

RESFRIAMENTO EVAPORATIVO



Profº. Dr. Iran José Oliveira da Silva
NUPEA - ESALQ/USP,
2013

INTRODUÇÃO

- Quando a água evapora de uma superfície, essa superfície resfria-se porque a água requer calor para mudar do estado líquido para o de vapor;
- Cada grama de água evaporada retira 590 calorias em forma de calor sensível;

2

INTRODUÇÃO

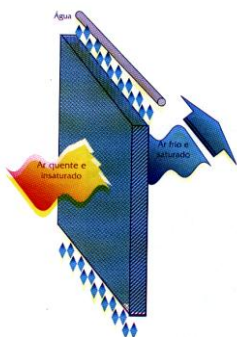
- Conforme o ar entra em contato com a água, esse a absorve.
- A quantidade de água absorvida depende da quantidade de água existente no ar.
- Quando o ar quente e insaturado entra em contato com uma superfície molhada, parte da água é evaporada.
- O ar se resfria-se e o processo continua até que o ar esteja saturado;

3

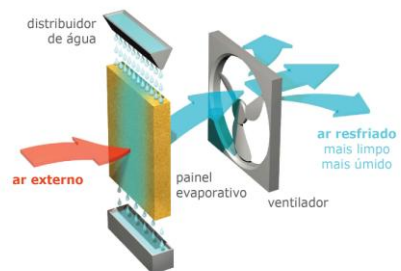
INTRODUÇÃO

- O resfriamento evaporativo é um processo adiabático, ou seja, não há nenhum ganho ou perda de calor.
- A energia requerida para evaporar a água é suprida pelo ar com conseqüente umedecimento do ar insaturado e redução da temperatura de bulbo seco.

4



5



6

SISTEMAS DE RESFRIAMENTO:

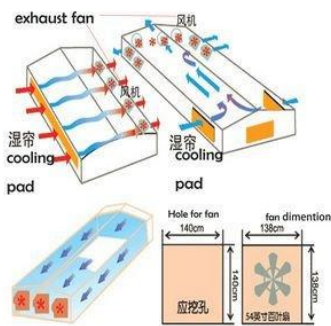
- Pad Cooling;
- Nebulização;
- Sistema acoplado de ventilação e umidificação;
- Aspersão sobre cobertura.

7

PAD COOLING

- Sistema totalmente automatizado com ventilação negativa em túnel;
- Painéis evaporativos de celulose;
- Suprimento de água:
 - Tradicional
 - Aspersão

8

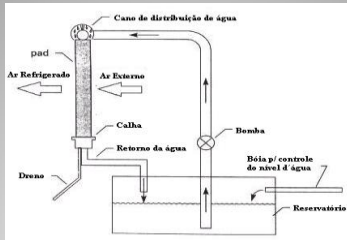


9

PAD COOLING



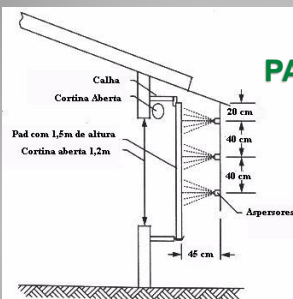
FIG. 9 Sistema de resfriamento evaporativo, tradicional, com abastecimento de água superior.



PAD COOLING

11

PAD COOLING

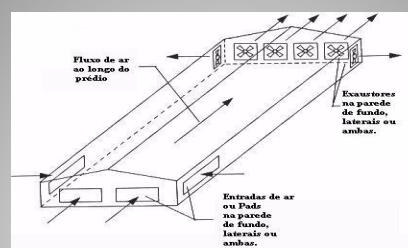


12



PAD COOLING

13



PAD COOLING

14

Exemplo de Dimensionamento:

1. Cálculo da secção de entrada de ar:

$$A = L \times H$$

Onde:

A = área do painel evaporativo, m²;

• L = largura do aviário, m;

• H = altura média do aviário

• = metade do pé direito + altura da cumeeira, m.

15

Exemplo:

1. Considerando um aviário com dimensões de 12m x 125m, pé direito de 2,5m e altura da cumeeira de 5m, a área do painel evaporativo será de:

$$A = 12,3,75 = 45m^2$$

- Cada painel terá: 22,5 m²
- 2 painéis de 1,8 x 13m

16



PAD COOLING

17



PAD COOLING

18

NEBULIZAÇÃO

- Sistema constituído de bicos nebulizadores que fragmentam a água em minúsculas gotas, distribuindo-as no ambiente;
- Baixa e alta pressão;
- Qto. > a pressão \Rightarrow > a quebra da gota d'água;

19

COMPONENTES DO SISTEMA DE NEBULIZAÇÃO

- **Conjunto Moto-Bomba:**
 - é o organismo responsável para imprimir ao sistema a energia necessária à adução e distribuição de água;

20

COMPONENTES DO SISTEMA DE NEBULIZAÇÃO

- **Tubulações:**
 - Linha de suprimento: conduz a água da fonte de abastecimento à linha principal;
 - **Linha principal:** normalmente situada no centro ou nos limites do galpão, liga a linha de suprimento às linhas de nebulização;
 - **Linha de Nebulização:** também chamada de secundária, conduz a água da linha principal ao nebulizadores;

21

COMPONENTES DO SISTEMA DE NEBULIZAÇÃO

- **Nebulizadores:**
 - tem a função de pulverizar o jato d'água, distribuindo-o em forma de chuva.
 - Bicos de cerâmica, metálicos ou plástico;
- **Acessórios:**
 - válvulas, filtros, registros, suportes e manômetros;

22

CLASSIFICAÇÃO QUANTO À PRESSÃO:

- **Alta Pressão (Fogging):**
 - ♦ 400 a 700 psi (2,7 a 4,8 Mpa)
 - ♦ 10 a 15 microns
- **Baixa Pressão (Misting):**
 - ♦ 100 a 200 psi (0,6 a 1,3 Mpa)
 - ♦ 30 microns
- **Aspersão (Sprinklers):**
 - ♦ 10 a 30 psi (0,06 a 0,1 Mpa)

23

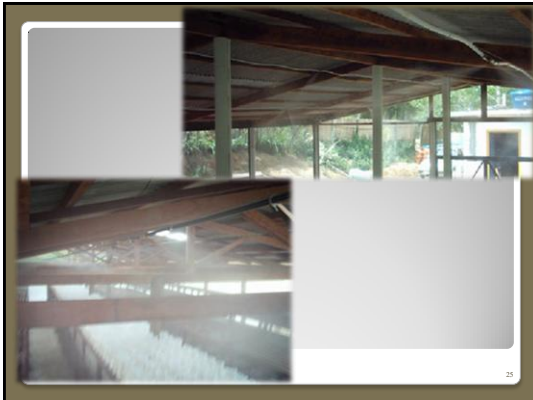


FIG. 11 - Sistema de nebulização.

SISTEMA DE RESFRIAMENTO POR NEBULIZAÇÃO

Vazão = 6,2 L/h - Pressão = 170 - 200 psi
Vazão = 7,5 L/h - Pressão = 90 - 100 psi

24



25

Uniformidade da Nebulização

- O ângulo de pulverização deve ser de 45°;
- evitar obstáculos às gotas;
- altura do sistema;
- tamanho das gotas;
- jato homogêneo;
- pressão uniforme em todos os bicos (variação máx de 20%);
- vazão uniforme em todos os bicos (variação máx de 10%);

26

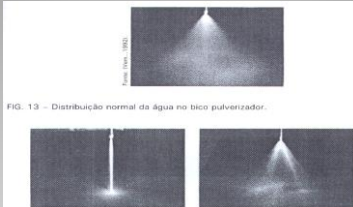


FIG. 13 – Distribuição normal da água no bico pulverizador.

FIG. 14 – Distribuição da água em bicos pulverizadores defeituosos.

Distribuição da Água nos Bicos

27

Modelo S-16A – Dados da performance de bicos de jatos

Arco Ajustável de 25° a 360°
Cor: Azul

Sector	Pressão		Raio m	Caudal		Proc. mm/h	
	Bar	MPa		m³/h	l/min	■	▲
90°	1,4	138	4,6	0,09	1,5	17	20
	1,7	172	4,9	0,10	1,7	18	20
	2,1	207	4,9	0,11	1,9	19	22
	2,4	241	5,2	0,12	2,0	18	21
	2,8	276	5,5	0,13	2,2	17	20
180°	1,4	138	4,6	0,15	2,5	15	17
	1,7	172	4,9	0,18	3,0	15	18
	2,1	207	4,9	0,20	3,3	17	19
	2,4	241	5,2	0,21	3,7	16	19
	2,8	276	5,5	0,24	3,9	16	18
360°	1,4	138	4,6	0,27	4,5	13	15
	1,7	172	4,9	0,33	5,5	14	16
	2,1	207	4,9	0,38	6,3	16	18
	2,4	241	5,2	0,41	6,9	15	18
	2,8	276	5,5	0,45	7,5	15	17



28

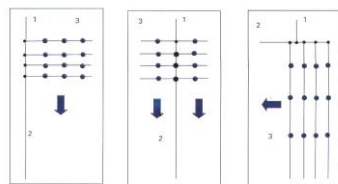


FIG. 12 - Disposição em pente das tubulações, do sistema de nebulização no interior do aviário. 1- Linha de suprimento; 2- Linha principal; 3- Linha de nebulização.

Lay Out dos Sistemas

29

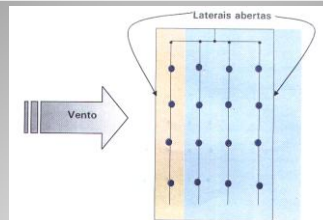
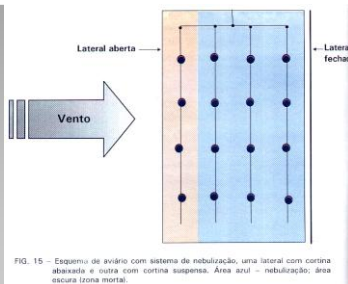


FIG. 16 - Esquema de aviário com sistema de nebulização, as duas laterais com cortinas abertas. Área azul - nebulização; área escura (zona morta).

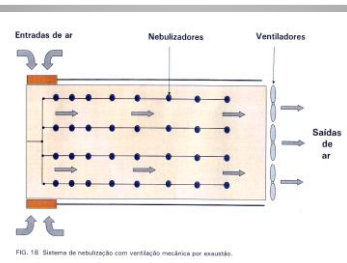
SISTEMA DE RESFRIAMENTO POR NEBULIZAÇÃO - Perdas

30



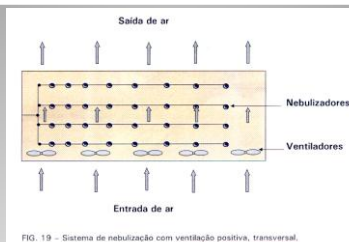
SISTEMA DE RESFRIAMENTO POR NEBULIZAÇÃO - Perdas

31



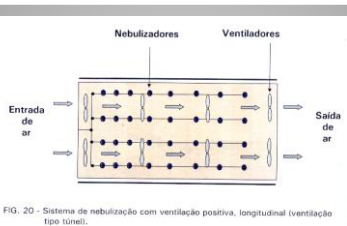
SISTEMA DE RESFRIAMENTO POR NEBULIZAÇÃO

32



SISTEMA DE RESFRIAMENTO POR NEBULIZAÇÃO

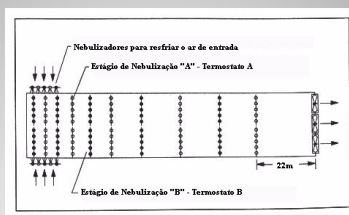
33



SISTEMA DE RESFRIAMENTO POR NEBULIZAÇÃO

34

Esquema de acionamento de nebulizadores

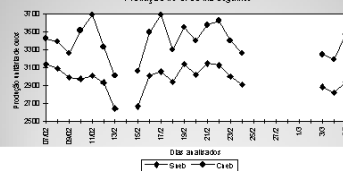


35

RESPOSTA	CONTROLE	RESFRIADA	DIFERENÇA
Consumo de alimento (matéria seca)	kg / dia 17,8	kg / dia 19,1	% 7,1
Produção de leite	Kg / dia 18,1	Kg / dia 20,2	% 11,6
Respiração / minuto	96	57	-41 %

Fonte: Bucklin et al., 1991.

Produção de ovos dia seguinte



36

Tabela 1 - Indicativo econômico/animal/mês, para os diferentes tratamentos

	Aspersão	Nebulização	Diferença
Consumo de água/animal/mês (l)	8271,4	735,7	7535,7
Gasto p/ bombear água/animal/mês (R\$)	2,0	0,18	1,82
Gasto energia pela bomba na linha/animal/mês (R\$)	1,1	0,6	0,5
Consumo de energia vent/animal (kW/mês)	17,0	18,1	-1,1
Gasto de energia com vent/animal (R\$/mês)	2,77	2,96	-0,19
Consumo energia mensal/animal (kW/mês)/animal	36,05	22,9	13,15
Gasto com energia mensal/animal (R\$/mês)	5,9	3,8	2,1
Custo/alimentação MS(kg) (R\$)/mês/animal	166,5	165,4	1,1
Produção média de leite/animal/mês	609	591	18
Ganho com o leite (R\$/mês/animal)	274,1	266,0	8,1
Ganho/mês/animal - gasto/mês/animal (R\$)	101,7	95,8	5,9

Perrissinotto et al, 2006.

37

Desempenho do Sistema de Resfriamento:

- O desempenho do resfriamento evaporativo está diretamente relacionado à capacidade para evaporar a água até certo grau de umidade relativa do ar;

38

Desempenho do Sistema de Resfriamento:

$$\eta = \frac{T_{bss} - T_{bsr}}{T_{bss} - T_{bur}} \times 100$$

• Onde:

- η = eficiência do resfriamento evaporativo, %;
- T_{bss} = T_{bs} antes do resfriamento, °C;
- T_{bsr} = T_{bs} do ar resfriado, °C;
- T_{bur} = T_{bu} do ar resfriado, °C;

39

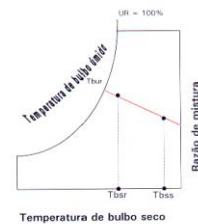


FIG. 23 - Processo psicrométrico para o resfriamento adiabático.

Processo Psicrométrico

40

Cálculo da eficiência do resfriamento evaporativo:

$$\eta = \frac{W_m - W_i}{W_f - W_i} \times 100$$

• Onde:

- W_m = razão de mistura do ar após o resfriamento, kg/kg;
- W_i = razão de mistura do ar antes do resfriamento, kg/kg;
- W_f = razão de mistura do ar saturado, kg/kg;

41

$$\eta = \frac{T_c - T_d}{T_c - T_f} \times 100$$

$$T_c = T_a + \frac{Q_s}{m \cdot C_p}$$

• Onde:

- Q_s = calor sensível produzido pelos animais, paredes, iluminação,...W
- m = fluxo de massa da ventilação do ar, kg/s
- C_p = calor específico do ar, J/kg.K

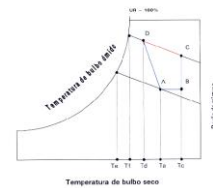


FIG. 24 - Processo psicrométrico que ocorre em aviários equipados com sistema de resfriamento evaporativo.

42

Cálculo do número de bicos nebulizadores

$$N = \frac{E \cdot Q_v \cdot \rho_{ar} \cdot \Delta W \cdot 0,01}{Q_n \cdot \rho_{água}}$$

♦ Onde:

- N = número de nebulizadores;
- E = eficiência evaporativa;
- ρ_{ar} = densidade do ar, kg/m³;
- ΔW = diferencial entre razão de mistura final e inicial, kg/kg;
- Q_n = vazão dos nebulizadores, l/min;
- Q_v = capacidade dos ventiladores, m³/min;
- $\rho_{água}$ = densidade da água, kg/l;

43

Exemplo de Dimensionamento:

- Aviário com dimensões de 12m x 125m;
- Capacidade do ventilador: $Q_v = 500 \text{ m}^3/\text{min}$;
- 10 ventiladores = $5000 \text{ m}^3/\text{min}$;
- Eficiência Evaporativa = 40%;
- Capacidade do nebulizador = 5,5l/h;
- $T_{bs} = 35^\circ\text{C}$;
- UR = 23,7%;
- $T_{po} = 20^\circ\text{C}$.

44

Exemplo de Dimensionamento:

1. Cálculo da diferença entre a razão de mistura final e inicial (ΔW):

$$W_i = 8,2 \text{ g/kg} = 0,0082 \text{ kg/kg}$$

$$W_f = 14,8 \text{ g/kg} = 0,0148 \text{ kg/kg}$$

$$\Delta W = 0,0082 - 0,0148 = 0,0066 \text{ kg/kg}$$

45

Exemplo de Dimensionamento:

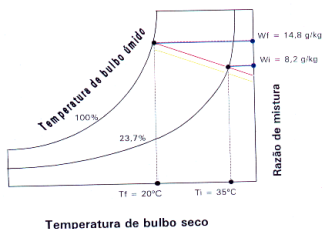
2. Cálculo do número de bicos nebulizadores:

$$N = \frac{E \cdot Q_v \cdot \rho_{ar} \cdot \Delta W \cdot 0,01}{Q_n \cdot \rho_{água}}$$

$$N = \frac{40 \cdot 5000 \cdot 1,1314 \cdot 0,0066 \cdot 0,01}{0,0916 \cdot 1} = 163$$

46

Exercício



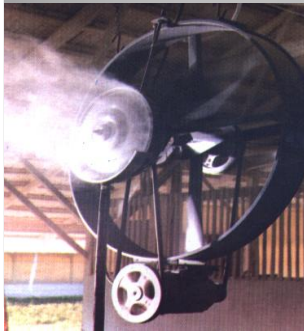
47

TABLA 4 - Valores da densidade do ar em função da temperatura (Incropera e DeWitt, 1985)

T (°C)	ρ (kg/m ³)	T (°C)	ρ (kg/m ³)	T (°C)	ρ (kg/m ³)	T (°C)	ρ (kg/m ³)
0	1,2852	13	1,2233	26	1,1914	39	1,1181
1	1,2804	14	1,2185	27	1,1581	40	1,1148
2	1,2757	15	1,2138	28	1,1547	41	1,1115
3	1,2709	16	1,2090	29	1,1514	42	1,1082
4	1,2662	17	1,2043	30	1,1481	43	1,1049
5	1,2614	18	1,1995	31	1,1448	44	1,1015
6	1,2566	19	1,1947	32	1,1414	45	1,0982
7	1,2519	20	1,1900	33	1,1381	46	1,0948
8	1,2471	21	1,1852	34	1,1348	47	1,0915
9	1,2423	22	1,1804	35	1,1314	48	1,0882
10	1,2375	23	1,1757	36	1,1281	49	1,0849
11	1,2328	24	1,1709	37	1,1248	50	1,0815
12	1,2281	25	1,1662	38	1,1215	51	1,0782

48

SISTEMAS CONJUGADOS



49

SISTEMAS CONJUGADOS



4 a 12 bicos - Cada bico c/ vazão de 4 L/h

50

ASPERSÃO NO TELHADO



51