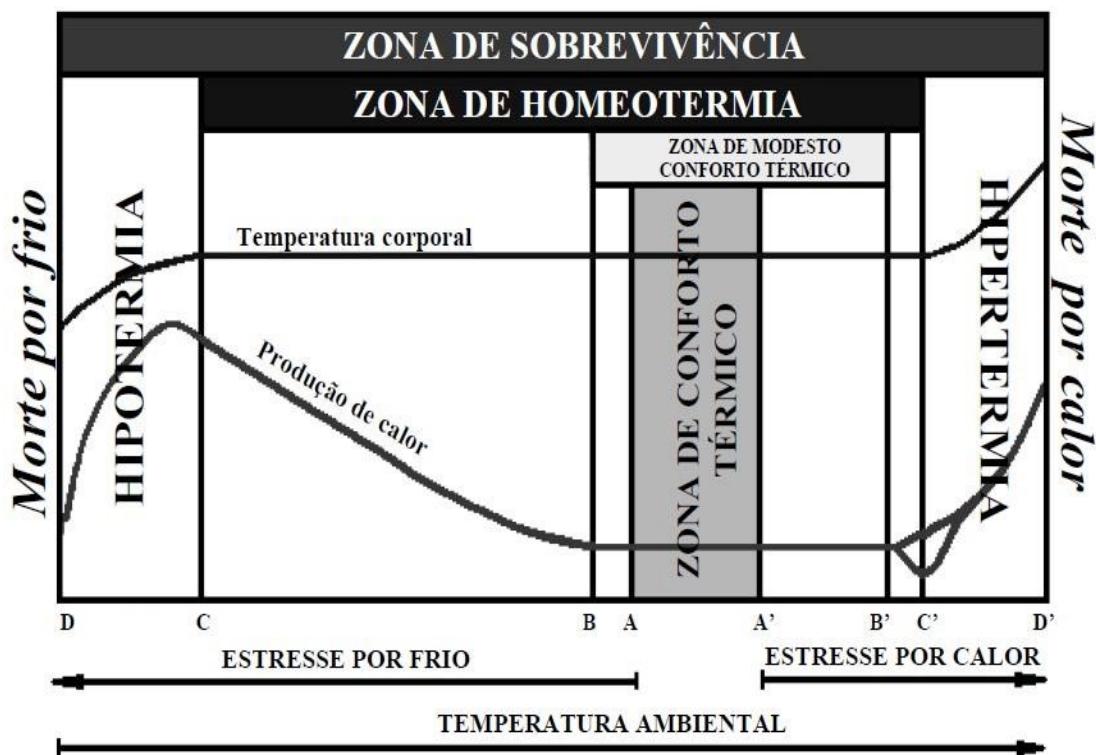


Fig. 3 - Diagrama de temperatura do ar na zona de conforto térmico – Abreu e Abreu (2012), adaptado de Hafez (1973)

As condições de conforto térmico para as aves variam em função da idade das mesmas, conforme verificado por Abreu e Abreu (2012). A sua definição exata vem sendo objeto de estudos recentes, como o promovido no Núcleo de Pesquisa em Ambiência –NUPEA - ESALQ / USP, e que será utilizado neste trabalho. Os manuais de manejo de aves, como COBB–VANTRESS (2009) fornecem dados de temperatura ideais para diferentes fases da vida das aves. Todavia, como exposto, uma das formas de termorregulação das aves faz uso da evaporação, sendo então importante considerar a umidade do ar além da temperatura do ambiente onde a ave está inserida.

### **3.3. Métodos de controle térmico mais utilizados em aviários**

Durante a sua vida, as condições climáticas de conforto térmico das aves variam, sendo necessárias diferentes formas de controle para atingi-las. Em especial no início da vida das aves (geralmente até os 7 a 10 dias de vida), pode ser necessário o aquecimento do ar no interior do aviário para a sua sobrevivência. Durante o restante da sua vida, o foco principal passa a ser o resfriamento do interior do aviário.

O aquecimento do interior de aviários como o descrito anteriormente é feito através de aquecedores movidos a lenha (conhecidos e comercializados como “fornos”), geralmente produzida a partir de serragem, e que insuflam ar aquecido para o ambiente a ser controlado. O ar insuflado não sofre contaminação dos produtos da combustão, não prejudicando assim a qualidade do ar no interior do aviário. Um exemplo deste tipo de equipamento está mostrado na Figura 4. Nas condições climáticas habitualmente encontradas no Brasil, só é necessário aquecimento do ar no interior do aviário durante o início de seu desenvolvimento. Nestas condições as suas necessidades de ventilação são limitadas, sendo evitado grande desperdício do calor fornecido pelos aquecedores.



Fig. 4-Aquecedor de ar lenha para aviário

Para as necessidades de resfriamento dos aviários, são vastamente utilizadas duas formas de controle térmico. A primeira opção para resfriar os ambientes dos aviários é por meio do sistema de ventilação que realiza a troca de calor com o ar externo insuflado. A segunda forma trata da utilização de ventilação evaporativa, em que o ar insuflado no aviário tem a sua umidade aumentada através de acréscimo de vapor d'água realizado por placas de evaporação (localizadas na entrada de ar no aviário) ou por nebulizadores (no interior do aviário).

A ventilação de aviários é feita através de ventiladores axiais, e sua principal função é fazer a renovação do ar interno, reduzindo a concentração de poluentes resultantes dos processos fisiológicos das aves e gás carbônico. Os ventiladores são acionados constantemente e em um aviário de pressão negativa são montados na saída de ar do aviário.

Na Figura 5, pode-se ver um exemplo da montagem do conjunto de ventiladores em um aviário.



Fig. 5- Ventiladores de exaustão

O sistema de ventilação sem resfriamento evaporativo em ambiente de criação de animais, para que possa manter o interior do ambiente nas condições de projeto, deve atender a algumas condições, relacionadas com as diferentes funções pelas quais é responsável. No *Handbook ASHRAE 2007 – Systems and Applications* são apresentadas estas condições, e na Figura 6 pode-se ver de que forma a necessidade de vazão de ventilação para atender a estas condições variam conforme a temperatura. As condições que o sistema de ventilação deve atender são:

- O sistema de ventilação deve prover ar suficiente para a manutenção da qualidade de ar interna (ou seja, para manter a concentração de dióxido de carbono e outros produtos da respiração em níveis aceitáveis). A vazão mínima para esta manutenção é representada pela curva “A” na Figura 6.
- O sistema de ventilação deve também ser capaz de remover a umidade decorrente da respiração. A vazão necessária para tanto é representada pela curva “B” na Figura 6.
- O sistema de ventilação é também responsável pela manutenção da temperatura interna no nível desejado, e a vazão necessária para tanto é representada pela curva “C” na Figura 6.
- O sistema de ventilação não pode introduzir desconforto nas aves devido ao ruído ou à velocidade do ar. A vazão máxima de ar possível que não implique em perda de conforto é representada pela curva “D” na Figura 6.

Dessa forma, a vazão de ar externo ideal é definida pelo mínimo valor que atenda às primeiras três condições, e não desrespeite a quarta. Esta curva está representada na cor vermelha na Figura 6.

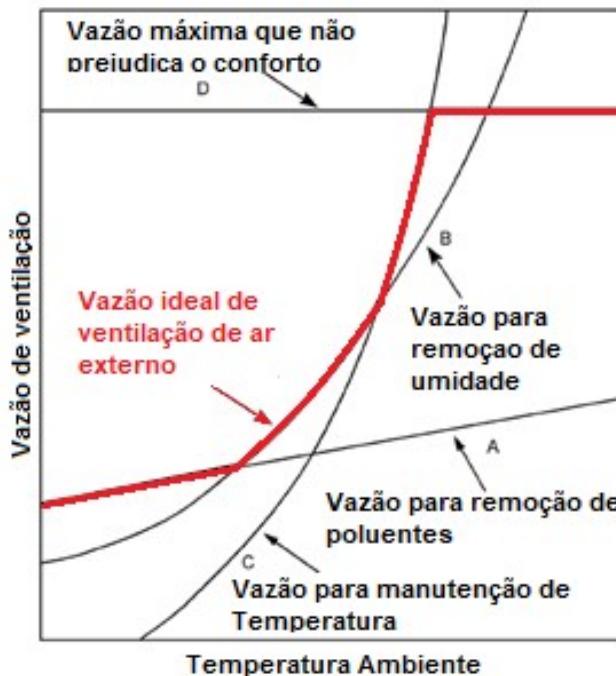


Fig. 6 - Fatores para seleção de vazão de ar para ventilação. ASHRAE (2007), adaptado de Christianson, Fehr, 1983

Nota-se que a necessidade de vazão de ar por conta de cada uma destas condições varia com a temperatura ambiente. Pode-se afirmar também que, caso a temperatura ambiente seja tal que a vazão máxima possível (curva D) não seja suficiente para a manutenção da temperatura de projeto (curva C), deverá ser implantado algum outro método para atingir as condições de conforto térmico.

Em condições climáticas em que o sistema de ventilação sem tratamento é incapaz de manter o conforto térmico das aves no interior do aviário, a alternativa mais habitual é o uso de resfriamento evaporativo. Este consiste em reduzir a temperatura do ar através da evaporação de água.

No caso dos aviários, são utilizados dois tipos de equipamentos para este fim: placas evaporativas, na entrada de ar do aviário, e nebulizadores distribuídos no interior do mesmo.

As placas evaporativas consistem em grandes placas de celulose, de formato sanfonado, recobertas por uma fina camada de água. Como estas placas são colocadas nas únicas entradas de ar do aviário, o fluxo de ar, ao passar pela placa e entrar em contato com a camada de água, aumenta a sua umidade relativa, aproximando-se de condição de saturação, e diminui a sua temperatura. Como este método depende do acréscimo da umidade absoluta do ar insuflado, sua eficácia é reduzida quando a umidade relativa do ar ambiente é alta e próxima da condição de saturação.

Na Figura 7 pode-se ver um exemplo da instalação de uma placa para promoção de resfriamento evaporativo em um aviário.



*Fig. 7- Placa de Evaporação em um aviário*

Os nebulizadores são equipamentos que fazem a pulverização de água e são acoplados, na construção da maioria dos aviários, a ventiladores. O pequeno tamanho das gotículas de água geradas, somado ao fluxo de ar do ventilador acoplado causam a rápida evaporação, absorvendo assim calor da massa de ar reduzindo a temperatura.

Esta diminuição de temperatura vem necessariamente acompanhada de um aumento da umidade relativa do ar, e dessa forma a aplicação de resfriamento evaporativo deve ser controlada para evitar que o ar interno atinja a condição de saturação, o que pode causar problemas de saúde para as aves.

## 4. METODOLOGIA

Para fazer simulações do comportamento térmico das aves em um ambiente de aviário é preciso considerar inicialmente os seguintes aspectos relacionados às condições e necessidades das aves:

- Características térmicas das aves, considerando modelo para determinação do calor rejeitado pelas aves;
- Condições de conforto térmico das aves, definidas por estudos e pesquisas realizadas que definem índice de conforto relacionado a parâmetros ambientais;
- Vazão de ar externo em um aviário para garantir a qualidade do ar interno.

Em seguida, analisando o ambiente do aviário é preciso realizar o cálculo de carga térmica deste ambiente, que indica o fluxo de calor transferido.

E finalmente obter os resultados para os valores dos índices de conforto considerando tanto as características das aves, como os parâmetros do ambiente. Desta forma é avaliado o ambiente para determinada condição de clima e para aves de certa idade.

A seguir são detalhados os modelos, equacionamentos e parâmetros tabelados para a garantia de condições de conforto adequadas às aves.

Por conforto térmico das aves entende-se neste texto a condição de salubridade térmica e higrométrica destes animais.

### 4.1. Características térmicas das aves

Uma característica importante a ser analisada, e que será utilizada nas simulações é a carga térmica que é produzida pelas aves, e como este valor varia com o seu desenvolvimento.

Os valores a serem utilizados são obtidos através das equações abaixo, resultado de pesquisa de Pedersen e Thomsen (2010). Nestas expressões,  $q_t$  é a quantidade de calor total gerada por cada ave,  $q_s$  é a quantidade de calor sensível gerada,  $m_a$  é a

massa corporal média das aves, e  $TBS$  é a temperatura de bulbo seco do ambiente onde as aves se encontram.

$$q_t = 9,84 \cdot m_a^{0,75} (4 \cdot 10^{-5} (20 - TBS)^3 + 1)$$

$$q_s = 0,83 \cdot q_t (0,8 - 1,85 \cdot 10^{-7} (TBS + 10)^4)$$

A partir dos dados do Manual Cobb (COBB-VANTRESS, 2009), o ganho de peso das aves entre os dias 20 e 42 é aproximadamente linear. Utilizando dados de um aviário em operação, serão considerados os dados representados na Tabela 1:

*Tabela 1 - Variação da massa corporal de frangos de corte em função da idade*

Idade (dias)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Massa (kg)	1,9	1,95	2,0	2,05	2,1	2,15	2,2	2,25	2,3	2,35	2,4	2,45

Idade (dias)	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
Massa (kg)	2,5	2,55	2,6	2,65	2,7	2,75	2,8	2,85	2,9	2,95	3,0

#### 4.2. Condições de conforto térmico das aves

A partir de pesquisa por parte do Núcleo de Pesquisa em Ambiência –NUPEA - ESALQ / USP, foi criado um índice de conforto térmico voltado especificamente para frangos de corte, IEC (Índice de Entalpia de Conforto), com o objetivo de tornar possível uma avaliação rápida da condição térmica de um ambiente de produção destas aves. O índice é definido através da equação 1, reproduzida a seguir.

$$IEC = 6,7 + 0,243 \cdot TBS + \left( \frac{UR}{100} \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot TBS}{237,5 + TBS}} \right) [\text{kcal/kg}] \quad (1)$$

O NUPEA também gerou seis tabelas com gradação de cores para facilitar a rápida avaliação do ambiente, em diferentes fases do desenvolvimento das aves. Nestas tabelas, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar no interior do aviário, obtém-se o valor do IEC e as cores auxiliam na interpretação da condição térmica.

Nestas tabelas, reproduzidas a seguir, a condição térmica está associada a regiões de mesma cor:

- Cor verde: condição em que há conforto térmico;
- Cor amarela: condição com leve desconforto;
- Cor laranja: condição de alerta;
- Cor vermelha: condição de risco à vida das aves.

*Tabela 2-Índice de Entalpia de Conforto para frangos de corte com uma semana de vida, Barbosa Filho, 2007*

NUPEA - ESALQ - USP														
TABELA PRÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO AMBIENTE DE GALPÕES DE FRANGOS DE CORTE														
Faixa de Conforto para Frangos de corte (1ª semana) - H variando de 80 a 86,6 KJ/Kg ar seco														
Temperatura (°C)														
UR (%)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
40	66,8	68,4	70,1	71,8	73,5	75,3	77,1	78,9	80,8	82,8	84,7	86,8	88,8	90,9
41	67,1	68,7	70,4	72,1	73,8	75,6	77,5	79,3	81,2	83,2	85,2	87,2	89,3	91,5
42	67,3	69,0	70,7	72,4	74,2	76,0	77,8	79,7	81,6	83,6	85,6	87,7	89,8	92,0
43	67,6	69,2	71,0	72,7	74,5	76,3	78,2	80,1	82,1	84,1	86,1	88,2	90,3	92,5
44	67,8	69,5	71,3	73,0	74,8	76,7	78,6	80,5	82,5	84,5	86,6	88,7	90,8	93,1
45	68,1	69,8	71,5	73,3	75,2	77,0	78,9	80,9	82,9	84,9	87,0	89,1	91,3	93,6
46	68,3	70,1	71,8	73,6	75,5	77,4	79,3	81,3	83,3	85,3	87,5	89,6	91,9	94,1
47	68,6	70,3	72,1	73,9	75,8	77,7	79,6	81,6	83,7	85,8	87,9	90,1	92,4	94,7
48	68,9	70,6	72,4	74,3	76,1	78,0	80,0	82,0	84,1	86,2	88,4	90,6	92,9	95,2
49	69,1	70,9	72,7	74,6	76,5	78,4	80,4	82,4	84,5	86,6	88,8	91,1	93,4	95,7
50	69,4	71,2	73,0	74,9	76,8	78,7	80,7	82,8	84,9	87,1	89,3	91,5	93,9	96,3
51	69,6	71,4	73,3	75,2	77,1	79,1	81,1	83,2	85,3	87,5	89,7	92,0	94,4	96,8
52	69,9	71,7	73,6	75,5	77,4	79,4	81,5	83,6	85,7	87,9	90,2	92,5	94,9	97,3
53	70,2	72,0	73,9	75,8	77,8	79,8	81,8	83,9	86,1	88,3	90,6	93,0	95,4	97,9
54	70,4	72,3	74,2	76,1	78,1	80,1	82,2	84,3	86,5	88,8	91,1	93,5	95,9	98,4
55	70,7	72,5	74,4	76,4	78,4	80,5	82,6	84,7	86,9	89,2	91,5	93,9	96,4	98,9
56	70,9	72,8	74,7	76,7	78,7	80,8	82,9	85,1	87,3	89,6	92,0	94,4	96,9	99,5
57	71,2	73,1	75,0	77,0	79,1	81,1	83,3	85,5	87,7	90,1	92,4	94,9	97,4	100,0
58	71,4	73,4	75,3	77,3	79,4	81,5	83,7	85,9	88,2	90,5	92,9	95,4	97,9	100,5
59	71,7	73,6	75,6	77,6	79,7	81,8	84,0	86,3	88,6	90,9	93,4	95,8	98,4	101,1
60	72,0	73,9	75,9	77,9	80,0	82,2	84,4	86,6	89,0	91,4	93,8	96,3	98,9	101,6
61	72,2	74,2	76,2	78,2	80,4	82,5	84,7	87,0	89,4	91,8	94,3	96,8	99,4	102,1
62	72,5	74,5	76,5	78,6	80,7	82,9	85,1	87,4	89,8	92,2	94,7	97,3	99,9	102,6
63	72,7	74,7	76,8	78,9	81,0	83,2	85,5	87,8	90,2	92,6	95,2	97,8	100,4	103,2
64	73,0	75,0	77,1	79,2	81,3	83,6	85,8	88,2	90,6	93,1	95,6	98,2	100,9	103,7
65	73,3	75,3	77,4	79,5	81,7	83,9	86,2	88,6	91,0	93,5	96,1	98,7	101,4	104,2
66	73,5	75,6	77,6	79,8	82,0	84,2	86,6	89,0	91,4	93,9	96,5	99,2	101,9	104,8
67	73,8	75,8	77,9	80,1	82,3	84,6	86,9	89,3	91,8	94,4	97,0	99,7	102,5	105,3
68	74,0	76,1	78,2	80,4	82,6	84,9	87,3	89,7	92,2	94,8	97,4	100,2	103,0	105,8
69	74,3	76,4	78,5	80,7	83,0	85,3	87,7	90,1	92,6	95,2	97,9	100,6	103,5	106,4
70	74,6	76,7	78,8	81,0	83,3	85,6	88,0	90,5	93,0	95,6	98,3	101,1	104,0	106,9
71	74,8	76,9	79,1	81,3	83,6	86,0	88,4	90,9	93,4	96,1	98,8	101,6	104,5	107,4
72	75,1	77,2	79,4	81,6	83,9	86,3	88,7	91,3	93,8	96,5	99,2	102,1	105,0	108,0
73	75,3	77,5	79,7	81,9	84,3	86,7	89,1	91,6	94,2	96,9	99,7	102,5	105,5	108,5
74	75,6	77,7	80,0	82,2	84,6	87,0	89,5	92,0	94,7	97,4	100,2	103,0	106,0	109,0
75	75,8	78,0	80,3	82,6	84,9	87,3	89,8	92,4	95,1	97,8	100,6	103,5	106,5	109,6
76	76,1	78,3	80,5	82,9	85,2	87,7	90,2	92,8	95,5	98,2	101,1	104,0	107,0	110,1
77	76,4	78,6	80,8	83,2	85,6	88,0	90,6	93,2	95,9	98,7	101,5	104,5	107,5	110,6
78	76,6	78,8	81,1	83,5	85,9	88,4	90,9	93,6	96,3	99,1	102,0	104,9	108,0	111,2
79	76,9	79,1	81,4	83,8	86,2	88,7	91,3	94,0	96,7	99,5	102,4	105,4	108,5	111,7
80	77,1	79,4	81,7	84,1	86,5	89,1	91,7	94,3	97,1	99,9	102,9	105,9	109,0	112,2
81	77,4	79,7	82,0	84,4	86,9	89,4	92,0	94,7	97,5	100,4	103,3	106,4	109,5	112,8
82	77,7	79,9	82,3	84,7	87,2	89,8	92,4	95,1	97,9	100,8	103,8	106,9	110,0	113,3
83	77,9	80,2	82,6	85,0	87,5	90,1	92,8	95,5	98,3	101,2	104,2	107,3	110,5	113,8
84	78,2	80,5	82,9	85,3	87,8	90,4	93,1	95,9	98,7	101,7	104,7	107,8	111,0	114,4
85	78,4	80,8	83,2	85,6	88,2	90,8	93,5	96,3	99,1	102,1	105,1	108,3	111,5	114,9

*Tabela 3- Índice de Entalpia de Conforto para frangos de corte com duas semanas de vida, Barbosa Filho, 2007*

UR (%)	NUPEA - ESALQ - USP													
	TABELA PRÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO AMBIENTE DE GALPÕES DE FRANGOS DE CORTE													
	Faixa de Conforto para Frangos de corte (2 <sup>a</sup> semana) - H variando de 73 a 79,9 KJ/Kg ar seco													
	Temperatura (°C)													
UR (%)	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
40	60,6	62,1	63,6	65,2	66,8	68,4	70,1	71,8	73,5	75,3	77,1	78,9	80,8	82,8
41	60,8	62,3	63,8	65,4	67,1	68,7	70,4	72,1	73,8	75,6	77,5	79,3	81,2	83,2
42	61,0	62,5	64,1	65,7	67,3	69,0	70,7	72,4	74,2	76,0	77,8	79,7	81,6	83,6
43	61,2	62,7	64,3	65,9	67,6	69,2	71,0	72,7	74,5	76,3	78,2	80,1	82,1	84,1
44	61,4	62,9	64,5	66,2	67,8	69,5	71,3	73,0	74,8	76,7	78,6	80,5	82,5	84,5
45	61,6	63,2	64,8	66,4	68,1	69,8	71,5	73,3	75,2	77,0	78,9	80,9	82,9	84,9
46	61,8	63,4	65,0	66,7	68,3	70,1	71,8	73,6	75,5	77,4	79,3	81,3	83,3	85,3
47	62,0	63,6	65,2	66,9	68,6	70,3	72,1	73,9	75,8	77,7	79,6	81,6	83,7	85,8
48	62,2	63,8	65,5	67,1	68,9	70,6	72,4	74,3	76,1	78,0	80,0	82,0	84,1	86,2
49	62,4	64,0	65,7	67,4	69,1	70,9	72,7	74,6	76,5	78,4	80,4	82,4	84,5	86,6
50	62,6	64,2	65,9	67,6	69,4	71,2	73,0	74,9	76,8	78,7	80,7	82,8	84,9	87,1
51	62,8	64,5	66,1	67,9	69,6	71,4	73,3	75,2	77,1	79,1	81,1	83,2	85,3	87,5
52	63,0	64,7	66,4	68,1	69,9	71,7	73,6	75,5	77,4	79,4	81,5	83,6	85,7	87,9
53	63,2	64,9	66,6	68,4	70,2	72,0	73,9	75,8	77,8	79,8	81,8	83,9	86,1	88,3
54	63,4	65,1	66,8	68,6	70,4	72,3	74,2	76,1	78,1	80,1	82,2	84,3	86,5	88,8
55	63,6	65,3	67,1	68,8	70,7	72,5	74,4	76,4	78,4	80,5	82,6	84,7	86,9	89,2
56	63,8	65,5	67,3	69,1	70,9	72,8	74,7	76,7	78,7	80,8	82,9	85,1	87,3	89,6
57	64,0	65,8	67,5	69,3	71,2	73,1	75,0	77,0	79,1	81,1	83,3	85,5	87,7	90,1
58	64,2	66,0	67,8	69,6	71,4	73,4	75,3	77,3	79,4	81,5	83,7	85,9	88,2	90,5
59	64,4	66,2	68,0	69,8	71,7	73,6	75,6	77,6	79,7	81,8	84,0	86,3	88,6	90,9
60	64,6	66,4	68,2	70,1	72,0	73,9	75,9	77,9	80,0	82,2	84,4	86,6	89,0	91,4
61	64,8	66,6	68,4	70,3	72,2	74,2	76,2	78,2	80,4	82,5	84,7	87,0	89,4	91,8
62	65,0	66,8	68,7	70,6	72,5	74,5	76,5	78,6	80,7	82,9	85,1	87,4	89,8	92,2
63	65,2	67,1	68,9	70,8	72,7	74,7	76,8	78,9	81,0	83,2	85,5	87,8	90,2	92,6
64	65,5	67,3	69,1	71,0	73,0	75,0	77,1	79,2	81,3	83,6	85,8	88,2	90,6	93,1
65	65,7	67,5	69,4	71,3	73,3	75,3	77,4	79,5	81,7	83,9	86,2	88,6	91,0	93,5
66	65,9	67,7	69,6	71,5	73,5	75,6	77,6	79,8	82,0	84,2	86,6	89,0	91,4	93,9
67	66,1	67,9	69,8	71,8	73,8	75,8	77,9	80,1	82,3	84,6	86,9	89,3	91,8	94,4
68	66,3	68,1	70,1	72,0	74,0	76,1	78,2	80,4	82,6	84,9	87,3	89,7	92,2	94,8
69	66,5	68,4	70,3	72,3	74,3	76,4	78,5	80,7	83,0	85,3	87,7	90,1	92,6	95,2
70	66,7	68,6	70,5	72,5	74,6	76,7	78,8	81,0	83,3	85,6	88,0	90,5	93,0	95,6
71	66,9	68,8	70,7	72,8	74,8	76,9	79,1	81,3	83,6	86,0	88,4	90,9	93,4	96,1
72	67,1	69,0	71,0	73,0	75,1	77,2	79,4	81,6	83,9	86,3	88,7	91,3	93,8	96,5
73	67,3	69,2	71,2	73,2	75,3	77,5	79,7	81,9	84,3	86,7	89,1	91,6	94,2	96,9
74	67,5	69,4	71,4	73,5	75,6	77,7	80,0	82,2	84,6	87,0	89,5	92,0	94,7	97,4
75	67,7	69,7	71,7	73,7	75,8	78,0	80,3	82,6	84,9	87,3	89,8	92,4	95,1	97,8
76	67,9	69,9	71,9	74,0	76,1	78,3	80,5	82,9	85,2	87,7	90,2	92,8	95,5	98,2
77	68,1	70,1	72,1	74,2	76,4	78,6	80,8	83,2	85,6	88,0	90,6	93,2	95,9	98,7
78	68,3	70,3	72,4	74,5	76,6	78,8	81,1	83,5	85,9	88,4	90,9	93,6	96,3	99,1
79	68,5	70,5	72,6	74,7	76,9	79,1	81,4	83,8	86,2	88,7	91,3	94,0	96,7	99,5
80	68,7	70,7	72,8	74,9	77,1	79,4	81,7	84,1	86,5	89,1	91,7	94,3	97,1	99,9
81	68,9	71,0	73,0	75,2	77,4	79,7	82,0	84,4	86,9	89,4	92,0	94,7	97,5	100,4
82	69,1	71,2	73,3	75,4	77,7	79,9	82,3	84,7	87,2	89,8	92,4	95,1	97,9	100,8
83	69,3	71,4	73,5	75,7	77,9	80,2	82,6	85,0	87,5	90,1	92,8	95,5	98,3	101,2
84	69,5	71,6	73,7	75,9	78,2	80,5	82,9	85,3	87,8	90,4	93,1	95,9	98,7	101,7
85	69,7	71,8	74,0	76,2	78,4	80,8	83,2	85,6	88,2	90,8	93,5	96,3	99,1	102,1

*Tabela 4- Índice de Entalpia de Conforto para frangos de corte com três semanas de vida, Barbosa Filho, 2007*

NUPEA - ESALQ - USP														
TABELA PRÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO AMBIENTE DE GALPÕES DE FRANGOS DE CORTE														
Faixa de Conforto para Frangos de corte (3 <sup>a</sup> semana) - H variando de 66,8 a 73,9 KJ/Kg ar seco														
Temperatura (°C)														
UR (%)	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
40	59,1	60,6	62,1	63,6	65,2	66,8	68,4	70,1	71,8	73,5	75,3	77,1	78,9	80,8
41	59,3	60,8	62,3	63,8	65,4	67,1	68,7	70,4	72,1	73,8	75,6	77,5	79,3	81,2
42	59,4	61,0	62,5	64,1	65,7	67,3	69,0	70,7	72,4	74,2	76,0	77,8	79,7	81,6
43	59,6	61,2	62,7	64,3	65,9	67,6	69,2	71,0	72,7	74,5	76,3	78,2	80,1	82,1
44	59,8	61,4	62,9	64,5	66,2	67,8	69,5	71,3	73,0	74,8	76,7	78,6	80,5	82,5
45	60,0	61,6	63,2	64,8	66,4	68,1	69,8	71,5	73,3	75,2	77,0	78,9	80,9	82,9
46	60,2	61,8	63,4	65,0	66,7	68,3	70,1	71,8	73,6	75,5	77,4	79,3	81,3	83,3
47	60,4	62,0	63,6	65,2	66,9	68,6	70,3	72,1	73,9	75,8	77,7	79,6	81,6	83,7
48	60,6	62,2	63,8	65,5	67,1	68,9	70,6	72,4	74,3	76,1	78,0	80,0	82,0	84,1
49	60,8	62,4	64,0	65,7	67,4	69,1	70,9	72,7	74,6	76,5	78,4	80,4	82,4	84,5
50	61,0	62,6	64,2	65,9	67,6	69,4	71,2	73,0	74,9	76,8	78,7	80,7	82,8	84,9
51	61,2	62,8	64,5	66,1	67,9	69,6	71,4	73,3	75,2	77,1	79,1	81,1	83,2	85,3
52	61,4	63,0	64,7	66,4	68,1	69,9	71,7	73,6	75,5	77,4	79,4	81,5	83,6	85,7
53	61,6	63,2	64,9	66,6	68,4	70,2	72,0	73,9	75,8	77,8	79,8	81,8	83,9	86,1
54	61,7	63,4	65,1	66,8	68,6	70,4	72,3	74,2	76,1	78,1	80,1	82,2	84,3	86,5
55	61,9	63,6	65,3	67,1	68,8	70,7	72,5	74,4	76,4	78,4	80,5	82,6	84,7	86,9
56	62,1	63,8	65,5	67,3	69,1	70,9	72,8	74,7	76,7	78,7	80,8	82,9	85,1	87,3
57	62,3	64,0	65,8	67,5	69,3	71,2	73,1	75,0	77,0	79,1	81,1	83,3	85,5	87,7
58	62,5	64,2	66,0	67,8	69,6	71,4	73,4	75,3	77,3	79,4	81,5	83,7	85,9	88,2
59	62,7	64,4	66,2	68,0	69,8	71,7	73,6	75,6	77,6	79,7	81,8	84,0	86,3	88,6
60	62,9	64,6	66,4	68,2	70,1	72,0	73,9	75,9	77,9	80,0	82,2	84,4	86,6	89,0
61	63,1	64,8	66,6	68,4	70,3	72,2	74,2	76,2	78,2	80,4	82,5	84,7	87,0	89,4
62	63,3	65,0	66,8	68,7	70,6	72,5	74,5	76,5	78,6	80,7	82,9	85,1	87,4	89,8
63	63,5	65,2	67,1	68,9	70,8	72,7	74,7	76,8	78,9	81,0	83,2	85,5	87,8	90,2
64	63,7	65,5	67,3	69,1	71,0	73,0	75,0	77,1	79,2	81,3	83,6	85,8	88,2	90,6
65	63,9	65,7	67,5	69,4	71,3	73,3	75,3	77,4	79,5	81,7	83,9	86,2	88,6	91,0
66	64,1	65,9	67,7	69,6	71,5	73,5	75,6	77,6	79,8	82,0	84,2	86,6	89,0	91,4
67	64,2	66,1	67,9	69,8	71,8	73,8	75,8	77,9	80,1	82,3	84,6	86,9	89,3	91,8
68	64,4	66,3	68,1	70,1	72,0	74,0	76,1	78,2	80,4	82,6	84,9	87,3	89,7	92,2
69	64,6	66,5	68,4	70,3	72,3	74,3	76,4	78,5	80,7	83,0	85,3	87,7	90,1	92,6
70	64,8	66,7	68,6	70,5	72,5	74,6	76,7	78,8	81,0	83,3	85,6	88,0	90,5	93,0
71	65,0	66,9	68,8	70,7	72,8	74,8	76,9	79,1	81,3	83,6	86,0	88,4	90,9	93,4
72	65,2	67,1	69,0	71,0	73,0	75,1	77,2	79,4	81,6	83,9	86,3	88,7	91,3	93,8
73	65,4	67,3	69,2	71,2	73,2	75,3	77,5	79,7	81,9	84,3	86,7	89,1	91,6	94,2
74	65,6	67,5	69,4	71,4	73,5	75,6	77,7	80,0	82,2	84,6	87,0	89,5	92,0	94,7
75	65,8	67,7	69,7	71,7	73,7	75,8	78,0	80,3	82,6	84,9	87,3	89,8	92,4	95,1
76	66,0	67,9	69,9	71,9	74,0	76,1	78,3	80,5	82,9	85,2	87,7	90,2	92,8	95,5
77	66,2	68,1	70,1	72,1	74,2	76,4	78,6	80,8	83,2	85,6	88,0	90,6	93,2	95,9
78	66,4	68,3	70,3	72,4	74,5	76,6	78,8	81,1	83,5	85,9	88,4	90,9	93,6	96,3
79	66,6	68,5	70,5	72,6	74,7	76,9	79,1	81,4	83,8	86,2	88,7	91,3	94,0	96,7
80	66,7	68,7	70,7	72,8	74,9	77,1	79,4	81,7	84,1	86,5	89,1	91,7	94,3	97,1
81	66,9	68,9	71,0	73,0	75,2	77,4	79,7	82,0	84,4	86,9	89,4	92,0	94,7	97,5
82	67,1	69,1	71,2	73,3	75,4	77,7	79,9	82,3	84,7	87,2	89,8	92,4	95,1	97,9
83	67,3	69,3	71,4	73,5	75,7	77,9	80,2	82,6	85,0	87,5	90,1	92,8	95,5	98,3
84	67,5	69,5	71,6	73,7	75,9	78,2	80,5	82,9	85,3	87,8	90,4	93,1	95,9	98,7
85	67,7	69,7	71,8	74,0	76,2	78,4	80,8	83,2	85,6	88,2	90,8	93,5	96,3	99,1

*Tabela 5- Índice de Entalpia de Conforto para frangos de corte com quatro semanas de vida, Barbosa Filho, 2007*

UR (%)	NUPEA - ESALQ - USP													
	TABELA PRÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO AMBIENTE DE GALPÕES DE FRANGOS DE CORTE													
	Faixa de Conforto para Frangos de corte (4 <sup>a</sup> semana) - H variando de 63 a 68,2 KJ/Kg ar seco													
	Temperatura (°C)													
UR (%)	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
40	57,6	59,1	60,6	62,1	63,6	65,2	66,8	68,4	70,1	71,8	73,5	75,3	77,1	78,9
41	57,8	59,3	60,8	62,3	63,8	65,4	67,1	68,7	70,4	72,1	73,8	75,6	77,5	79,3
42	58,0	59,4	61,0	62,5	64,1	65,7	67,3	69,0	70,7	72,4	74,2	76,0	77,8	79,7
43	58,1	59,6	61,2	62,7	64,3	65,9	67,6	69,2	71,0	72,7	74,5	76,3	78,2	80,1
44	58,3	59,8	61,4	62,9	64,5	66,2	67,8	69,5	71,3	73,0	74,8	76,7	78,6	80,5
45	58,5	60,0	61,6	63,2	64,8	66,4	68,1	69,8	71,5	73,3	75,2	77,0	78,9	80,9
46	58,7	60,2	61,8	63,4	65,0	66,7	68,3	70,1	71,8	73,6	75,5	77,4	79,3	81,3
47	58,9	60,4	62,0	63,6	65,2	66,9	68,6	70,3	72,1	73,9	75,8	77,7	79,6	81,6
48	59,0	60,6	62,2	63,8	65,5	67,1	68,9	70,6	72,4	74,3	76,1	78,0	80,0	82,0
49	59,2	60,8	62,4	64,0	65,7	67,4	69,1	70,9	72,7	74,6	76,5	78,4	80,4	82,4
50	59,4	61,0	62,6	64,2	65,9	67,6	69,4	71,2	73,0	74,9	76,8	78,7	80,7	82,8
51	59,6	61,2	62,8	64,5	66,1	67,9	69,6	71,4	73,3	75,2	77,1	79,1	81,1	83,2
52	59,8	61,4	63,0	64,7	66,4	68,1	69,9	71,7	73,6	75,5	77,4	79,4	81,5	83,6
53	59,9	61,6	63,2	64,9	66,6	68,4	70,2	72,0	73,9	75,8	77,8	79,8	81,8	83,9
54	60,1	61,7	63,4	65,1	66,8	68,6	70,4	72,3	74,2	76,1	78,1	80,1	82,2	84,3
55	60,3	61,9	63,6	65,3	67,1	68,8	70,7	72,5	74,4	76,4	78,4	80,5	82,6	84,7
56	60,5	62,1	63,8	65,5	67,3	69,1	70,9	72,8	74,7	76,7	78,7	80,8	82,9	85,1
57	60,7	62,3	64,0	65,8	67,5	69,3	71,2	73,1	75,0	77,0	79,1	81,1	83,3	85,5
58	60,8	62,5	64,2	66,0	67,8	69,6	71,4	73,4	75,3	77,3	79,4	81,5	83,7	85,9
59	61,0	62,7	64,4	66,2	68,0	69,8	71,7	73,6	75,6	77,6	79,7	81,8	84,0	86,3
60	61,2	62,9	64,6	66,4	68,2	70,1	72,0	73,9	75,9	77,9	80,0	82,2	84,4	86,6
61	61,4	63,1	64,8	66,6	68,4	70,3	72,2	74,2	76,2	78,2	80,4	82,5	84,7	87,0
62	61,6	63,3	65,0	66,8	68,7	70,6	72,5	74,5	76,5	78,6	80,7	82,9	85,1	87,4
63	61,8	63,5	65,2	67,1	68,9	70,8	72,7	74,7	76,8	78,9	81,0	83,2	85,5	87,8
64	61,9	63,7	65,5	67,3	69,1	71,0	73,0	75,0	77,1	79,2	81,3	83,6	85,8	88,2
65	62,1	63,9	65,7	67,5	69,4	71,3	73,3	75,3	77,4	79,5	81,7	83,9	86,2	88,6
66	62,3	64,1	65,9	67,7	69,6	71,5	73,5	75,6	77,6	79,8	82,0	84,2	86,6	89,0
67	62,5	64,2	66,1	67,9	69,8	71,8	73,8	75,8	77,9	80,1	82,3	84,6	86,9	89,3
68	62,7	64,4	66,3	68,1	70,1	72,0	74,0	76,1	78,2	80,4	82,6	84,9	87,3	89,7
69	62,8	64,6	66,5	68,4	70,3	72,3	74,3	76,4	78,5	80,7	83,0	85,3	87,7	90,1
70	63,0	64,8	66,7	68,6	70,5	72,5	74,6	76,7	78,8	81,0	83,3	85,6	88,0	90,5
71	63,2	65,0	66,9	68,8	70,7	72,8	74,8	76,9	79,1	81,3	83,6	86,0	88,4	90,9
72	63,4	65,2	67,1	69,0	71,0	73,0	75,1	77,2	79,4	81,6	83,9	86,3	88,7	91,3
73	63,6	65,4	67,3	69,2	71,2	73,2	75,3	77,5	79,7	81,9	84,3	86,7	89,1	91,6
74	63,7	65,6	67,5	69,4	71,4	73,5	75,6	77,7	80,0	82,2	84,6	87,0	89,5	92,0
75	63,9	65,8	67,7	69,7	71,7	73,7	75,8	78,0	80,3	82,6	84,9	87,3	89,8	92,4
76	64,1	66,0	67,9	69,9	71,9	74,0	76,1	78,3	80,5	82,9	85,2	87,7	90,2	92,8
77	64,3	66,2	68,1	70,1	72,1	74,2	76,4	78,6	80,8	83,2	85,6	88,0	90,6	93,2
78	64,5	66,4	68,3	70,3	72,4	74,5	76,6	78,8	81,1	83,5	85,9	88,4	90,9	93,6
79	64,6	66,6	68,5	70,5	72,6	74,7	76,9	79,1	81,4	83,8	86,2	88,7	91,3	94,0
80	64,8	66,7	68,7	70,7	72,8	74,9	77,1	79,4	81,7	84,1	86,5	89,1	91,7	94,3
81	65,0	66,9	68,9	71,0	73,0	75,2	77,4	79,7	82,0	84,4	86,9	89,4	92,0	94,7
82	65,2	67,1	69,1	71,2	73,3	75,4	77,7	79,9	82,3	84,7	87,2	89,8	92,4	95,1
83	65,4	67,3	69,3	71,4	73,5	75,7	77,9	80,2	82,6	85,0	87,5	90,1	92,8	95,5
84	65,6	67,5	69,5	71,6	73,7	75,9	78,2	80,5	82,9	85,3	87,8	90,4	93,1	95,9
85	65,7	67,7	69,7	71,8	74,0	76,2	78,4	80,8	83,2	85,6	88,2	90,8	93,5	96,3

*Tabela 6- Índice de Entalpia de Conforto para frangos de corte com cinco semanas de vida, Barbosa Filho, 2007*

NUPEA - ESALQ - USP														
TABELA PRÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO AMBIENTE DE GALPÕES DE FRANGOS DE CORTE														
Faixa de Conforto para Frangos de corte (5 <sup>a</sup> semana) - H variando de 56,3 a 64,6 KJ/Kg ar seco														
Temperatura (°C)														
UR (%)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
40	56,1	57,6	59,1	60,6	62,1	63,6	65,2	66,8	68,4	70,1	71,8	73,5	75,3	77,1
41	56,3	57,8	59,3	60,8	62,3	63,8	65,4	67,1	68,7	70,4	72,1	73,8	75,6	77,5
42	56,5	58,0	59,4	61,0	62,5	64,1	65,7	67,3	69,0	70,7	72,4	74,2	76,0	77,8
43	56,7	58,1	59,6	61,2	62,7	64,3	65,9	67,6	69,2	71,0	72,7	74,5	76,3	78,2
44	56,8	58,3	59,8	61,4	62,9	64,5	66,2	67,8	69,5	71,3	73,0	74,8	76,7	78,6
45	57,0	58,5	60,0	61,6	63,2	64,8	66,4	68,1	69,8	71,5	73,3	75,2	77,0	78,9
46	57,2	58,7	60,2	61,8	63,4	65,0	66,7	68,3	70,1	71,8	73,6	75,5	77,4	79,3
47	57,3	58,9	60,4	62,0	63,6	65,2	66,9	68,6	70,3	72,1	73,9	75,8	77,7	79,6
48	57,5	59,0	60,6	62,2	63,8	65,5	67,1	68,9	70,6	72,4	74,3	76,1	78,0	80,0
49	57,7	59,2	60,8	62,4	64,0	65,7	67,4	69,1	70,9	72,7	74,6	76,5	78,4	80,4
50	57,8	59,4	61,0	62,6	64,2	65,9	67,6	69,4	71,2	73,0	74,9	76,8	78,7	80,7
51	58,0	59,6	61,2	62,8	64,5	66,1	67,9	69,6	71,4	73,3	75,2	77,1	79,1	81,1
52	58,2	59,8	61,4	63,0	64,7	66,4	68,1	69,9	71,7	73,6	75,5	77,4	79,4	81,5
53	58,4	59,9	61,6	63,2	64,9	66,6	68,4	70,2	72,0	73,9	75,8	77,8	79,8	81,8
54	58,5	60,1	61,7	63,4	65,1	66,8	68,6	70,4	72,3	74,2	76,1	78,1	80,1	82,2
55	58,7	60,3	61,9	63,6	65,3	67,1	68,8	70,7	72,5	74,4	76,4	78,4	80,5	82,6
56	58,9	60,5	62,1	63,8	65,5	67,3	69,1	70,9	72,8	74,7	76,7	78,7	80,8	82,9
57	59,0	60,7	62,3	64,0	65,8	67,5	69,3	71,2	73,1	75,0	77,0	79,1	81,1	83,3
58	59,2	60,8	62,5	64,2	66,0	67,8	69,6	71,4	73,4	75,3	77,3	79,4	81,5	83,7
59	59,4	61,0	62,7	64,4	66,2	68,0	69,8	71,7	73,6	75,6	77,6	79,7	81,8	84,0
60	59,5	61,2	62,9	64,6	66,4	68,2	70,1	72,0	73,9	75,9	77,9	80,0	82,2	84,4
61	59,7	61,4	63,1	64,8	66,6	68,4	70,3	72,2	74,2	76,2	78,2	80,4	82,5	84,7
62	59,9	61,6	63,3	65,0	66,8	68,7	70,6	72,5	74,5	76,5	78,6	80,7	82,9	85,1
63	60,1	61,8	63,5	65,2	67,1	68,9	70,8	72,7	74,7	76,8	78,9	81,0	83,2	85,5
64	60,2	61,9	63,7	65,5	67,3	69,1	71,0	73,0	75,0	77,1	79,2	81,3	83,6	85,8
65	60,4	62,1	63,9	65,7	67,5	69,4	71,3	73,3	75,3	77,4	79,5	81,7	83,9	86,2
66	60,6	62,3	64,1	65,9	67,7	69,6	71,5	73,5	75,6	77,6	79,8	82,0	84,2	86,6
67	60,7	62,5	64,2	66,1	67,9	69,8	71,8	73,8	75,8	77,9	80,1	82,3	84,6	86,9
68	60,9	62,7	64,4	66,3	68,1	70,1	72,0	74,0	76,1	78,2	80,4	82,6	84,9	87,3
69	61,1	62,8	64,6	66,5	68,4	70,3	72,3	74,3	76,4	78,5	80,7	83,0	85,3	87,7
70	61,2	63,0	64,8	66,7	68,6	70,5	72,5	74,6	76,7	78,8	81,0	83,3	85,6	88,0
71	61,4	63,2	65,0	66,9	68,8	70,7	72,8	74,8	76,9	79,1	81,3	83,6	86,0	88,4
72	61,6	63,4	65,2	67,1	69,0	71,0	73,0	75,1	77,2	79,4	81,6	83,9	86,3	88,7
73	61,8	63,6	65,4	67,3	69,2	71,2	73,2	75,3	77,5	79,7	81,9	84,3	86,7	89,1
74	61,9	63,7	65,6	67,5	69,4	71,4	73,5	75,6	77,7	80,0	82,2	84,6	87,0	89,5
75	62,1	63,9	65,8	67,7	69,7	71,7	73,7	75,8	78,0	80,3	82,6	84,9	87,3	89,8
76	62,3	64,1	66,0	67,9	69,9	71,9	74,0	76,1	78,3	80,5	82,9	85,2	87,7	90,2
77	62,4	64,3	66,2	68,1	70,1	72,1	74,2	76,4	78,6	80,8	83,2	85,6	88,0	90,6
78	62,6	64,5	66,4	68,3	70,3	72,4	74,5	76,6	78,8	81,1	83,5	85,9	88,4	90,9
79	62,8	64,6	66,6	68,5	70,5	72,6	74,7	76,9	79,1	81,4	83,8	86,2	88,7	91,3
80	63,0	64,8	66,7	68,7	70,7	72,8	74,9	77,1	79,4	81,7	84,1	86,5	89,1	91,7
81	63,1	65,0	66,9	68,9	71,0	73,0	75,2	77,4	79,7	82,0	84,4	86,9	89,4	92,0
82	63,3	65,2	67,1	69,1	71,2	73,3	75,4	77,7	79,9	82,3	84,7	87,2	89,8	92,4
83	63,5	65,4	67,3	69,3	71,4	73,5	75,7	77,9	80,2	82,6	85,0	87,5	90,1	92,8
84	63,6	65,6	67,5	69,5	71,6	73,7	75,9	78,2	80,5	82,9	85,3	87,8	90,4	93,1
85	63,8	65,7	67,7	69,7	71,8	74,0	76,2	78,4	80,8	83,2	85,6	88,2	90,8	93,5

*Tabela 7- Índice de Entalpia de Conforto para frangos de corte com seis semanas de vida, Barbosa Filho, 2007*

NUPEA - ESALQ - USP														
TABELA PRÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO AMBIENTE DE GALPÕES DE FRANGOS DE CORTE														
Faixa de Conforto para Frangos de corte (6 <sup>a</sup> semana) - H variando de 54,7 a 62,9 KJ/Kg ar seco														
Temperatura (°C)														
UR (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
40	54,7	56,1	57,6	59,1	60,6	62,1	63,6	65,2	66,8	68,4	70,1	71,8	73,5	75,3
41	54,9	56,3	57,8	59,3	60,8	62,3	63,8	65,4	67,1	68,7	70,4	72,1	73,8	75,6
42	55,0	56,5	58,0	59,4	61,0	62,5	64,1	65,7	67,3	69,0	70,7	72,4	74,2	76,0
43	55,2	56,7	58,1	59,6	61,2	62,7	64,3	65,9	67,6	69,2	71,0	72,7	74,5	76,3
44	55,4	56,8	58,3	59,8	61,4	62,9	64,5	66,2	67,8	69,5	71,3	73,0	74,8	76,7
45	55,5	57,0	58,5	60,0	61,6	63,2	64,8	66,4	68,1	69,8	71,5	73,3	75,2	77,0
46	55,7	57,2	58,7	60,2	61,8	63,4	65,0	66,7	68,3	70,1	71,8	73,6	75,5	77,4
47	55,8	57,3	58,9	60,4	62,0	63,6	65,2	66,9	68,6	70,3	72,1	73,9	75,8	77,7
48	56,0	57,5	59,0	60,6	62,2	63,8	65,5	67,1	68,9	70,6	72,4	74,3	76,1	78,0
49	56,2	57,7	59,2	60,8	62,4	64,0	65,7	67,4	69,1	70,9	72,7	74,6	76,5	78,4
50	56,3	57,8	59,4	61,0	62,6	64,2	65,9	67,6	69,4	71,2	73,0	74,9	76,8	78,7
51	56,5	58,0	59,6	61,2	62,8	64,5	66,1	67,9	69,6	71,4	73,3	75,2	77,1	79,1
52	56,6	58,2	59,8	61,4	63,0	64,7	66,4	68,1	69,9	71,7	73,6	75,5	77,4	79,4
53	56,8	58,4	59,9	61,6	63,2	64,9	66,6	68,4	70,2	72,0	73,9	75,8	77,8	79,8
54	57,0	58,5	60,1	61,7	63,4	65,1	66,8	68,6	70,4	72,3	74,2	76,1	78,1	80,1
55	57,1	58,7	60,3	61,9	63,6	65,3	67,1	68,8	70,7	72,5	74,4	76,4	78,4	80,5
56	57,3	58,9	60,5	62,1	63,8	65,5	67,3	69,1	70,9	72,8	74,7	76,7	78,7	80,8
57	57,4	59,0	60,7	62,3	64,0	65,8	67,5	69,3	71,2	73,1	75,0	77,0	79,1	81,1
58	57,6	59,2	60,8	62,5	64,2	66,0	67,8	69,6	71,4	73,4	75,3	77,3	79,4	81,5
59	57,8	59,4	61,0	62,7	64,4	66,2	68,0	69,8	71,7	73,6	75,6	77,6	79,7	81,8
60	57,9	59,5	61,2	62,9	64,6	66,4	68,2	70,1	72,0	73,9	75,9	77,9	80,0	82,2
61	58,1	59,7	61,4	63,1	64,8	66,6	68,4	70,3	72,2	74,2	76,2	78,2	80,4	82,5
62	58,2	59,9	61,6	63,3	65,0	66,8	68,7	70,6	72,5	74,5	76,5	78,6	80,7	82,9
63	58,4	60,1	61,8	63,5	65,2	67,1	68,9	70,8	72,7	74,7	76,8	78,9	81,0	83,2
64	58,6	60,2	61,9	63,7	65,5	67,3	69,1	71,0	73,0	75,0	77,1	79,2	81,3	83,6
65	58,7	60,4	62,1	63,9	65,7	67,5	69,4	71,3	73,3	75,3	77,4	79,5	81,7	83,9
66	58,9	60,6	62,3	64,1	65,9	67,7	69,6	71,5	73,5	75,6	77,6	79,8	82,0	84,2
67	59,0	60,7	62,5	64,2	66,1	67,9	69,8	71,8	73,8	75,8	77,9	80,1	82,3	84,6
68	59,2	60,9	62,7	64,4	66,3	68,1	70,1	72,0	74,0	76,1	78,2	80,4	82,6	84,9
69	59,4	61,1	62,8	64,6	66,5	68,4	70,3	72,3	74,3	76,4	78,5	80,7	83,0	85,3
70	59,5	61,2	63,0	64,8	66,7	68,6	70,5	72,5	74,6	76,7	78,8	81,0	83,3	85,6
71	59,7	61,4	63,2	65,0	66,9	68,8	70,7	72,8	74,8	76,9	79,1	81,3	83,6	86,0
72	59,8	61,6	63,4	65,2	67,1	69,0	71,0	73,0	75,1	77,2	79,4	81,6	83,9	86,3
73	60,0	61,8	63,6	65,4	67,3	69,2	71,2	73,2	75,3	77,5	79,7	81,9	84,3	86,7
74	60,2	61,9	63,7	65,6	67,5	69,4	71,4	73,5	75,6	77,7	80,0	82,2	84,6	87,0
75	60,3	62,1	63,9	65,8	67,7	69,7	71,7	73,7	75,8	78,0	80,3	82,6	84,9	87,3
76	60,5	62,3	64,1	66,0	67,9	69,9	71,9	74,0	76,1	78,3	80,5	82,9	85,2	87,7
77	60,6	62,4	64,3	66,2	68,1	70,1	72,1	74,2	76,4	78,6	80,8	83,2	85,6	88,0
78	60,8	62,6	64,5	66,4	68,3	70,3	72,4	74,5	76,6	78,8	81,1	83,5	85,9	88,4
79	61,0	62,8	64,6	66,6	68,5	70,5	72,6	74,7	76,9	79,1	81,4	83,8	86,2	88,7
80	61,1	63,0	64,8	66,7	68,7	70,7	72,8	74,9	77,1	79,4	81,7	84,1	86,5	89,1
81	61,3	63,1	65,0	66,9	68,9	71,0	73,0	75,2	77,4	79,7	82,0	84,4	86,9	89,4
82	61,4	63,3	65,2	67,1	69,1	71,2	73,3	75,4	77,7	79,9	82,3	84,7	87,2	89,8
83	61,6	63,5	65,4	67,3	69,3	71,4	73,5	75,7	77,9	80,2	82,6	85,0	87,5	90,1
84	61,8	63,6	65,6	67,5	69,5	71,6	73,7	75,9	78,2	80,5	82,9	85,3	87,8	90,4
85	61,9	63,8	65,7	67,7	69,7	71,8	74,0	76,2	78,4	80,8	83,2	85,6	88,2	90,8

Os valores limites de cada faixa, retirados das seis tabelas, que representam correlações para diferentes idades das aves estão apresentados na Tabela 8.

*Tabela 8 - Valores indicados para o Índice Entalpia de Conforto*

Dia	Conforto Térmico		Leve Desconforto		Alerta Máximo
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
7	73,0	79,9	65,0	87,8	95,2
14	66,8	73,9	59,1	81,0	87,4
21	63,0	68,2	57,6	74,6	80,4
28	56,3	64,6	-	70,7	77,6
35	54,7	62,9	-	68,6	75,9
42	-	61,4	-	67,1	74,6

Para a análise posterior das características de um aviário, são utilizados os dados da pesquisa do NUPEA.

#### **4.3. Vazão de ar externo para manutenção da qualidade do ar interno do aviário**

O objetivo do sistema de ventilação do aviário é a manutenção da qualidade do ar interno, sob o ponto de vista da concentração de poluentes e de gases resultantes da respiração das aves. A fornecedora das aves define uma série de diretrizes para a qualidade de ar no interior de aviários, reproduzidos na Tabela 9.

*Tabela 9 - Diretrizes da Qualidade do Ar no interior de aviário – COBB-VANTRESS(2009)*

<b>Diretrizes da Qualidade de Ar</b>	
% de Oxigênio (O <sub>2</sub> )	> 19,6 %
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	< 0,3% / 3.000 ppm
Monóxido de Carbono (CO)	< 10 ppm
Amônia (NH <sub>3</sub> )	< 10 ppm
Poeira Irrespirável	< 3,4 mg / m <sup>3</sup>

A partir destas diretrizes, são definidas as necessidades mínimas de troca de ar, ou seja, de valores de vazão de ar externo admissíveis em um aviário. No manual sobre ventilação em aviários, a Embrapa (apud ABREU E ABREU, 2000) descreve diferentes maneiras de definir a necessidade de ar das aves, uma das quais está reproduzida na Tabela 10 e será utilizada neste trabalho.

*Tabela 10 -Vazão de ar em litros por minuto em função da temperatura e da idade das aves–  
Abreu e Abreu (2000)*

Temperatura ambiente (°C)	Idade (semanas)			
	1	3	5	7
4,4	6,8	19,8	34,0	53,8
10,0	8,5	22,7	45,3	65,1
15,6	10,2	28,3	53,8	79,3
21,1	11,9	34,0	62,3	93,4
26,7	13,6	36,8	70,8	104,8
32,2	15,3	42,5	79,3	118,9
37,8	17,0	48,1	87,8	133,1

## 5. ESTUDO DE CASO

### 5.1. Características do aviário utilizado como base para o estudo

O aviário específico a ser estudado está localizado nos arredores de Londrina, no norte do Paraná, e foi escolhido pela facilidade de obtenção de dados e medições. As medidas do mesmo são de 125 m de comprimento e 20 de largura, com capacidade para 30.000 aves. O mesmo opera com pressão negativa, ou seja, os ventiladores operam na exaustão do ar interno, e as laterais do aviário são vedadas, permitindo a entrada de ar somente na extremidade oposta aos ventiladores, onde existem placas evaporativas de celulose. Além disso, são distribuídos nebulizadores na parte interna do aviário, para operação quando for julgado necessário. As aves, a partir da terceira semana no aviário, ficam separadas em quatro subdivisões do aviário, para limitar a sua movimentação e facilitar o monitoramento sobre suas condições.

Como estudo preliminar para conhecer as condições internas do aviário adotado como estudo de caso, foram realizadas medições de temperatura e umidade relativa do ar em diferentes dias e em diferentes pontos do aviário. A proposta é verificar a influência da temperatura externa no ambiente interno. Os pontos de coleta estão apresentados na Figura 8. Os pontos 1 e 2 estão próximos às placas de evaporação, e os pontos 10 e 11 estão próximos aos ventiladores.

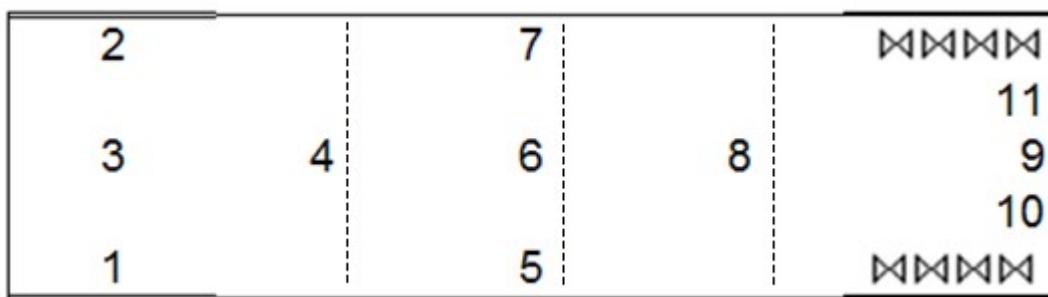


Fig. 8- Pontos de coleta de dados

A partir dos dados colhidos, foi feito o cálculo de entalpia, para verificar o ganho de calor durante a passagem do ar no interior do aviário, além da eficácia dos painéis de evaporação na diminuição da entalpia do ar de entrada. No dia mais quente dentro do período de medições, o ar externo ao aviário apresentou valores para a temperatura de bulbo seco de TBS= 29,7°C e umidade relativa, UR=83%. No dia com menor

temperatura, considerando que ocorreu chuva, TBS= 25,0°C e UR=94%. Os valores de entalpia do ar em diferentes pontos internos ao aviário, nestas duas condições, estão representados na Figura 9, nas cores azul e amarela, considerando dia mais quente e menos quente respectivamente.

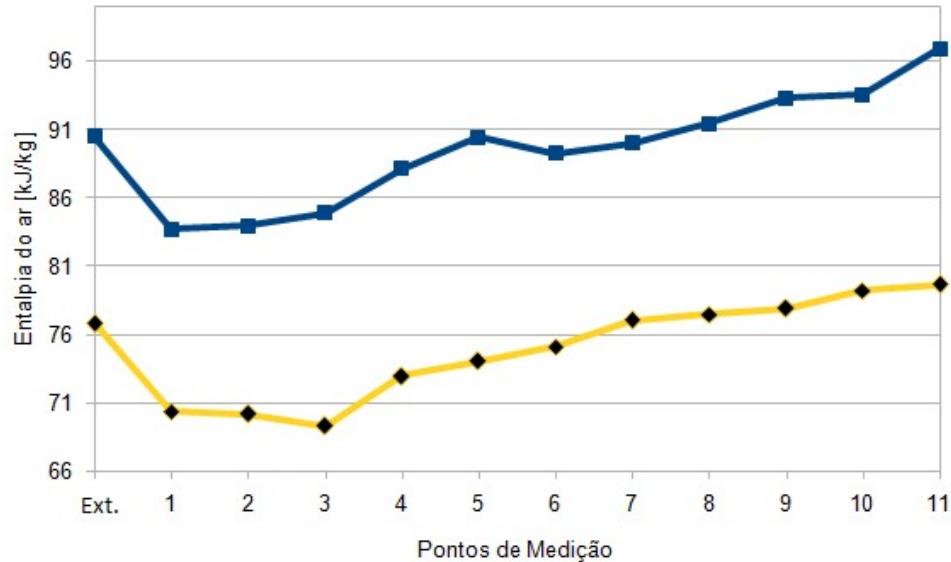


Fig. 9 - Entalpia do ar calculada a partir de medidas do interior do aviário

Pode-se ver a influência do clima exterior na condição interna do aviário, apesar da diferença de temperatura de bulbo seco do ar externo (TBS) entre os dois dias ser de apenas de 4,7°C. Utilizando-se as tabelas de conforto térmico, pode-se verificar que a condição do dia mais quente é classificada como de alerta, enquanto a do dia mais frio é classificada como de conforto térmico.

As placas de evaporação estavam em funcionamento nos dois casos, o que promove uma diminuição da entalpia do ar, mas especialmente no dia mais quente, esta redução entálpica não foi suficiente para a manutenção de condição favorável no total do aviário.

Estão apresentadas na Figura 10 as medidas do aviário deste estudo de caso, e que é modelado. Na imagem à esquerda está a face norte do aviário, indicando a posição e as medidas das placas evaporativas e da área onde ficam os exaustores. Entre estes dois equipamentos é posicionada uma série de cortinas de polietileno que ficam

habitualmente fechadas, mas podem ser abertas em caso de emergência e quando for feita a limpeza do aviário.



Fig. 10- Medidas do aviário a ser estudado

## 5.2. Cálculo de Carga térmica

Para fazer a modelagem do equilíbrio térmico do aviário e das necessidades de tratamento de ar, devemos primeiramente calcular a carga térmica relacionada às condições externas do ar e à presença das aves no interior do aviário. Foi utilizado o método CLTD / CLF para efetuar estes cálculos.

### 5.2.1. Hipóteses

Para realizar os cálculos foram admitidas as seguintes hipóteses.

- Considera-se que o solo se mantém aproximadamente na mesma temperatura que o ar, de modo que não é necessário o cálculo da transferência de calor entre o solo e o ar;
- Pelo seu posicionamento na saída de ar do aviário, foi considerada a carga térmica dos ventiladores de exaustão;
- Considerou-se que não há infiltração de ar pelas laterais do aviário ou pelo teto, não sendo necessário o cálculo das cargas térmicas decorrentes deste eventual movimento do ar;
- Foram utilizados os dados climáticos de Londrina, conforme NBR 16401-1:2008, especificamente os valores de temperatura e umidade não ultrapassados em mais do que 1% dos dias;

- A única carga térmica latente no interior do aviário se deve à presença das aves, desconsiderando-se a possível evaporação decorrente da presença de bebedouros e outros equipamentos;
- O calor gerado pela presença de aves será calculado à parte;
- Foi considerada a perda de calor das aves constante durante o dia, ignorando as mudanças quando estão dormindo.

### 5.2.2. Paredes e Teto

Foi utilizado o método CLTD / CLF para o cálculo da carga térmica das paredes e teto, considerando a construção apresentada anteriormente.

Para o telhado especificamente, dado o formato estampado nas chapas que o compõem, foi utilizado o valor de U conforme divulgado por um fabricante deste tipo de revestimento, sendo os coeficientes de transferência de calor calculados para convecção livre, conforme INCROPERA (2003).

As propriedades dos materiais da construção e da sua aplicação no aviário estão apresentadas na Tabela 11.

*Tabela 11 - Propriedades dos materiais utilizados na construção*

Material	Massa Específica	Condutividade térmica	Espessura	Aplicação
Tijolos	1920 kg/m <sup>3</sup>	0,9 W/(m*K)	300 mm	Paredes Leste e Oeste
Polietileno	930 kg/m <sup>3</sup>	0,17 W/(m*K)	4 mm	Cortinas nas Laterais do Aviário
Telhado: Alumínio	2500 kg/m <sup>3</sup>	101,3 W/(m*K)	2 mm	Telhado
Placa de Pinus	500 kg/m <sup>3</sup>	0,13 W/(m*K)	20 mm	Forro do Teto

Para a utilização do método CTLD, considera-se que o aviário está posicionado com o seu comprimento (as paredes com as cortinas de polietileno) voltadas para o norte e para o sul, sendo as paredes de tijolos nas direções leste e oeste.

O cálculo do coeficiente de transferência de calor é realizado com a equação a seguir, onde  $h_{ext}$  representa o coeficiente de convecção natural na parede externa do aviário,  $h_{cortina}$  o coeficiente de condução de calor na cortina e  $h_{int}$  o coeficiente de convecção na parede interna do aviário.

$$U_{NS} = \left( \frac{1}{h_{ext}} + \frac{1}{h_{cortina}} + \frac{1}{h_{int}} \right)^{-1} \quad (2)$$

O coeficiente de convecção na parede externa é calculado considerando a parede uma placa vertical isotérmica, com comprimento de três metros. A temperatura do ambiente é de 25°C, e a temperatura da cortina (quando exposta ao sol) é estimada em 35°C.

Considera-se as propriedades do ar:

*Tabela 12- Propriedades do ar para estudo de convecção natural*

Propriedades do ar para estudo de convecção natural		
$c_p$	Calor Específico	1007 J / kg °C
$\beta$	Coeficiente de expansão térmica	0,0034 K <sup>-1</sup>
$k$	Condutividade Térmica	0,0261 W / m °C
$\mu$	Viscosidade Dinâmica	0.0000185 kg / m s
$\rho_f$	Densidade na temperatura do filme	1,16 kg / m <sup>3</sup>

Para estes valores, pode-se calcular o número de Prandtl  $Pr$ , o número de Grashof  $Gr$ , o número de Rayleigh  $Ra$  e o número de Nusselt  $Nu$ , utilizando as expressões a seguir:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{k} = 0,71377 \quad (3)$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{cortina} - T_{ambiente}) \cdot H^3}{\mu^2 / \rho^2} = 35,488 \cdot 10^9 \quad (4)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = 25,332 \cdot 10^9 \quad (5)$$

Como o número de Rayleigh é maior do que  $10^9$  calcula-se o número de Nusselt da seguinte forma:

$$Nu = \left( 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{(1 + (0,492/Pr)^{9/16})^{8/27}} \right)^2 = 339,05 \quad (6)$$

Assim,  $h_{ext}$  vale:

$$h_{ext} = Nu \cdot k / H = 2,94 \text{ W / m}^2 \text{ °C} \quad (7)$$

O cálculo de  $h_{int}$  é feito considerando convecção forçada a 2,5 m/s sobre uma placa plana isotérmica de 125 metros de comprimento. É considerada a temperatura interna do aviário como sendo igual a 25 °C e a temperatura da cortina como sendo de 35°C. Os números de Prandtl, Reynolds  $Re$ , e Nusselt são calculados da seguinte forma:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{k} = 0,71377 \quad (8)$$

$$Re = u \cdot L / v = 20,2872 \cdot 10^6 \quad (9)$$

$$Nu = Pr^{0,33} (0,037 Re^{0,8} - 871) = 22,429 \cdot 10^3 \quad (10)$$

Assim, o coeficiente de transferência de calor por convecção será calculado:

$$h_{int} = Nu \cdot k / L = 4,6833 W / m^2 °C \quad (11)$$

A condução pelas cortinas é calculada a partir da condutividade térmica e da espessura da cortina, já descritas anteriormente, sendo então:

$$h_{cortina} = k / e = 42,5 W / m^2 °C \quad (12)$$

Dessa forma, pode-se calcular o coeficiente de transferência de calor para a parede inteira, conforme a equação 13:

$$U_{NS} = \left( \frac{1}{h_{ext}} + \frac{1}{h_{cortina}} + \frac{1}{h_{int}} \right)^{-1} = 2,228 W / m^2 °C \quad (13)$$

De maneira análoga podemos calcular os coeficientes de transferência de calor para as paredes leste e oeste, substituindo os comprimentos característicos para o cálculo dos adimensionais e utilizando os dados das paredes de tijolos. Serão considerados os mesmos valores de temperatura utilizados para as paredes com cortinas, e a altura da parede é definida como 5m.

$$U_{LO} = \left( \frac{1}{h_{ext}} + \frac{1}{h_{parede}} + \frac{1}{h_{int}} \right)^{-1} \quad (14)$$

Assim, para a convecção natural, temos:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{k} = 0,71377 \quad (15)$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{parede} - T_{ambiente}) \cdot H^3}{\mu^2 / \rho^2} = 164,305 \cdot 10^9 \quad (16)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = 117,277 \cdot 10^9 \quad (17)$$

$$Nu = \left( 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{(1 + (0,492/Pr)^{9/16})^{8/27}} \right)^2 = 553,727 \quad (18)$$

E o coeficiente de transferência de calor para a convecção natural para a parede externa é de:

$$h_{ext} = Nu \cdot k / H = 2,89 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (19)$$

Para a parede interna, será também considerada a convecção forçada a 2,5 m/s, em uma superfície de 20 metros de comprimento na direção do deslocamento. Dessa forma, analogamente ao cálculo das paredes norte e sul:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{k} = 0,71377 \quad (20)$$

$$Re = u \cdot L / v = 3,24595 \cdot 10^6 \quad (21)$$

$$Nu = Pr^{0,33} (0,037 Re^{0,8} - 871) = 4,57807 \cdot 10^3 \quad (22)$$

E o coeficiente de transferência de calor para a convecção forçada na parede interna é de:

$$h_{ext} = Nu \cdot k / L = 5,974 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (23)$$

O coeficiente de transferência de calor na condução pela parede é dado por:

$$h_{parede} = k / e = 3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (24)$$

Assim, podemos calcular o coeficiente de transferência de calor das paredes norte e sul, obtendo o seguinte resultado:

$$U_{LO} = \left( \frac{1}{h_{ext}} + \frac{1}{h_{parede}} + \frac{1}{h_{int}} \right)^{-1} = 1,47163 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (25)$$

Para o cálculo dos coeficientes de transferência de calor pelo teto desconsidera-se a sua inclinação, e também a presença da cavidade de ar entre o teto e a placa de pinus que compõe o seu forro. Dessa forma, o coeficiente de transferência de calor é calculado como sendo:

$$U_{TETO} = \left( \frac{1}{h_{ext}} + \frac{1}{h_{alumínio}} + \frac{1}{h_{pinus}} + \frac{1}{h_{int}} \right)^{-1} \quad (26)$$

Para o cálculo da convecção externa, considera-se que ocorre processo de convecção natural com placa horizontal com temperatura constante e uniforme. O comprimento característico do teto é a razão entre a sua área e o seu comprimento. Considera-se que a temperatura da placa é de 35°C e a temperatura do ar é de 25 °C.

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{k} = 0,71377 \quad (27)$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{cortina} - T_{ambiente}) \cdot (l \cdot a / (2l + 2a))^3}{\mu^2 / \rho^2} = 130,431 \cdot 10^9 \quad (28)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = 93,0979 \cdot 10^9 \quad (29)$$

Como o número de Rayleigh é maior do que  $10^9$  calcula-se o número de Nusselt da seguinte forma:

$$Nu = 0,15 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,33} = 624,944 \quad (30)$$

Assim, o coeficiente de transferência de calor devido à convecção natural no teto é de:

$$h_{ext} = Nu \cdot k / L = 3,52 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (31)$$

Para o cálculo de transferência de calor na superfície interna, é utilizada exatamente a mesma lógica da utilizada para as paredes norte e sul; convecção forçada, comprimento característico de 125m, temperatura da placa de 35°C e temperatura

interna de 25°C. Assim, o valor de  $h_{int}$  é o mesmo calculado para aquele caso, ou seja:

$$h_{int} = 4,6833 \text{ W/m}^2 \text{ °C} \quad (32)$$

Os coeficientes de transferência de calor devido à condução no revestimento de alumínio e no forro é dado por:

$$h_{alumínio} = k / e = 50.650 \text{ W/m}^2 \text{ °C} \quad (33)$$

$$h_{pinus} = k / e = 6,5 \text{ W/m}^2 \text{ °C} \quad (34)$$

Assim, o coeficiente de transferência de calor vale:

$$U_{TETO} = \left( \frac{1}{h_{ext}} + \frac{1}{h_{alumínio}} + \frac{1}{h_{pinus}} + \frac{1}{h_{int}} \right)^{-1} = 1,447 \text{ W/m}^2 \text{ °C} \quad (35)$$

A carga térmica pelo método CLTD é calculada, para paredes, da seguinte maneira:

$$q = UA \cdot CLTD_{corr} = UA \left( (CLTD_{tab} + LM) \cdot K + (25,5 - T_i) + (T_m - 29,4) \right) \quad (36)$$

Na expressão acima,

- U é o coeficiente de transferência de calor, calculado anteriormente;
- A é a área da superfície em questão;
- CLTD<sub>tab</sub> é a diferença de temperatura para carga térmica (valor tabelado);
- LM é um fator de correção para latitude;
- T<sub>i</sub> é a temperatura interna de projeto, e T<sub>m</sub> é a temperatura externa;
- K é um fator de correção devido à cor da superfície.

Os valores tabelados utilizados são apresentados a seguir:

*Tabela 13- Fator de correção para latitude - ASHRAE*

LM – fator de correção para latitude	
Mês	Teto
Jun	-3
Jul/Mai	-2
Abr/Ago	-2
Mar/Set	-2
Fev/Out	-1
Jan/Nov	0,5
Dez	1,6

Tabela 14 - CLTD – Paredes grupo B (para cálculo das paredes de tijolos) - ASHRAE

		Hora Solar																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
N	11	11	11	11	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10	11	11	11	11	11	
S	8	8	8	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	
L	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	14	14	14	14	14	
O	15	15	15	14	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	11	11	12	13	14	14	15		

Tabela 15- CLTD – Paredes grupo G (para cálculo das paredes com cortinas) - ASHRAE

		Hora Solar																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
N	2	1	1	0	0	0	1	3	7	12	17	22	25	26	24	21	17	14	11	8	7	5	4	3	
S	2	1	0	0	0	1	4	5	5	7	8	10	12	13	13	14	14	15	12	8	6	5	4	3	
L	2	1	1	0	0	6	17	26	30	31	28	22	19	17	17	16	15	13	11	8	7	5	4	3	
O	4	3	2	1	1	1	1	3	5	6	8	10	15	23	31	37	40	37	27	16	11	8	6	5	

O valor de k, tanto para as paredes com cortinas quanto as paredes de alvenaria, será definido como 0,65, correspondente a paredes claras em área rural.

No caso do teto, a carga térmica pelo método CLTD é calculada da seguinte maneira:

$$q = UA \cdot CLTD_{corr} = UA f((CLTD_{tab} + LM) \cdot K + (25,5 - T_i) + (T_m - 29,4)) \quad (37)$$

Na expressão acima,

- U é o coeficiente de transferência de calor, calculado anteriormente;
- A é a área da superfície em questão;
- CLTD<sub>tab</sub> é a diferença de temperatura para carga térmica (valor tabelado);
- LM é um fator de correção para latitude;
- Ti é a temperatura interna de projeto;
- Tm é a temperatura externa de projeto;

- $K$  é um fator de correção devido à cor da superfície;
- $f$  é um fator de correção devido à existência de áticos.

Os valores tabelados utilizados são apresentados a seguir:

*Tabela 16- CLTD – Teto tipo 1 (Chapa de aço com isolamento) - ASHRAE*

	Hora Solar																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Teto	0	-1	-2	-2	-3	-2	3	11	19	27	34	40	43	44	43	39	33	25	17	10	7	5	3	1

*Tabela 17 – fator de correção para latitude - ASHRAE*

LM – fator de correção para latitude	
Mês	Teto
Jun	-3
Jul/Mai	-2
Abr/Ago	-2
Mar/Set	-2
Fev/Out	-1
Jan/Nov	0,5
Dez	1,6

Será considerado o valor de  $k = 0,65$ , referente a superfícies claras em área rural e o valor de  $f = 1$ , referente a estruturas sem ventilação forçada em áticos.

### 5.2.3. Equipamentos

Como equipamentos foram considerados somente as luzes, as quais ficam ligadas por 14 horas por dia, das 07:00 até as 21:00.

São consideradas lâmpadas com carga térmica de 60 W cada, localizadas em 40 fileiras com 8 lâmpadas cada, totalizando 19.200 W quando o sistema estiver em funcionamento.

### 5.2.4. Resultados dos cálculos de carga térmica

A variação da carga térmica sensível está representada na Figura 11, calculada para um valor de temperatura de projeto de 25°C e temperatura externa de 30°C.

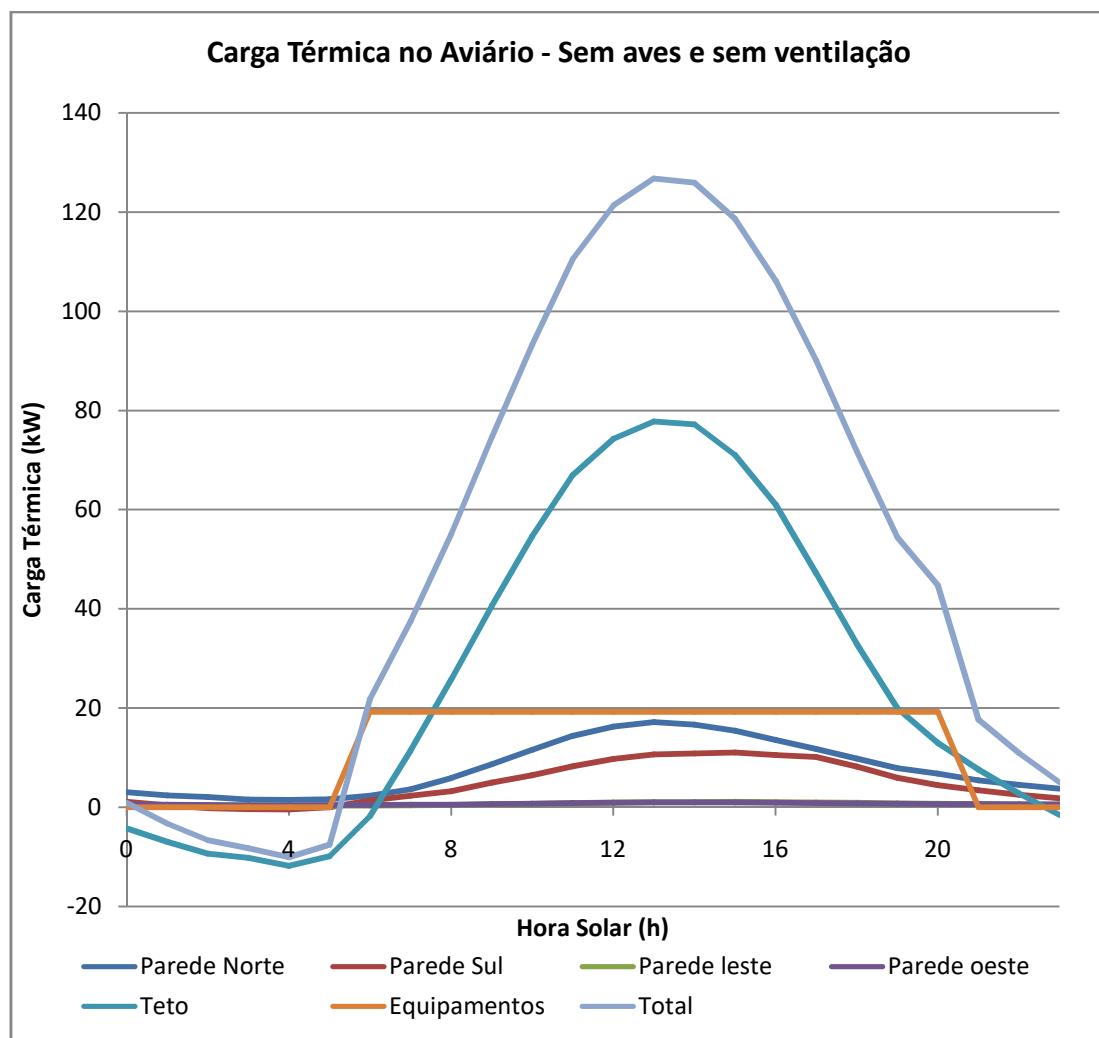


Fig. 11 - Resultado do Cálculo da Carga Térmica Máxima de Resfriamento - parcela sensível

### 5.3. Simulação do comportamento térmico de um aviário para determinadas condições de clima e controle

Para a avaliação da capacidade dos diferentes métodos de controle térmico, inicialmente deve-se definir as condições ambientais a ser estudadas.

Optou-se por fazer as simulações em três condições climáticas, uma com freqüência de 1%, uma com freqüência de 5% e uma com freqüência de 10%. A condição com freqüência de 1% foi retirada da norma técnica NBR 16401-1:2008, Anexo A (ABNT, 2008). Já as outras foram calculadas a partir de dados meteorológicos fornecidos pelo Instituto Agronômico do Paraná - IAPAR, referentes aos anos de 2013 a 2016, e excluídos os dias chuvosos. Foram selecionados, desta forma, os

seguintes valores de temperatura de bulbo seco máxima, amplitude térmica e temperatura de bulbo úmido para análise.

*Tabela 18 - Dados climáticos selecionados para estudo*

Condição	TBS máxima	Amplitude de TBS	Ponto de orvalho
1%	32,8°C	13°C	19°C
5%	30°C	12°C	17°C
10%	28°C	11°C	16°C

Para avaliar a variação durante o dia da temperatura de bulbo seco, será utilizado o perfil teórico das temperaturas de bulbo seco, constantes no Fundamentals Handbook (2005) da ASHRAE, e reproduzidos na norma técnica NBR 16401-1:2008 (ABNT, 2008), exposto na Tabela 19. O fator  $f$  é a razão entre a diferença entre a temperatura ambiente no horário especificado e a temperatura máxima, e a amplitude de temperatura diária. Os valores de  $f$  para os horários intermediários são obtidos interpolando os valores da tabela.

*Tabela 19 - Fração da variação média diária de temperatura. ASHRAE (2005), reproduzido de ABNT(2008)*

hora	$f$	hora	$f$	hora	$f$
1	0,87	9	0,71	17	0,1
2	0,92	10	0,56	18	0,21
3	0,96	11	0,39	19	0,34
4	0,99	12	0,23	20	0,47
5	1	13	0,11	21	0,58
6	0,98	14	0,03	22	0,68
7	0,93	15	0	23	0,76
8	0,84	16	0,03	24	0,82

Quanto à umidade, considera-se, seguindo o que indica a norma NBR 16401-1:2008 (ABNT, 2008), que o ponto de orvalho do ar permanece constante durante o dia.

Para que seja possível analisar as condições do ambiente onde se encontram todas as aves, optou-se por considerar o aviário dividido em quatro partes, cada uma com a quarta parte das aves. Fazendo assim, pode-se também verificar o impacto causado

pela presença de nebulizadores no interior do aviário. Esta divisão é apresentada na Figura 12.

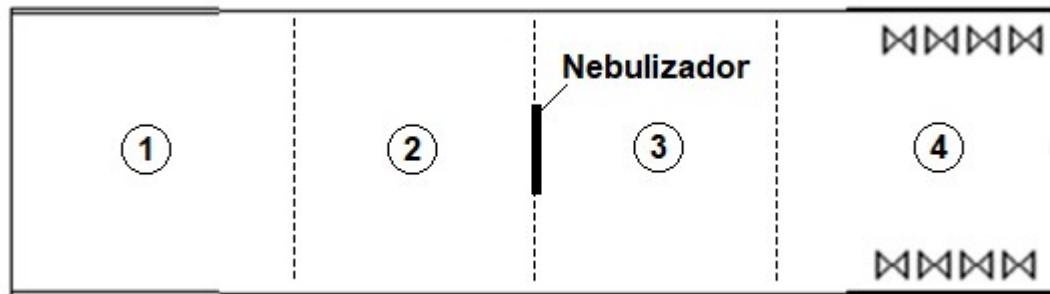


Fig. 12 – Divisão do aviário e localização do nebulizador

Considera-se que as cargas térmicas das paredes norte e sul (as paredes de cortinas) e do teto são igualmente distribuídas. As cargas térmicas das outras paredes são inteiramente aplicadas no segmento adjacente a elas.

A forma escolhida para avaliar a capacidade do sistema de fazer o controle de temperatura foi realizar um balanço térmico em cada segmento do aviário, em cada hora, em cada condição de clima e para cada alternativa de operação dos equipamentos utilizados, considerando uma condição de regime permanente. É calculada a temperatura e a umidade do ar na saída de cada segmento e verificando qual era o IEC local. As expressões utilizadas para a simulação são, para cada segmento:

$$\omega_f = \omega_i + \frac{q_l}{L \cdot \dot{m}} \quad (38)$$

$$T_f = \frac{T_i \cdot (c_a + c_v \cdot \omega_i) + q_s}{(c_a + c_v \cdot \omega_f)} \quad (39)$$

Onde:

- $\omega_f$  é a umidade específica do ar que sai do segmento [kg<sub>H<sub>2</sub>O</sub> / kg<sub>ar</sub>];
- $\omega_i$  é a umidade específica do ar que entra no segmento [ kg<sub>H<sub>2</sub>O</sub> / kg<sub>ar</sub>];
- $T_f$  é a temperatura de bulbo seco do ar que sai do segmento [ °C ];
- $T_i$  é a temperatura de bulbo seco do ar que entra no segmento [°C];

- $q_l$  é a carga térmica latente no segmento (no caso, proveniente das aves) [ J ];
- $q_s$  é a carga térmica sensível total no segmento [ J ];
- $L$  é o calor latente da água [J/kg];
- $c_a$  e  $c_v$  são os calores específicos do ar e do vapor d'água, respectivamente [ J / kg °C ].

As alternativas de controle escolhidas para serem avaliadas são:

- Ventilação sem tratamento
- Ventilação com evaporação no meio do aviário, eficiência de 70%
- Ventilação com evaporação na entrada de ar, eficiência de 70%
- Ventilação com evaporação na entrada de ar, eficiência de 70% e no meio do aviário, eficiência de 70%

A eficiência do resfriamento evaporativo é definida conforme a equação a seguir, onde  $\omega(\text{ins})$  é a umidade específica do ar tratado, e  $\omega(\text{TBU})$  e  $\omega(\text{TBS})$  são os valores de umidade específica referentes ao TBS e ao TBU do ar externo.

$$E = \frac{\omega(\text{ins}) - \omega(\text{TBS})}{\omega(\text{TBU}) - \omega(\text{TBS})} \quad (40)$$

Levando-se em conta que a velocidade de ar não deve ultrapassar 2,5 m/s, são calculadas as vazões de ar necessárias para manter as condições de conforto térmico e de leve desconforto - considera-se que o limite da condição de leve desconforto é o limite para a manutenção da salubridade das aves.

São feitas simulações para aves de 21, 28, 35 e 42 dias.

Os resultados são apresentados a seguir, primeiramente para a situação climática mais extrema e depois para as outras.

### 5.3.1. Resultados para condições ambientais – frequência 1%

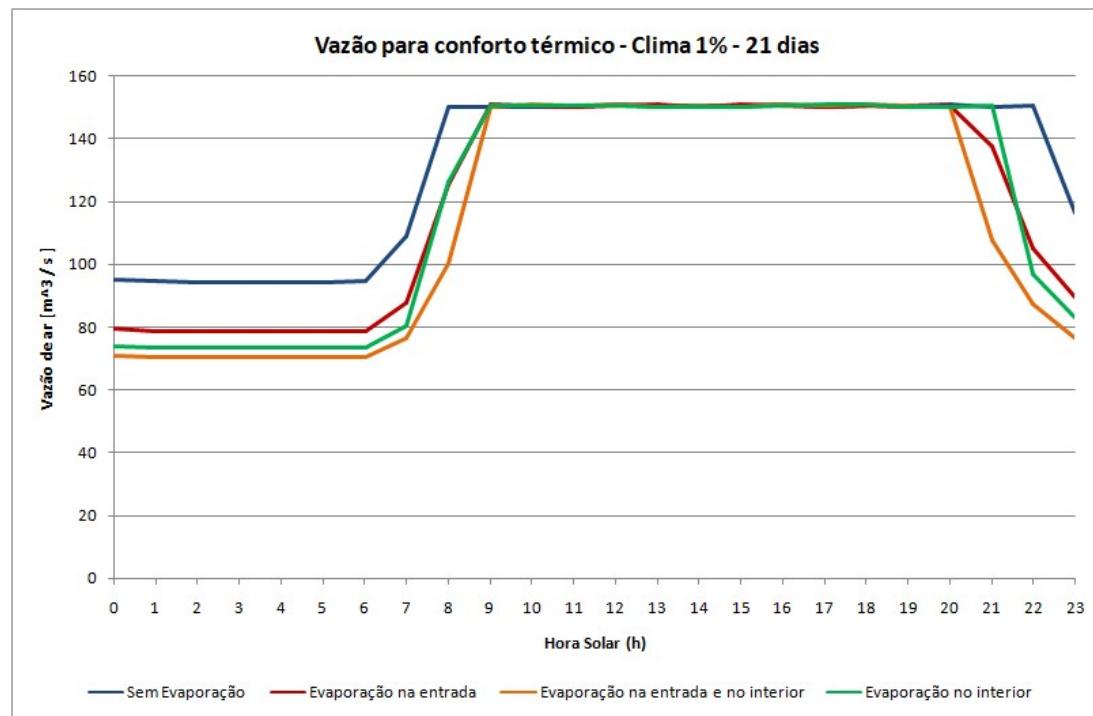


Fig. 13 – Vazão de ar do sistema visando manter o IEC em condição de conforto térmico

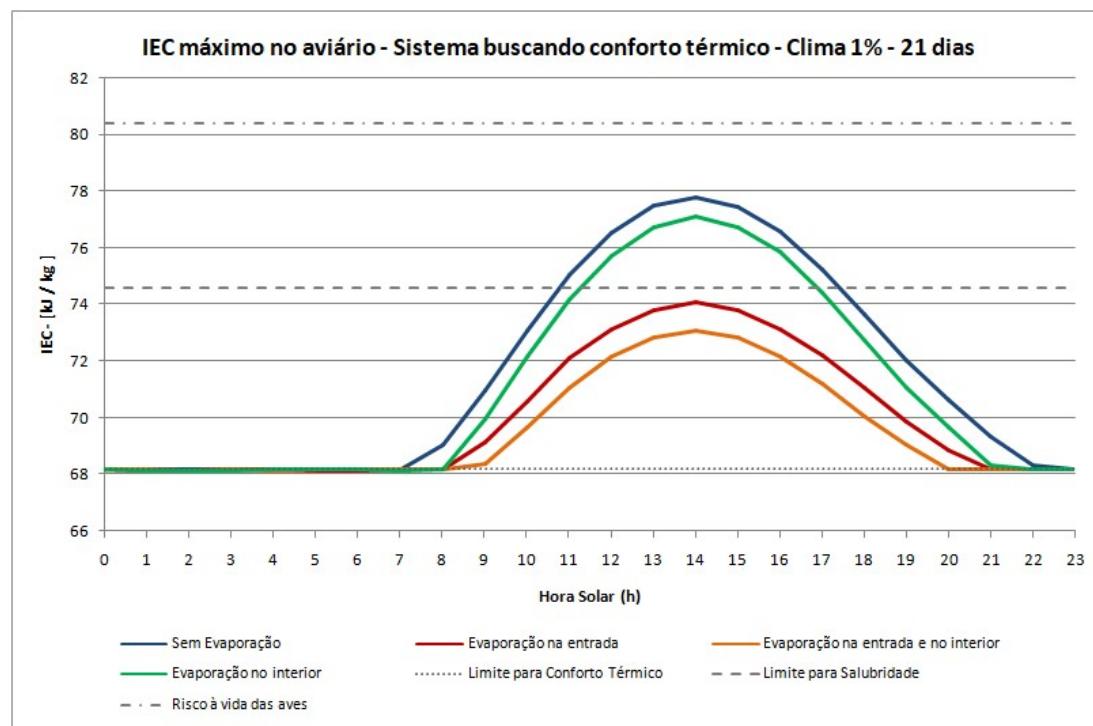


Fig. 14 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

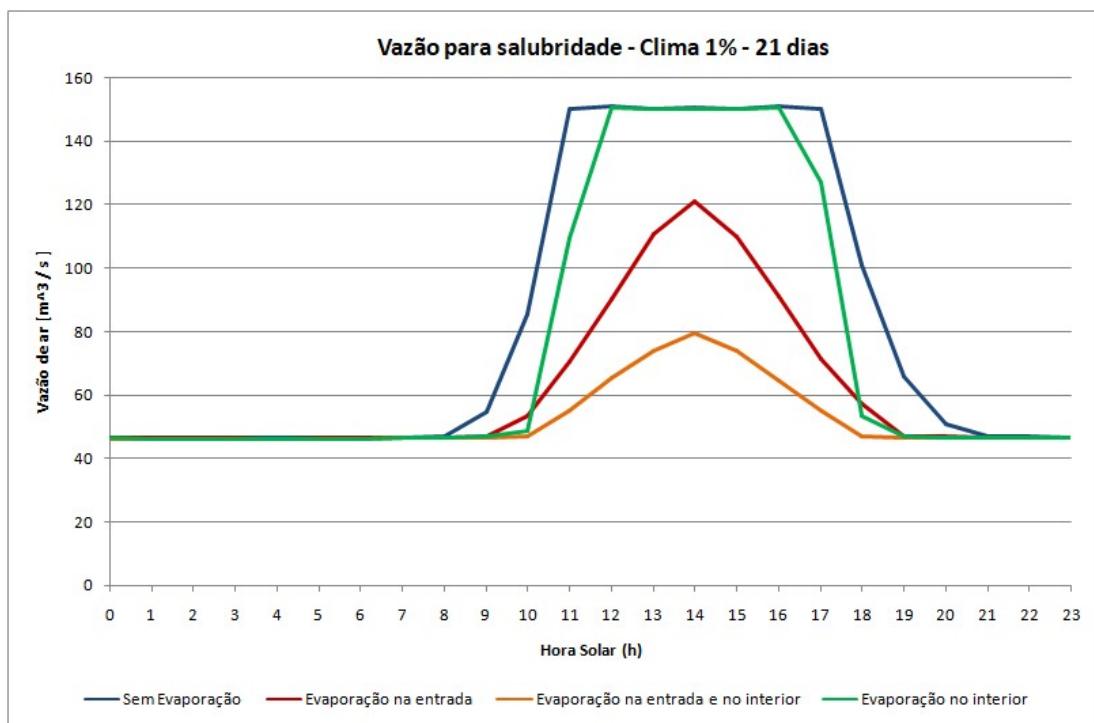


Fig. 15 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

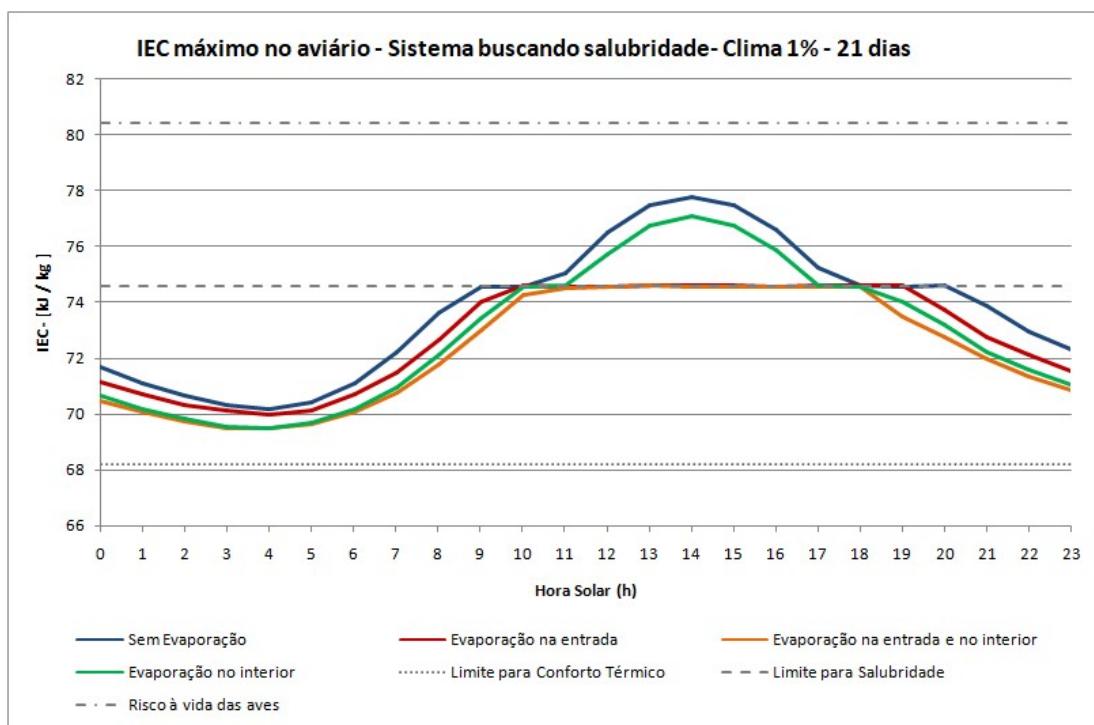


Fig. 16 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

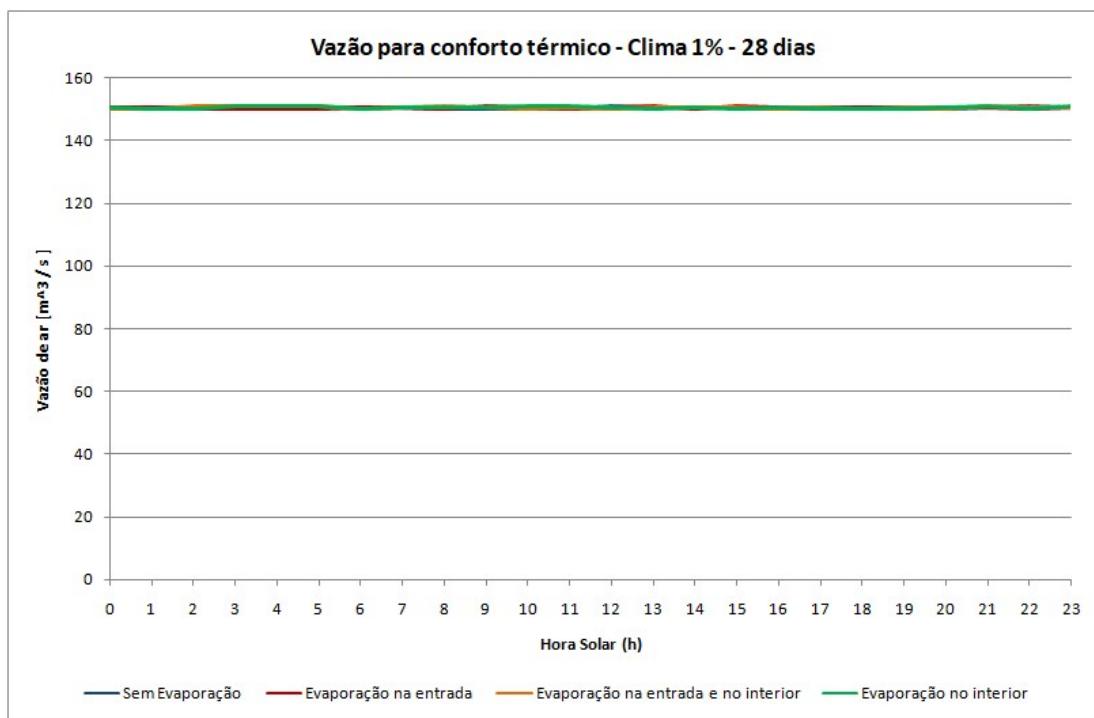


Fig. 17 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico

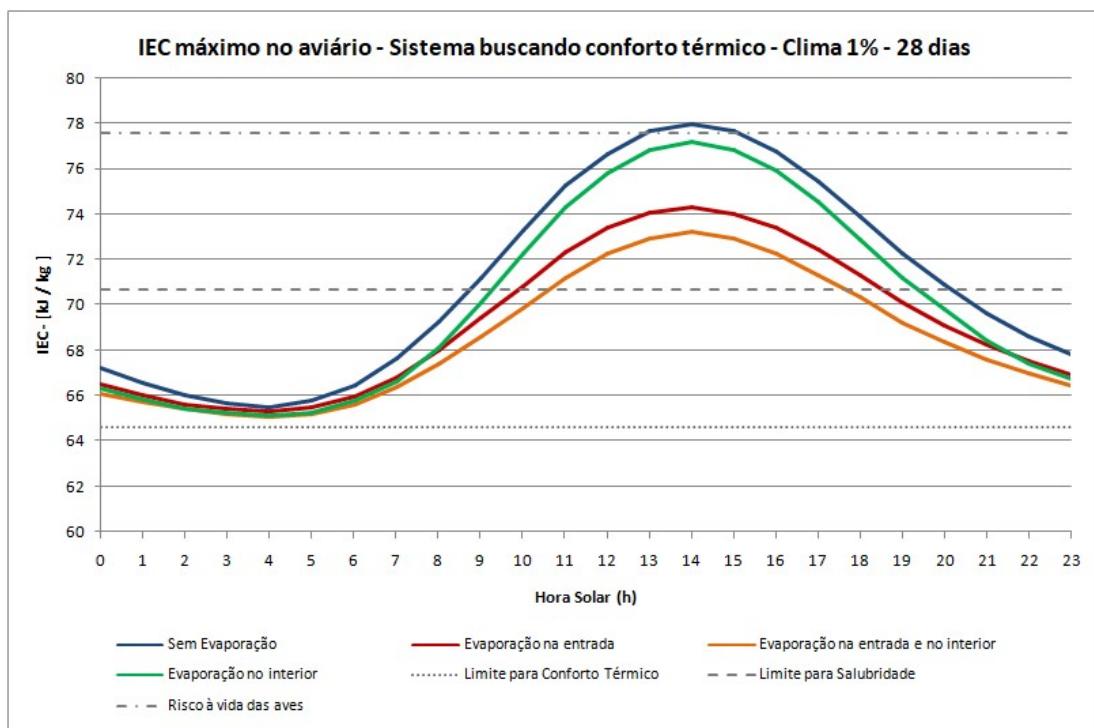


Fig. 18 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

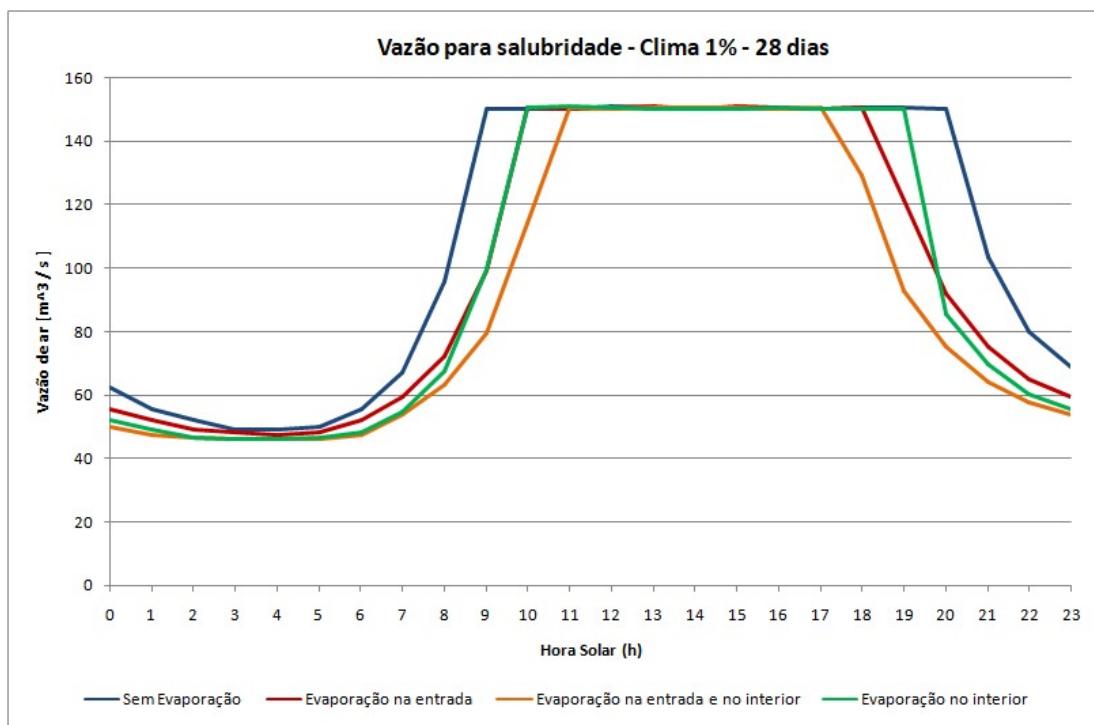


Fig. 19 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

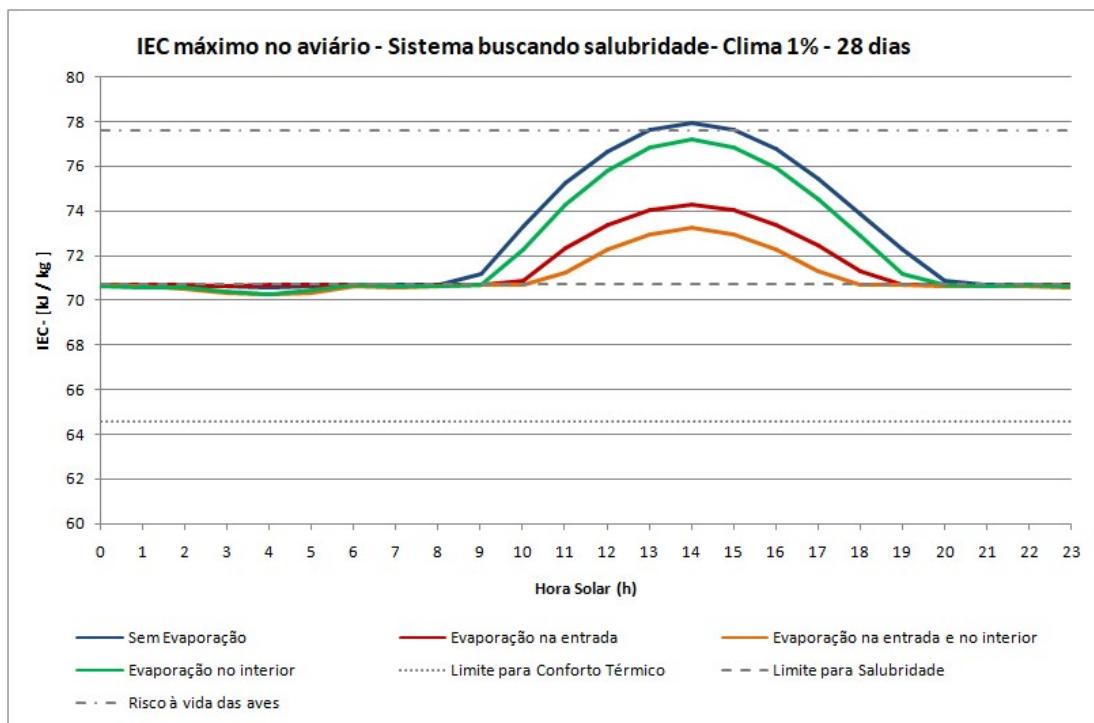


Fig. 20 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

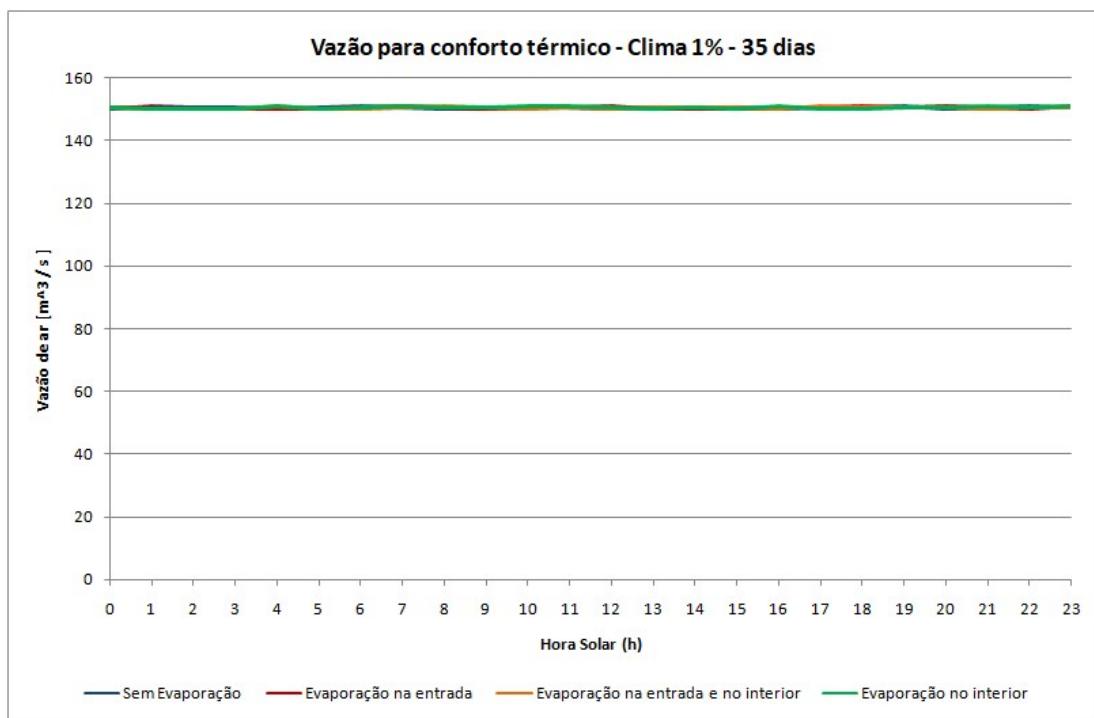


Fig. 21 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico

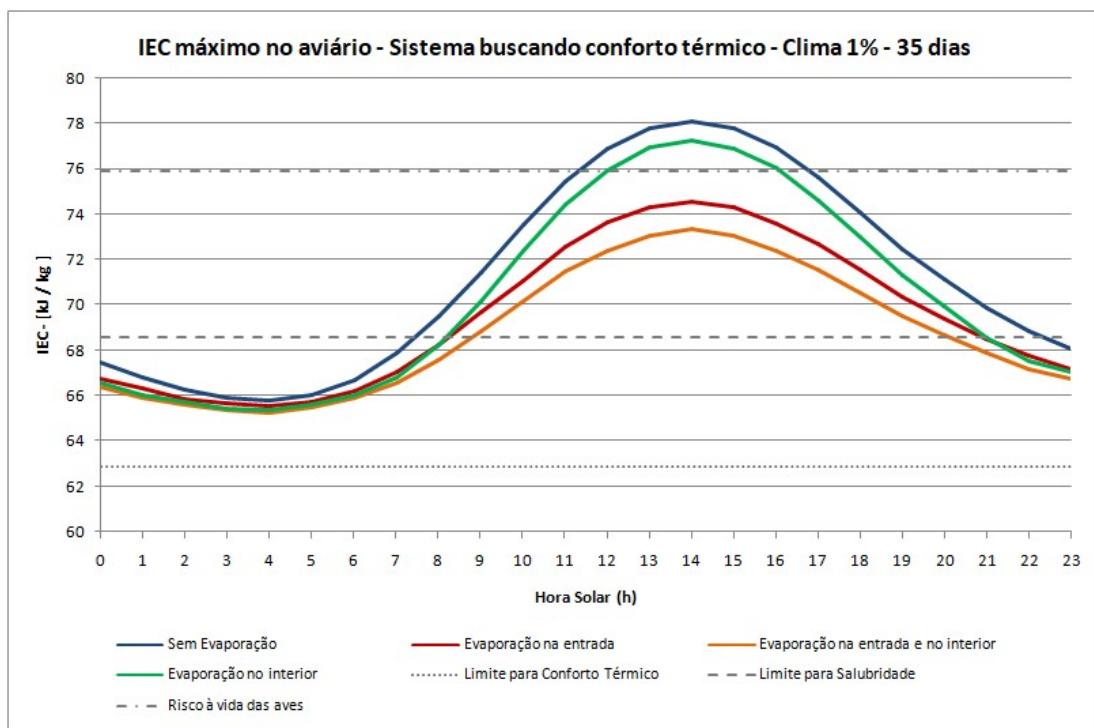


Fig. 22 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

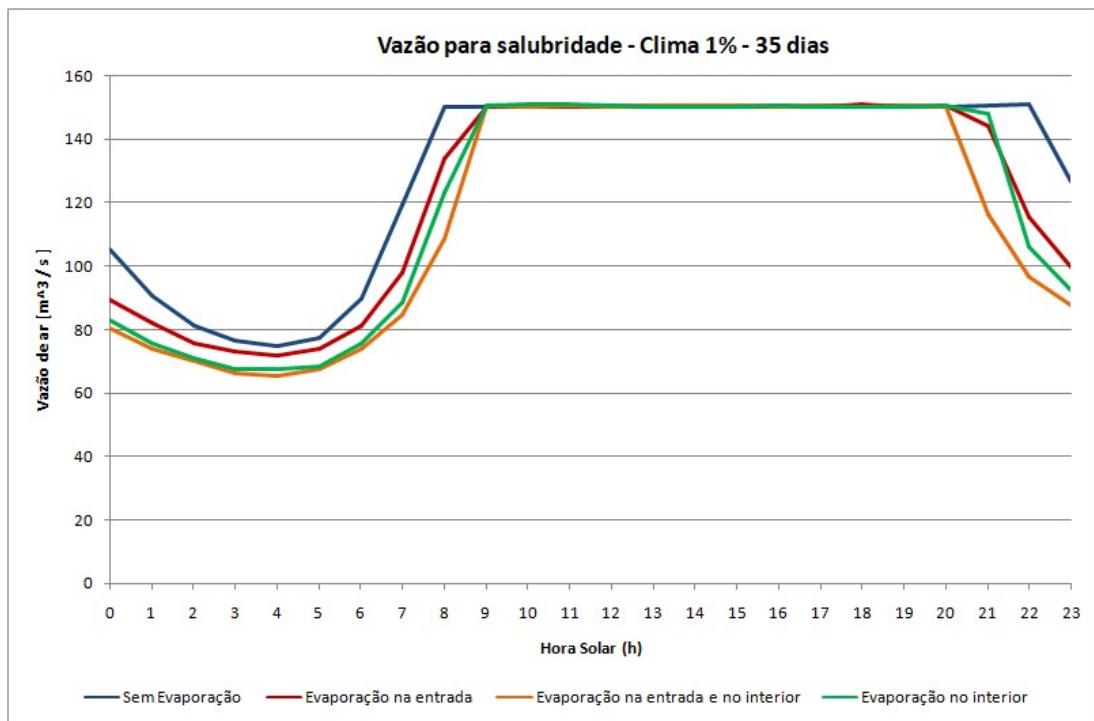


Fig. 23 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

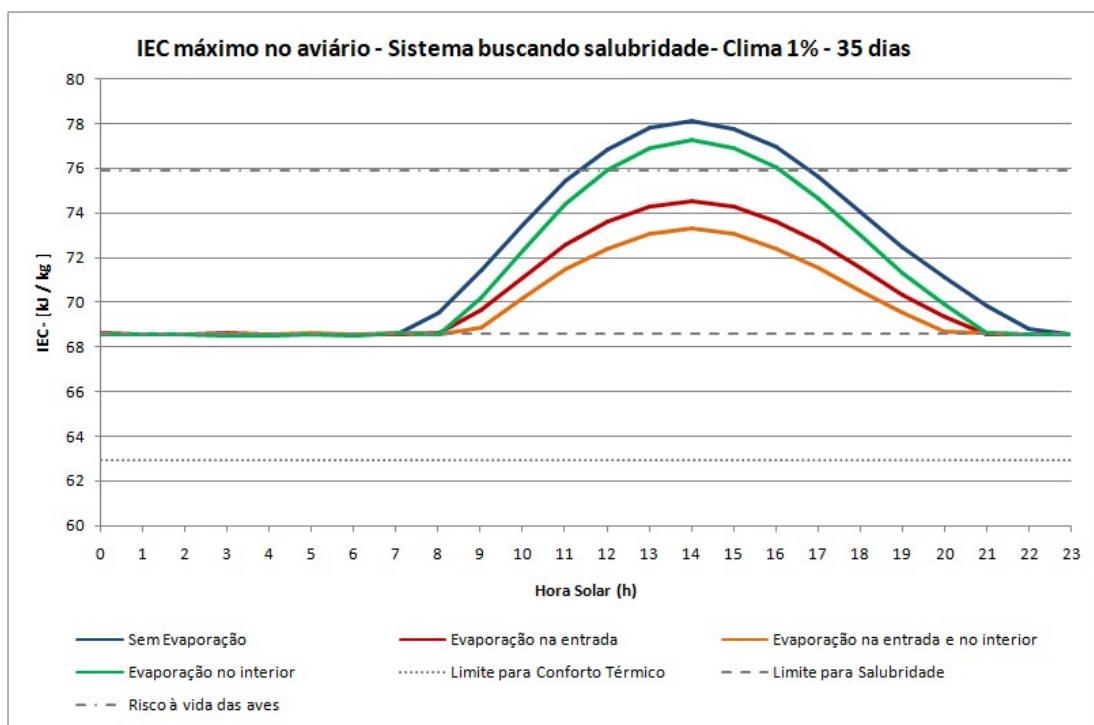


Fig. 24 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

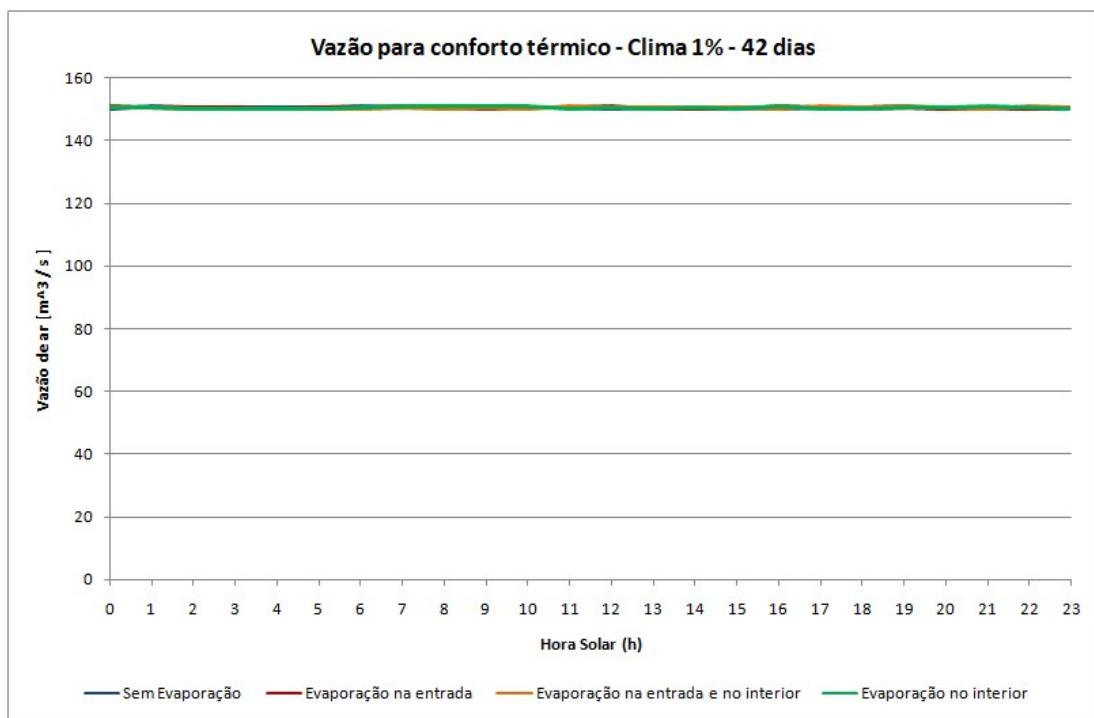


Fig. 25 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico

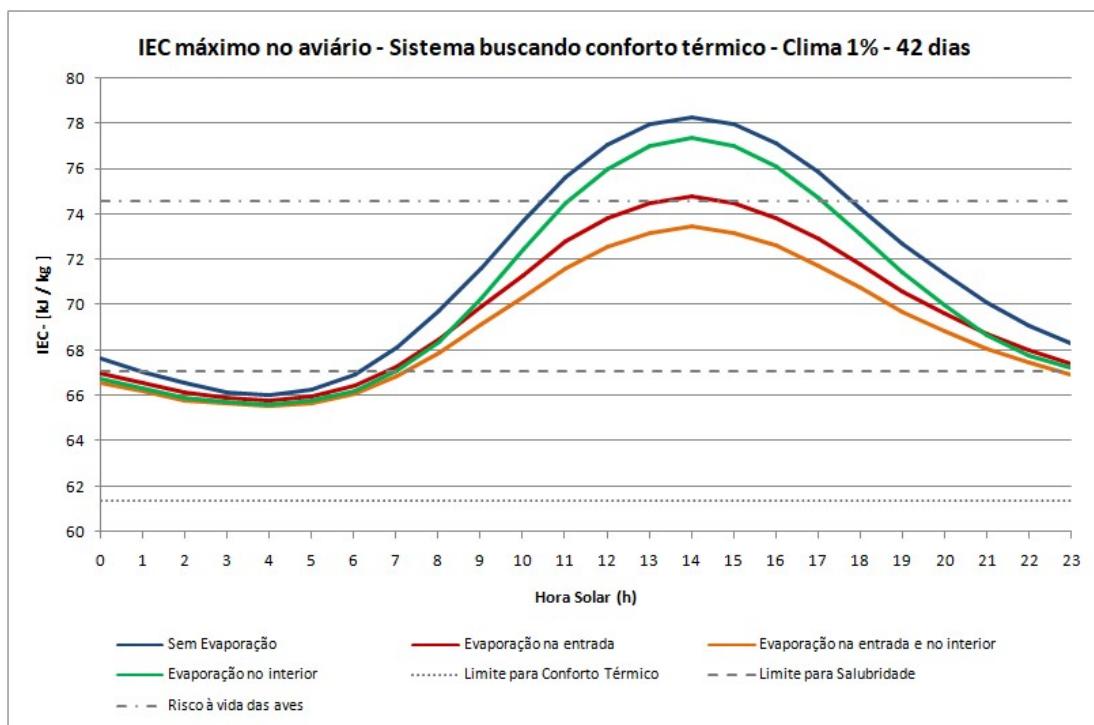


Fig. 26 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

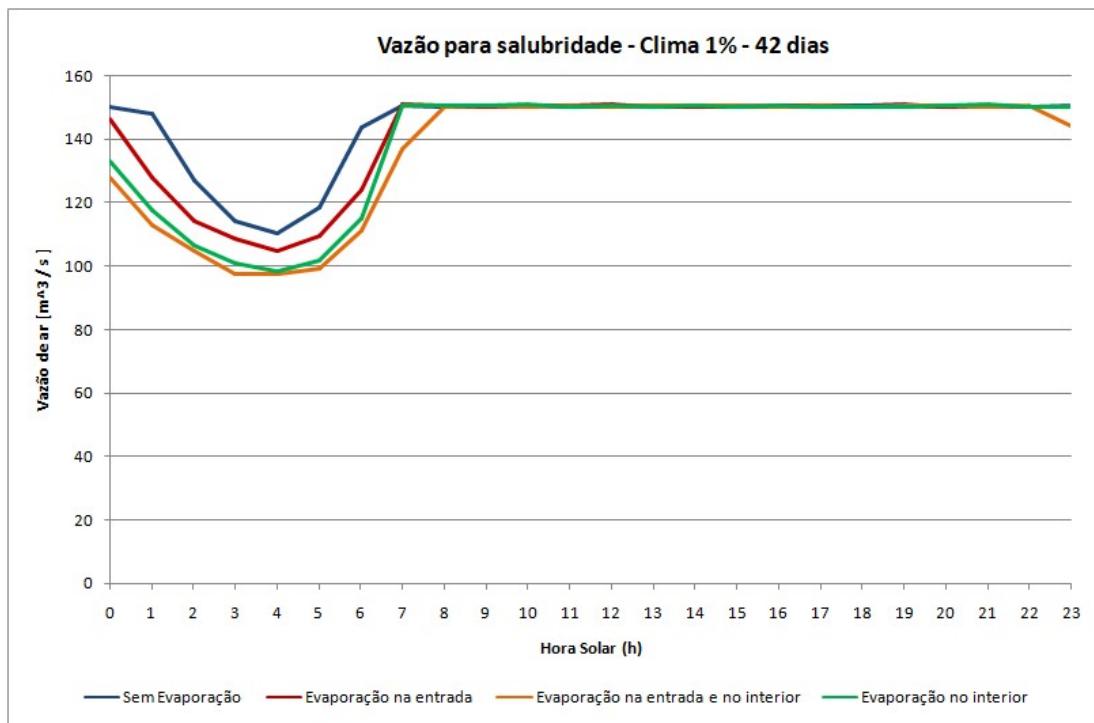


Fig. 27 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

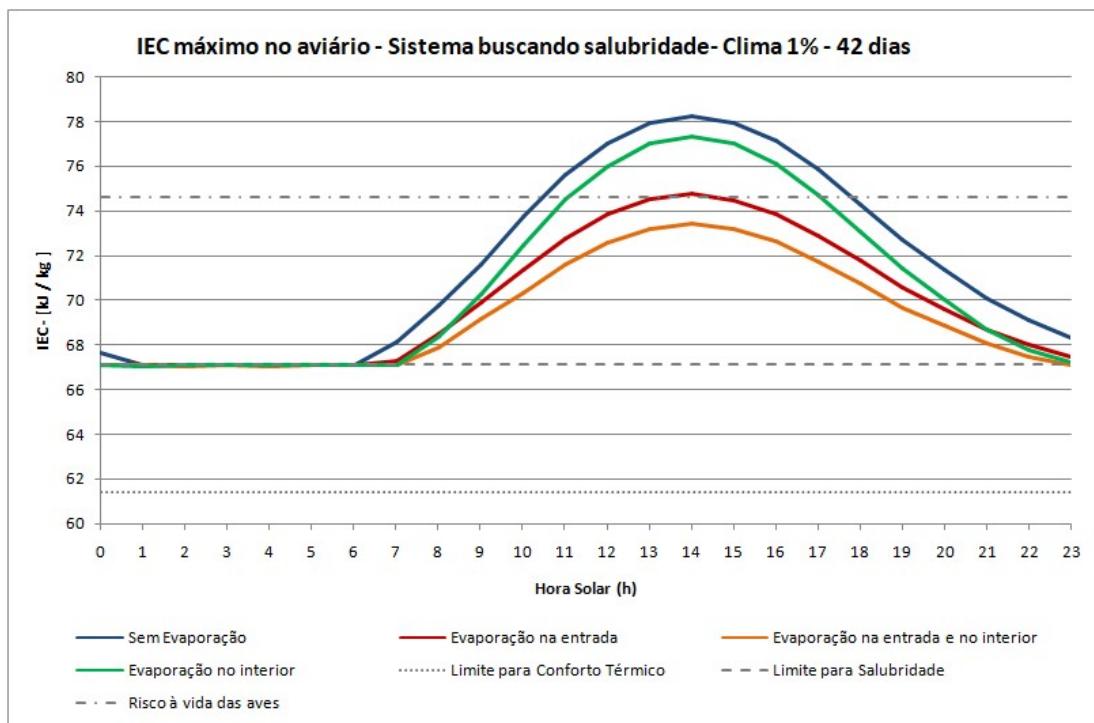


Fig. 28 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

### 5.3.2. Resultados para condições ambientais – frequência 5%

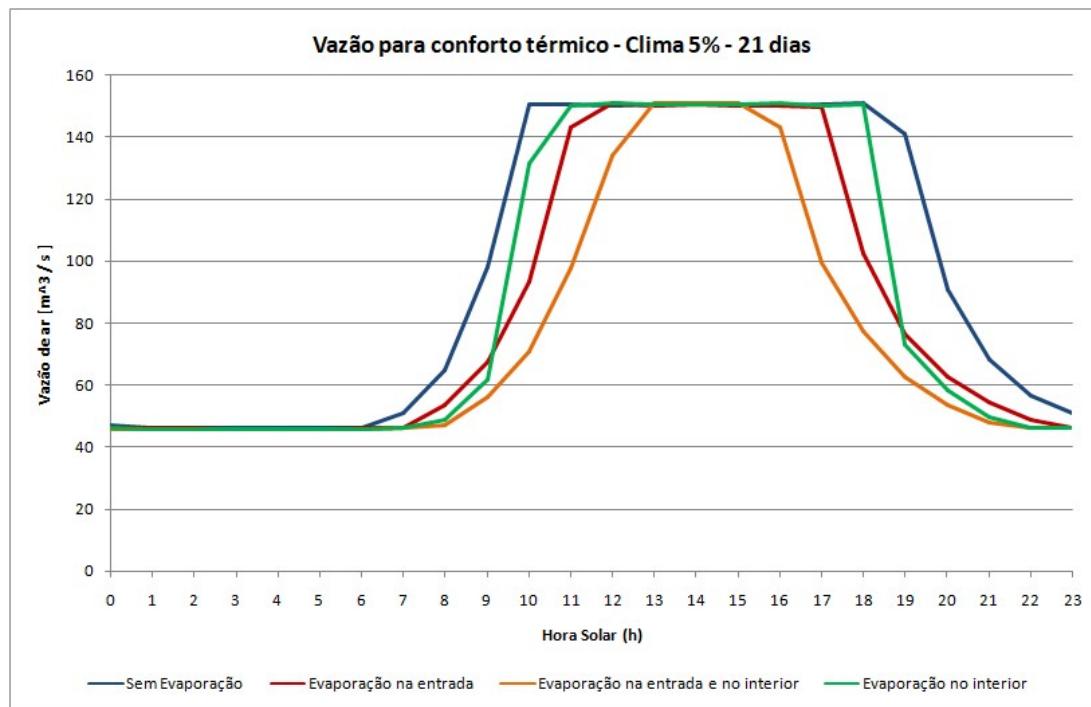


Fig. 29 – Vazão de ar do sistema visando manter o IEC em condição de conforto térmico

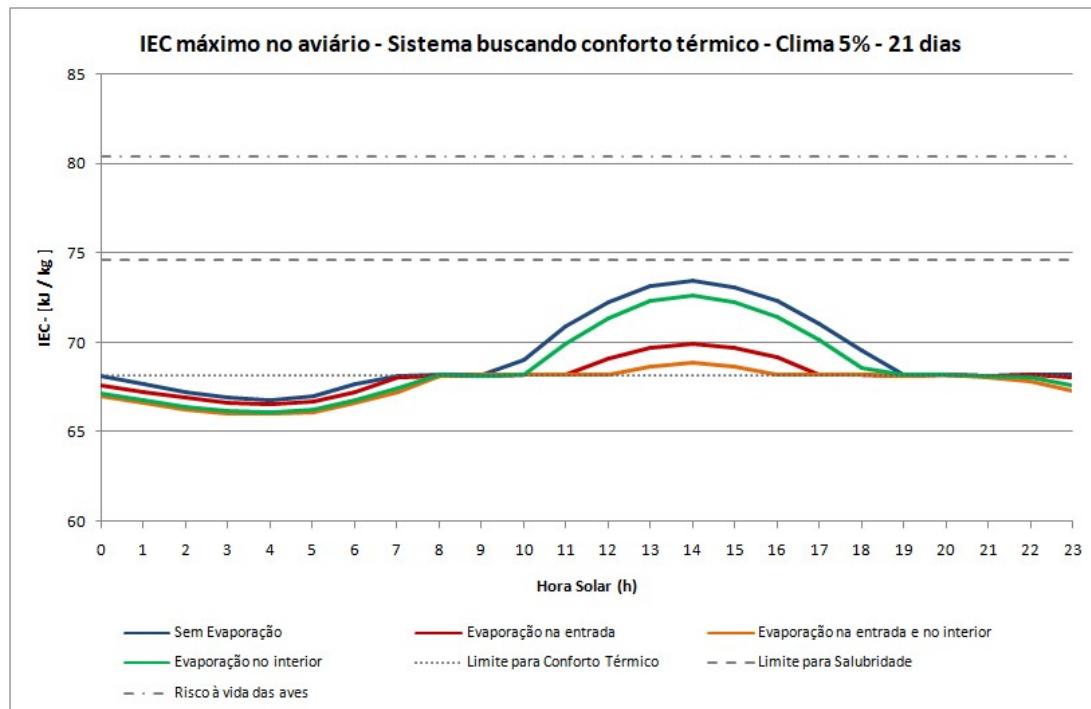


Fig. 30 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

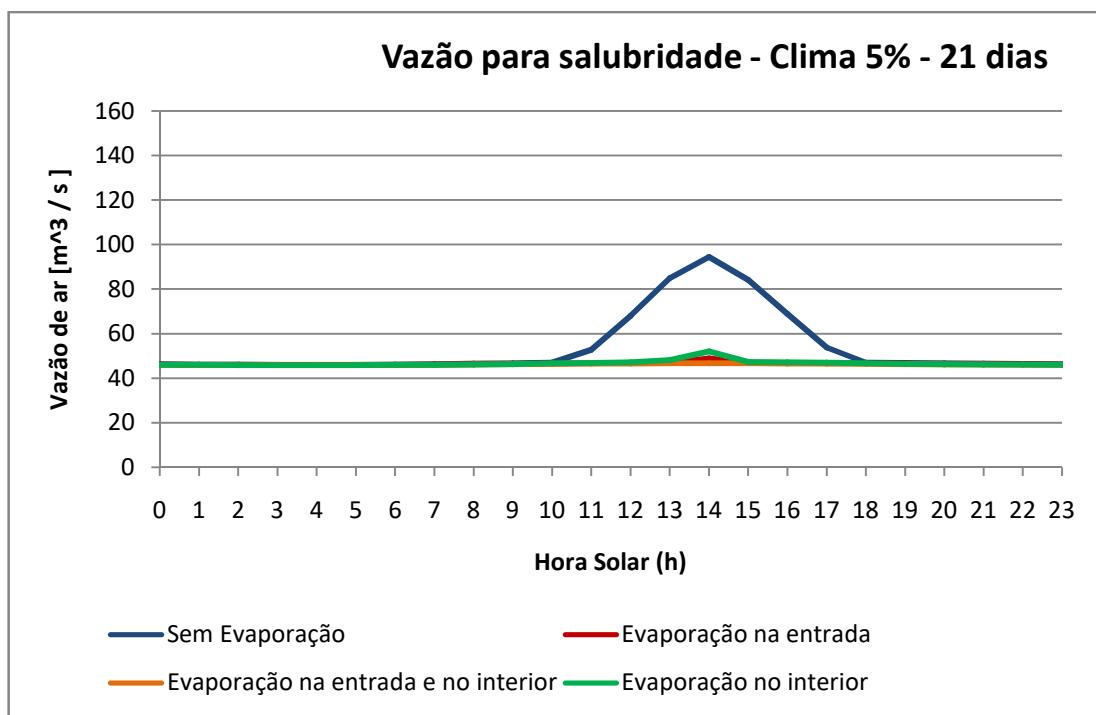


Fig. 31 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

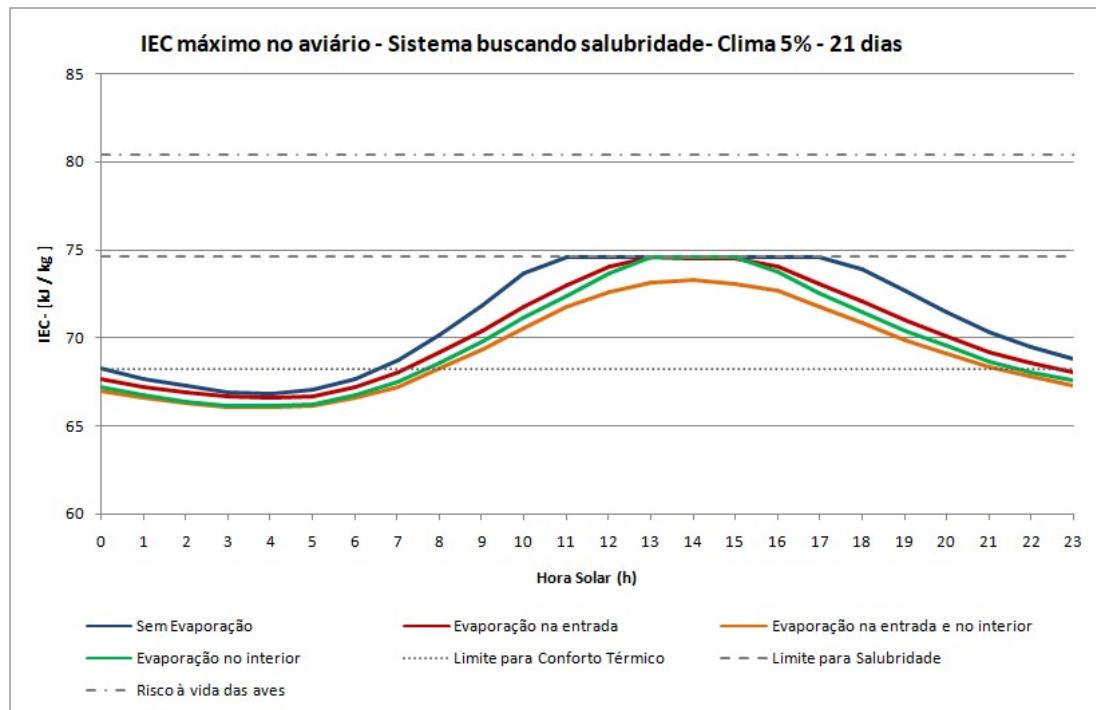


Fig. 32 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

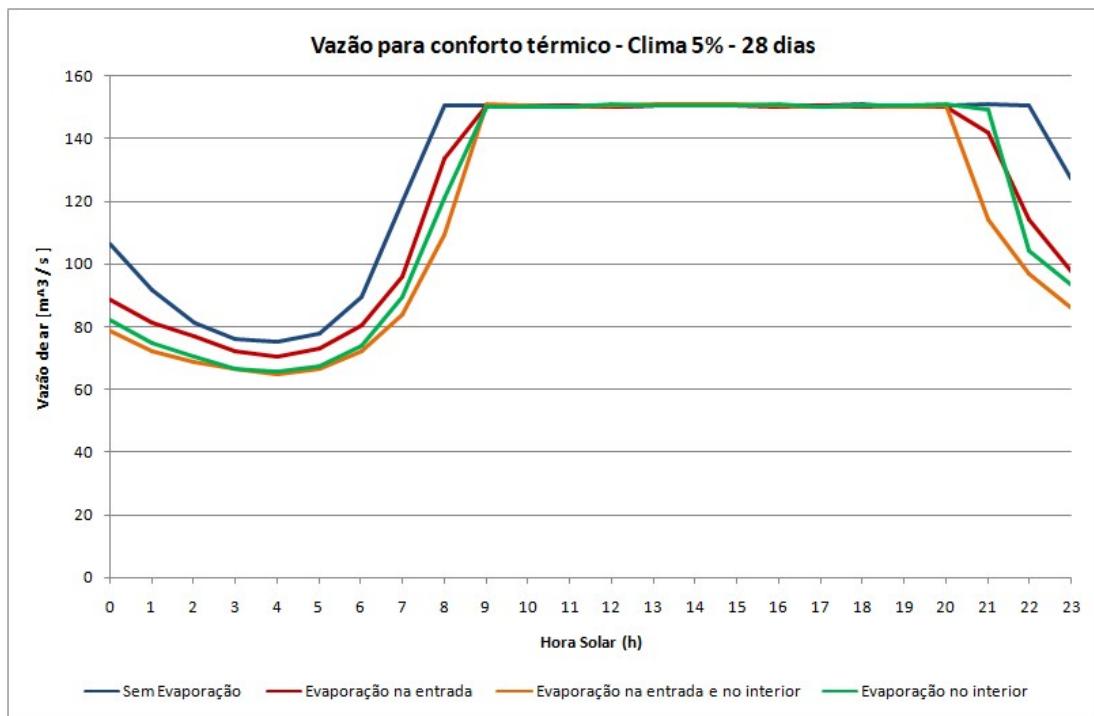


Fig. 33 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico

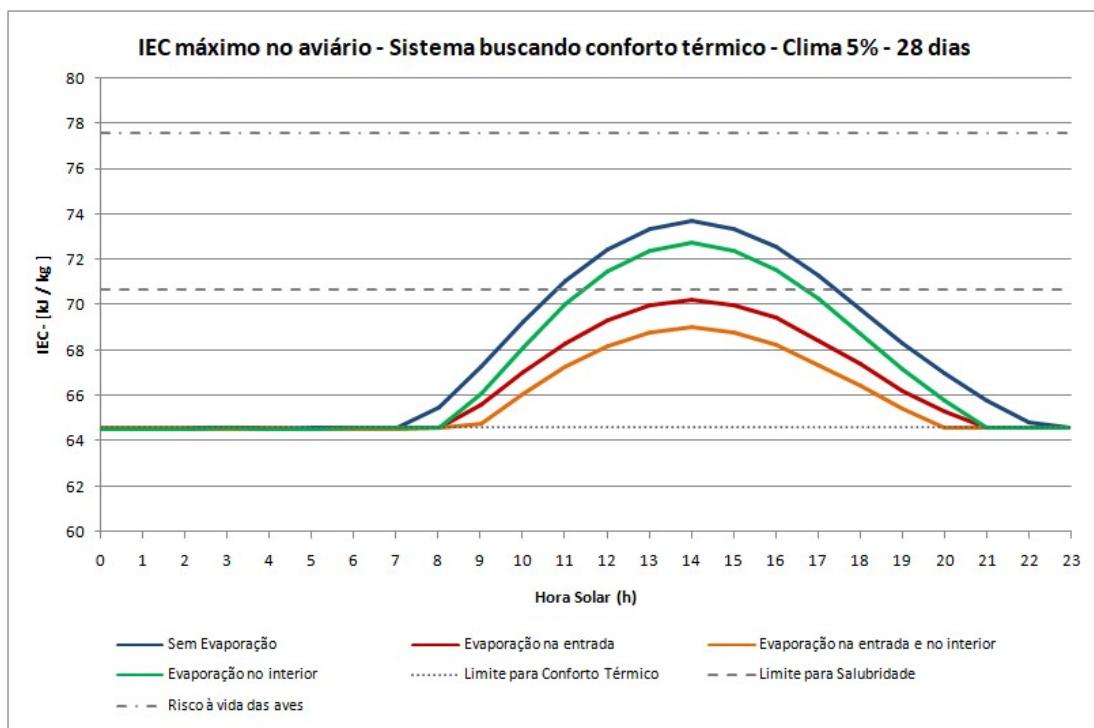


Fig. 34 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

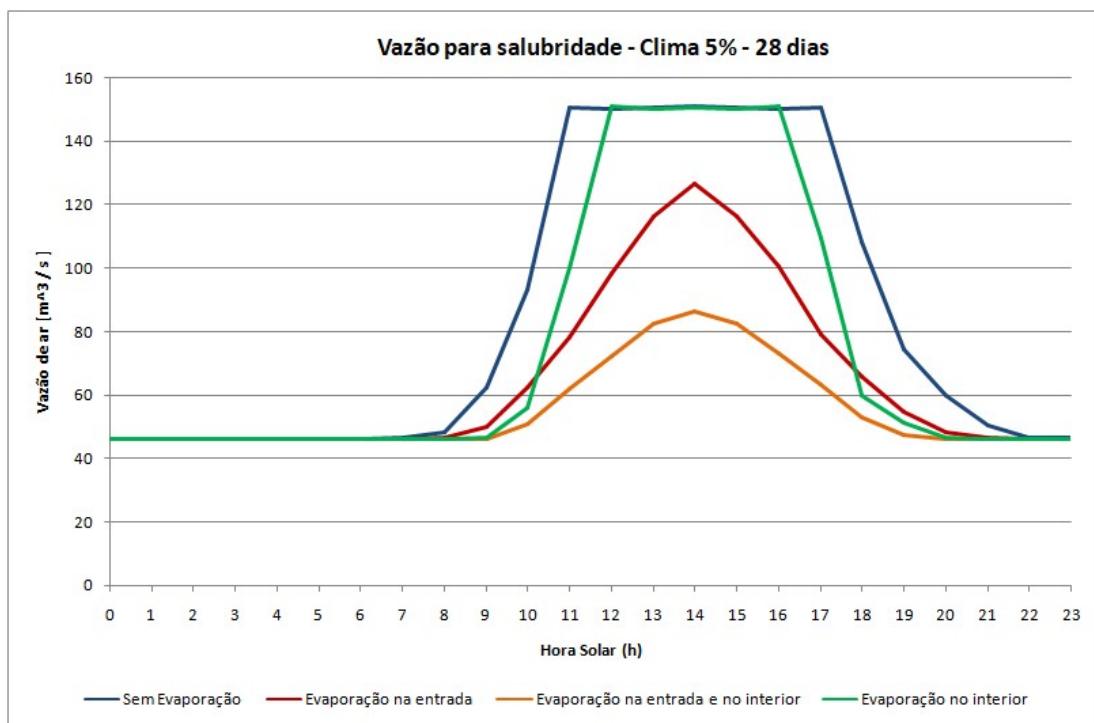


Fig. 35 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

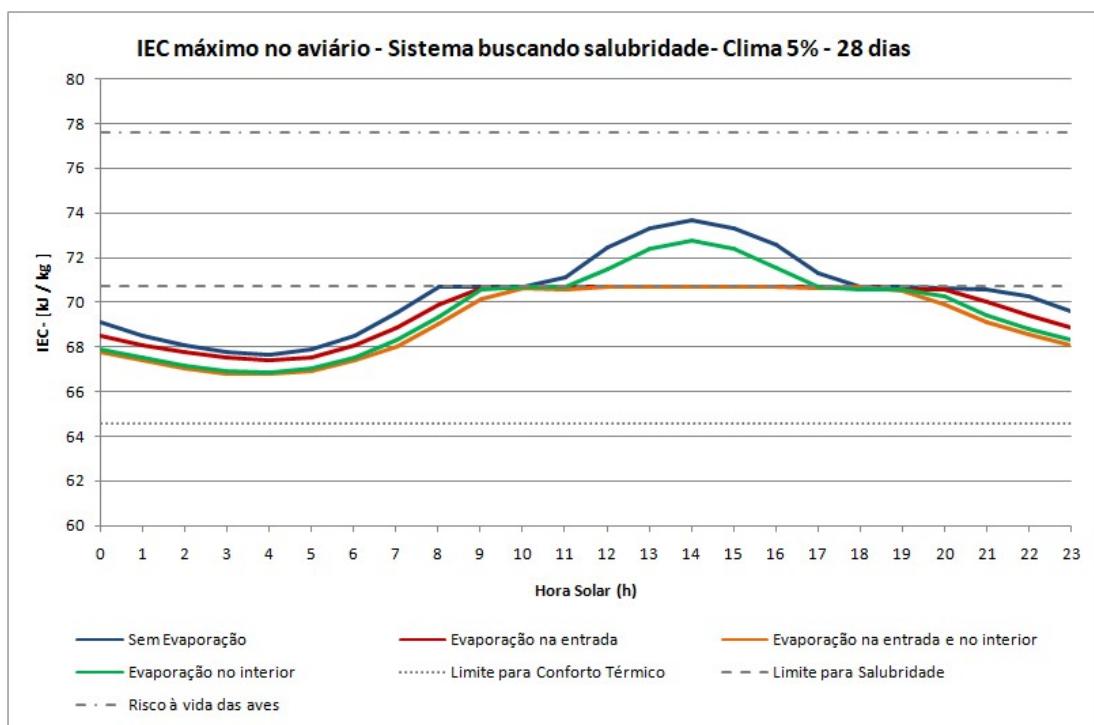


Fig. 36 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

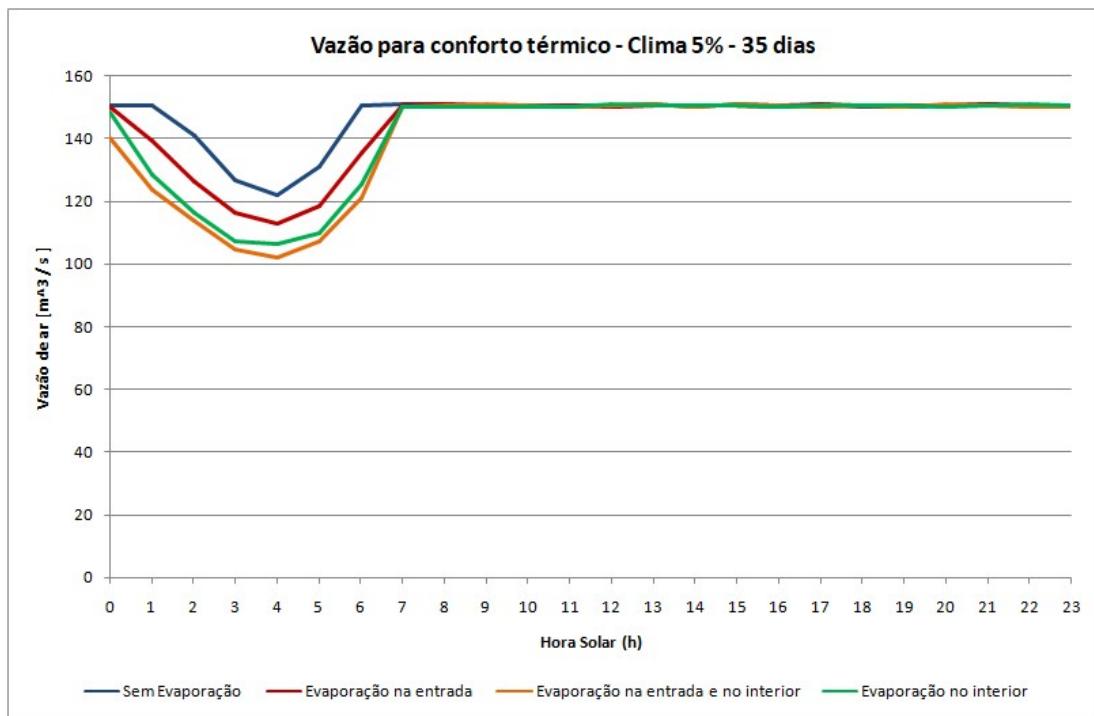


Fig. 37 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico

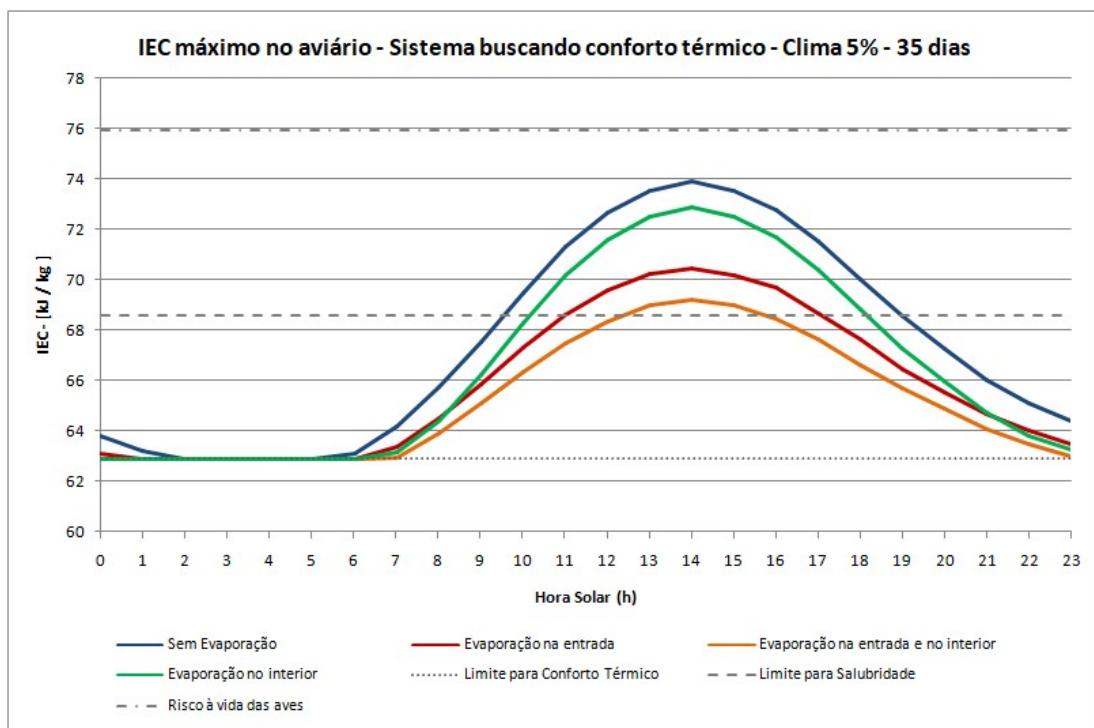


Fig. 38 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

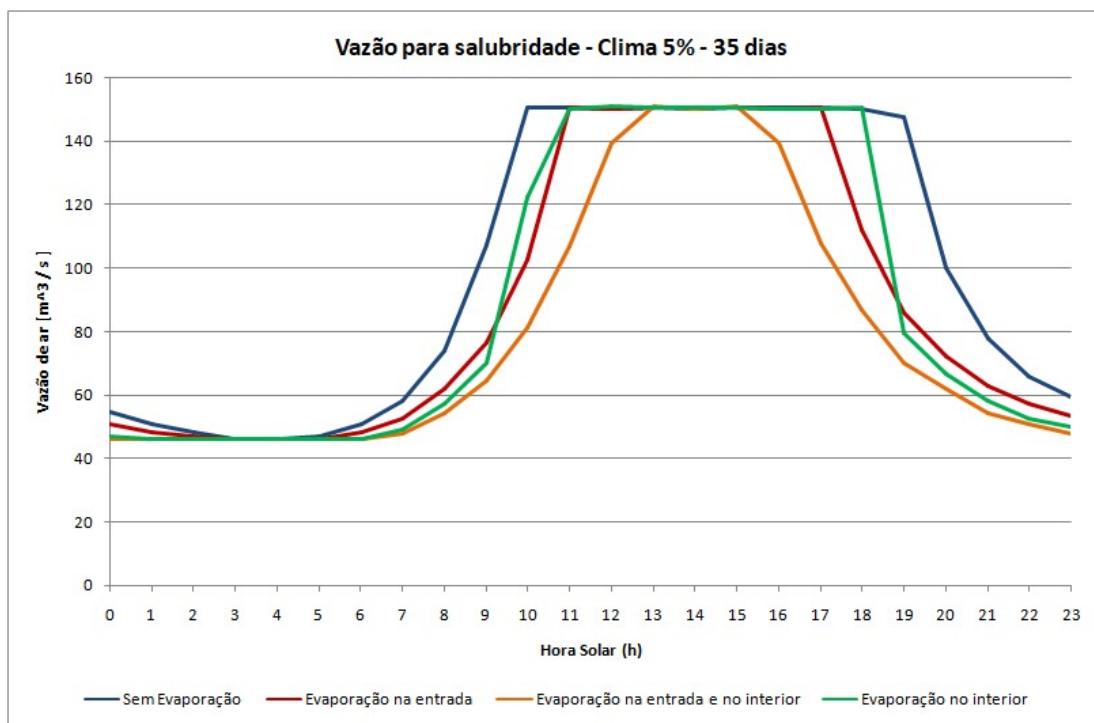


Fig. 39 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

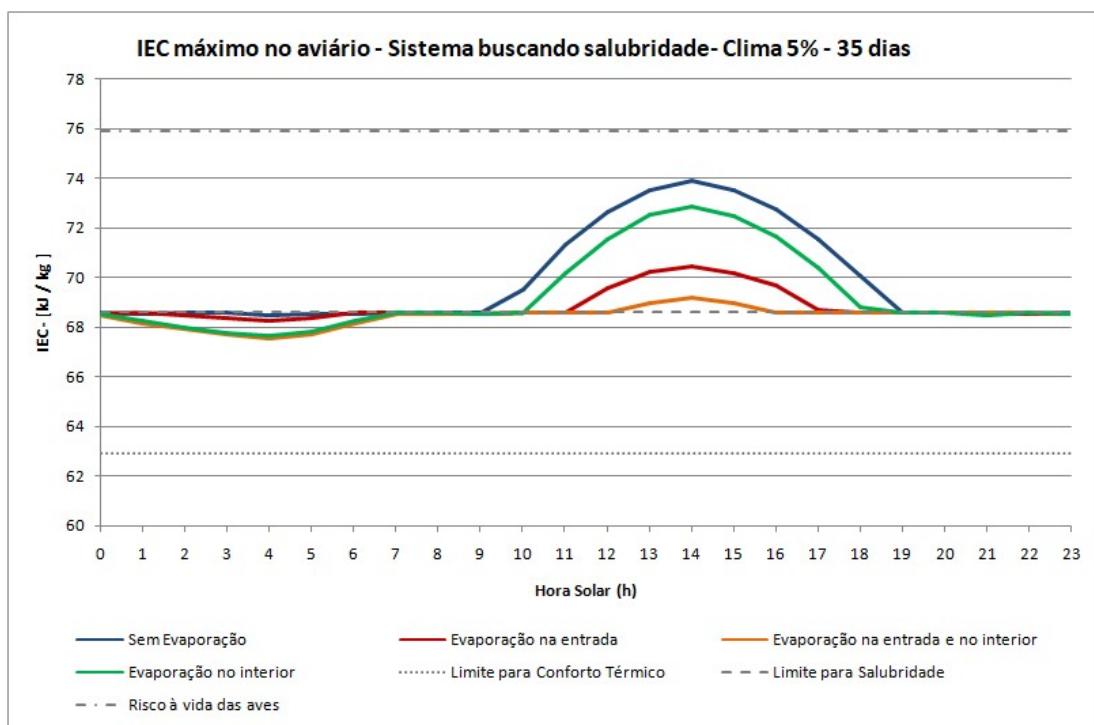


Fig. 40 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

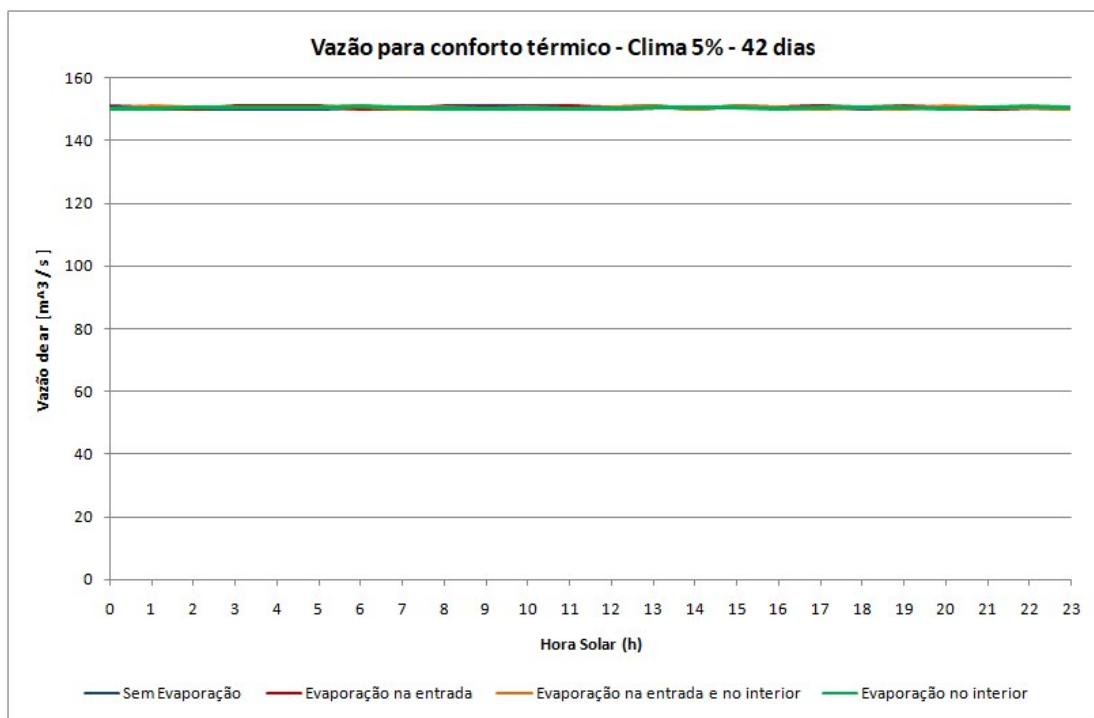


Fig. 41 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico

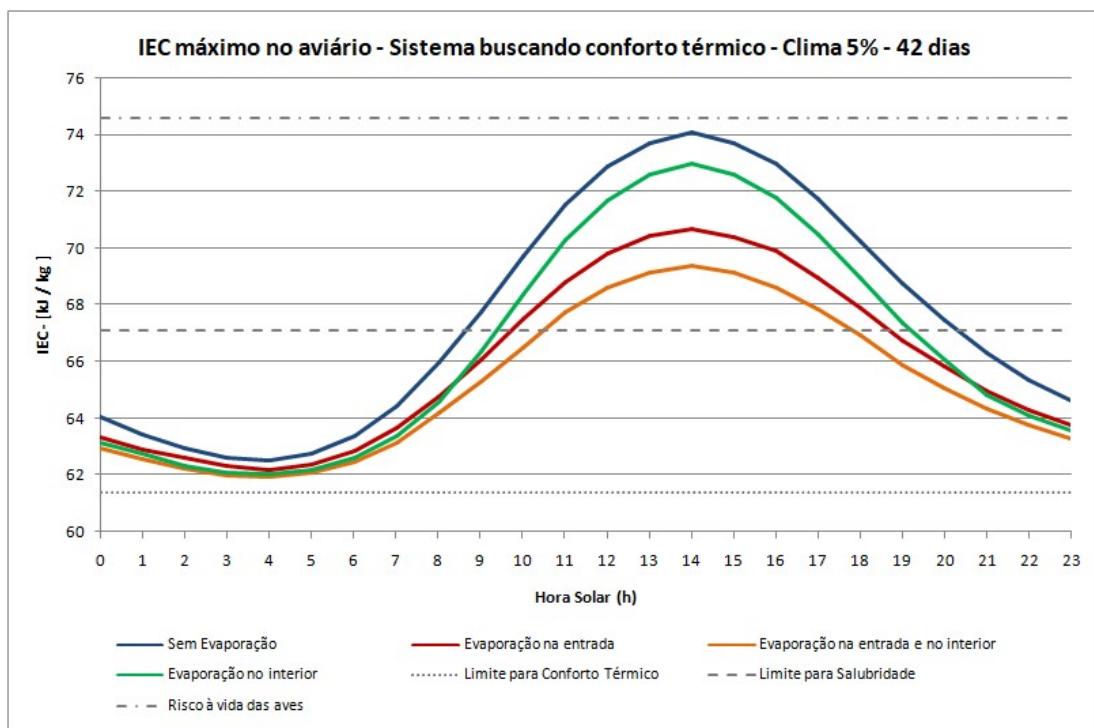


Fig. 42 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

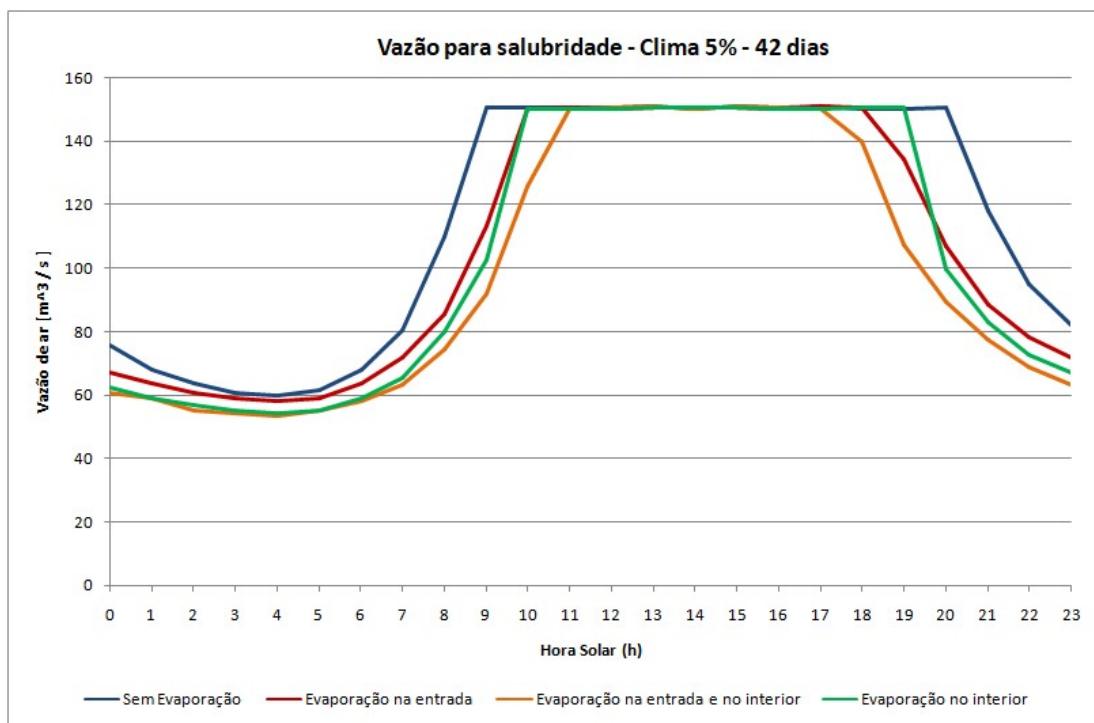


Fig. 43 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

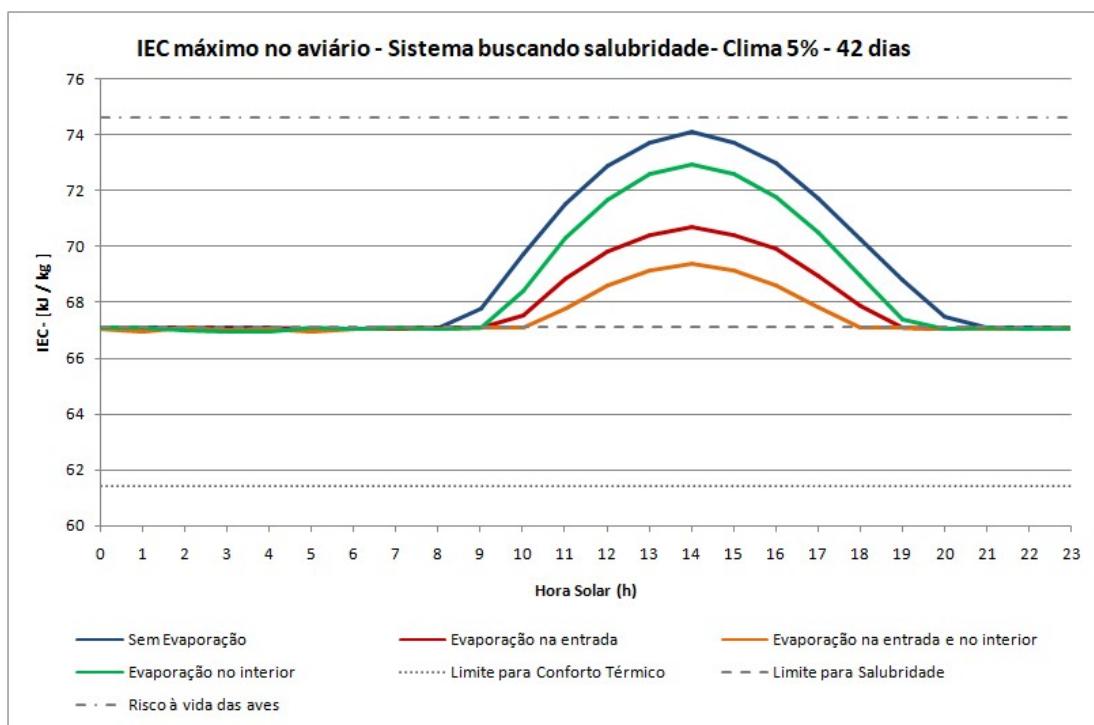


Fig. 44 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

### 5.3.3. Resultados para condições ambientais – frequência 10%

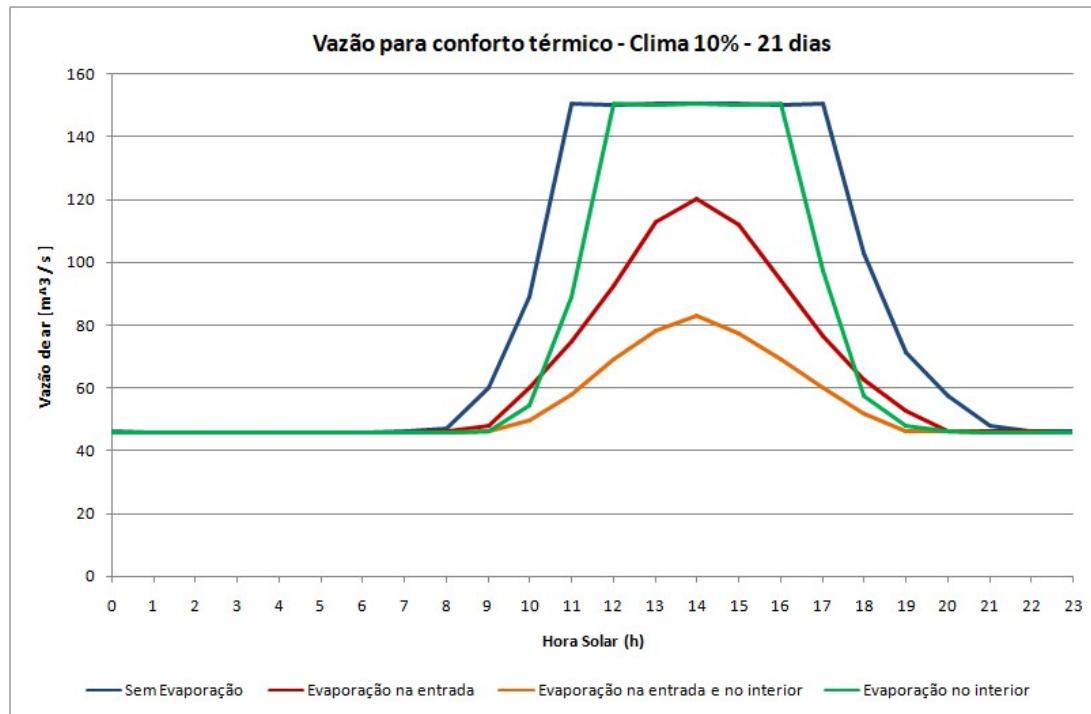


Fig. 45 – Vazão de ar do sistema visando manter o IEC em condição de conforto térmico

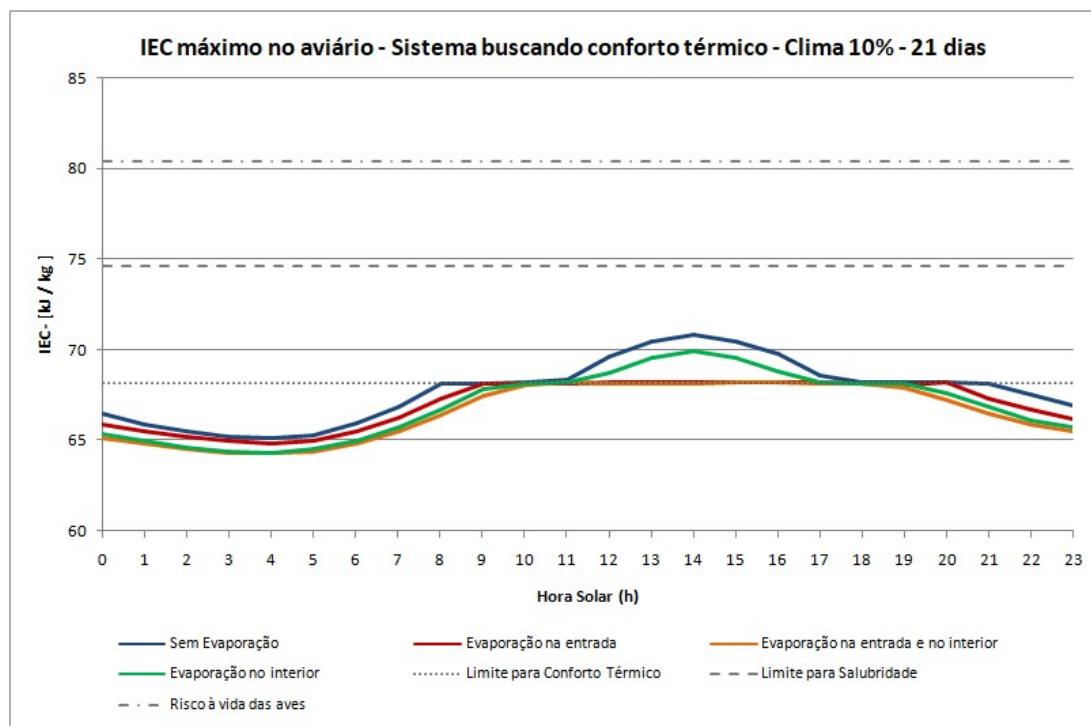


Fig. 46 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

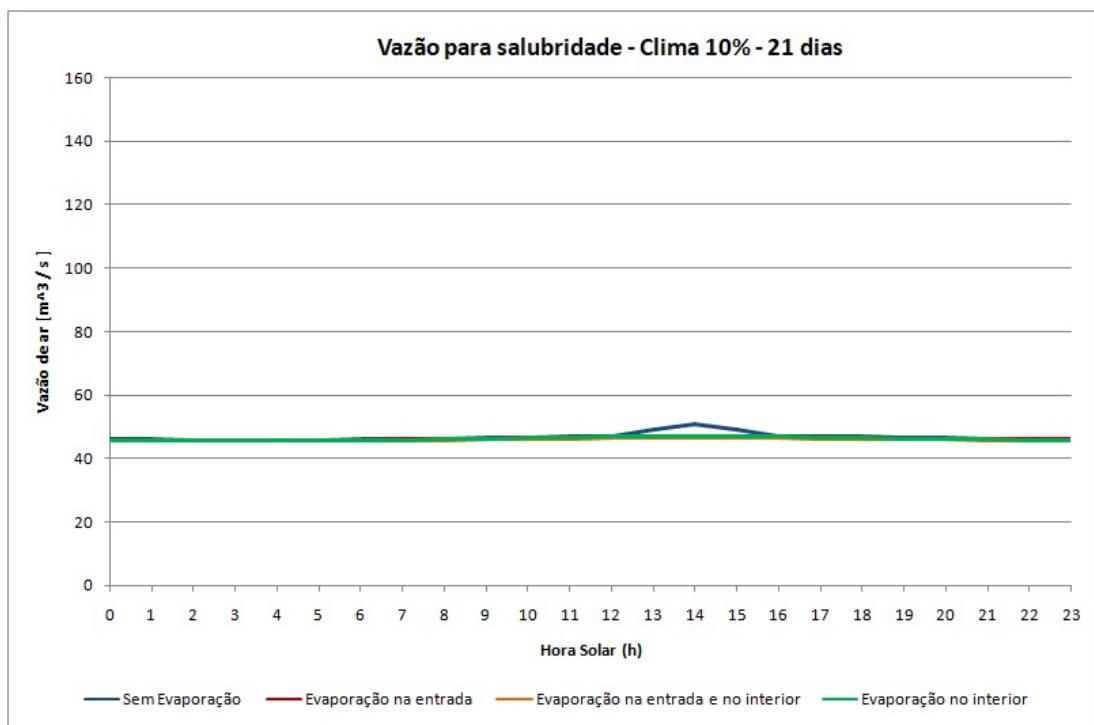


Fig. 47 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

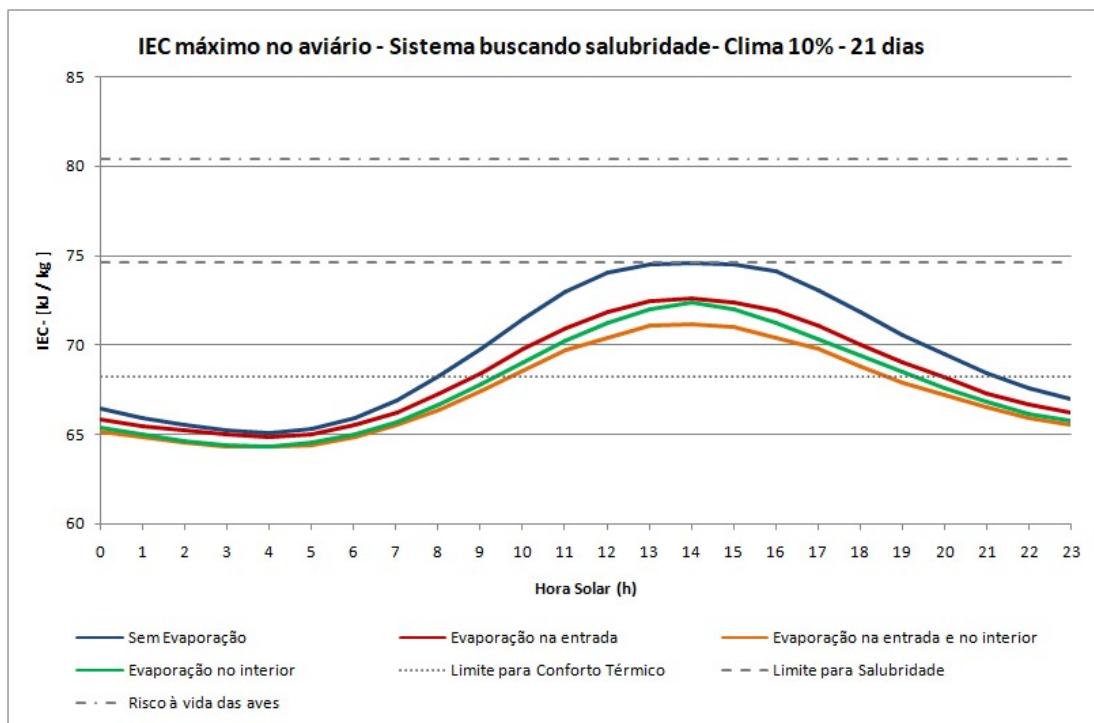


Fig. 48 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

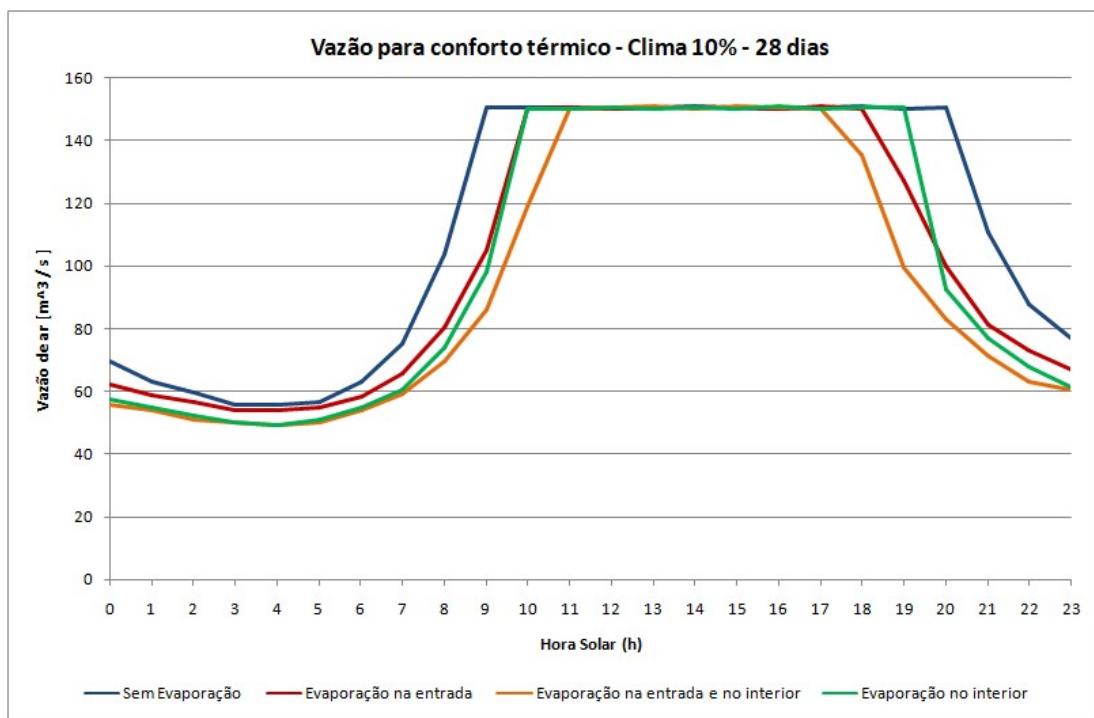


Fig. 49 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico

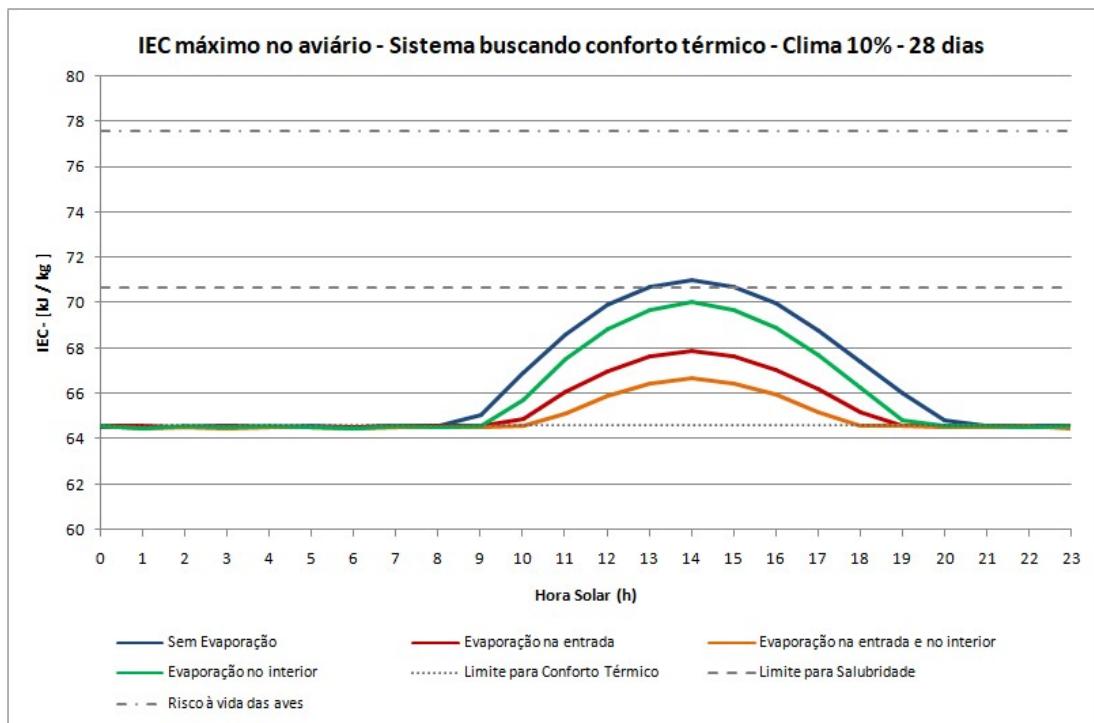


Fig. 50 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

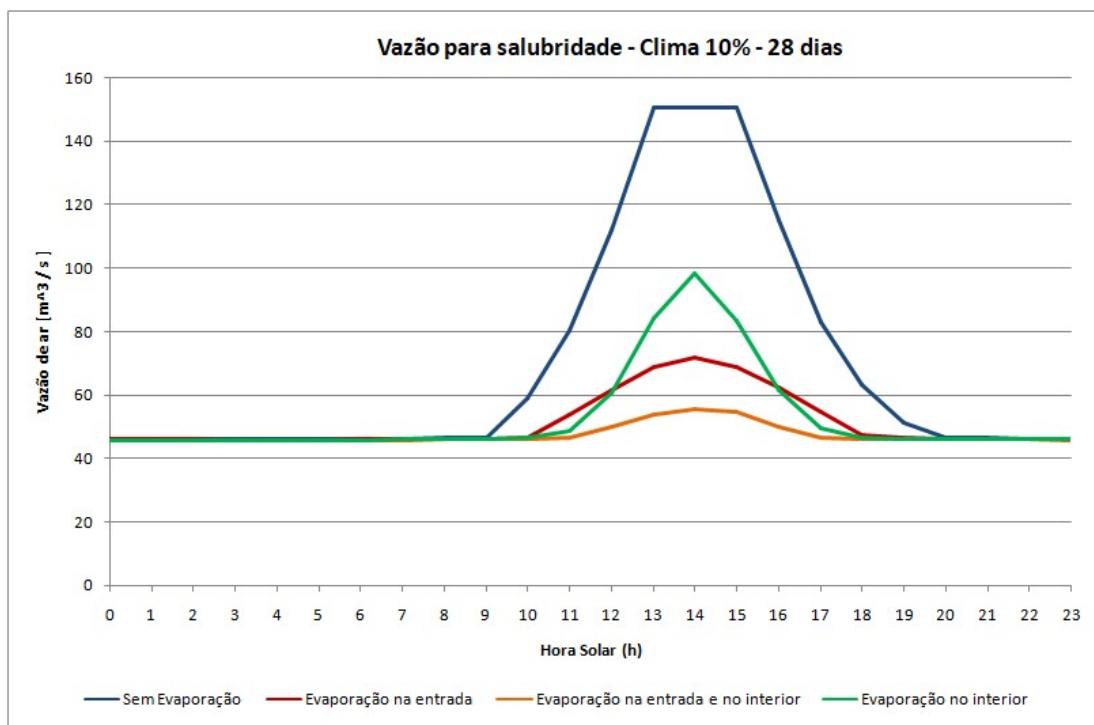


Fig. 51 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

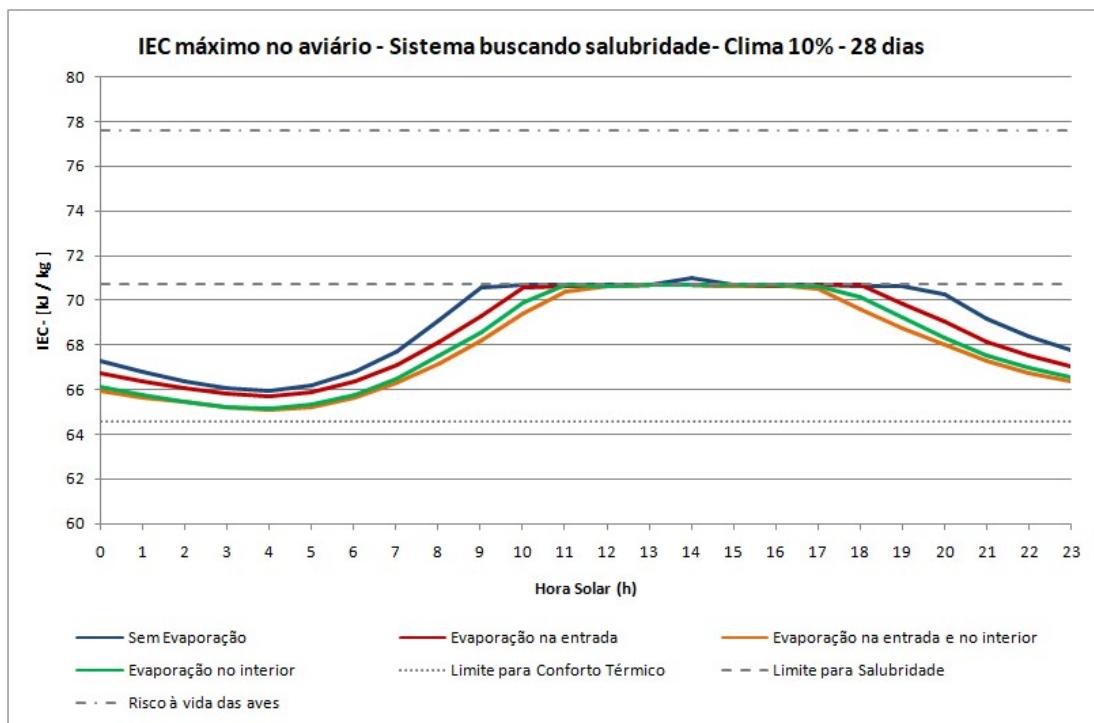


Fig. 52 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

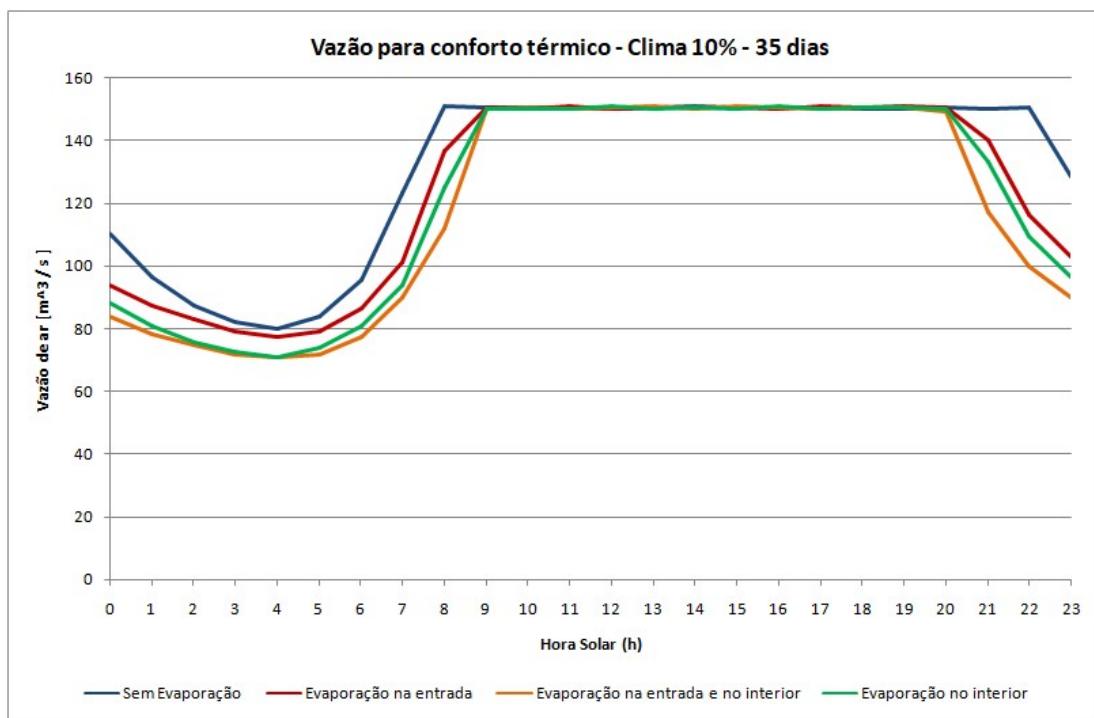


Fig. 53 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico

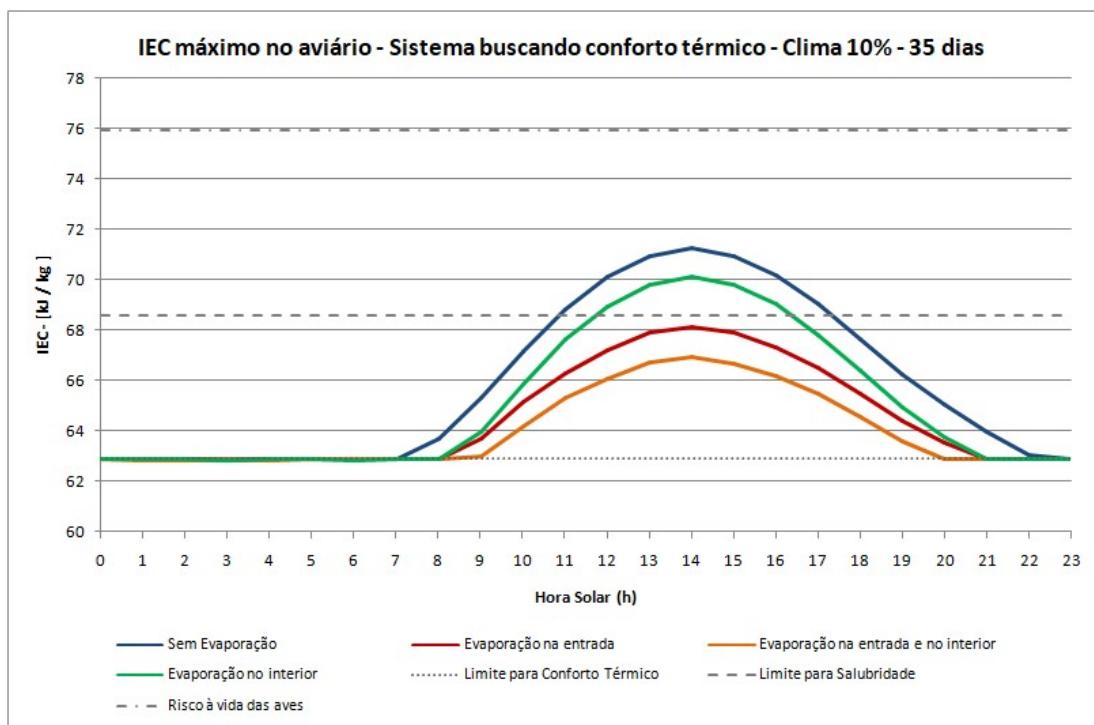


Fig. 54 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

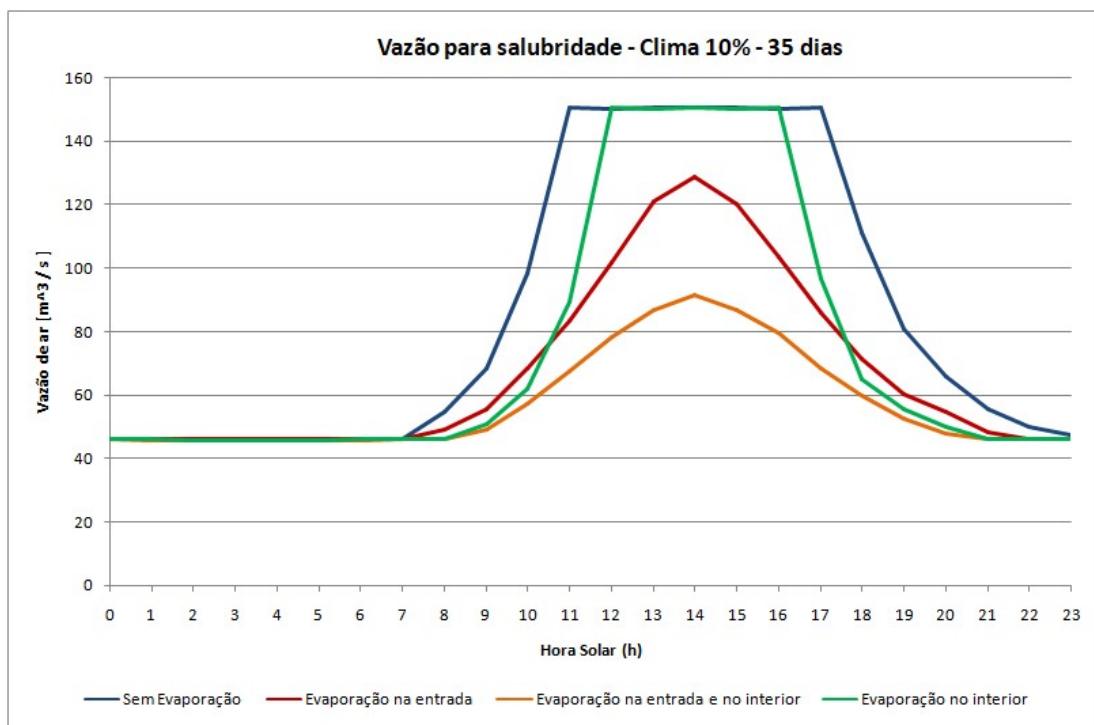


Fig. 55 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

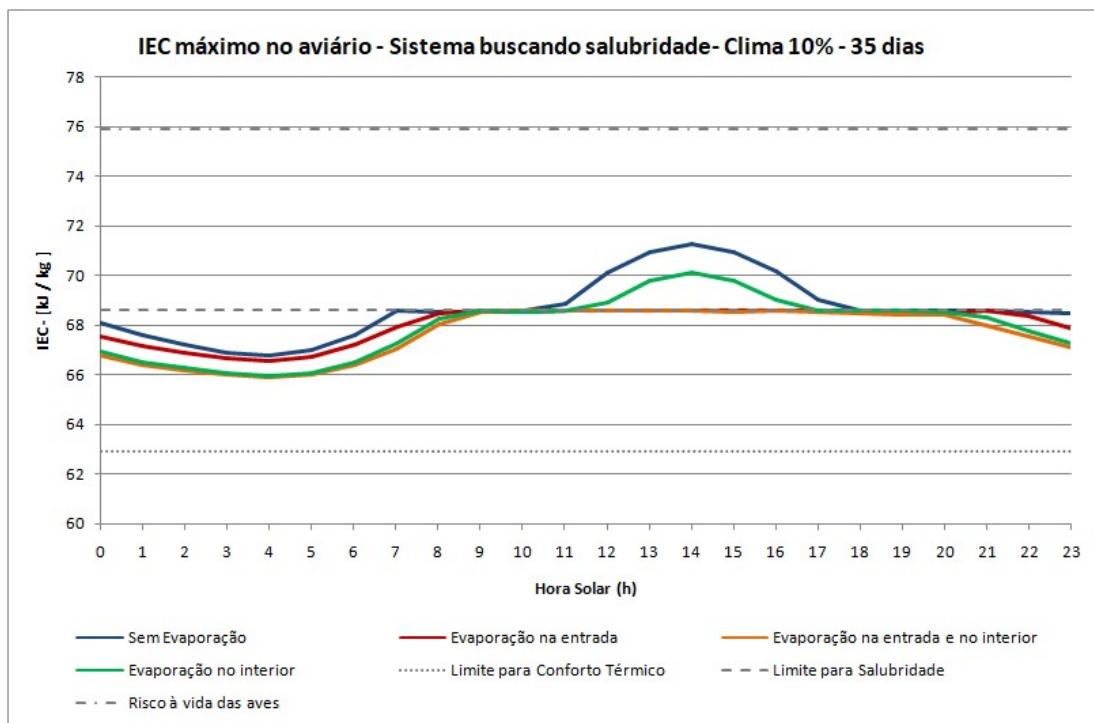


Fig. 56 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

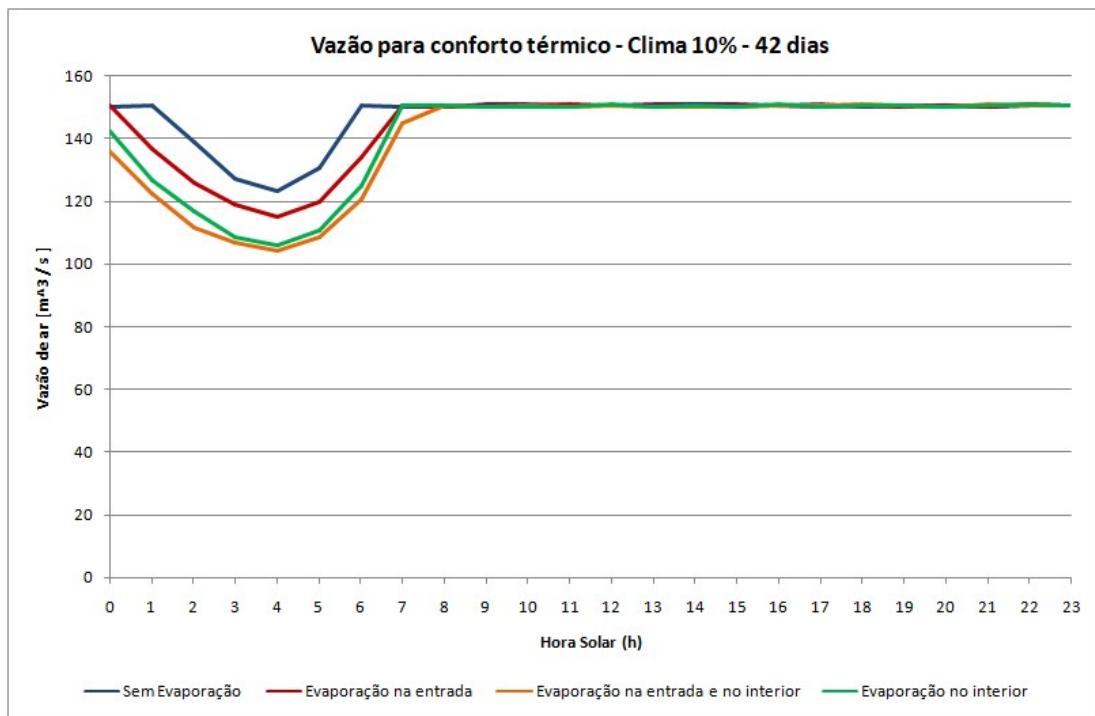


Fig. 57 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de conforto térmico

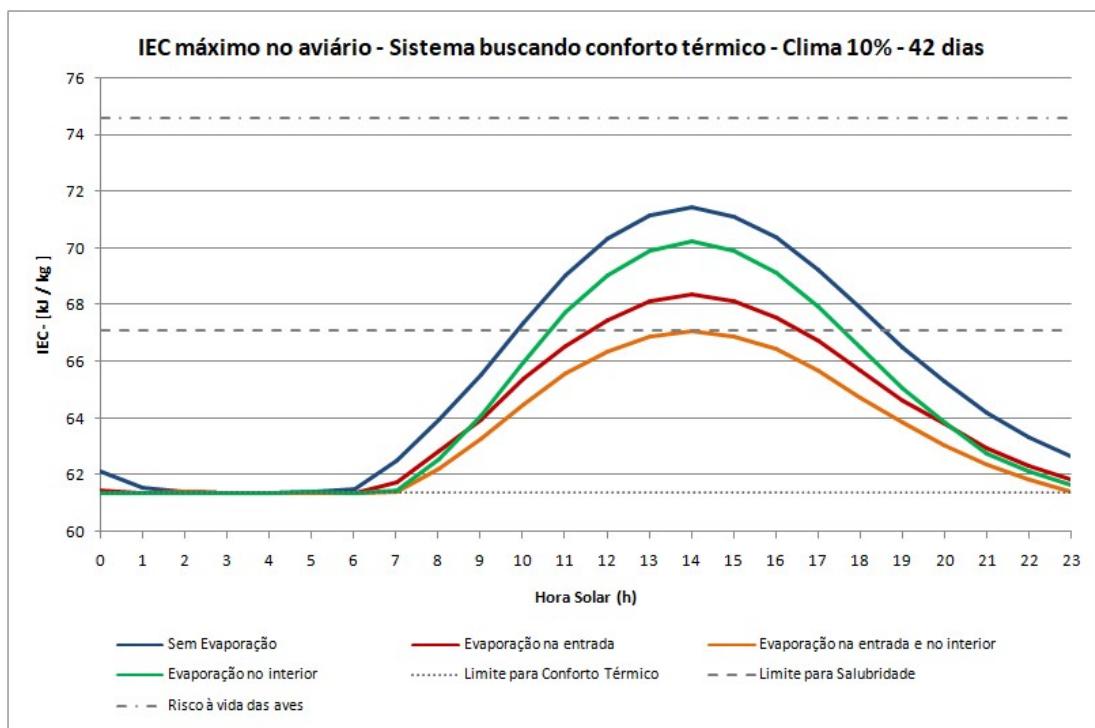


Fig. 58 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de conforto térmico

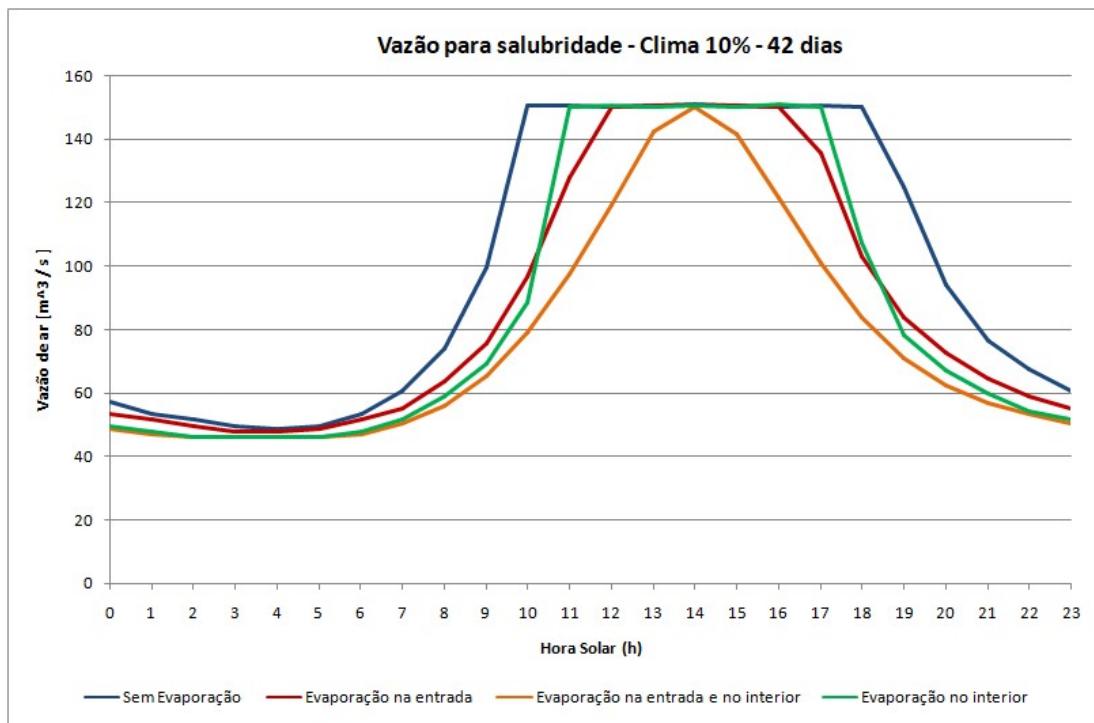


Fig. 59 – Vazão de ar do sistema configurado para manter o IEC na região de salubridade

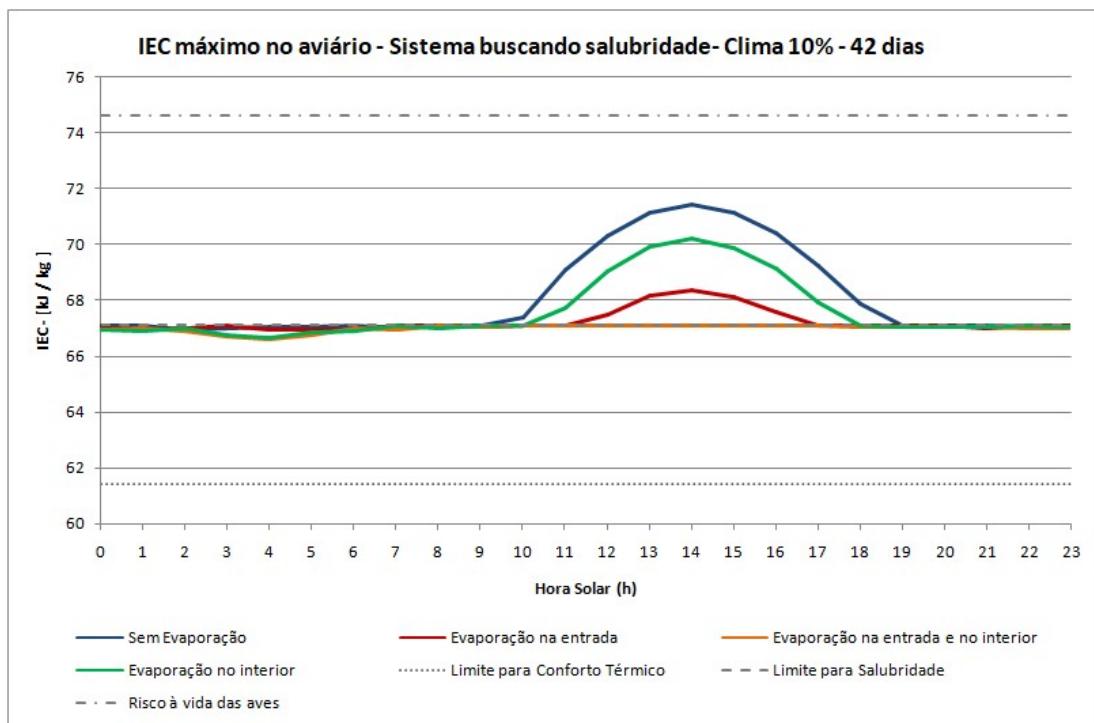


Fig. 60 – IEC máximo do sistema configurado para manter condição de salubridade

## 6. ANÁLISE E DISCUSSÃO

A partir de análise dos resultados das simulações, gráficos, pode-se verificar que nos casos estudados a utilização somente da ventilação simples não é suficiente para a manutenção de ambiente interno suportável para as aves.

A utilização dos processos evaporativos é fundamental para a manutenção de ambiente suportável, mas mostrou-se insuficiente para que o ambiente interno seja de conforto térmico, especialmente a partir da 4<sup>a</sup> semana de vida das aves.

No caso de aviários já construídos e em operação, é válido avaliar a efetividade de alternativas para lidar com as condições do aviário sem a necessidade de alteração na construção ou instalação de equipamentos no aviário, para que se possa analisar a viabilidade destas possíveis reformas.

Duas formas possíveis de tentar tornar o ambiente mais favorável são a diminuição da quantidade de aves dentro do aviário (caso seja possível prever a ocorrência de clima desfavorável durante a produção), e o aumento da vazão de ar acima da situação de conforto, em caso de emergência.

A diminuição da quantidade de aves no interior do aviário visa reduzir a carga térmica no seu interior, e o aumento da velocidade máxima permitida ocasiona um aumento na vazão mássica de ar insuflado, tornando possível maior absorção do calor rejeitado pelas aves.

A situação escolhida para avaliar a efetividade destes métodos é a de clima com freqüência 1% (TBS máximo 32,8 °C, amplitude térmica de 13 °C e TBU de 19 °C), aves com 42 dias, e a utilização de resfriamento evaporativo tanto na entrada quanto no interior do aviário.

Primeiramente, é feita a avaliação da redução da quantidade de aves, através da alteração na quantidade de aves de 30.000 para 25.000 e 20.000, obtendo-se os seguintes resultados:

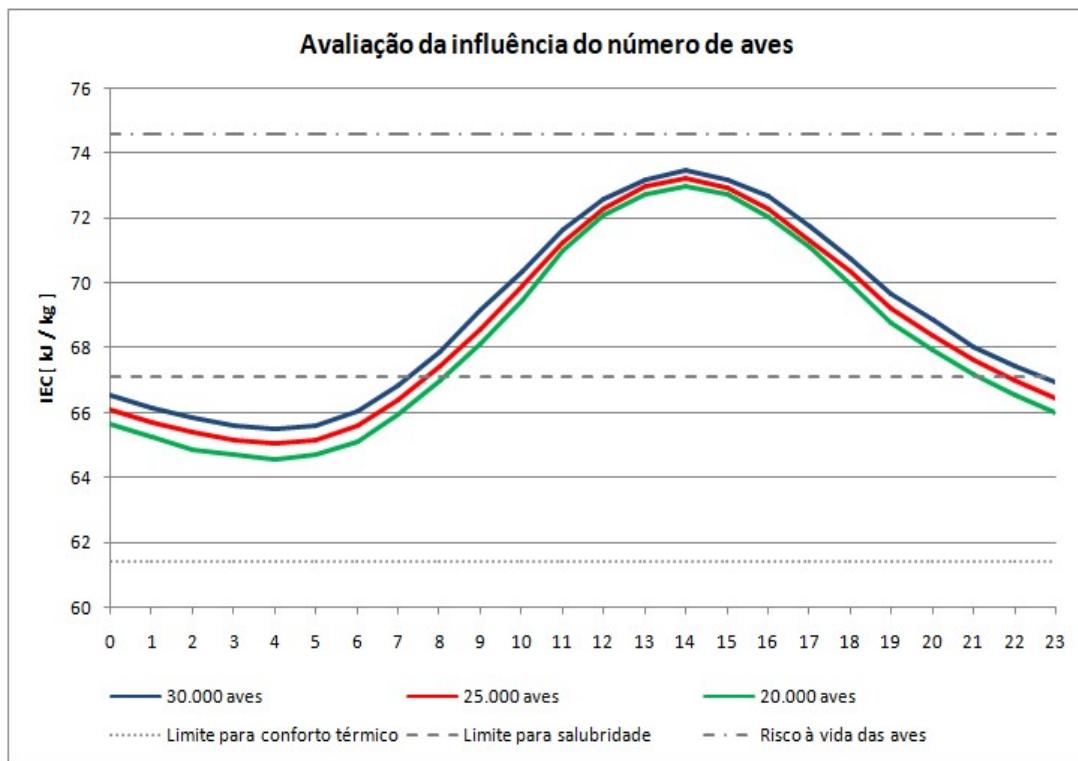


Fig. 61 – Avaliação da influência do número de aves no valor de IEC

As mudanças observadas são a diminuição do tempo em que as aves ficam em ambiente insalubre, de aproximadamente 15,5 horas em um aviário com 30.000 aves para 14,5 horas quando este número passa a ser de 25.000 aves e de 13,5 horas quando o número de aves do aviário passa a ser de 20.000, um decréscimo de 13%.

Tendo-se em mente que o número de aves é fruto de negociação entre o produtor e o frigorífico, e que a condição apresentada ocorre apenas em 1% dos dias, o decréscimo em 13% do tempo passado em condição de insalubridade não é suficiente para justificar a diminuição de 33% na quantidade de aves, e a consequente diminuição de receita.

De forma análoga, foi feita a simulação para uma velocidade de ar limitada não mais a 2,5 m/s, mas a 3,0 m/s e 3,5 m/s.

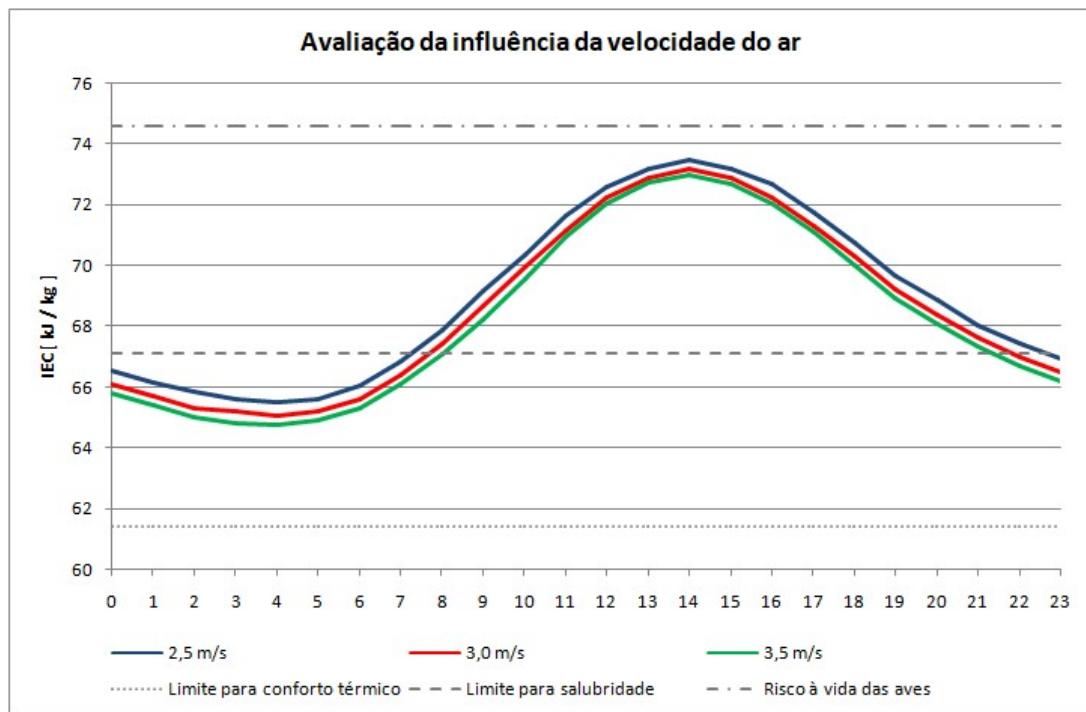


Fig. 62: Avaliação da influência do aumento na velocidade do ar no valor de IEC

O efeito do aumento da velocidade do ar no interior do aviário acima do limite de conforto térmico tem resultado semelhante ao da diminuição da quantidade de aves, reduzindo o período em que as aves ficam em ambiente insalubre de 15,5 horas na situação original para 14,3 horas se a velocidade aumenta para 3,0 m/s e para 13,2 com velocidade de 3,5 m/s, uma diminuição de cerca de 15%.

Esta alternativa é dependente da capacidade do sistema de ventilação de operar com uma vazão 40% maior do que a sua condição de projeto (no caso do aumento para 3,5 m/s), e é preciso estudo sobre qual é o efeito sobre as aves do aumento de velocidade do ar.

Todavia, como esta alteração não é dependente de negociação, e o custo de sua implementação é somente o da eletricidade adicional necessária para a operação dos ventiladores, pode ser aplicada em casos de emergência para reduzir o estresse ambiental ao qual as aves estão submetidas.

Verificando novamente as simulações realizadas é aparente que, com as formas de controle térmico propostas, a manutenção de ambiente interno do aviário favorável às aves é extremamente dependente do clima. Dessa forma, a melhor forma de

proteção contra as perdas decorrente de estresse térmico é o planejamento dos ciclos de produção de aves para evitar que os dias mais quentes do ano coincidam com a presença no aviário de aves já próximas do fim de ciclo.

## 7. CONCLUSÕES

A partir dos estudos realizados, foi possível verificar qual é a efetividade de diferentes formas de controle térmico em aviários de produção de frangos para corte. Em particular, pôde-se verificar que o sistema é muito dependente da idade das aves e do clima existente no ambiente externo.

Os métodos de controle propostos têm a sua eficácia dependente da diferença de temperatura entre o ar externo ao aviário e aquela que se necessita no seu interior. Especialmente nos dias mais quentes do ano, esta diferença pode ser insuficiente para a retirada do calor rejeitado pelas aves. A utilização de processos evaporativos tem por objetivo aumentar esta diferença, mas estes processos também são dependentes do clima, neste caso da diferença entre a umidade específica do ar e a umidade na condição de saturação.

Existem outras possibilidades para o controle térmico do aviário, como a utilização de sistema de resfriamento do ar insuflado por meio de trocadores de calor na entrada de ar ou a promoção de troca de calor no interior do aviário, preferencialmente no chão do mesmo. Uma vantagem deste tipo de solução é o fato de ela poder ser utilizada em conjunto com o resfriamento evaporativo. Todavia, para resfriar a quantidade de ar que o aviário movimenta seria necessário utilizar significativo volume de água gelada, caso seja possível obtê-la naturalmente, ou de grande potência no caso de um sistema que resfrie a água, tornando a sua viabilidade econômica questionável.

Pode-se afirmar desta forma que, se o objetivo do produtor é melhorar o desempenho de cada ave, a principal providência a ser tomada é fazer um estudo antes do recebimento das aves a fim de verificar quais serão as condições climáticas nos momentos de maior necessidade de rejeição de calor por parte do aviário. Dada a disponibilidade pelo governo ou por empresas privadas, de previsões meteorológicas para a maioria dos municípios do Brasil, em particular na Região Sul, onde é mais intensa a produção de frangos de corte, pode-se também avaliar a possibilidade de antecipar ou postergar o início de produção, ou antecipar o final da produção para melhor lidar com as condições climáticas presentes.

Como prosseguimento do estudo do tema, propõe-se um estudo para avaliar qual é a influência econômica do conforto térmico na produção de aves. Para tanto, é necessário definir qual exatamente é a relação entre o conforto térmico e o desempenho da ave, e a relação entre desempenho da ave (peso e ração consumida) e o lucro obtido pelo produtor.

Uma forma de estudar a relação entre o ambiente térmico e o peso final da ave, seria realizar a medição contínua de temperatura de um setor próximo à entrada de ar do aviário e um na saída de ar do aviário, e concomitantemente fazer um estudo estatístico da evolução do peso e do consumo de água e ração das aves nestas duas seções. Dada a quantidade de aves presente no aviário é possível que seja feito um estudo estatisticamente significativo, e tendo-se em vista que as aves estudadas estariam no mesmo aviário, pode-se considerar que estaria sendo feito o isolamento da influência da condição de ambiente térmico no desempenho das aves, sendo outros fatores como iluminação, ruído, qualidade de ração, entre outros constantes para as duas populações.

Uma vez encontrada esta relação, torna-se possível definir, para determinada condição ambiente futura, exatamente qual seria a quantidade ideal de aves a ser produzida, a necessidade de antecipar ou retardar o início de produção, ou mesmo, em casos de emergência, antecipar o fim da produção para evitar períodos de elevado estresse térmico que não são úteis para a melhora da condição das aves.

A utilização destes dados pode resultar na melhora de condições para os produtores, e seus funcionários que manejam os aviários. E ainda, pode aumentar a eficiência do setor de produção de frangos de corte no Brasil, com possíveis ganhos de competitividade em um mercado internacional com grande concorrência.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, P.G., ABREU, V.M.N., 2000, “Ventilação na avicultura de corte.” Embrapa Suínos e Aves.
- ASHRAE, 1997, “1997 HVAC Fundamentals – SI Edition”, New York.
- ASHRAE, 2005, “2005 HVAC Fundamentals – SI Edition”, New York.
- ASHRAE, 2007, “2007 HVAC Applications – SI Edition”, New York.
- ASHRAE, 2009, “2009 HVAC Fundamentals – SI Edition”, New York.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. ABNT, 2008.
- BARBOSA FILHO, J.A.D., Vasconcelos Queiroz, M.L., Corrêa Vieria, F.M., 2007, “Guia Prático para a Utilização de tabelas de Entalpia”, Núcleo de Pesquisa em Ambiência –NUPEA - ESALQ / USP.
- CNA, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, 2016, “Balanço 2016 e Perpectivas 2017”, São Paulo.
- COBB-VANTRESS do Brasil, LTDA., 2009, “Manual de Manejo de Frangos de Corte”, Guapiaçu, Brasil.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, “Estatísticas | Desempenho da produção”, atualizado em 28/03/2017. Disponível em <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>, acessado em 08/02/2018.
- INCROPERA, F.P., DeWitt, D.P. , Transferência de Calor e de Massa, LTC Editora, 2003.
- MARIANI, A. L., Bolliger Jr., R., “Notas de aula PME 2515 – Ar condicionado e ventilação”, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.
- SINDIAVIPAR, Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná, “PR: Estado líder em produção e exportação avícola reúne especialistas do setor em

Workshop”, 26/10/2016, disponível em <<http://sindiavipar.com.br/index.php?modulo=5&acao=detalhe&cod=175775>>, acessado em 08/02/2018.