

SÉRGIO ZOLNIER

POTENCIALIDADE DA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO
ADIABÁTICO — EVAPORATIVO — NA PRODUÇÃO DE LEITE

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

T
571.580
ZOLNIER
1991
EXC. 1

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
DEZEMBRO - 1991

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

Ficha catalográfica preparada pela Área de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

286p
1991

Zolnier, Sérgio.

Potencialidade da utilização do sistema de resfriamento adiabático — evaporativo — na produção de leite. Viçosa, UFV, 1991.

85p. ilustr.

Tese (M.S.) - UFV

1. Instalações agrícolas - Resfriamento adiabático. 2. Bovinos leiteiros - Produção - Efeito do resfriamento adiabático. 3. Bioclimatologia animal. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 18.ed. 636.20831

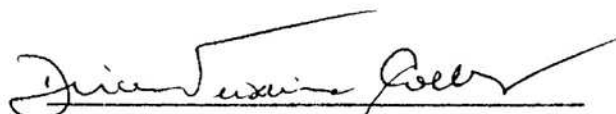
CDD 19.ed. 636.20831

SÉRGIO ZOLNIER

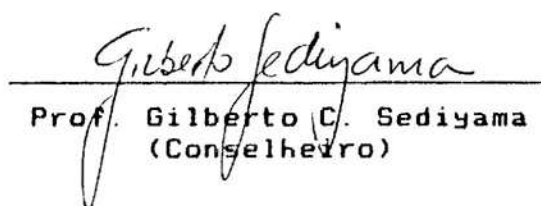
POTENCIALIDADE DA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE RESFRIAMENTO
ADIABÁTICO — EVAPORATIVO — NA PRODUÇÃO DE LEITE

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

APROVADA: 30 de agosto de 1991



Prof. Dirceu T. Coelho
(Conselheiro)



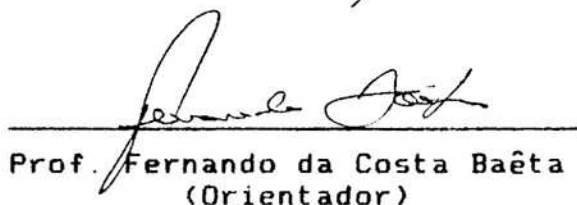
Prof. Gilberto C. Sedyama
(Conselheiro)



Profa. Ilda de F. F. Tinôco



Prof. Hélio Alves Vieira



Prof. Fernando da Costa Baêta
(Orientador)

A Deus, que dia após dia
renova a vida na face da Terra,
Aos meus pais Júlio e Albina,
Aos meus irmãos Mário e Leocádia.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de realização deste Curso de Mestrado.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor Fernando da Costa Baêta, pela orientação e estímulo constantes, que possibilitaram a conclusão deste trabalho.

Aos Professores Conselheiros Dirceu Teixeira Coelho e Gilberto Chohaku Sedyama, pelas sugestões.

Aos demais professores, colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV.

Ao 5º e 6º Distritos de Meteorologia do Departamento Nacional de Meteorologia, pelo fornecimento de dados.

BIOGRAFIA

SÉRGIO ZOLNIER, filho de Júlio Zolnier e Albina Zolnier, nasceu em Cascavel, Estado do Paraná, em 12 de dezembro de 1965.

No período de agosto a dezembro de 1988, lecionou Física no Colégio Ideal de Cascavel.

Em dezembro de 1988, concluiu o Curso de Engenharia Agrícola, na Universidade do Oeste do Paraná.

Em fevereiro de 1989, iniciou o Curso de Pós-Graduação, mestrado, em Meteorologia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
EXTRATO	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Efeito do Desconforto Provocado pelo Calor no Animal	4
2.2. Declínio Produtivo do Gado Holandês Causado pelo Estresse Calórico	5
2.3. Sistemas de Acondicionamento Térmico	7
2.4. Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo	8
2.4.1. Teoria e Desempenho do Sistema	8
2.4.2. Eficiência de Resfriamento	10

2.4.3. Parâmetros para o Dimensionamento do Sistema	13
2.4.4. Manejo da Umidade do Ar	15
3. METODOLOGIA	16
3.1. Dados Climáticos	16
3.2. Localização das Estações	16
3.3. Estimativa da Redução na Produção de Leite e no Consumo Alimentar Causada pelo Estresse Calórico	17
3.4. Estimativa do Aumento na Produção de Leite e no Consumo Alimentar Proporcionado pelo Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo	18
3.5. Condições Operacionais Assumidas	21
3.5.1. Resfriamento Adiabático Potencial	21
3.5.2. Resfriamento Adiabático Não-Potencial	22
3.6. Determinação da Temperatura do Ponto de Orvalho	23
3.7. Determinação da Temperatura de Bulbo Úmido	23
3.8. Determinação de Valores de Temperaturas de Bulbo Seco e Bulbo Úmido, para o Dimensionamento do Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Estimativa da Redução na Produção de Leite e no Consumo Alimentar Causada pelo Estresse Calórico	26

4.2. Estimativa do Aumento na Produção de Leite e no Consumo Alimentar Proporcionado pelo Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo	30
4.2.1. Resfriamento Potencial	30
4.2.2. Resfriamento Não-Potencial	34
4.2.2.1. Temperatura de Acionamento	34
4.2.2.2. Comparação entre o Aumento Estimado na Produção de Leite e no Consumo Alimentar	43
4.2.2.3. Eficiência Máxima de Resfriamento	46
4.3. Determinação de Valores de Temperatura de Bulbo Seco e Bulbo Úmido, para o Dimensionamento do Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo	53
5. RESUMO E CONCLUSÕES	57
BIBLIOGRAFIA	61
APÊNDICES	65
APÊNDICE A	66
APÊNDICE B	71

LISTA DE QUADROS

QUADRO		Página
1	Coordenadas Geográficas das Estações Seleccionadas e Período de Registro Estudado ...	17
2	Valores Horários Médios (M) e Desvio-Padrão (D) da Temperatura e Umidade Relativa do Ar, para o Período de Dezembro a Março, Referentes às Localidades Estudadas	27
3	Valores Médios Estimados (M) da Redução na Produção de Leite (RPL), para Distintos Níveis de Produção (NP), e no Consumo Alimentar (RCA) e Desvio-Padrão (D) das Respectivas Estimativas, para o Período de Dezembro a Março, Referentes às Localidades Estudadas	28
4	Frequência Relativa Horária (Fh) em que Distintos Valores da Temperatura de Bulbo Seco Foram Igualados ou Superados e Mediana de Bulbo Úmido (Md) Correspondente aos Valores	

	Apresentados para o Período de Dezembro a Março, Referentes às Localidades Estudadas	54
5	Valores de Temperatura de Bulbo Seco (t_{BS}) que Foram Igualados ou Superados em 1, 2,5 e 5% das Horas do Período de Dezembro a Março e Mediana de Bulbo Úmido (t_{BU}) Correspondente, Recomendados pela ASHRAE para o Dimensionamento do SRAE	55
1A	Frequência Relativa Diária (F_d) em que Distintos Valores do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) Foram Igualados ou Superados para os Meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro, Referentes às Localidades de Barbacena, Montes Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa	66
1B	Valores Médios Estimados (M) do Aumento na Produção de Leite (APL) e no Consumo Alimentar (ACA), Tempo de Acionamento do SRAE (t), Desvio-Padrão (D) das Respektivas Estimativas, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80%, Nps de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 kg/Animal.Dia, e Distintas Temperaturas de Acionamento (T), Referentes às Localidades de Barbacena, Montes Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa	71
2B	Valores Médios Estimados (M) do Aumento na Produção de Leite (APL) e no Consumo Alimentar (ACA), Tempo de Acionamento do SRAE (t), Desvio-Padrão (D) das Respektivas Estimativas,	

- para o Período de Dezembro a Março, EMR de 60%,
Nps de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 kg/Animal.Dia, e
Distintas Temperaturas de Acionamento (T),
Referentes às Localidades de Barbacena, Montes
Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa 76
- 3B Valores Médios Estimados (M) do Aumento na
Produção de Leite (APL) e no Consumo Alimentar
(ACA), Tempo de Acionamento do SRAE (t),
Desvio-Padrão (D) das Respectivas Estimativas,
para o Período de Dezembro a Março, EMR de 40%,
NPs de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 kg/Animal.Dia, e
Distintas Temperaturas de Acionamento (T),
Referentes às Localidades de Barbacena, Montes
Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa 81

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Gráfico Psicrométrico e Desempenho do SRAE	9
2	Gráfico Psicrométrico com os Limites de Temperatura e Umidade Relativa do Ar, entre os Quais Foi Considerado em Operação o SRAE	19
3	Curvas da Redução Estimada na Produção de Leite em Função do Nível de Produção, para o Período de Dezembro a Março, Assumindo-se que o SRAE Está Atuando na Condição Potencial, Referentes às Localidades de Barbacena (A) e Montes Claros (B)	31
4	Curvas da Redução Estimada na Produção de Leite em Função do Nível de Produção, para o Período de Dezembro a Março, Assumindo-se que o SRAE Está Atuando na Condição Potencial, Referentes às Localidades de Patos de Minas (A) e Pompéu (B)	32

5	Curvas da Redução Estimada na Produção de Leite em Função do Nível de Produção, para o Período de Dezembro a Março, Assumindo-se que o SRAE Está Atuando na Condição Potencial, Referentes à Localidade de Viçosa	33
6	Curvas do Aumento Estimado na Produção de Leite e Tempo de Acionamento do SRAE, em Função da Temperatura de Acionamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Barbacena (A) e Montes Claros (B)	36
7	Curvas do Aumento Estimado na Produção de Leite e Tempo de Acionamento do SRAE, em Função da Temperatura de Acionamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Patos de Minas (A) e Pompéu (B)	37
8	Curvas do Aumento Estimado na Produção de Leite e Tempo de Acionamento do SRAE, em Função da Temperatura de Acionamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes à Localidade de Viçosa	38
9	Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite e Tempo Relativo de Acionamento do SRAE, em Função da Temperatura de Acionamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Barbacena (A) e Montes Claros (B)	40

10	Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite e Tempo Relativo de Acionamento do SRAE, em Função da Temperatura de Acionamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Patos de Minas (A) e Pompéu (B)	41
11	Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite e Tempo Relativo de Acionamento do SRAE, em Função da Temperatura de Acionamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes à Localidade de Viçosa	42
12	Curvas do Aumento Estimado na Produção de Leite em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, NP de 25 kg/Animal.Dia, EMR de 80% e Localidades Consideradas	44
13	Curvas do Aumento Estimado no Consumo Alimentar em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Localidades Consideradas	45
14	Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, NP de 25 kg/Animal.Dia e Distintas EMRs, Referentes às Localidades de Barbacena (A) e Montes Claros (B)	47

- 15 Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, NP de 25 kg/Animal.Dia e Distintas EMRs, Referentes às Localidades de Patos de Minas (A) e Pompéu (B) 48
- 16 Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, NP de 25 kg/Animal.Dia e Distintas EMRs, Referentes à Localidade de Viçosa 49
- 17 Curvas do Aumento na Produção de Leite em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, EMRs de 40 (Linha Contínua) e 80% (Linha Tracejada) e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Barbacena (A) e Montes Claros (B) 50
- 18 Curvas do Aumento na Produção de Leite em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, EMRs de 40 (Linha Contínua) e 80% (Linha Tracejada) e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Patos de Minas (A) e Pompéu (B) 51
- 19 Curvas do Aumento na Produção de Leite em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, EMRs de 40 (Linha Contínua) e 80% (Linha Tracejada) e

Distintos NPs, Referentes à Localidade de	
Viçosa	52

LISTA DE SÍMBOLOS

- ACA = aumento no consumo alimentar, kg/animal.dia.
- APL = aumento na produção de leite, kg/animal.dia.
- C_p = calor específico do ar seco à pressão constante,
 $1.005 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.
- e = pressão de vapor, hPa.
- e_s = pressão de saturação de vapor d'água, hPa.
- EMR = eficiência máxima de resfriamento do sistema,
adimensional.
- f = eficiência de resfriamento do sistema, adimensional.
- ITU = índice de temperatura e umidade.
- L = calor latente de evaporação, J.kg^{-1} .
- NP = nível de produção de leite do animal na ausência do
estresse calórico, kg/animal.dia.
- P = pressão atmosférica média do local, hPa.
- q_s = calor sensível a ser removido pelo sistema de
ventilação, W.
- RCA = redução no consumo alimentar em base seca,
kg/animal.dia.

- RPL = redução na produção de leite, kg/animal.dia.
- SRAE = sistema de resfriamento adiabático — evaporativo.
- t_{BS} = temperatura de bulbo seco, °C.
- t'_{BS} = temperatura de bulbo seco na saída do resfriador adiabático, °C.
- t_{BSi} = temperatura de bulbo seco dentro da instalação, °C.
- t_{BSe} = temperatura de bulbo seco fora da instalação, °C.
- t_{BU} = temperatura de bulbo úmido, °C
- t_{PO} = temperatura do ponto de orvalho, °C.
- UR = umidade relativa, %.
- V_S = taxa de ventilação para remoção do calor sensível, $m^3 \cdot s^{-1}$.
- v = volume específico do ar seco, $m^3 \cdot kg^{-1}$.
- α = taxa de variação na pressão de saturação de vapor d'água com a temperatura, $hPa \cdot ^\circ C^{-1}$.
- γ = constante psicrométrica, $hPa \cdot ^\circ C^{-1}$.

EXTRATO

ZOLNIER, Sérgio, M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1991. Potencialidade da Utilização do Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo — na Produção de Leite. Professor Orientador: Fernando da Costa Baêta. Professores Conselheiros: Dirceu Teixeira Coelho e Gilberto Chohaku Sedyama.

Em instalações agrícolas, o sistema de resfriamento adiabático — evaporativo — tem-se mostrado método valioso para reduzir o desconforto causado pelo calor.

O presente trabalho foi elaborado com o propósito de estimar o potencial climático, em termos de aumento na produção de leite, para a utilização do sistema de resfriamento adiabático nas localidades de Barbacena, Montes Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa, no período de dezembro a março. Considerou-se a raça Holandesa com níveis de produção de leite de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 kg/animal.dia.

Por depender da depressão psicrométrica do ar, o sistema de resfriamento adiabático não pode eliminar todo o

estresse calórico do animal, mesmo atuando na sua potencialidade. Para o nível de produção de 25 kg/animal.dia, no período de dezembro a março, o sistema, acionado a partir de 23 °C e com eficiência máxima de resfriamento de 80%, pode reduzir 50% do estresse em Barbacena, 70% em Pompéu, 75% em Viçosa, 80% em Montes Claros e 90% em Patos de Minas. Entretanto, o benefício estimado para o período, em termos de aumento na produção de leite, é de aproximadamente 5 kg/animal para Patos de Minas e Viçosa, 10 para Barbacena, 35 para Pompéu e 45 para Montes Claros, o que mostra que para a implantação desse sistema devem ser analisados: a presença do estresse calórico constatado a partir da estimativa da redução na produção de leite e o potencial climático da região para o seu desempenho.

Finalmente, foram determinados valores de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, para o dimensionamento do sistema nas localidades estudadas.

1. INTRODUÇÃO

A escolha de raças especializadas na produção de leite e as condições ambientais de criação são fundamentais para o retorno econômico do investimento, por meio do melhor aproveitamento da alimentação, dos produtos veterinários, da mão-de-obra e da instalação.

Entre as principais raças de gado leiteiro utilizadas comercialmente, a Holandesa tem-se destacado por apresentar alto potencial genético de produção de leite. Entretanto, o estresse térmico é um dos fatores que impedem o animal de alcançar o seu potencial produtivo, aumentando, assim, a relação custos/benefícios (BUFFINGTON et alii, 1981).

Nas últimas décadas, experimentos conduzidos em câmaras climáticas permitiram estabelecer relações entre estresse térmico e redução na produção de leite. Nesses estudos, tem-se observado que os animais mais produtivos são mais sensíveis ao desconforto provocado pelo calor (HAHN e OSBURN, 1969).

Em instalações agrícolas, o sistema de resfriamento adiabático — evaporativo — tem-se mostrado método valioso para reduzir o desconforto provocado pelo calor. No entanto, experimentos realizados na Califórnia, Arizona, Texas, Oklahoma, Indiana e outros locais dos Estados Unidos apresentaram resultados diferentes, em termos de aumento na produção de leite (HAHN e OSBURN, 1970).

Segundo CURTIS (1983), essas diferenças são explicadas pelas condições climáticas particulares de cada localidade, fazendo com que o desempenho produtivo dos animais seja afetado de forma diferenciada.

Considerando-se que o desconhecimento dos benefícios do sistema de resfriamento adiabático — evaporativo —, em termos de aumento na produção de leite, por parte dos produtores, constitui um problema para a difusão dessa técnica, o presente trabalho foi conduzido com os seguintes objetivos:

- a) Avaliar a potencialidade do sistema de resfriamento adiabático — evaporativo — na produção de leite de vacas da raça Holandesa, considerando-se o período de dezembro a março, para as localidades de Barbacena, Montes Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa.
- b) Estimar o aumento na produção de leite para os sistemas de resfriamento que não operam na condição potencial, bem como comparar a redução correspondente no tempo de acionamento.

c) Estimar o aumento no consumo alimentar para os sistemas de resfriamento que operam nas condições potencial e não-potencial.

d) Determinar valores de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido para o dimensionamento do sistema.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Efeito do Desconforto Provocado pelo Calor no Animal

Teoricamente, para que o animal possa alcançar o seu potencial genético de produção, é necessário que lhe seja fornecido alimentação com nível nutricional adequado, em condições completamente livres de doenças e num ambiente térmico ideal (BUFFINGTON et alii, 1983).

Segundo KELLY et alii (1950), somente parte da energia contida nos alimentos é convertida em leite, carne, gordura ou ovos. O restante é descartado para o ambiente na forma de calor, fezes e urina.

De acordo com CURTIS (1983), quando o ambiente térmico se torna desconfortável, o animal intensifica os mecanismos de conservação ou dissipação de calor, com o objetivo de manter a sua homeotermia.

Em condições de desconforto causado pelo calor, o animal reage primeiramente por meio da vasodilatação, facilitando o fluxo de calor do interior do corpo para a

superfície, onde a dissipação para o ambiente ocorre mediante a condução, convecção, radiação e evaporação. Na medida em que o desconforto é intensificado, o animal aumenta o ritmo respiratório, com a finalidade de remover calor latente diretamente do interior do corpo. Havendo o agravamento do estresse calórico, a temperatura corporal aumenta e ocorre o declínio do consumo de alimentos (HAFEZ, 1968).

De acordo com BUFFINGTON et alii (1983), no estado de estresse calórico, além de reduzir a ingestão de alimentos, o animal gasta parte da energia alimentar para manter a sua homeotermia, que na ausência do estresse estaria disponível para a produção. Esses autores também relataram decréscimo na eficiência reprodutiva e aumento na suscetibilidade a doenças.

A redução no consumo de alimentos, induzida pelo calor, facilita o controle da homeotermia pelo animal, principalmente nas regiões quentes, entretanto ela representa indiretamente perda econômica para o produtor (BIANCA, 1976).

2.2. Declínio Produtivo do Gado Holandês Causado pelo Estresse Calórico

Vários índices têm sido desenvolvidos e usados para avaliar o desconforto térmico do ambiente. O mais difundido é o índice de temperatura e umidade, ITU, originalmente desenvolvido por THOM (1959), dado por:

$$ITU = t_{BS} + 0,36 t_{PO} + 41,5, \quad (1)$$

em que:

t_{BS} = temperatura de bulbo seco, °C; e

t_{PO} = temperatura do ponto de orvalho, °C.

JOHNSON et alii (1963) concluíram que o declínio na produção de leite para vacas da raça Holandesa é altamente relacionado com o aumento do índice de temperatura e umidade. Com o ITU abaixo de 70, os animais apresentam poucos sinais de desconforto térmico. Contudo, com o ITU acima de 75, a produção de leite e a ingestão alimentar são seriamente reduzidas.

Um estudo mais completo, realizado em câmaras climáticas, foi desenvolvido por BERRY et alii (1964), no qual o declínio na produção de leite, para vacas da raça Holandesa, foi relacionado pela equação:

$$RPL = - 1,075 - 1,736 NP + 0,02474 NP ITU, \quad (2)$$

em que:

RPL = redução na produção de leite, kg/animal.dia; e

NP = nível de produção do animal na ausência do estresse calórico, kg/animal.dia.

Nessa equação, o ITU representa o desconforto térmico médio diário.

Da mesma forma, com o objetivo de quantificar a redução no consumo alimentar (RCA) em base seca, em kg/animal.dia, Osburn e outros, citados por HAHN e OSBURN (1969), propuseram a seguinte equação:

$$RCA = - 28,23 + 0,391 \text{ ITU} \quad (3)$$

2.3. Sistemas de Acondicionamento Térmico

De acordo com HAHN e OSBURN (1969), o controle do ambiente térmico teve maior ênfase a partir do momento em que as pesquisas, particularmente realizadas em câmaras climáticas, mostraram os efeitos adversos do estresse térmico na produção.

No período quente do ano, vários sistemas de acondicionamento térmico podem ser empregados para combater o desconforto térmico. De acordo com McNEILL et alii (1983), podem-se citar os sistemas de refrigeração mecânica, de resfriamento adiabático — evaporativo — e de sucção do ar através de tubos subterrâneos.

Outra forma de reduzir o desconforto térmico é o resfriamento parcial do corpo do animal. A zona de resfriamento, nesse caso, ocorre apenas na cabeça e no pescoço do animal, com o correspondente resfriamento do ar inspirado. A dissipação da energia térmica do interior do corpo para o ambiente, por meio desse processo, assume maior importância na medida em que a transferência de calor sensível é prejudicada pelas altas temperaturas (CANTON et alii, 1982).

Segundo WIERSMA e SHORT (1983) e McNEILL et alii (1983), em instalações agrícolas o sistema de resfriamento adiabático — evaporativo — (SRAE) tem sido o método de acondicionamento térmico mais utilizado pelos produtores, em

virtude de apresentar baixo custo inicial e operacional, além de ser facilmente implantado, sem a necessidade de fazer alterações substanciais na instalação. HAHN e OSBURN (1970) apontam como outra vantagem desse sistema o baixo custo de manutenção, em comparação com sistemas de refrigeração mecânica.

De acordo com CURTIS (1983), na maioria dos casos é economicamente adequado proteger o animal somente quando o estresse térmico passa a comprometer sensivelmente o seu desempenho. A alteração do ambiente térmico deve ser efetuada quando os custos totais não excedem os benefícios esperados. Segundo o autor acima, alguns progressos têm sido feitos nessa área, estimando o aumento na produção de leite proporcionado pelos sistemas de acondicionamento térmico, por meio de dados climáticos.

Com as equações que determinam a redução na produção de leite e no consumo alimentar, causada pelo estresse calórico, HAHN e OSBURN (1970) estimaram o aumento desses parâmetros, proporcionado pelo SRAE, para os meses de junho a setembro, em 16 localidades dos Estados Unidos, a partir de séries climatológicas.

2.4. Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo

2.4.1. Teoria e Desempenho do Sistema

A partir do momento em que o ar não saturado entra em contato com a água livre e os dois são termicamente isolados

do ambiente externo, há transferência de calor e massa. Quando a pressão de vapor da superfície de água livre é maior que a do ar não saturado, ocorre evaporação da água em resposta à diferença de pressão (WIERSMA e SHORT, 1983).

Uma vez que o resfriamento evaporativo é um processo adiabático, com o conseqüente umedecimento do ar não saturado, que entra no resfriador, a redução da temperatura de bulbo seco ocorre simultaneamente com o aumento da temperatura do ponto de orvalho (HAHN e OSBURN, 1970).

Conforme WIERSMA e SHORT (1983), o processo pode ser mais bem descrito no gráfico psicrométrico. Na Figura 1, o ponto de estado A representa o ar não saturado que entra no resfriador. Caso houvesse saturação, o ponto de estado

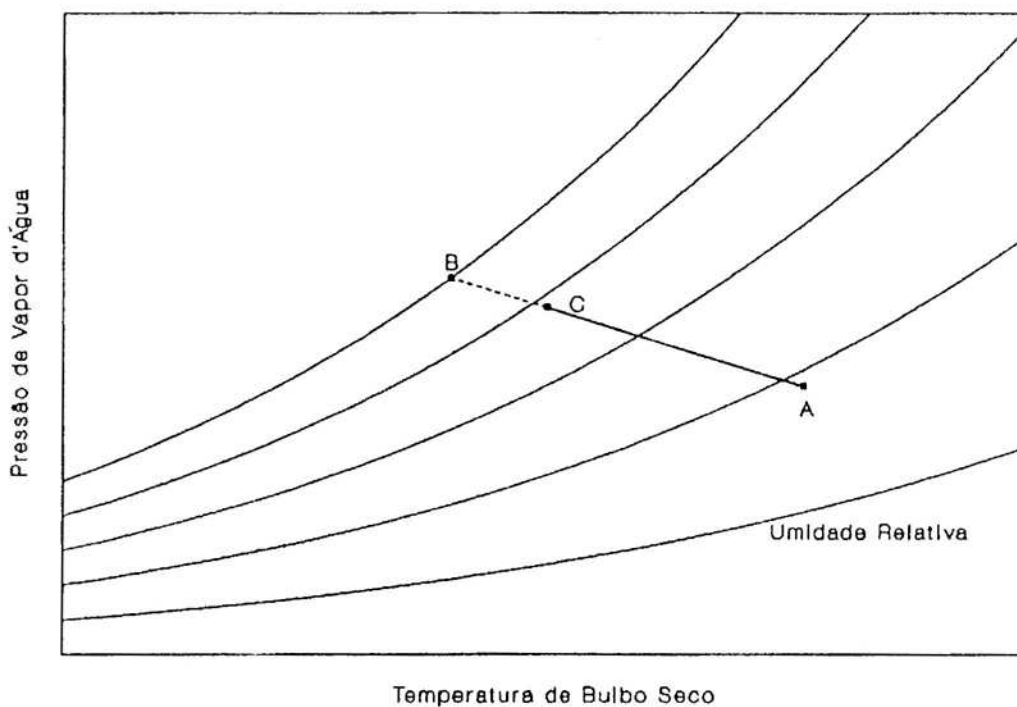


FIGURA 1 - Gráfico Psicrométrico e Desempenho do SRAE.

seria deslocado para o ponto B. Entretanto, isso não ocorre em razão das limitações do equipamento, por isso aquele ponto desloca-se apenas até o ponto C. Nesse processo, a temperatura de bulbo úmido permanece constante, mas ocorrem redução da temperatura de bulbo seco e aumento da umidade relativa. O deslocamento do ponto de estado depende da eficiência de resfriamento na qual o sistema está operando.

De acordo com CURTIS (1983), o sucesso na aplicação desse método depende da diferença entre a temperatura de bulbo seco e a de bulbo úmido, isto é, depressão psicrométrica. Segundo esse autor, essa depressão varia com a localização geográfica da instalação e com a hora do dia, fazendo com que o SRAE seja recomendado apenas para as regiões áridas.

Apesar de indicar maior benefício em climas quentes e secos, CANTON et alii (1983) observaram que no ciclo diurno das regiões úmidas a maior temperatura do ar relaciona-se a uma menor umidade relativa, o que possibilita o uso do sistema nas horas de maior estresse calórico.

2.4.2. Eficiência de Resfriamento

Segundo a American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers - ASHRAE (1983), a eficiência de resfriamento é fator importante que deve ser considerado no dimensionamento e manejo do SRAE, dada por:

$$f = (t_{BS} - t'_{BS}) / (t_{BS} - t_{BU}), \quad (4)$$

em que:

f = eficiência de resfriamento do sistema, adimensional;

t'_{BS} = temperatura de bulbo seco na saída do resfriador, °C; e

t_{BU} = temperatura de bulbo úmido, °C.

Quando o resfriamento adiabático — evaporativo — ocorre em condições naturais, o processo de resfriamento é muito lento. Normalmente, para intensificar a evaporação, são utilizados ventiladores, que têm como função aumentar o movimento do ar (WIERSMA e SHORT, 1983).

Conforme WALKER e COTTER (1968), existem muitas possibilidades para intensificar a evaporação por meio de ventiladores. No entanto, na prática os dois métodos mais utilizados são os que injetam água pulverizada diretamente na corrente de ar e aqueles que movimentam o ar através de materiais porosos umedecidos.

TIMMONS e BAUGHMAN (1983), estudando o método de resfriamento que combina aspersão e ventilação, verificaram que a elevação da pressão de 275 para 1.380 kPa, no equipamento que promove a pulverização da água, resultou no aumento da eficiência de resfriamento de 14%. Visualmente, foi observado que os sistemas que operavam com pressões mais elevadas promoveram maior atomização das gotículas d'água.

De acordo com TIMMONS e BAUGHMAN (1984), os SRAE que forçam a passagem do ar através de materiais porosos umedecidos geralmente operam com eficiência de resfriamento mais elevada do que aqueles que empregam aspersão e

ventilação. Segundo HAHN e OSBURN (1970), os sistemas que utilizam esse método, quando adequadamente projetados e submetidos a manutenções periódicas, podem apresentar eficiência de resfriamento de 80%.

FEHR et alii (1983), analisando o efeito de um SRAE com eficiência de resfriamento de 80%, em instalações para suínos, a partir de dados climáticos, para o período de 1951 a 1960, em sete localidades do sudoeste e centro dos Estados Unidos, demonstraram que o sistema é capaz de reduzir o número médio de horas com estresse calórico de 89,6 para 96,4%, dependendo da localidade. Esses mesmos autores alegaram que a eficiência de resfriamento de 80% é normalmente obtida na maioria das instalações para suínos.

Segundo HANAN et alii (1978), a eficiência de resfriamento dos sistemas que empregam material poroso umedecido depende de muitas variáveis, incluindo densidade, espessura, disposição e idade do material, acumulação de sal e poeira, distribuição de água e velocidade do ar no material poroso. Um outro aspecto que interfere na eficiência de resfriamento, segundo TIMMONS e BAUGHMAN (1984), é a exposição do equipamento à radiação solar, sendo constatada uma redução de 23%.

Para maximizar a eficiência de resfriamento e reduzir a queda de pressão, a American Society of Agricultural Engineers (ASAE) recomenda que a velocidade do ar no material poroso esteja entre 0,75 e 1,75 m/s, dependendo do

tipo e da espessura do material poroso (WIERSMA e SHORT, 1983).

2.4.3. Parâmetros para o Dimensionamento do Sistema

De acordo com ESMAY e DIXON (1986), para a determinação da taxa de ventilação requerida na instalação e o conseqüente dimensionamento dos sistemas de acondicionamento térmico, é necessário fazer um balanço de calor sensível, para o controle da temperatura do ar, e um balanço de calor latente, para a remoção do excesso de umidade.

Segundo CURTIS (1983), no período quente do ano a taxa de ventilação para o balanço de calor sensível está acima da requerida para o controle de odores e umidade na instalação.

Conforme HINKLE e STOMBAUGH (1983), a taxa de ventilação para o balanço de calor sensível pode ser determinada a partir da equação:

$$V_S = v q_S / C_p (t_{BSi} - t_{BSe}), \quad (5)$$

em que:

V_S = taxa de ventilação para remoção do calor sensível, $m^3 \cdot s^{-1}$;

v = volume específico do ar seco, $m^3 \cdot kg^{-1}$;

q_S = calor sensível a ser removido pelo sistema de ventilação, W;

C_p = calor específico do ar seco à pressão constante, $1.005 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$;

t_{BSi} = temperatura de bulbo seco dentro da instalação, °C; e

t_{BSe} = temperatura de bulbo seco fora da instalação, °C.

Segundo ESMAY e DIXON (1986), no dimensionamento do SRAE deve-se substituir t_{BSe} pela temperatura de bulbo seco na saída do resfriador, t'_{BS} .

De acordo com MATON et alii (1985), a temperatura máxima registrada na localidade não deve ser utilizada para o dimensionamento dos sistemas de resfriamento, uma vez que ela eleva os custos de instalação e operação do equipamento.

Para o dimensionamento do SRAE no hemisfério Sul, a ASHRAE (1985) recomenda que, para cada localidade, sejam determinadas as freqüências dos valores máximos da temperatura de bulbo seco, que foram igualados ou superados em apenas 1, 2,5 e 5% das horas do período de dezembro a março. Para cada valor encontrado da temperatura de bulbo seco, também deverá ser determinada a mediana dos valores da temperatura de bulbo úmido correspondente. Caso a freqüência de 5% seja adotada no dimensionamento, é esperado que a temperatura de bulbo seco esteja abaixo do valor considerado em 95% das horas do período de dezembro a março.

2.4.4. Manejo da Umidade do Ar

Segundo CURTIS (1983), os animais constituem a maior fonte de calor latente dentro da instalação, embora também ocorra evaporação das fezes, urina e superfícies úmidas.

De acordo com ESMAY (1978), a umidade relativa do ar acima de 80% prejudica o desempenho dos animais, que ficam suscetíveis a doenças respiratórias e a distúrbios digestivos. Assim, a umidade do ar deve ser controlada, o que limita o potencial do SRAE, principalmente em regiões úmidas.

Uma prática comumente usada em casas-de-vegetação para o controle da umidade é o desligamento periódico do sistema de distribuição de água, o que implica redução da eficiência de resfriamento e, conseqüentemente, da umidade relativa do ar que sai do resfriador (HANAN et alii, 1978).

3. METODOLOGIA

3.1. Dados Climáticos

Para a realização do presente trabalho foram utilizados dados horários de temperatura e umidade relativa do ar, mediante a leitura nos diagramas do higrótermógrafo, fornecidos pelo 5^o e 6^o Distritos de Meteorologia do Departamento Nacional de Meteorologia, localizados em Belo Horizonte e Rio de Janeiro, respectivamente.

3.2. Localização das Estações

Foram selecionadas cinco Estações Climatológicas Principais do Estado de Minas Gerais (Quadro 1).

O critério usado na seleção das estações foi com base na distribuição espacial, procurando-se abranger, na medida do possível, as diversidades climáticas e as localidades que possuíam Estações Climatológicas Principais com séries completas.

QUADRO 1 - Coordenadas Geográficas das Estações Seleccionadas e Período de Registro Estudado

Localidade	Latitude	Longitude	Altitude (Metros)	Período (Anos)
Barbacena	21° 15' S	43° 46' W	1126	1980-1989
Montes Claros	16° 43' S	43° 52' W	646	1980-1989
Patos de Minas	18° 36' S	46° 31' W	940	1980-1989
Pompéu	19° 13' S	45° 00' W	691	1984-1989
Viçosa	20° 45' S	42° 51' W	690	1980-1989

3.3. Estimativa da Redução na Produção de Leite e no Consumo Alimentar Causada pelo Estresse Calórico

O estresse provocado pelo calor assume maior importância na estação do verão, representando, portanto, um período crítico. No Estado de Minas Gerais, o período chuvoso coincide com a época quente, fazendo com que, em alguns dias, o estresse seja agravado pela ocorrência simultânea de temperatura e umidade relativa do ar elevadas, além, ainda, das temperaturas noturnas que ficam acima daquelas observadas nas outras estações. Em razão disso, no presente trabalho avaliou-se o efeito do estresse calórico sobre o desempenho produtivo dos animais, para o período que vai do início do mês de dezembro até o término do mês de março.

A estimativa da redução na produção de leite (RPL) e no consumo alimentar (RCA), aqui relatada, refere-se aos animais da raça Holandesa. Tal estimativa é determinada a

partir das Equações 2 e 3, considerando-se os níveis de produção de leite (NP) de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 kg/animal.dia.

Como as Equações 2 e 3 estão em função do ITU médio diário, a sua determinação foi realizada mediante o cálculo dos índices horários, encontrando-se, primeiramente, a temperatura do ponto de orvalho. Em seguida, foi obtido o somatório dos valores diários da RPL e RCA, que foram calculados, separadamente, para todos os dias do período de dezembro a março.

Esse procedimento foi adotado para as localidades e período de registro constantes no Quadro 1.

3.4. Estimativa do Aumento na Produção de Leite e no Consumo Alimentar Proporcionado pelo Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo

O gráfico psicrométrico da Figura 2 apresenta os limites de temperatura e umidade relativa do ar, entre os quais foi considerado em operação o SRAE.

No gráfico, cada hora do dia está representada por um ponto de estado do ar, sendo utilizado o ITU para indicar o desconforto térmico do ambiente, calculado por meio da Equação 1.

Os limites foram assumidos com base no início do estresse calórico, necessitando-se do acionamento do SRAE a partir de determinado valor de temperatura do ar, e na umidade relativa, que deve ser controlada, alterando-se

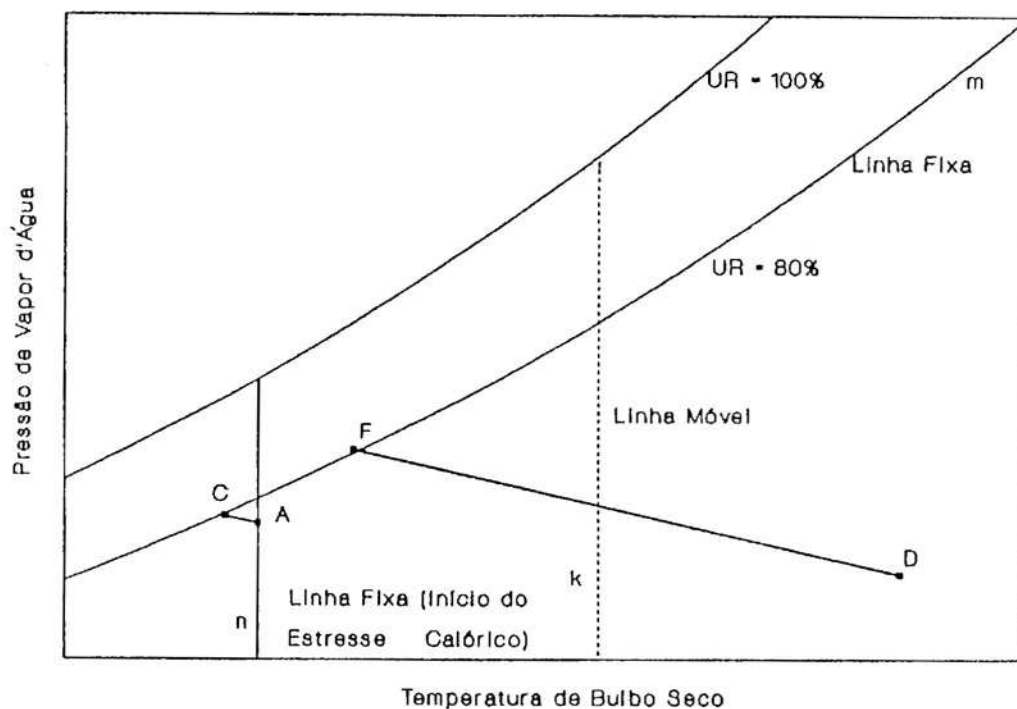


FIGURA 2 - Gráfico Psicrométrico com os Limites de Temperatura e Umidade Relativa do Ar, entre os Quais Foi Considerado em Operação o SRAE.

temporariamente a eficiência de resfriamento. Na prática, o sistema pode operar dentro desses limites, isto se forem utilizados dispositivos de controle de temperatura e umidade relativa do ar.

Para avaliar o sistema operando com diferentes eficiências de resfriamento e temperaturas de acionamento, a presente estimativa foi dividida em dois casos: resfriamento potencial e resfriamento não-potencial.

No resfriamento adiabático potencial, a linha fixa (n) representa a temperatura que marca o início do estresse calórico, necessitando-se do acionamento imediato do sistema, na tentativa de combater todo o estresse causado pelo calor. Nesse caso, os pontos A e D, que correspondem a

duas horas típicas de estresse térmico, são abrangidos pelo resfriamento. Nota-se, no gráfico psicrométrico, que o benefício do resfriamento adiabático é expressivamente maior para o ponto de estado que se desloca de D para F, em comparação com o deslocamento de A para C.

Por outro lado, no resfriamento adiabático não-potencial, a linha móvel (k) seleciona os pontos de estado, e o sistema é acionado às temperaturas mais elevadas que a correspondente ao início do estresse calórico, uma vez que a maior temperatura do ar relaciona-se a uma menor umidade relativa, proporcionando melhores condições para o resfriamento evaporativo. Nesse caso, o ponto A não é mais abrangido pelo resfriamento.

Para limitar o umedecimento do ar que está sendo resfriado, tanto no resfriamento potencial quanto no não-potencial, foi considerada uma linha fixa (m), que corresponde à linha com 80% de umidade relativa. Esse valor limite foi escolhido porque, na literatura, têm-se relatado efeitos prejudiciais no estado de saúde dos animais quando a umidade relativa ultrapassa 80%. No entanto, deve ser ressaltado que o deslocamento dos pontos de estado depende da eficiência máxima de resfriamento do equipamento (EMR), podendo não atingir a linha (m) quando aqueles pontos são caracterizados por condições de baixa umidade relativa. Em razão disso, o ponto de estado final do ar resfriado adiabaticamente foi calculado a partir da Equação 4, levando-se em consideração a linha (m).

Em consequência do exposto, elaboraram-se os gráficos que associam a estimativa do aumento na produção de leite (APL) com o número de horas de acionamento do SRAE, permitindo, assim, a avaliação dos sistemas que não operam na condição potencial, conforme as variações climáticas das localidades estudadas.

A estimativa de APL e ACA foi realizada mediante a determinação do ponto de estado do ar resfriado adiabaticamente, calculando-se a temperatura de bulbo seco e temperatura do ponto de orvalho. Em seguida, calculou-se o ITU, por meio da Equação 1. Com os índices horários que foram alterados pelo resfriamento, juntamente com aqueles inalterados, representando as horas sem resfriamento, determinou-se o ITU médio diário, que foi utilizado nas Equações 2 e 3, para estimar os valores diários da RPL e RCA. Subtraindo os valores obtidos que representam a instalação provida do SRAE dos valores que consideram a situação natural sem resfriamento, determinam-se, conseqüentemente, o APL e ACA estimados.

3.5. Condições Operacionais Assumidas

3.5.1. Resfriamento Adiabático Potencial

Foi assumido que para combater o estresse calórico a partir do seu início, o SRAE deveria ser acionado a partir da temperatura de 23 °C, uma vez que essa temperatura do ar, quando associada à umidade relativa próxima de 80%, começa a

revelar o declínio produtivo dos animais com NP de 30 kg/dia, tomando-se por base o ITU.

Foi adotado que a EMR de 80% representa a eficiência de resfriamento potencial. Para instalações agrícolas, o referido valor tem sido observado em sistemas adequadamente planejados e que são submetidos a manutenções periódicas.

Deve ser observado que, para os sistemas que operam com EMR de 80%, o potencial do sistema em reduzir o ITU é maior do que aquele aqui calculado, uma vez que a linha limite da umidade relativa (m) impede que a maioria dos pontos de estado seja resfriado até temperaturas menores. Entretanto, a limitação do acréscimo da umidade relativa é fator que deve ser considerado, por razões mencionadas anteriormente.

3.5.2. Resfriamento Adiabático Não-Potencial

Nesse caso, foi convencionado que a linha móvel (k), que representa o início de acionamento do sistema, assume valores acima de 23 °C, com incremento de 1 °C, até o limite de temperatura em que é esperado que o SRAE seja acionado em apenas 1% das horas do período de dezembro a março.

Para os sistemas que operam segundo as condições descritas anteriormente foram adotadas, além da eficiência de resfriamento potencial de 80%, as EMRs de 40 e 60%, de forma a analisar o desempenho dos sistemas mal planejados e sem manutenções.

3.6. Determinação da Temperatura do Ponto de Orvalho

A temperatura do ponto de orvalho, de acordo com BERRY et alii (1945), foi determinada a partir da equação de Tetens, para o cálculo da pressão de saturação de vapor, ou seja:

$$e_s = 6,11 \cdot 10^{(7,5 t_{BS}) / (237,3 + t_{BS})}, \quad (6)$$

em que e_s representa a pressão de saturação de vapor d'água, expressa em hPa.

Substituindo e_s pela pressão de vapor e e t_{BS} por t_{PO} , encontra-se:

$$t_{PO} = 237,3 \log (e / 6,11) / (7,5 - \log (e / 6,11)) \quad (7)$$

A pressão de vapor foi determinada por:

$$e = e_s \text{ UR} / 100, \quad (8)$$

em que UR representa a umidade relativa.

3.7. Determinação da Temperatura de Bulbo Úmido

A temperatura de bulbo úmido foi estimada, empregando-se a expressão proposta por JENSEN (1973), ou seja:

$$t_{BU} = (\gamma t_{BS} + \alpha t_{PO}) / (\alpha + \gamma), \quad (9)$$

em que:

γ = constante psicrométrica, $\text{hPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$; e

α = taxa de variação na pressão de saturação de vapor d'água com a temperatura, $\text{hPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

A constante psicrométrica, segundo ROSENBERG et alii (1983), foi determinada como sendo:

$$\gamma = C_p P / 0,622 L, \quad (10)$$

em que:

P = pressão atmosférica média do local, hPa ; e

L = calor latente de evaporação, $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, calculado de acordo com HESS (1959), pela seguinte equação:

$$L = 2,5 \cdot 10^6 - 2370 t_{BS} \quad (11)$$

A taxa de variação na pressão de saturação de vapor d'água com a temperatura, segundo JENSEN (1973), foi estimada pela equação:

$$\alpha = 2 (0,00738 (t_{BS}) + 0,8072)^7 \quad (12)$$

De acordo com aquele autor, para o cálculo da Equação 6, α deveria ser obtido, substituindo-se t_{BS} por $(t_{BU} + t_{PD})/2$. Entretanto, para se evitar o processo iterativo, t_{BS} deve ser substituído por $(t_{BS} + t_{PD})/2$. Tal procedimento pode levar a erros de até 2°C , quando os pontos de estado são caracterizados por altas temperaturas e baixas umidades relativas. Para evitar esse inconveniente, o cálculo da Equação 6 foi repetido duas vezes, com a substituição de t_{BS} por $(t_{BU} + t_{PD})/2$, obtendo-se precisão

de $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ nas condições extremas citadas, sendo a primeira estimativa de t_{BU} realizada conforme as recomendações de JENSEN (1973).

3.8. Determinação de Valores de Temperatura de Bulbo Seco e Bulbo Úmido, para o Dimensionamento do Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo

Para determinar os valores extremos da temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, que são usados para o dimensionamento do SRAE, foram adotadas as recomendações da American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE).

A freqüência relativa dos valores da temperatura de bulbo seco representa a razão entre o número de horas observadas com determinada temperatura e o número total de horas observadas, uma vez que a freqüência relativa acumulada permite encontrar os valores para os níveis recomendados.

A mediana dos valores da temperatura de bulbo úmido, correspondentes a uma determinada temperatura de bulbo seco, foi obtida, segundo CROW (1972), mediante a leitura do valor central de uma ordenação crescente das temperaturas de bulbo úmido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estimativa da Redução na Produção de Leite e no Consumo Alimentar Causada pelo Estresse Calórico

No Quadro 2, apresentam-se os valores horários médios e o desvio-padrão da temperatura e umidade relativa do ar, para o período de dezembro a março, referentes às localidades estudadas.

Esses dados mostram a dificuldade de se identificar a seqüência das localidades onde os animais são mais afetados pelo estresse calórico, uma vez que os valores médios não representam a ocorrência simultânea da temperatura e umidade relativa do ar, além, de modo geral, de os maiores valores médios de temperatura corresponderem aos menores de umidade relativa. Observa-se, também, que para Barbacena, o desvio-padrão da temperatura é acentuadamente maior que para as outras localidades, indicando microclima característico naquela região.

QUADRO 2 - Valores Horários Médios (M) e Desvio-Padrão (D) da Temperatura e Umidade Relativa do Ar, para o Período de Dezembro a Março, Referentes às Localidades Estudadas

Localidade	Temperatura (°C)		Umidade Relativa (%)	
	M	D	M	D
Barbacena	21,1	4,6	90	15
Montes Claros	23,8	3,8	77	17
Patos de Minas	22,2	3,3	79	18
Pompéu	23,2	3,8	83	21
Viçosa	22,0	3,5	86	19

No Quadro 3, mostram-se os valores médios estimados da RPL e RCA, juntamente com o desvio-padrão, referentes às localidades estudadas, para o período de dezembro a março, considerando os NPs de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 kg/animal.dia e tomando como base o ITU médio diário (Quadro 1A). Pode-se evidenciar que as localidades onde os animais são mais prejudicados pelo estresse calórico estão dispostas na seguinte ordem crescente: Patos de Minas, Viçosa, Barbacena, Pompéu e Montes Claros.

Os valores médios estimados, aqui apresentados, correspondem ao período de registro (Quadro 1). Para Montes Claros e Pompéu, onde o estresse calórico se mostra mais severo, é esperado que a RPL seja de 50 kg/animal, aproximadamente, para o NP de 25 kg/animal.dia. Em contrapartida, para Viçosa e Patos de Minas a RPL está abaixo de 8 kg/animal, revelando-se diferença seis vezes

QUADRO 3 - Valores Médios Estimados (M) da Redução na Produção de Leite (RPL), para Distintos Níveis de Produção (NP), e no Consumo Alimentar (RCA) e Desvio-Padrão (D) das Respective Estimativas, para o Período de Dezembro a Março, Referentes às Localidades Estudadas

Localidade		RPL (kg/Animal)						RCA (kg/Animal)
		NP (kg/Animal.Dia)						
		5	10	15	20	25	30	
Barbacena	H	0,0	1,1	4,9	11,5	18,8	28,0	9,9
	D	0,0	2,2	8,2	16,9	25,9	35,6	14,3
Montes Claros	H	0,0	0,9	9,6	29,7	52,4	80,1	26,3
	D	0,0	0,8	5,8	12,7	19,8	26,2	10,9
Patos de Minas	H	0,0	0,0	0,2	2,1	5,0	10,3	2,0
	D	0,0	0,0	0,4	2,2	4,3	7,0	2,0
Pompéu	H	0,0	1,4	10,4	27,6	46,7	69,5	24,1
	D	0,0	1,2	6,9	14,6	22,4	30,1	12,4
Viçosa	H	0,0	0,1	0,8	3,7	7,7	14,8	3,3
	D	0,0	0,2	1,4	3,8	6,6	10,3	3,3

menor para as localidades onde os animais são menos afetados pelo estresse.

Considerando-se o mesmo NP, na localidade de Barbacena a RPL é de aproximadamente 19 kg/animal, portanto praticamente o dobro da de Viçosa e Patos de Minas, apesar da temperatura horária média ser inferior ao valor apresentado por aquelas localidades, conforme se pode observar no Quadro 2.

Independente do nível de produção, em Viçosa a RPL é ligeiramente maior que em Patos de Minas. O mesmo é observado para Montes Claros com relação a Pompéu, à exceção do NP de 10 kg/animal.dia. Nas duas últimas localidades citadas, o estresse afeta cinco vezes mais os animais com NP de 25 kg/animal.dia, em comparação com o NP de 15 kg/animal.dia.

Para Patos de Minas e Viçosa, os animais com menor NP são bem menos afetados pelo estresse, em relação aos mais produtivos, quando essa mesma comparação é feita para as localidades de Barbacena, Montes Claros e Pompéu. Este fato mostra que, nas regiões onde os animais são menos prejudicados pelo estresse calórico, o ITU médio diário poucas vezes atingiu valores críticos que comprometessem o desempenho dos animais com menor NP. De modo geral, independente da localidade estudada, é esperado que a RPL seja inferior a 11 kg/animal para os NPs abaixo de 15 kg/animal.dia.

No que se refere ao consumo alimentar, observa-se que a RCA obedece à ordem crescente de disposição das localidades onde os animais são mais prejudicados pelo estresse, sendo de 2,0, 3,3, 9,9, 24,1 e 26,3 kg/animal, respectivamente para Patos de Minas, Viçosa, Barbacena, Pompéu e Montes Claros.

4.2. Estimativa do Aumento na Produção de Leite e no Consumo Alimentar Proporcionado pelo Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo

4.2.1. Resfriamento Potencial

Nas Figuras 3, 4 e 5, elaboradas com os resultados apresentados nos Quadros 3 e 1B, referentes às localidades estudadas, mostra-se o desempenho potencial do SRAE para o período de dezembro a março, considerando-se o sistema acionado a partir de 23 °C e com EMR de 80%. Nas referidas figuras, a RPL média estimada está em função do NP.

A área delimitada entre as curvas corresponde ao benefício máximo estimado, em termos de aumento na produção de leite, proporcionado pelo SRAE. Em contrapartida, a área delimitada entre a base do gráfico e a curva de RPL, para o SRAE atuando na sua potencialidade, equivale ao resíduo acumulado do estresse calórico, no qual o sistema se mostrou impotente para o resfriamento, sendo representado pelas horas do dia em que a temperatura do ar esteve associada à umidade relativa elevada, aliado ao fato de o umedecimento do ar ter sido limitado até a umidade relativa de 80%.

Para Barbacena, observa-se, de modo geral, que apenas 50% do estresse calórico pode ser combatido pelo SRAE, independente do nível de produção do animal. Para o NP de 25 kg/animal.dia, a RPL passou de 19 para 10 kg/animal.

Para Montes Claros e Pompéu, levando-se em conta esse mesmo NP, a RPL passou de 50 para 10 e de 48 para 13

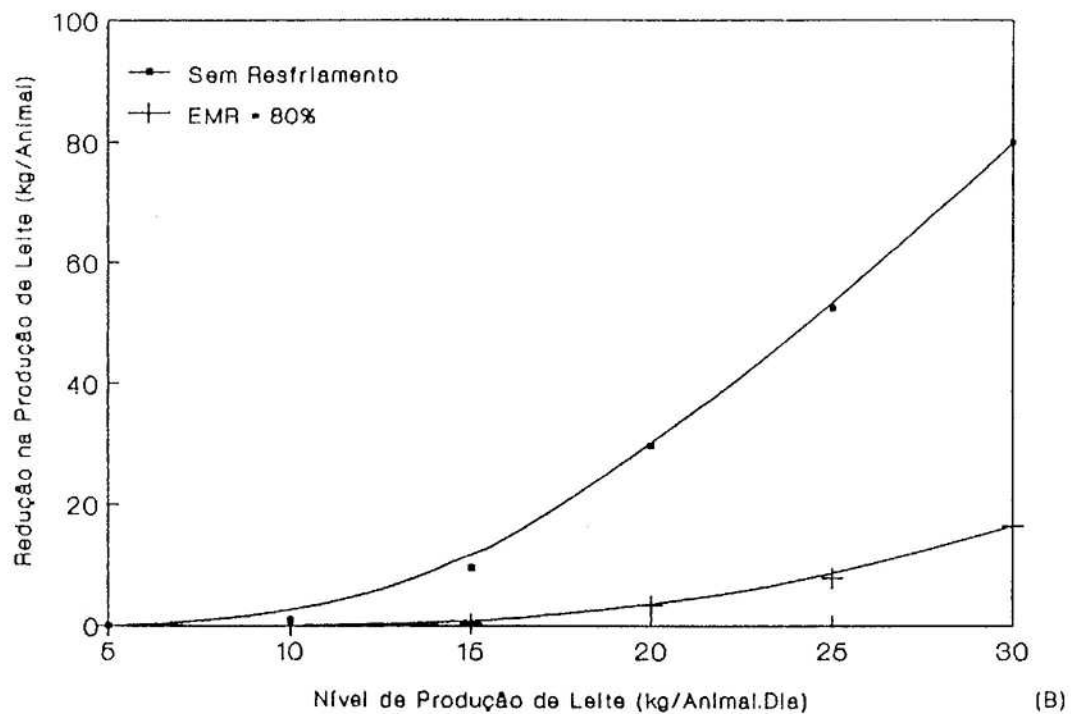
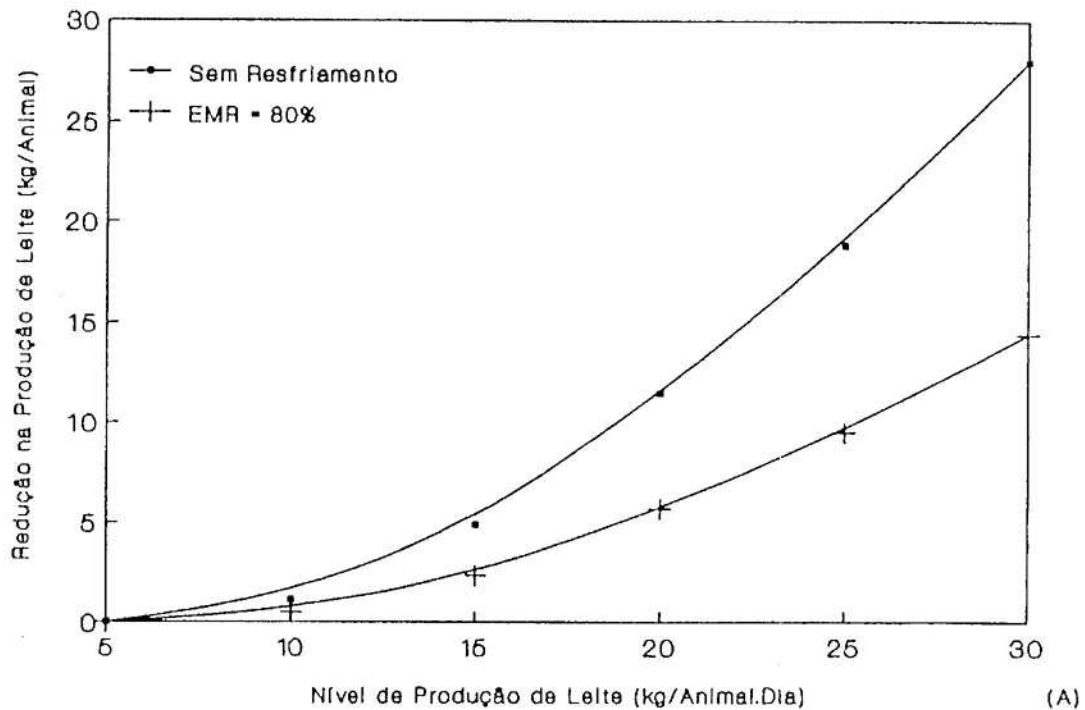


FIGURA 3 - Curvas da Redução Estimada na Produção de Leite em Função do Nível de Produção, para o Período de Dezembro a Março, Assumindo-se que o SRAE Está Atuando na Condição Potencial, Referentes às Localidades de Barbacena (A) e Montes Claros (B).

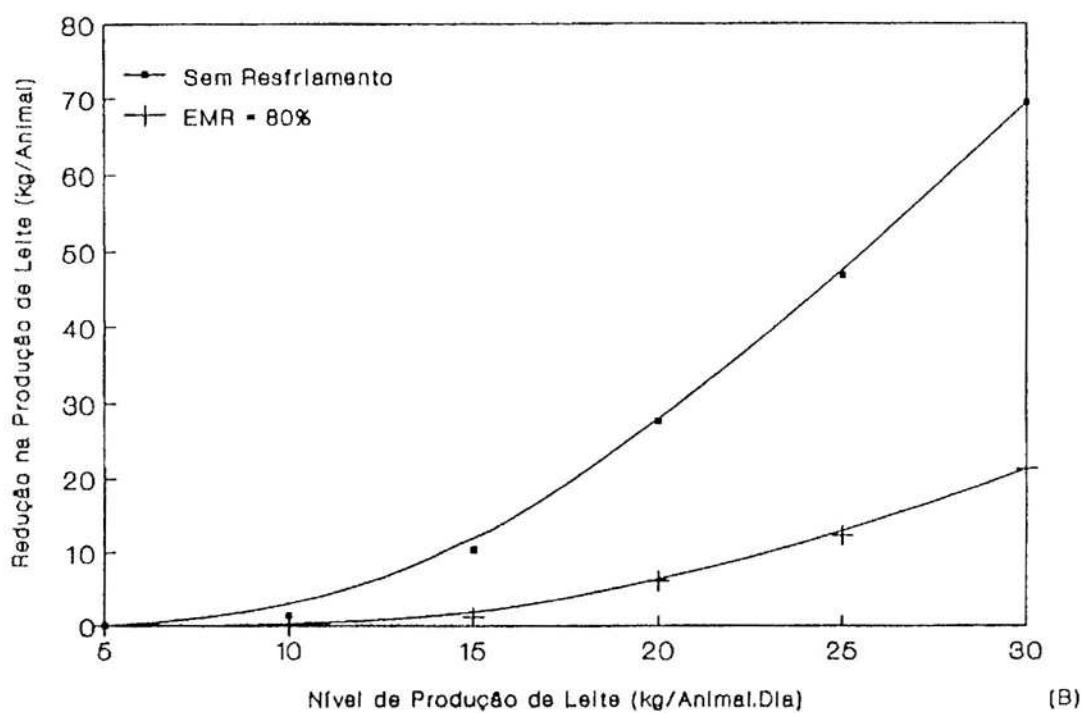
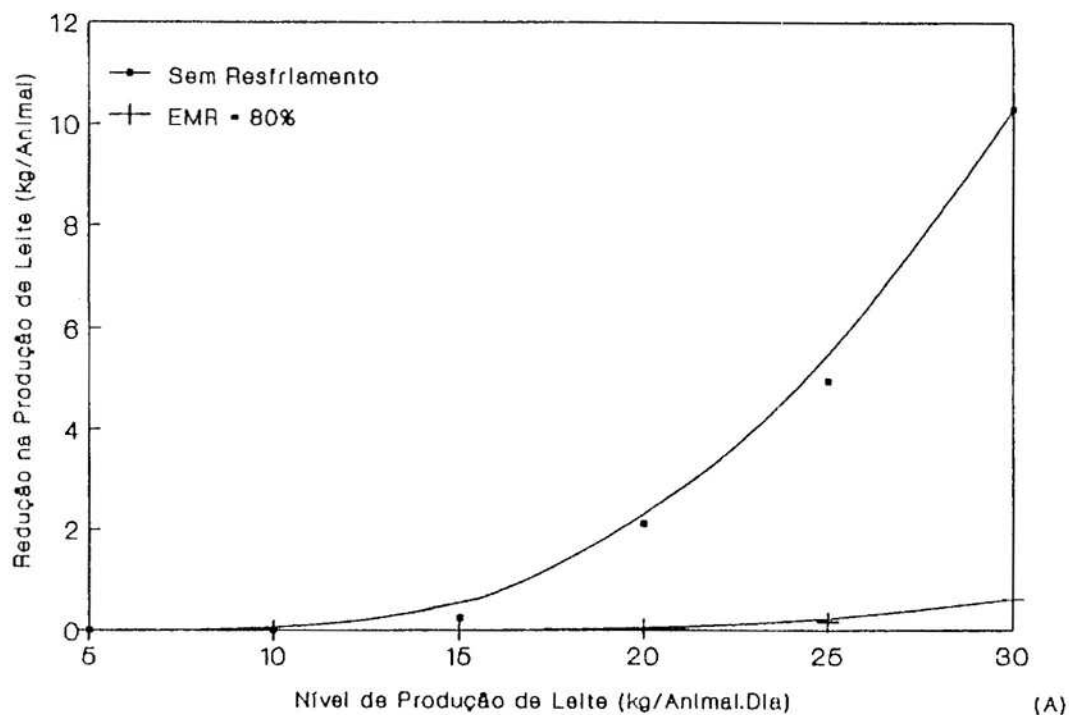


FIGURA 4 - Curvas da Redução Estimada na Produção de Leite em Função do Nível de Produção, para o Período de Dezembro a Março, Assumindo-se que o SRAE Está Atuando na Condição Potencial, Referentes às Localidades de Patos de Minas (A) e Pompéu (B).

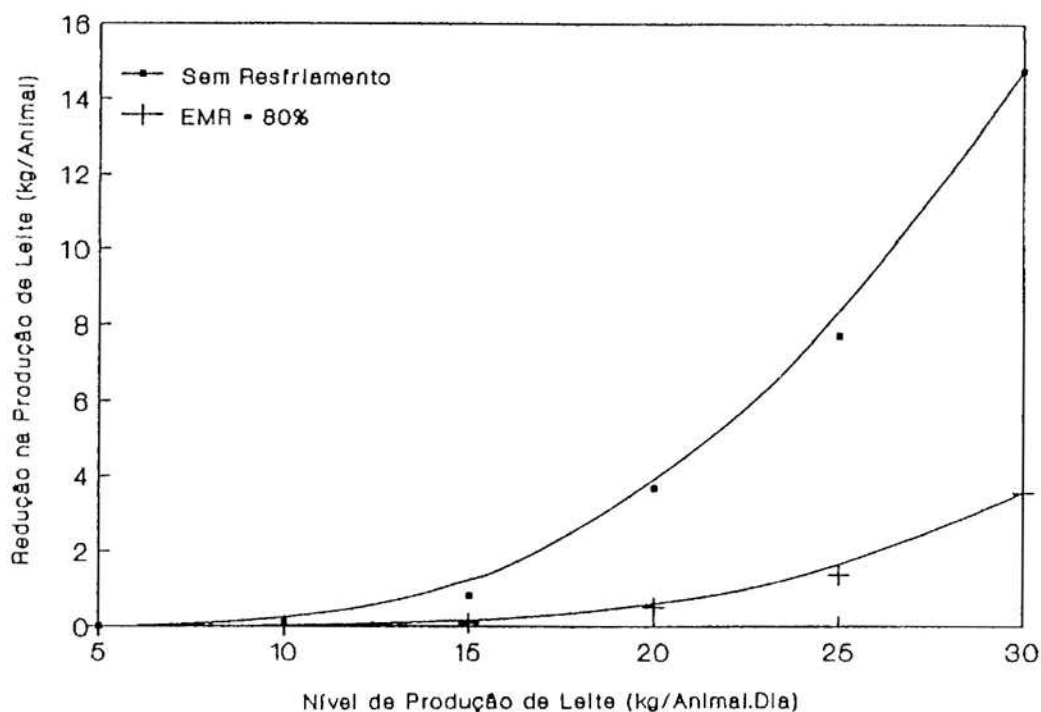


FIGURA 5 - Curvas da Redução Estimada na Produção de Leite em Função do Nível de Produção, para o Período de Dezembro a Março, Assumindo-se que o SRAE Está Atuando na Condição Potencial, Referentes à Localidade de Viçosa.

kg/animal, o que equivale a reduções de 80 e 70%, respectivamente.

Nas localidades onde os animais são menos afetados pelo estresse calórico, considerando-se também o NP de 25 kg/animal.dia, a redução foi de 75 e 90%, para Viçosa e Patos de Minas, respectivamente. Em Viçosa, ela passou de 8 para 2 e em Patos de Minas, de 5 para 0,5 kg/animal.

Os resultados mostram que, por depender da depressão psicrométrica do ar, o SRAE não pode eliminar todo estresse calórico, e a RPL não deve ser interpretada como conversão em benefício de produção de leite quando o sistema for implantado.

Para as localidades estudadas, a ordem crescente do potencial do SRAE na eliminação do estresse calórico apresenta-se na seguinte ordem: Barbacena, Pompéu, Viçosa, Montes Claros e Patos de Minas. Essa seqüência indicaria que Patos de Minas seria a localidade mais adequada para a instalação do SRAE, o que não estaria correto, uma vez que os animais são menos afetados pelo estresse nessa região.

Desse modo, para a implantação do SRAE devem ser analisados: a presença do estresse calórico constatado a partir da estimativa de RPL e o potencial climático da região para o seu desempenho. Essa análise leva à conclusão de que Patos de Minas é a localidade menos apropriada, entre as estudadas, para a instalação do sistema.

4.2.2. Resfriamento Não-Potencial

Foi verificado, por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, que os valores estimados do aumento na produção de leite (APL), para os níveis de produção acima de 15 kg/animal.dia, e no consumo alimentar (ACA) e o tempo de acionamento do SRAE se ajustam à distribuição normal a 10% de significância.

4.2.2.1. Temperatura de Acionamento

Nas Figuras 6, 7 e 8, mostra-se o aumento na produção de leite em função da temperatura de acionamento do SRAE, referentes às localidades estudadas, para o período de

dezembro a março e NPs de 15, 20, 25 e 30 kg/animal.dia.

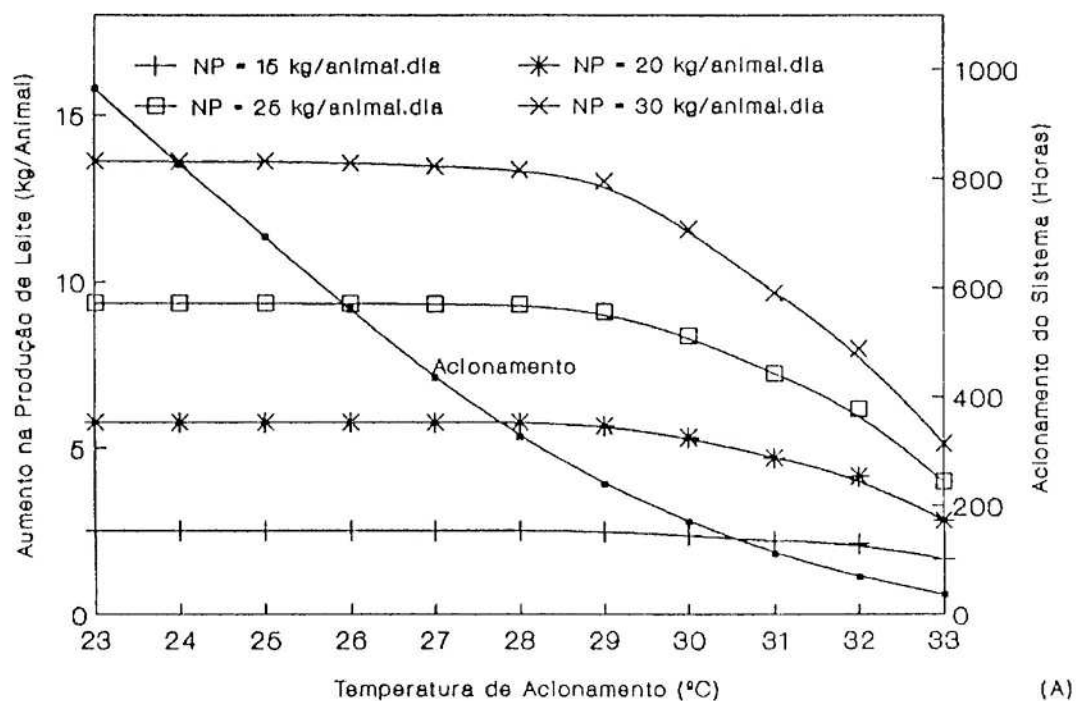
As curvas dos gráficos referem-se aos valores médios estimados, o que corresponde a uma probabilidade de 50%. Outros níveis de probabilidade podem ser calculados por meio da média e do desvio-padrão apresentados no Apêndice B.

Independente da localidade estudada, observa-se que as curvas de APL mostram situações opostas às da curva do tempo de acionamento do SRAE. Para temperaturas de acionamento logo acima de 23 °C, ocorrem grande declínio no tempo de acionamento e pequena variação de APL, em relação à temperatura de 23 °C, o que possibilita economia acentuada nos custos operacionais do SRAE sem comprometer, de forma marcante, o benefício em termos de APL.

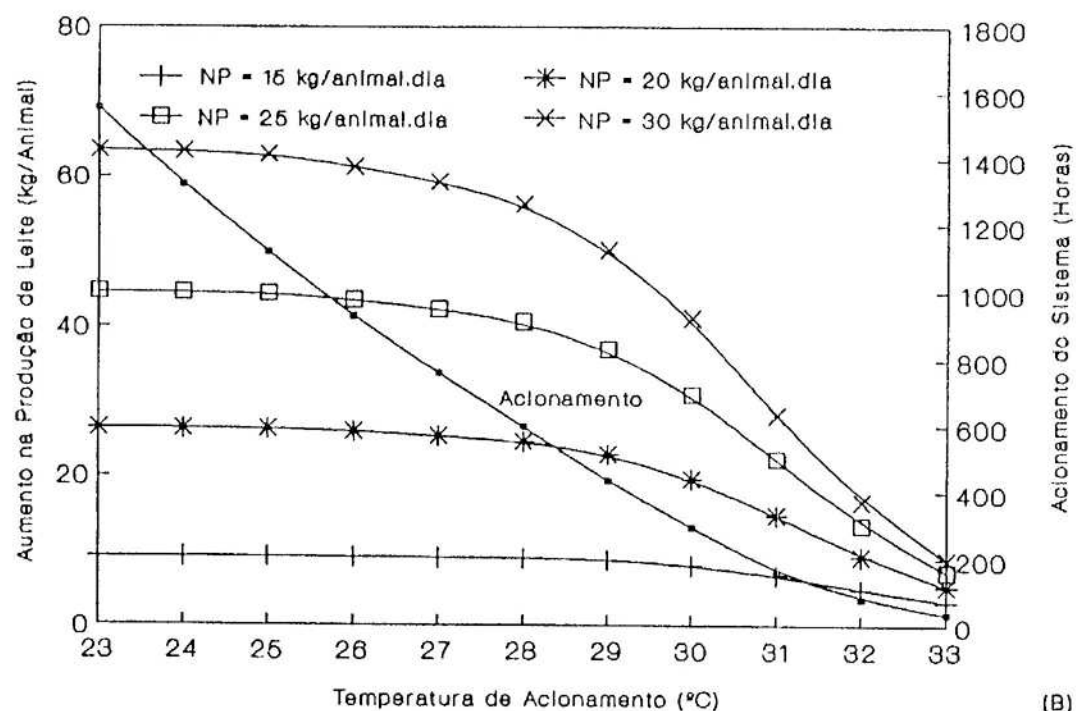
A diferença de comportamento indicada pelas curvas de APL e tempo de acionamento pode ser explicada pela combinação da temperatura e umidade relativa. Na maioria das horas, as temperaturas ligeiramente acima de 23 °C estão associadas à umidade relativa próxima de 80%, dificultando o desempenho do SRAE.

Na localidade de Barbacena, constata-se que, para os SRAE atuando na sua potencialidade, o tempo médio de acionamento é de 950 horas, associado com o APL de aproximadamente 2 e 14 kg/animal, respectivamente para os NPs de 15 e 30 kg/animal.dia.

Para Montes Claros e Pompéu, na condição potencial, o tempo médio de acionamento é de 1.500 e 1.400 horas, respectivamente. Em termos de correspondência, o APL é de 10 e 63 kg/animal para Montes Claros e de 9 e 48 kg/animal para

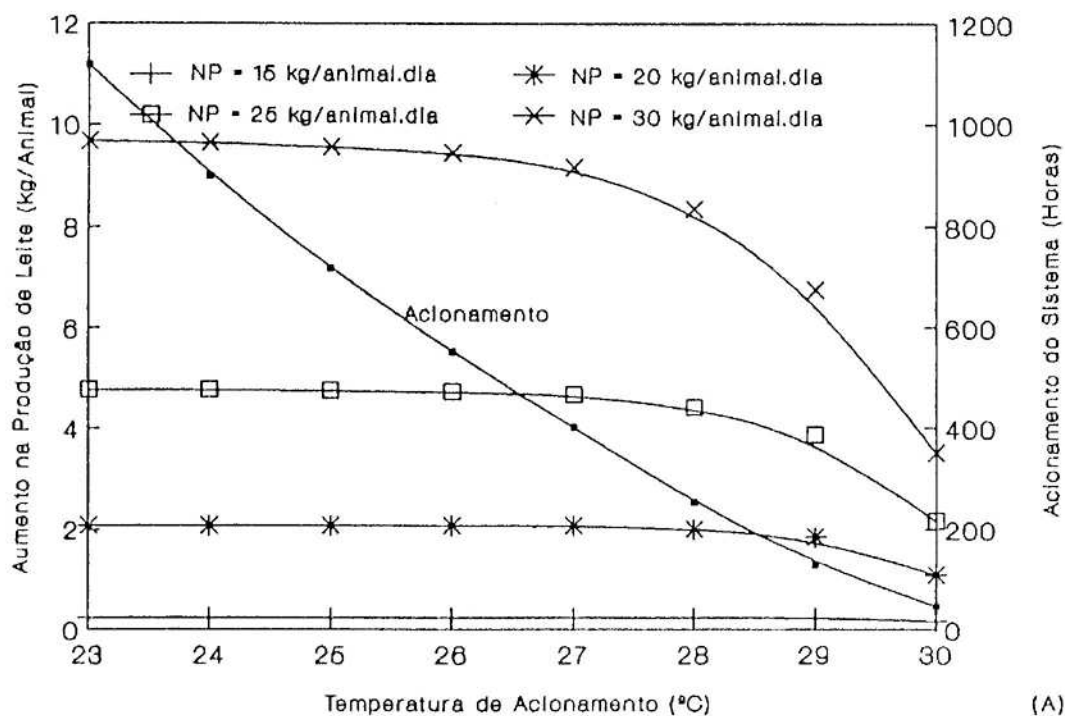


(A)

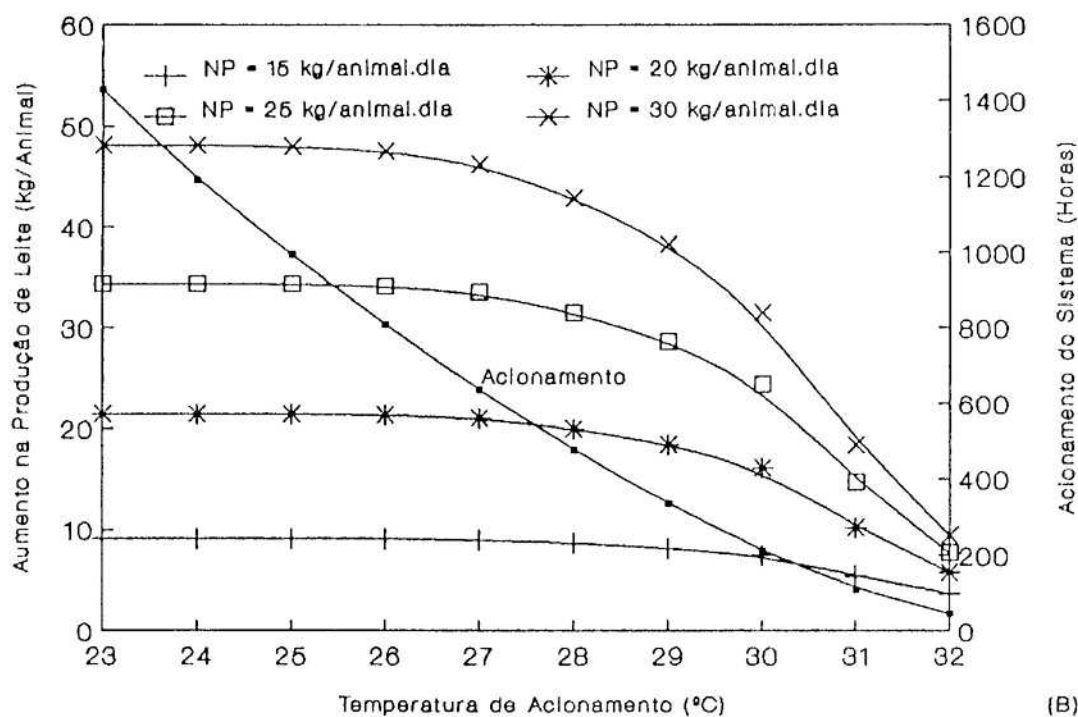


(B)

FIGURA 6 - Curvas do Aumento Estimado na Produção de Leite e Tempo de Aclonamento do SRAE, em Função da Temperatura de Aclonamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Barbacena (A) e Montes Claros (B).



(A)



(B)

FIGURA 7 - Curvas do Aumento Estimado na Produção de Leite e Tempo de Aclonamento do SRAE, em Função da Temperatura de Aclonamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Patos de Minas (A) e Pompéu (B).

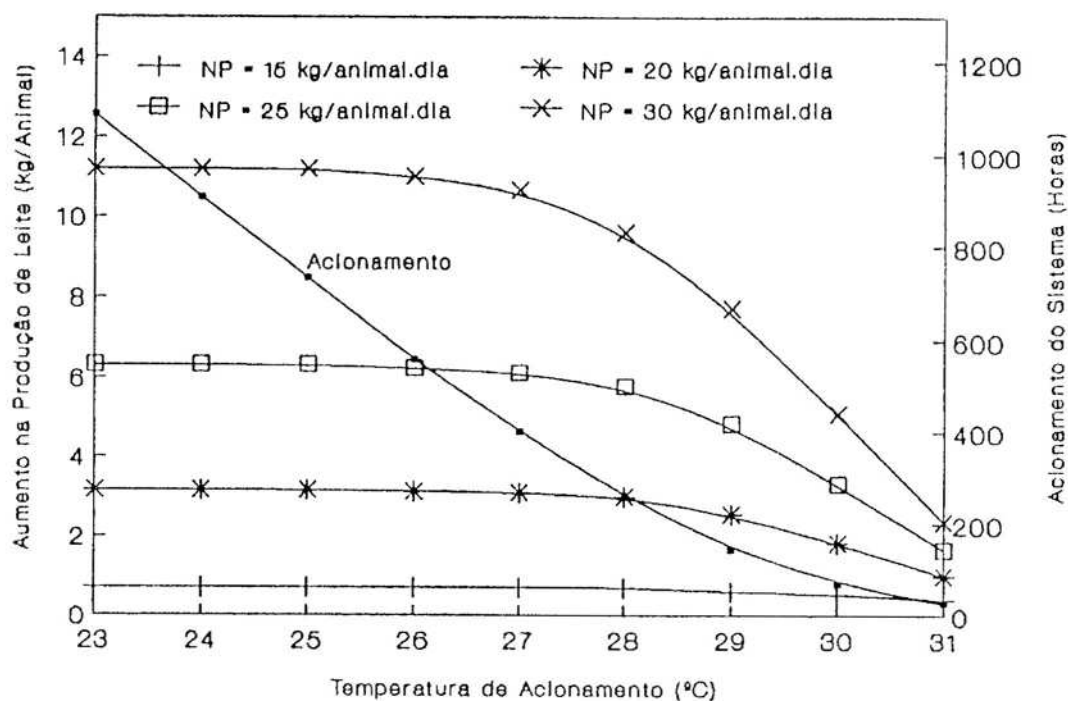


FIGURA 8 - Curvas do Aumento Estimado na Produção de Leite e Tempo de Acionamento do SRAE, em Função da Temperatura de Acionamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes à Localidade de Viçosa.

Pompéu, considerando-se os NPs de 15 e 30 kg/animal.dia, respectivamente.

Em contrapartida, para Patos de Minas e Viçosa, observa-se que o benefício de APL é de 0,5 e 1 kg/animal para o NP de 15 kg/animal.dia e de 10 e 11 kg/animal para o NP de 30 kg/animal.dia, respectivamente. Os tempos médios de acionamento equivalem a 1.100 horas, nas duas localidades.

Deve-se ressaltar que, no caso de temperaturas de acionamento acima de 33 °C, para Barbacena e Montes Claros, é de 32, 31 e 30 °C, respectivamente para Pompéu, Viçosa e Patos de Minas, é esperado que o SRAE seja colocado em operação em apenas 1% das horas do período de dezembro a

março, o que equivale a 30 horas, aproximadamente.

Nas Figuras 9, 10 e 11, apresentam-se o aumento relativo na produção de leite e o tempo relativo de acionamento do SRAE, para os NPs de 15 e 30 kg/animal.dia. Para condição potencial, como mencionado anteriormente, considera-se o sistema acionado a partir de 23 °C e com EMR de 80%.

Verifica-se que na localidade de Barbacena, para o NP de 30 kg/animal.dia, o acionamento a partir de 29 °C implicaria redução de 5% de APL, aliada ao declínio de 70% no tempo de operação do sistema. Por outro lado, para o NP de 15 kg/animal.dia, a mesma redução de APL seria obtida com o SRAE ativado a partir de 30 °C, o que ocasiona a queda de 80% no tempo de acionamento.

Para Montes Claros, as temperaturas de 26 e 29 °C, respectivamente para os NPs de 30 e 15 kg/animal.dia, devem indicar decréscimo de 45 e 70% no tempo de operação do SRAE. Para o acionamento a partir dos referidos valores, o APL também seria reduzido em 5%.

De modo análogo, a mesma redução de APL para o NP de 30 kg/animal.dia poderia ser obtida com o acionamento a partir de 27 °C, nas localidades de Patos de Minas, Pompéu e Viçosa. Em contrapartida, o tempo de acionamento seria reduzido de 60, 55 e 60%, respectivamente. Para o NP de 15 kg/animal.dia, a temperatura de acionamento de 28 °C em Pompéu e Viçosa estaria associada ao declínio de 65 e 80% no tempo de acionamento, respectivamente. Para Patos de

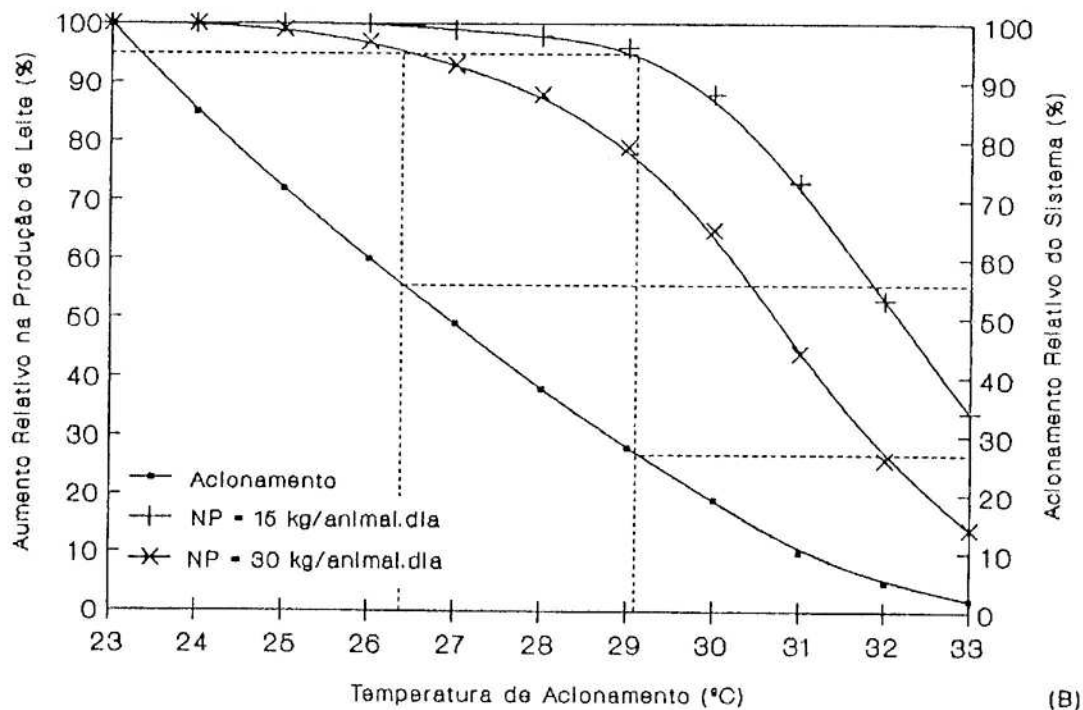
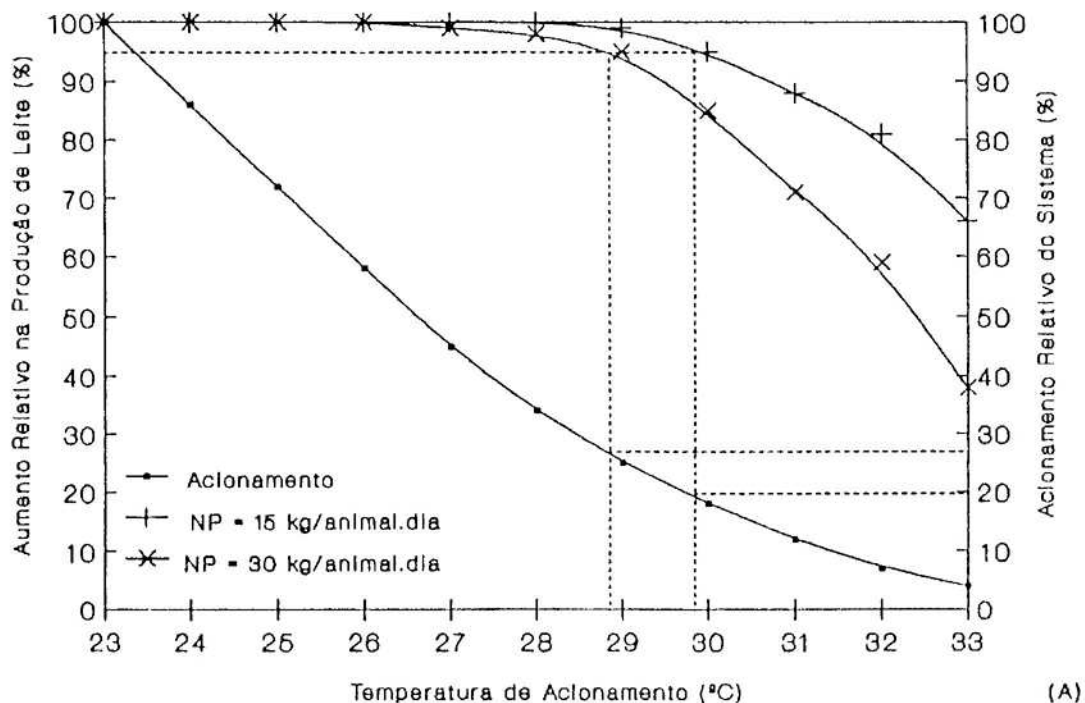
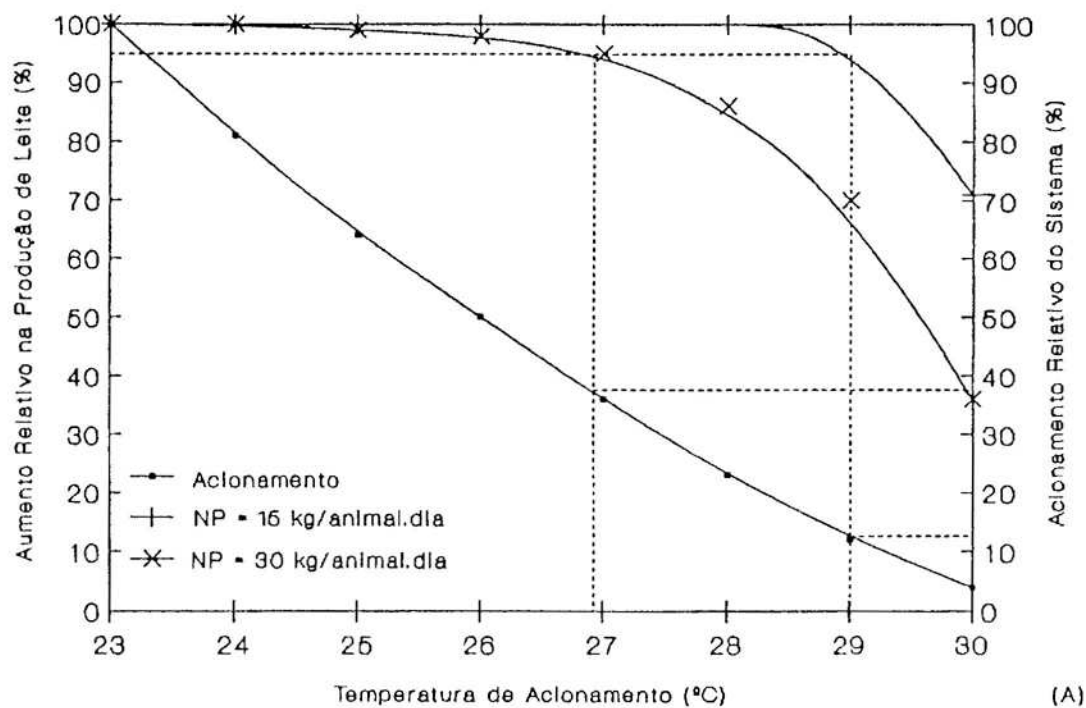
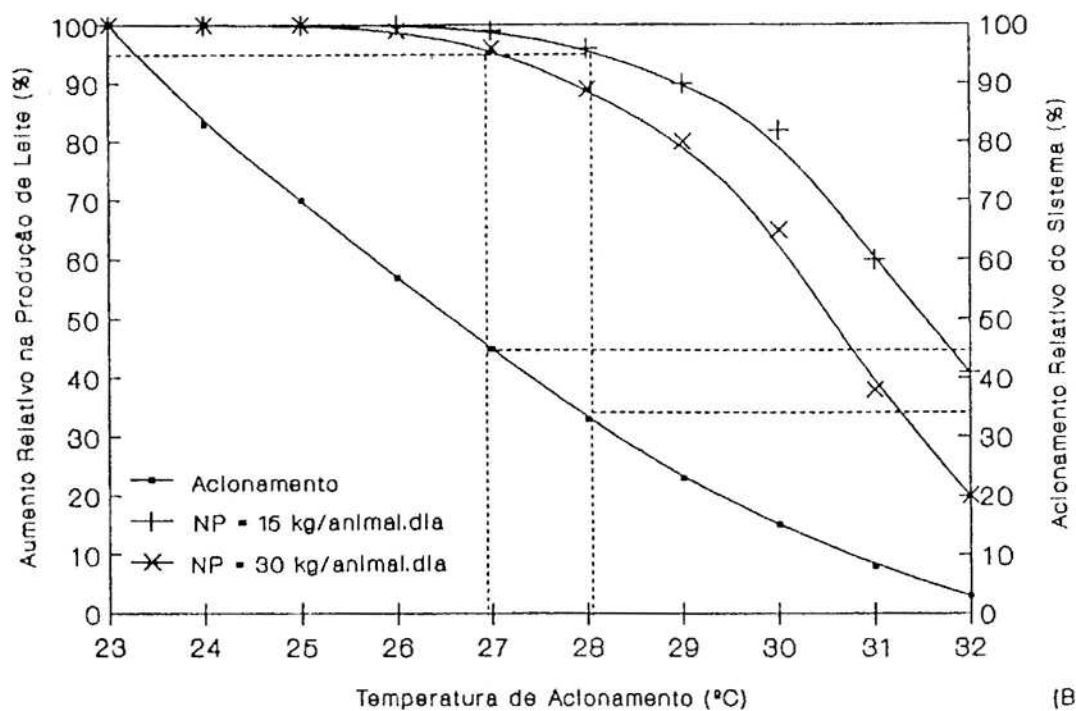


FIGURA 9 - Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite e Tempo Relativo de Aclonamento do SRAE, em Função da Temperatura de Aclonamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Barbacena (A) e Montes Claros (B).



(A)



(B)

FIGURA 10 - Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite e Tempo Relativo de Aclonamento do SRAE, em Função da Temperatura de Aclonamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Patos de Minas (A) e Pompéu (B).

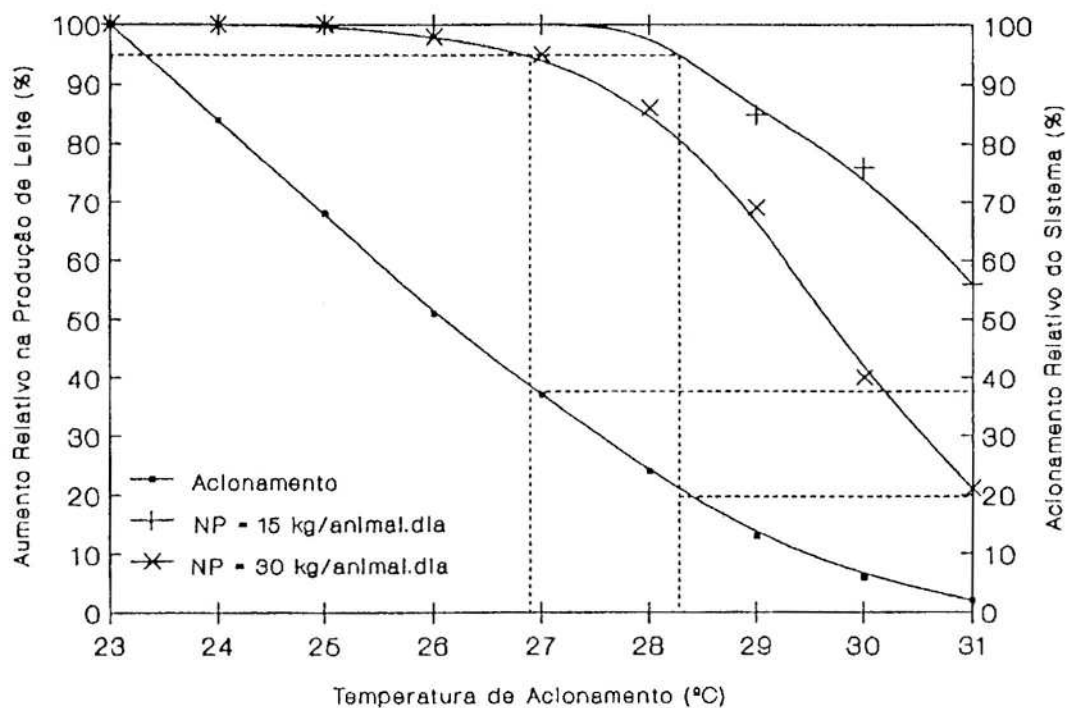


FIGURA 11 - Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite e Tempo Relativo de Aclonamento do SRAE, em Função da Temperatura de Aclonamento, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Distintos NPs, Referentes à Localidade de Viçosa.

Minas, a temperatura seria de 29 °C, com redução de 90% no tempo de operação do SRAE.

Os dados apresentados evidenciam que o SRAE não deve ser colocado em operação, imediatamente após o início do estresse calórico. Para os animais menos produtivos, o sistema deveria ser acionado a temperaturas mais elevadas, em comparação com aqueles de maior NP, que são mais sensíveis ao estresse.

As diferenças nas temperaturas de acionamento podem ser atribuídas às condições climáticas das localidades estudadas. Para regiões de maior umidade relativa como

Barbacena, Viçosa e Pompéu, as temperaturas de acionamento que conduzem a mesma redução percentual de APL para os NPs de 15 e 30 kg/animal.dia apresentam diferença de apenas 1 °C. Entretanto, para Montes Claros e Patos de Minas, a diferença é de 2 e 3 °C, respectivamente.

4.2.2.2. Comparação entre o Aumento Estimado na Produção de Leite e no Consumo Alimentar

Na Figura 12, apresentam-se as curvas do aumento médio estimado na produção de leite em função da temperatura de acionamento do SRAE, para o período de dezembro a março, NP de 25 kg/animal.dia e EMR de 80%, referentes às localidades estudadas.

Comparando os dados da Figura 12 com os resultados mostrados no Quadro 3, observa-se que o APL obedece à seqüência das localidades onde os animais são mais afetados pelo estresse calórico, embora a potencialidade do SRAE em converter o estresse em benefício de produção de leite seja diferente.

Para o SRAE atuando na sua potencialidade, ou seja, acionado a partir de 23 °C, o APL médio é de aproximadamente 5 kg/animal para Patos de Minas e Viçosa, 10 para Barbacena, 35 para Pompéu e 45 para Montes Claros.

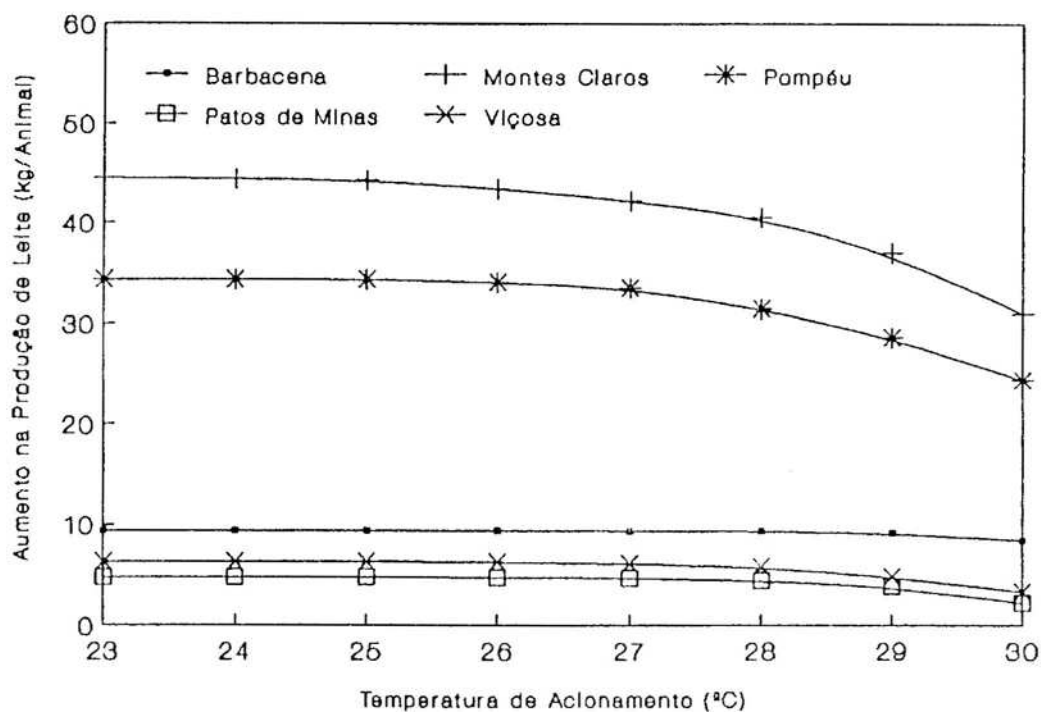


FIGURA 12 - Curvas do Aumento Estimado na Produção de Leite em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, NP de 25 kg/Animal.Dia, EMR de 80% e Localidades Consideradas.

No gráfico da Figura 13 são apresentadas as curvas do aumento médio estimado no consumo alimentar em função da temperatura de acionamento do SRAE, para o período de dezembro a março e EMR de 80%.

Da mesma forma, para a temperatura de acionamento de 23 °C, o ACA médio é de aproximadamente 18 e 23 kg/animal para Pompéu e Montes Claros, respectivamente. Por outro lado, nas localidades onde os animais são menos prejudicados pelo estresse calórico, o ACA é de aproximadamente 2 e 3 kg/animal, respectivamente para Patos de Minas e Viçosa; em Barbacena, é o dobro do daquelas duas localidades.

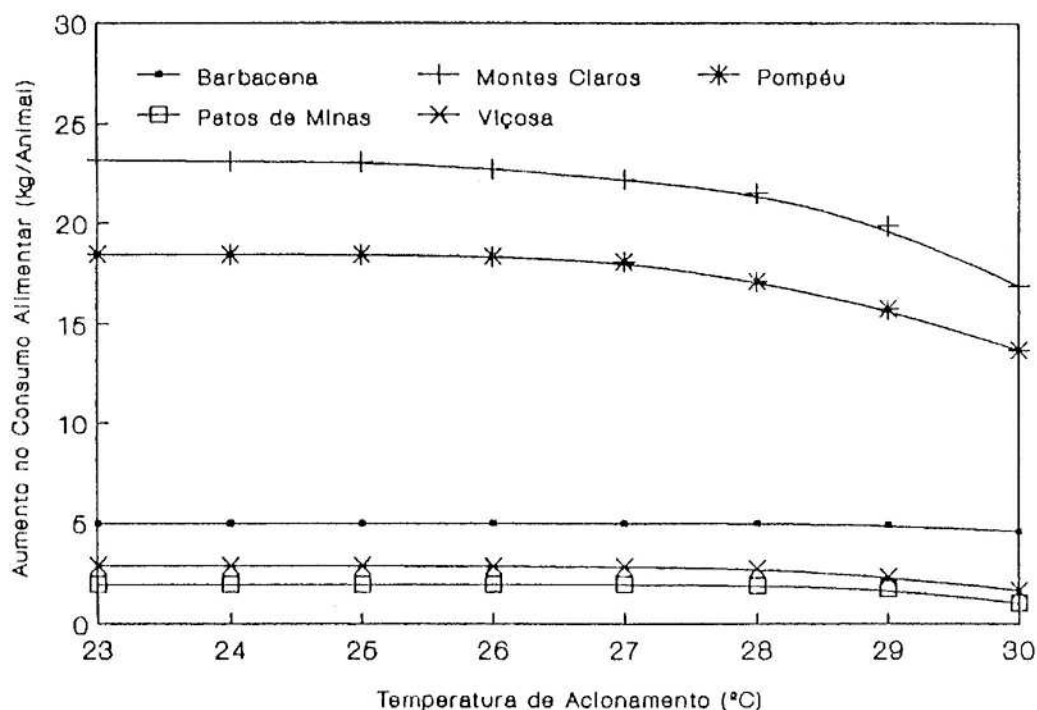


FIGURA 13 - Curvas do Aumento Estimado no Consumo Alimentar em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80% e Localidades Consideradas.

Nos gráficos das Figuras 12 e 13, mostra-se que as curvas de APL e ACA apresentam o mesmo comportamento em relação à temperatura de acionamento do SRAE, uma vez que, melhorando o conforto térmico do ambiente, o animal tende a consumir mais alimento e a produzir mais leite. Este fato deve ser considerado no momento em que o produtor vai decidir sobre a implantação do sistema, já que o aumento no consumo de alimentos também representa fator de custo.

4.2.2.3. Eficiência Máxima de Resfriamento

Nos gráficos das Figuras 14, 15 e 16, apresentam-se as curvas do aumento relativo na produção de leite em função da temperatura de acionamento do SRAE, referentes às localidades estudadas, para o período de dezembro a março, nível de produção de 25 kg/animal.dia e eficiência máxima de resfriamento de 40, 60 e 80%. Na condição potencial, o SRAE opera a partir de 23 °C e com EMR de 80%.

De modo geral, independente da localidade, as curvas para as EMRs de 40 e 60% mostram o mesmo comportamento apresentado pela EMR de 80%, o que também deve indicar grande declínio no tempo de acionamento do SRAE, em correspondência a um pequeno decréscimo de APL, para temperaturas de acionamento logo acima de 23 °C.

Observa-se que a variação na EMR de 80 para 60% conduz à redução percentual, em termos de APL, inferior a 5%, para todas as localidades. Em contrapartida, a variação de 80 para 40% leva à redução de até 20%, o que pode ser verificado em Pompéu e Barbacena.

A redução na EMR parece afetar de forma mais acentuada as regiões onde os animais são mais prejudicados pelo estresse calórico, como Pompéu e Montes Claros. Para Patos de Minas e Viçosa, a variação de 80 para 40% implica uma redução de APL inferior a 10%, para temperaturas de acionamento do SRAE entre 23 e 26 °C.

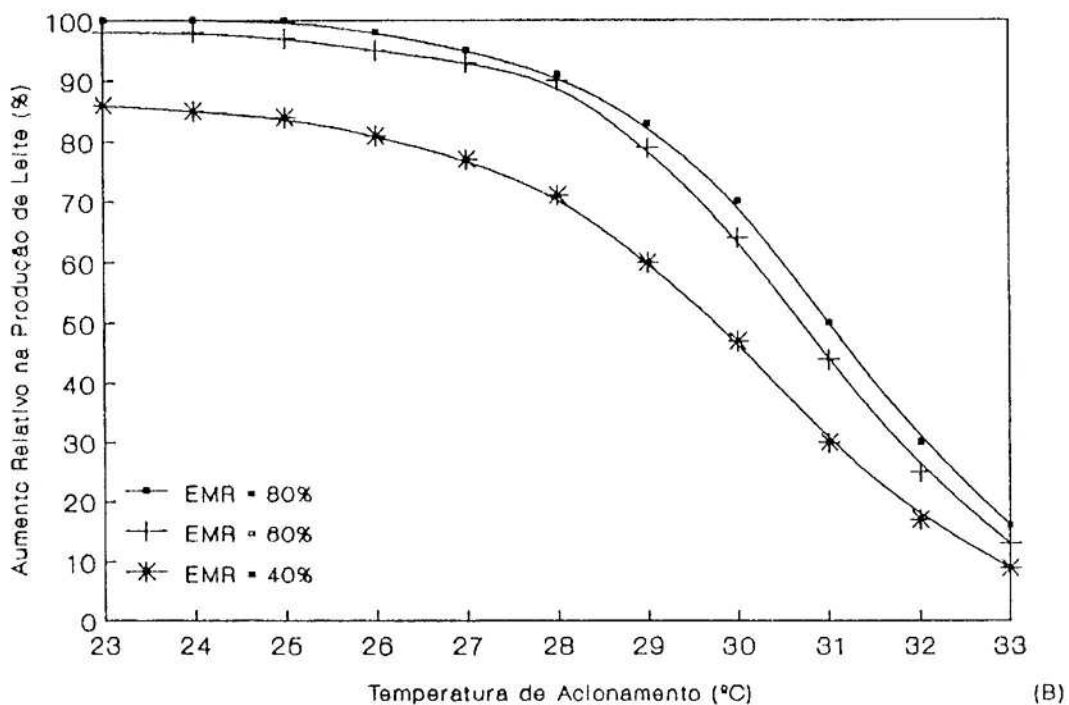
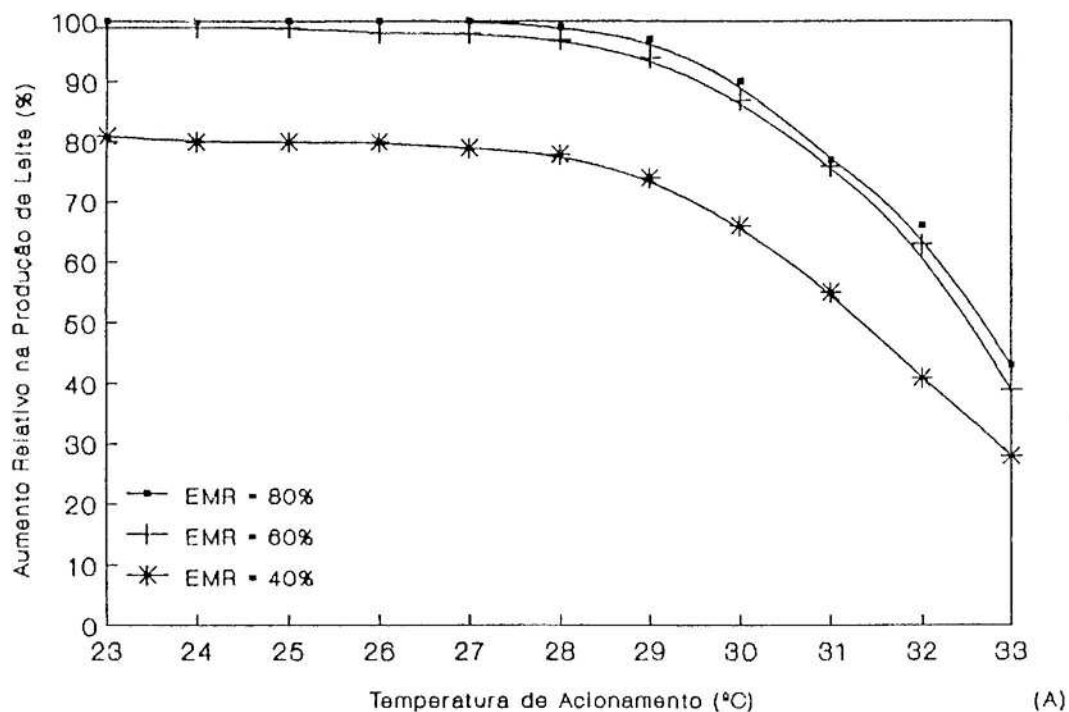


FIGURA 14 - Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite em Função da Temperatura de Aclonamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, NP de 25 kg/Animal.Dia e Distintas EMRs, Referentes às Localidades de Barbacena (A) e Montes Claros (B).

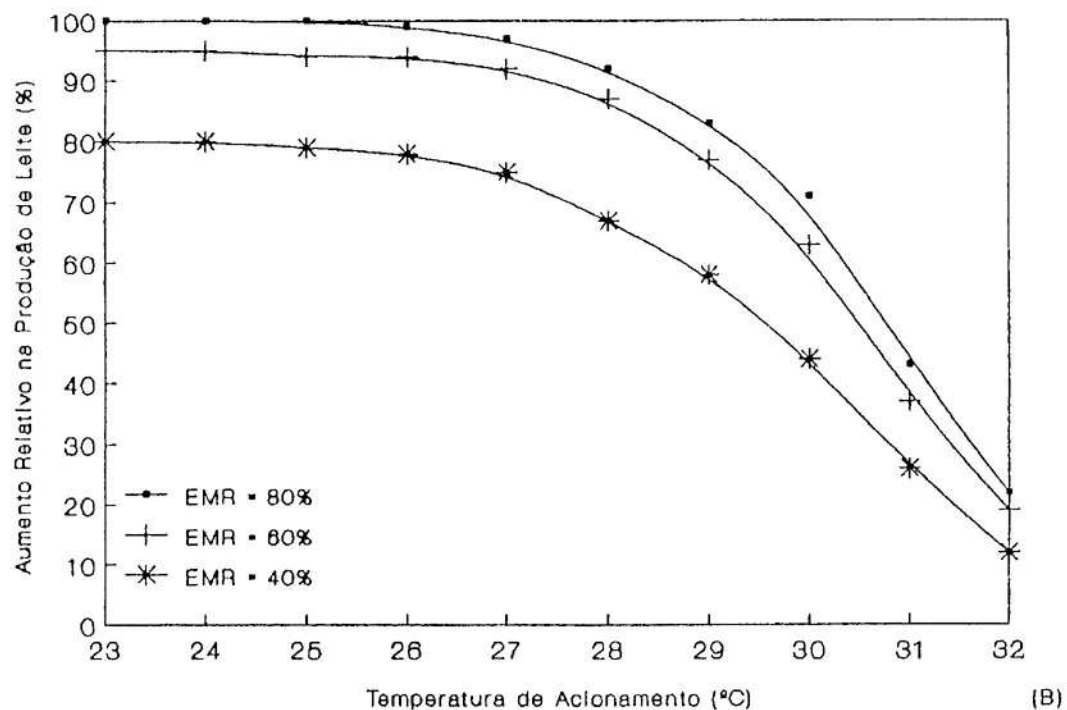
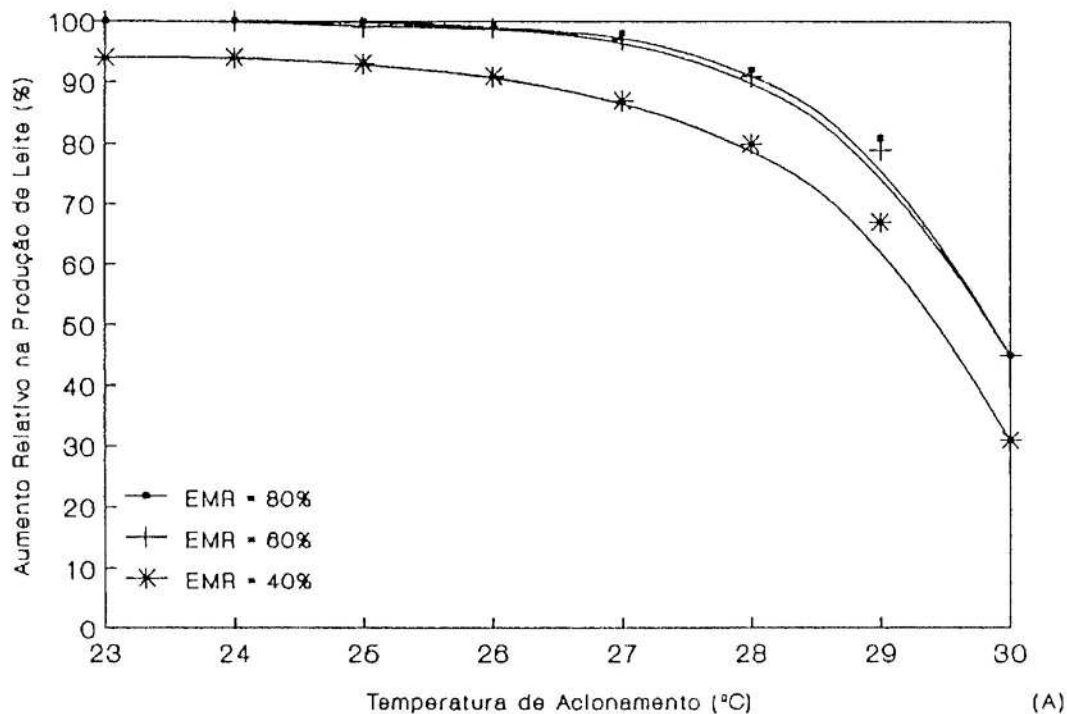


FIGURA 15 - Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite em Função da Temperatura de Aclonamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, NP de 25 kg/Animal.Dia e Distintas EMRs, Referentes às Localidades de Patos de Minas (A) e Pompéu (B).

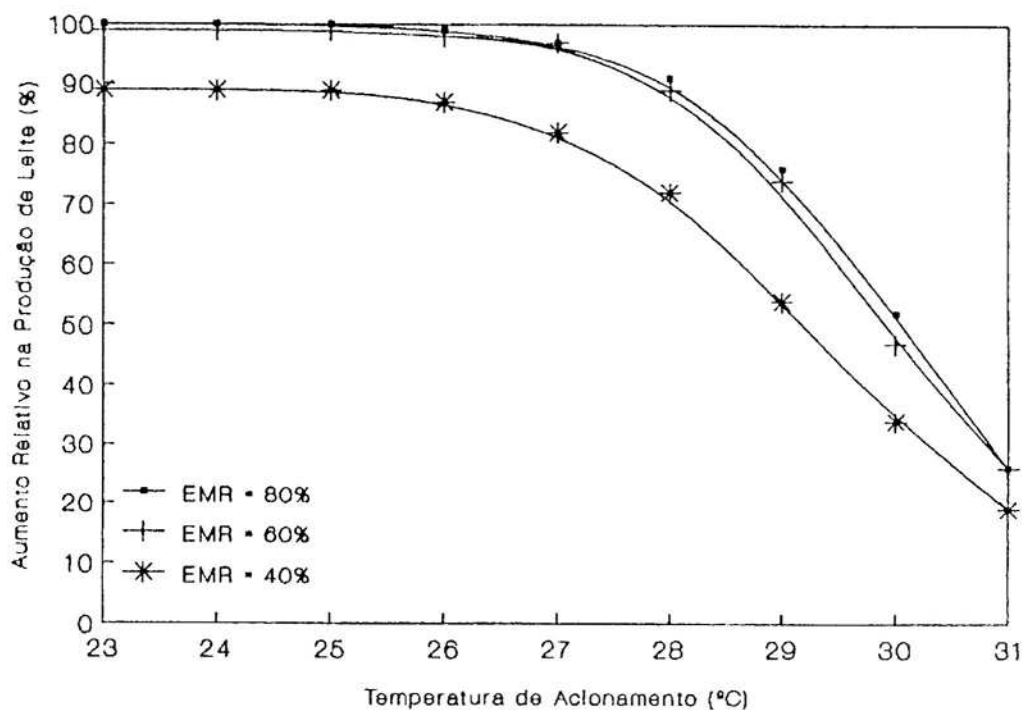


FIGURA 16 - Curvas do Aumento Relativo na Produção de Leite em Função da Temperatura de Aclonamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, NP de 25 kg/Animal.Dia e Distintas EMRs, Referentes à Localidade de Viçosa.

Nas Figuras 17, 18 e 19, mostra-se a magnitude da variação do aumento médio estimado na produção de leite em função da temperatura de aclonamento do SRAE, referente às localidades estudadas, para o período de dezembro a março, EMRs de 40 e 80% e NPs de 20, 25 e 30 kg/animal.dia.

Verifica-se que, para Montes Claros e Pompéu, a variação na EMR de 80 para 40% conduz à redução de APL de aproximadamente 4 e 10 kg/animal, respectivamente para os NPs de 20 e 30 kg/animal.dia. Por outro lado, para as localidades onde os animais são menos afetados pelo estresse calórico, a redução é de apenas 1 kg/animal para o NP de 30 kg/animal.dia.

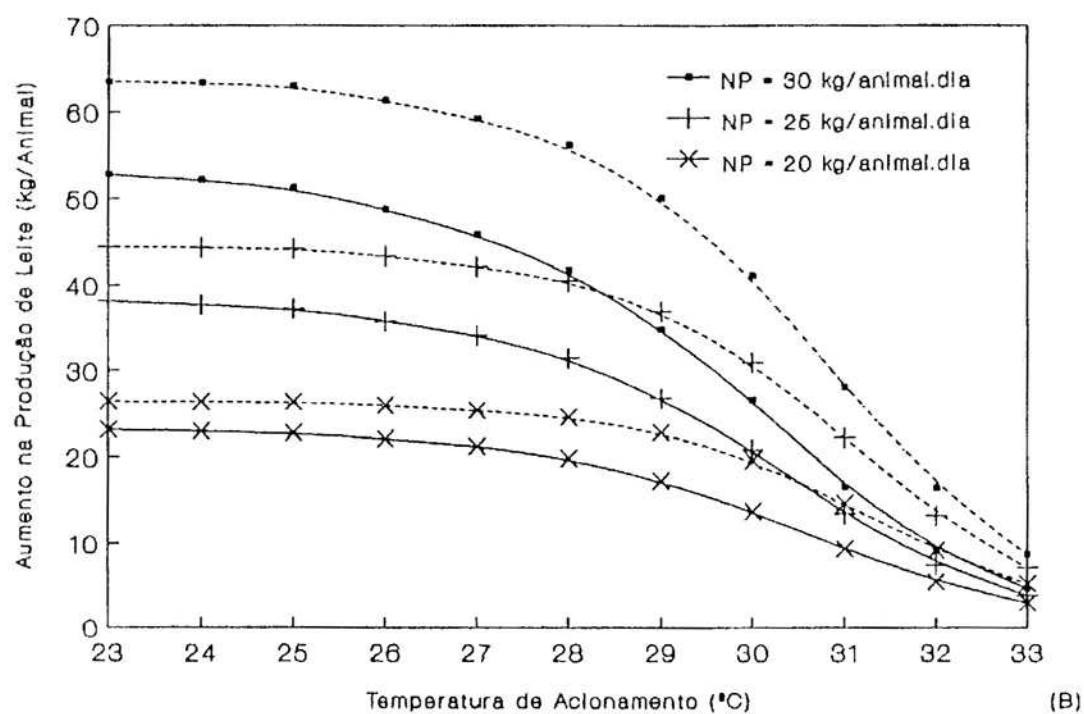
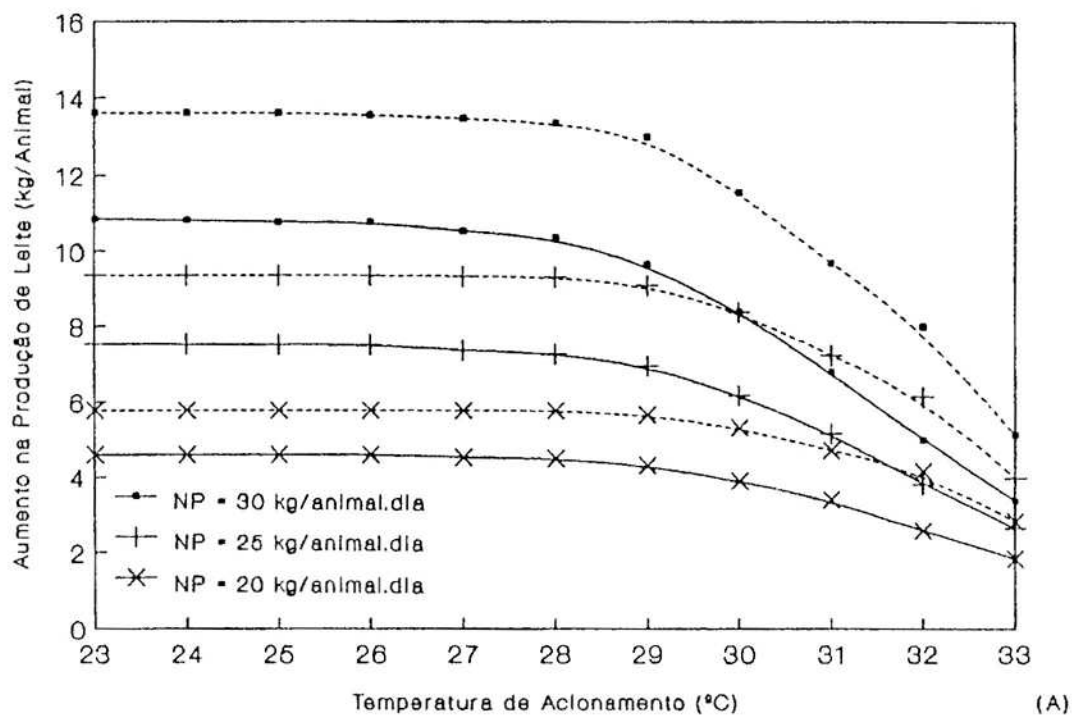


FIGURA 17 - Curvas do Aumento na Produção de Leite em Função da Temperatura de Aclonamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, EMRs de 40 (Linha Contínua) e 80% (Linha Tracejada) e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Barbacena (A) e Montes Claros (B).

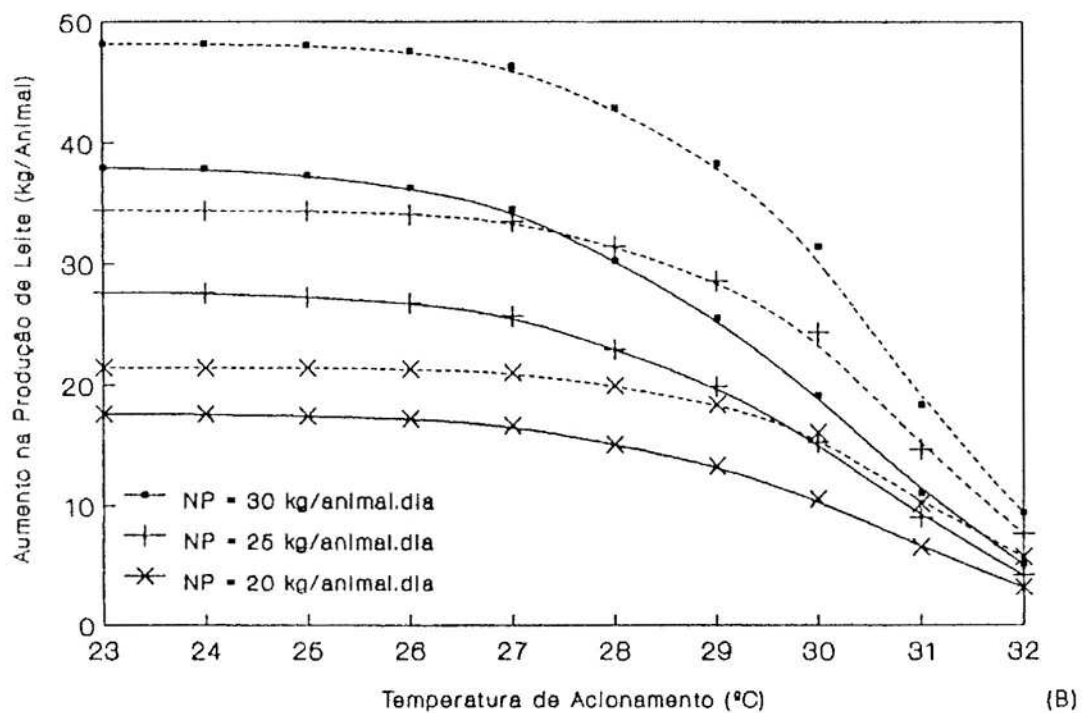
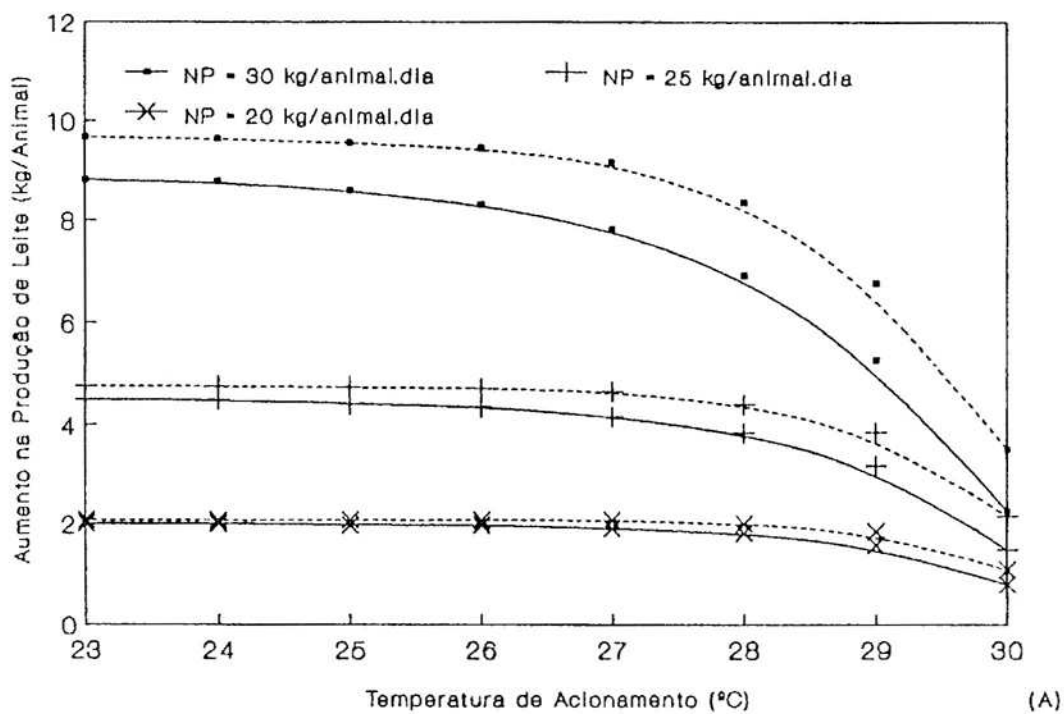


FIGURA 18 - Curvas do Aumento na Produção de Leite em Função da Temperatura de Aclonamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, EMRs de 40 (Linha Contínua) e 80% (Linha Tracejada) e Distintos NPs, Referentes às Localidades de Patos de Minas (A) e Pompéu (B).

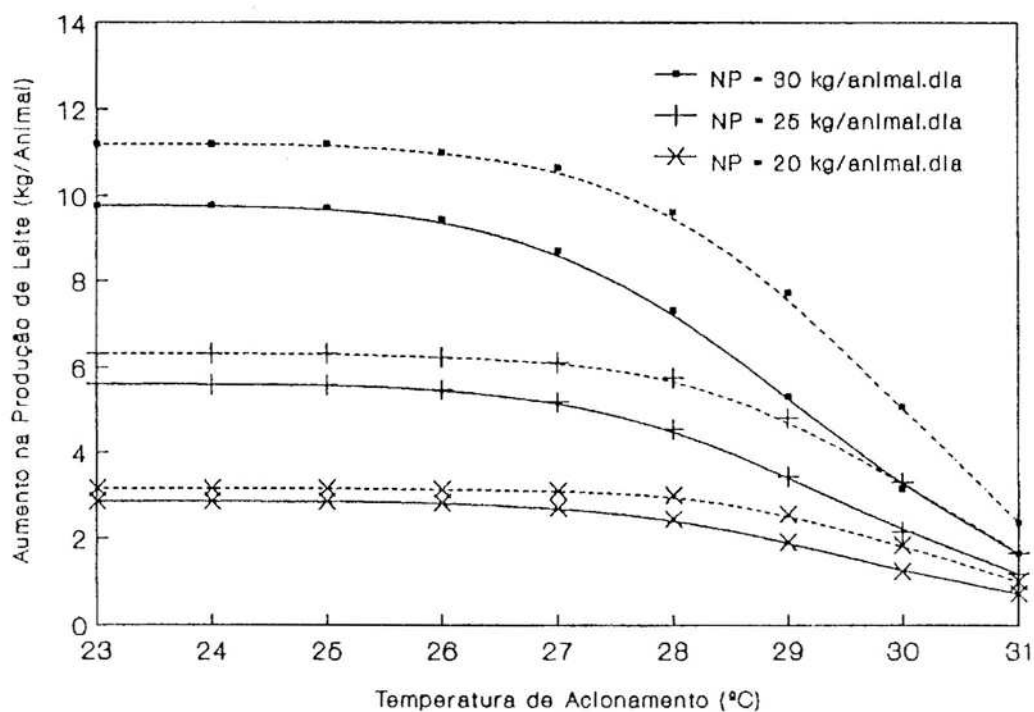


FIGURA 19 - Curvas do Aumento na Produção de Leite em Função da Temperatura de Acionamento do SRAE, para o Período de Dezembro a Março, EMRs de 40 (Linha Contínua) e 80% (Linha Tracejada) e Distintos NPs, Referentes à Localidade de Viçosa.

Os resultados discutidos anteriormente evidenciam a necessidade de maiores cuidados no planejamento e na manutenção do SRAE, para as localidades onde os animais são mais prejudicados pelo estresse calórico ou para animais com maior NP. Em contrapartida, sistemas alternativos, de menor custo, podem ser recomendados para as regiões onde os animais são pouco afetados pelo estresse ou para animais menos produtivos.

4.3. Determinação de Valores de Temperaturas de Bulbo Seco e Bulbo Úmido, para o Dimensionamento do Sistema de Resfriamento Adiabático — Evaporativo

No Quadro 4, apresenta-se a freqüência relativa horária em que distintos valores da temperatura de bulbo seco foram igualados ou superados, bem como a mediana de bulbo úmido correspondente aos valores apresentados, para o período de dezembro a março, referentes às localidades estudadas.

Para todas as localidades, nota-se que as medianas da temperatura de bulbo úmido mostram variação de apenas 1 a 2 °C, para temperaturas de bulbo seco de 23 a 33 °C. Isso evidencia que as temperaturas mais elevadas são as que apresentam maior potencialidade para o resfriamento evaporativo, em virtude da maior depressão psicrométrica.

Assumindo que o estresse calórico é iniciado a partir de 23 °C, como sugerido anteriormente, observa-se que Barbacena apresenta a menor freqüência de horas com estresse, o que erroneamente levaria à conclusão de que a produção de leite seria menos afetada naquela localidade. Entretanto, pode ser constatado que a freqüência de horas com temperaturas acima de 26 °C é praticamente a mesma que em Patos de Minas e Viçosa, sendo, com temperaturas acima de 33 °C, semelhante à de Montes Claros. Por outro lado, para Barbacena, as medianas da temperatura de bulbo úmido são mais elevadas, o que sugere que, em muitas horas do dia, o ITU alcança valores críticos acima daqueles observados em

QUADRO 4 - Frequência Relativa Horária (Fh) em que Distintos Valores da Temperatura de Bulbo Seco Foram Igualados ou Superados e Mediana de Bulbo Úmido (Md) Correspondente aos Valores Apresentados para o Período de Dezembro a Março, Referentes às Localidades Estudadas

Localidade		Temperatura de Bulbo Seco (°C)										
		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Barbacena	Fh (X)	33,2	28,4	23,8	19,3	15,0	11,2	8,3	5,9	3,8	2,4	1,2
	Md (°C)	22	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24
Montes Claros	Fh (X)	53,6	45,6	38,5	32,0	26,2	20,6	14,9	10,1	5,6	2,7	1,1
	Md (°C)	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22
Patos de Minas	Fh (X)	38,5	31,0	24,7	19,1	13,8	8,7	4,5	1,6	0,4	0,1	0,0
	Md (°C)	20	19	19	20	20	20	21	21	21	21	21
Pompéu	Fh (X)	49,2	41,0	34,2	27,8	21,9	16,4	11,5	7,3	3,8	1,6	0,1
	Md (°C)	22	22	22	21	21	21	21	21	22	23	23
Viçosa	Fh (X)	37,5	31,3	25,3	19,3	13,8	9,0	5,0	2,4	1,0	0,3	0,1
	Md (°C)	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	21

Patos de Minas e Viçosa, fazendo com que os animais sejam mais prejudicados pelo estresse.

Esses dados mostram que, para se identificarem as localidades onde os animais são mais afetados pelo estresse calórico, a frequência de horas com temperaturas acima de determinado valor não deve ser utilizada isoladamente, uma vez que a intensidade e duração do estresse também devem ser consideradas.

No Quadro 5, elaborado com base no Quadro 4, apresentam-se os valores de temperatura de bulbo seco igualados ou superados em 1, 2,5 e 5% das horas do período de dezembro a março e a mediana de bulbo úmido

QUADRO 5 - Valores de Temperatura de Bulbo Seco (t_{BS}) que Foram Igualados ou Superados em 1, 2,5 e 5% das Horas do Período de Dezembro a Março e Mediana de Bulbo Úmido (t_{BU}) Correspondente, Recomendados pela ASHRAE para o Dimensionamento do SRAE

Localidade	t_{BS}/t_{BU} ($^{\circ}C/^{\circ}C$)		
	Nível de Frequência (%)		
	1,0	2,5	5,0
Barbacena	33/24	32/24	30/23
Montes Claros	33/22	32/22	31/22
Patos de Minas	30/21	30/21	29/21
Pompéu	32/23	31/22	30/21
Viçosa	31/22	30/22	29/21

correspondente, recomendados pela ASHRAE para o dimensionamento do SRAE.

Deve-se ressaltar, primeiramente, que a depressão psicrométrica a ser usada no dimensionamento do SRAE representa o potencial de redução da temperatura do ar, enquanto a temperatura de bulbo úmido indica o limite até onde a temperatura poderia ser reduzida, caso o ar fosse resfriado até a saturação.

Verifica-se que os valores da temperatura de bulbo seco determinados para Barbacena e Montes Claros são bastante semelhantes para os níveis de frequência de 1, 2,5 e 5%. Entretanto, as medianas dos valores de bulbo úmido associados aos níveis de frequência citados são menores para Montes Claros, o que conduz a uma maior depressão psicrométrica para ser usada no dimensionamento do SRAE.

A comparação entre Montes Claros e Pompéu, onde os animais são mais afetados pelo estresse calórico, revela que, para Montes Claros, os valores da temperatura de bulbo seco estão ligeiramente acima da localidade de Pompéu, para todos os níveis de frequência, que se encontram no Quadro 5. Contudo, para o nível de 1%, a mediana dos valores da temperatura de bulbo úmido é maior para Pompéu.

Da mesma forma, a diferença entre os valores recomendados para Patos de Minas e Viçosa é pequena, o que também foi verificado na estimativa de RPL.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O sistema de resfriamento adiabático — evaporativo —, em instalações agrícolas, tem-se mostrado método valioso para reduzir o desconforto provocado pelo calor. Entretanto, o desconhecimento dos benefícios desse sistema, parte dos produtores, em termos de aumento na produção de leite, constitui problema para a difusão desta técnica.

O presente trabalho teve como propósitos avaliar a potencialidade desse sistema na produção de leite, para vacas da raça Holandesa; e determinar valores de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, para o seu dimensionamento, nas localidades de Barbacena, Montes Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa, considerando-se o período crítico do estresse calórico representado pelos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março.

O desempenho potencial, em termos de aumento na produção de leite (APL) e no consumo alimentar (ACA), foi estimado para os níveis de produção de leite (NP) de 5, 10,

15, 20, 25 e 30 kg/animal.dia, considerando-se a eficiência máxima de resfriamento (EMR) de 80% e o sistema acionado a partir da temperatura de 23 °C, com o umedecimento do ar limitado até a umidade relativa de 80%.

O resfriamento não-potencial também foi avaliado, considerando-se o mesmo limite de umedecimento do ar e EMRs de 40 e 60%, com o objetivo de analisar os sistemas mal planejados e com manutenção deficiente, bem como aqueles cujo acionamento é iniciado a temperaturas mais elevadas que 23 °C, visando ao combate parcial do estresse.

Os valores estimados de RPL e RCA mostraram que as localidades onde os animais são mais prejudicados pelo estresse calórico estão dispostas na seguinte ordem crescente: Patos de Minas, Viçosa, Barbacena, Pompéu e Montes Claros.

Por depender da depressão psicrométrica do ar, o SRAE não pode eliminar todo o estresse calórico do animal, mesmo atuando na sua potencialidade. Para o NP de 25 kg/animal.dia, no período de dezembro a março, o SRAE, acionado a partir de 23 °C e com EMR de 80%, pode reduzir 50% do estresse em Barbacena, 70% em Pompéu, 75% em Viçosa, 80% em Montes Claros e 90% em Patos de Minas. Entretanto, o benefício estimado para o período, em termos de APL, é de aproximadamente 5 kg/animal para Patos de Minas e Viçosa, 10 para Barbacena, 35 para Pompéu e 45 para Montes Claros. Isto indica que, para a implantação desse sistema, devem ser analisados: a presença do estresse calórico constatado a

partir da estimativa de RPL e o potencial climático da região para o seu desempenho.

Para os sistemas cujo acionamento é iniciado a temperaturas mais elevadas que 23 °C, constatou-se que as curvas de APL e tempo de acionamento apresentam comportamentos opostos. Para temperaturas de acionamento logo acima de 23 °C, ocorrem grande declínio no tempo de acionamento e pequena variação de APL, o que possibilita economia acentuada nos custos operacionais do SRAE, sem comprometer, de forma marcante, o benefício em termos de APL.

Para os animais menos produtivos, o sistema deve ser acionado a temperaturas mais elevadas, em comparação com aqueles de maior NP, que são mais sensíveis ao estresse calórico. Essa diferença, na temperatura de acionamento, parece estar associada às condições climáticas da localidade, indicando que maior observação deve ser dada, quanto a esse fato, nas regiões de menor umidade relativa do ar.

As curvas de APL para as EMRs de 40 e 60% apresentam o mesmo comportamento que para a EMR de 80%, o que também revela grande declínio no tempo de acionamento do SRAE, em correspondência a um pequeno decréscimo de APL, para temperaturas de acionamento logo acima de 23 °C.

A variação na EMR de 80 para 60% conduz à redução percentual, em termos de APL, inferior a 5% para todas as localidades estudadas. Em contrapartida, a variação de 80

para 40% leva à redução de até 20%, o que foi verificado em Pompéu e Barbacena.

O declínio de APL, em termos de magnitude, evidencia a necessidade de maiores cuidados no planejamento e na manutenção do SRAE, para as localidades onde os animais são mais prejudicados pelo estresse calórico ou para animais com maior NP. Em contrapartida, sistemas alternativos, de menor custo, podem ser recomendados para regiões onde os animais são pouco afetados pelo estresse ou para animais menos produtivos.

Para se identificarem as localidades onde os animais são mais afetados pelo estresse calórico, a frequência de horas com temperaturas acima de determinado valor não deve ser utilizada isoladamente, uma vez que a intensidade e duração do estresse também devem ser consideradas.

Por fim, o presente trabalho conduziu a resultados que permitem ao produtor das localidades estudadas ter base para decidir sobre a implantação do SRAE, uma vez que esse trabalho fornece a expectativa de incremento na produção de leite, mas também fatores de custo como aumento no consumo alimentar e tempo de operação do sistema, para distintas temperaturas de acionamento. A metodologia aqui desenvolvida também pode ser aplicada para outras regiões de interesse.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Evaporative air-cooling equipment. In: ASHRAE Equipment handbook. Atlanta, 1983. part 1: Air-handling equipment, cap. 4, p. 1-10.
- . Environmental control for animals and plants. In: ASHRAE Fundamentals handbook. Atlanta, 1985. part 2: General engineering data, cap. 9, p. 1-18.
- BERRY, F. A.; BOLLAY, E.; BEERS, N. R. Handbook of meteorology. New York, McGraw-Hill Book Company, 1945. 1068 p.
- BERRY, I. L.; SHANKLIN, M. D.; JOHNSON, H. D. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. Transactions of the ASAE, 2(3): 329-31, 1964.
- BIANCA, W. The significance of meteorology in animal production. Int. J. Biometeorology, 20(2): 139-56, 1976.
- BUFFINGTON, D. E.; AROCHO, A. C.; CANTON, G. H.; PITT, G.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. Y. Black globe-humidity index (BGHI) as confort equation for dairy cows. Transactions of the ASAE, 24(3): 711-4, 1981.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R. J.; CANTON, G. H. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. Transactions of the ASAE, 26(6): 1798-802, 1983.
- CANTON, G. H.; BUFFINGTON, D. E.; COLLIER, R. J. Inspired-air cooling for dairy cows. Transactions of the ASAE, 25(3): 730-4, 1982.

- CANTON, G. H.; BUFFINGTON, D. E.; MATHER, F. B. Evaporative cooling effects on mature male broiler breeders. Transactions of the ASAE, 26(6): 1794-7, 1983.
- CROW, L. W. Weather data related to evaporative cooling. Ashrae J., 14(6): 60-8, 1972.
- CURTIS, S. E. Environmental management in animal agriculture. Ames, The Iowa State University Press, 1983. 410 p.
- ESMAY, M. L. Principles of animal environment. Westport, AVI Publishing Co., 1978. 358 p.
- ESMAY, M. L. & DIXON, J. E. Environmental control for agricultural buildings. Westport, AVI Publishing Co., 1986. 287 p.
- FEHR, R. L.; PRIDDY, K. T.; McNEILL, S. G.; OVERHULTS, D. G. Limiting Swine stress with evaporative cooling in the southeast. Transactions of the ASAE, 26(2): 542-5, 1983.
- HAFEZ, E. S. E. Adaptation of domestic animals. Philadelphia, Lea and Febiger, 1968. 415 p.
- HAHN, G. L. & OSBURN, D. D. Feasibility of summer environmental control for dairy cattle based on expected production losses. Transactions of the ASAE, 12(4): 448-51, 1969.
- _____. Feasibility of evaporative cooling for dairy cattle based on expected production losses. Transactions of the ASAE, 13(3): 289-91 e 294, 1970.
- HANAN, J. J.; HOLLEY, W. D.; GOLDSBERRY, K. L. Greenhouse management. New York, Springer-Verlag, 1978. 532 p.
- HESS, S. L. Introduction to theoretical meteorology. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1959. 362 p.
- HINKLE, C. N. & STOMBAUGH, D. P. Quantity of air flow for livestock ventilation. In: HELLICKSON, M. A. & WALKER, J. N. Ventilation of agricultural structures. St Joseph, ASAE, 1983. p. 169-91.
- JENSEN, M. E. Consumptive use of water and irrigation water requirements. New York, ASCE, 1973. 215 p.
- JOHNSON, H. D.; RAGSDALE, A. C.; BERRY, I. L.; SHANKLIN, M. D. Temperature-humidity effects including influence of acclimation in feed and water consumption of holstein cattle. Columbia, Missouri Agricultural Experiment Station, 1963. 43 p. (Research Bulletin no 846).

- KELLY, C. F.; BOND, T. E.; ITTNER, N. R. Thermal design of livestock shades. Agricultural Engineering, 31(12): 601-6, 1950.
- MATON, A.; DAELEMANS, J.; LAMBRECHT, J. Housing of animals. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V., 1985. 458 p.
- McNEILL, S. G.; FEHR, R. L.; WALKER, J. N.; PARKER, G. R. Performance of evaporative coolers for mid-south gestation housing. Transactions of the ASAE, 26(1): 219-22, 1983.
- ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERNA, S. B. Microclimate: the biological environment. New York, Wiley-Interscience Publication, 1983. 495 p.
- THOM, E. C. The discomfort index. Weatherwise, 12: 57-60, 1959.
- TIMMONS, M. B. & BAUGHMAN, G. R. Experimental evaluation of poultry mist-fog systems. Transactions of the ASAE, 26(1): 207-10, 1983.
- _____. A plenum concept applied to evaporative pad cooling for broiler housing. Transactions of the ASAE, 27(6): 1877-81, 1984.
- WALKER, J. N. & COTTER, D. J. Cooling of greenhouses with various water evaporations systems. Transactions of the ASAE, 11(1): 116-9, 1968.
- WIERSMA, F. & SHORT, T. H. Evaporative cooling. In: HELICKSON, M. A. & WALKER, J. N. Ventilation of agricultural structures. St. Joseph, ASAE, 1983. p. 103-18.

APÉNDICES

APÊNDICE A

QUADRO 1A - Frequência Relativa Diária (Fd) em que Distintos Valores do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) Foram Igualados ou Superados para os Meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Dezembro, Referentes às Localidades de Barbacena, Montes Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa

BARBACENA				
ITU	Fd (%)			
	Janeiro	Fevereiro	Março	Dezembro
70,0	46,9	50,4	40,0	30,0
70,2	42,9	46,4	37,1	25,8
70,4	40,6	43,2	34,8	24,8
70,6	37,3	39,3	33,2	22,9
70,8	34,3	37,5	31,0	21,3
71,0	32,0	34,6	29,7	18,4
71,2	30,0	31,8	27,1	16,8
71,4	26,7	28,6	23,5	15,2
71,6	25,4	25,0	20,0	14,2
71,8	22,1	22,1	17,4	13,5
72,0	20,5	20,0	15,2	12,6
72,2	19,1	16,8	14,2	11,3
72,4	18,2	15,0	12,6	9,7
72,6	16,2	13,2	10,0	9,0
72,8	13,5	10,7	6,8	8,1
73,0	11,9	8,6	6,1	7,4
73,2	10,6	6,8	4,2	7,1
73,4	10,6	6,1	3,5	7,1
73,6	8,6	5,0	3,5	6,5
73,8	7,6	3,9	3,2	6,1
74,0	6,6	3,9	3,2	5,8
74,2	6,3	3,6	3,2	5,2
74,4	5,0	2,9	2,3	4,8
74,6	4,3	2,5	1,3	4,5
74,8	3,6	2,1	1,0	4,2
75,0	2,6	1,8	0,6	3,9

Continua ...

QUADRO 1A, Cont.

MONTES CLAROS				
ITU	Fd (%)			
	Janeiro	Fevereiro	Março	Dezembro
70,0	91,3	95,7	93,2	84,2
70,2	89,0	95,7	91,2	81,9
70,4	87,1	93,6	88,6	79,0
70,6	84,2	92,1	86,4	75,2
70,8	82,9	91,4	83,8	70,6
71,0	79,7	88,6	82,1	66,5
71,2	76,1	84,6	79,2	60,6
71,4	72,9	80,4	76,0	56,1
71,6	66,8	77,1	68,5	53,2
71,8	62,6	71,4	65,6	45,8
72,0	55,5	67,9	60,4	40,3
72,2	48,7	62,5	54,5	37,7
72,4	45,2	59,3	48,7	34,8
72,6	40,3	54,6	41,6	30,6
72,8	34,8	50,0	35,1	26,8
73,0	29,7	41,8	30,2	23,5
73,2	23,2	36,1	25,3	19,0
73,4	21,3	28,2	18,2	15,5
73,6	17,4	21,8	15,9	12,6
73,8	14,5	15,7	14,0	11,3
74,0	12,3	13,9	10,7	9,7
74,2	11,0	9,3	7,8	8,4
74,4	8,4	7,5	5,8	7,4
74,6	6,1	5,4	3,9	4,5
74,8	4,5	3,9	2,3	3,5
75,0	3,5	2,1	1,0	2,9

Continua ...

QUADRO 1A, Cont.

PATOS DE MINAS				
ITU	Fd (%)			
	Janeiro	Fevereiro	Março	Dezembro
70,0	50,2	67,9	62,3	38,1
70,2	44,9	62,5	55,2	32,9
70,4	38,0	57,5	48,1	30,6
70,6	32,0	53,6	42,6	25,5
70,8	26,4	49,6	36,8	21,0
71,0	23,4	43,6	31,6	17,7
71,2	19,5	36,1	26,8	14,8
71,4	16,2	29,3	21,9	11,6
71,6	13,5	23,9	20,0	10,3
71,8	11,2	18,2	16,5	8,4
72,0	10,2	15,4	12,6	5,2
72,2	7,6	11,4	10,3	4,2
72,4	5,3	8,6	8,7	3,5
72,6	2,6	7,5	5,5	2,6
72,8	1,3	5,4	4,2	1,6
73,0	0,7	3,6	3,5	0,6
73,2	0,3	2,1	2,6	0,3
73,4	0,3	1,1	2,3	0,3
73,6	0,0	0,7	1,6	0,0
73,8	0,0	0,4	0,6	0,0
74,0	0,0	0,0	0,3	0,0
74,2	0,0	0,0	0,3	0,0
74,4	0,0	0,0	0,0	0,0
74,6	0,0	0,0	0,0	0,0
74,8	0,0	0,0	0,0	0,0
75,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Continua ...

QUADRO 1A, Cont.

POMPÉU				
ITU	Fd (%)			
	Janeiro	Fevereiro	Março	Dezembro
70,0	91,9	83,2	81,5	74,7
70,2	89,8	81,4	80,3	67,2
70,4	87,1	80,2	77,7	62,9
70,6	83,3	77,8	72,0	61,3
70,8	79,0	74,3	66,9	58,6
71,0	76,3	72,5	63,7	53,2
71,2	71,0	68,9	58,0	43,5
71,4	64,0	65,3	53,5	39,8
71,6	60,8	62,9	47,1	33,9
71,8	56,5	60,5	44,6	30,6
72,0	53,2	58,1	42,7	28,0
72,2	50,0	56,3	36,9	24,2
72,4	46,2	53,3	31,8	19,4
72,6	37,6	51,5	26,8	16,1
72,8	32,8	50,3	22,9	12,9
73,0	30,1	44,3	19,1	10,8
73,2	26,3	41,3	15,9	8,1
73,4	22,0	32,9	14,0	6,5
73,6	19,9	26,9	12,1	5,4
73,8	17,7	21,6	11,5	4,8
74,0	16,1	18,6	8,9	2,7
74,2	12,9	15,0	7,0	1,6
74,4	11,3	14,4	5,1	1,1
74,6	8,6	9,0	4,5	1,1
74,8	7,0	8,4	3,2	0,5
75,0	4,8	5,4	0,6	0,0

Continua ...

QUADRO 1A, Cont.

VICOSA				
ITU	Fd (%)			
	Janeiro	Fevereiro	Março	Dezembro
70,0	64,5	71,8	62,3	51,3
70,2	60,9	70,0	56,5	47,4
70,4	55,9	65,4	51,9	41,9
70,6	50,3	60,0	45,8	35,1
70,8	46,1	54,3	40,6	28,9
71,0	41,4	47,1	32,9	24,7
71,2	36,2	42,5	26,8	20,8
71,4	31,3	37,5	21,3	16,2
71,6	24,7	30,0	16,5	14,6
71,8	20,4	23,9	13,5	12,7
72,0	17,1	18,6	10,3	10,4
72,2	15,1	15,7	6,8	8,4
72,4	13,5	12,5	4,2	6,5
72,6	10,5	7,1	3,2	4,9
72,8	9,2	6,4	1,9	4,2
73,0	8,2	4,6	0,6	2,6
73,2	5,9	2,9	0,6	1,9
73,4	4,6	1,4	0,0	1,3
73,6	3,3	1,1	0,0	1,3
73,8	2,3	0,7	0,0	1,3
74,0	2,0	0,4	0,0	1,3
74,2	1,3	0,4	0,0	1,0
74,4	1,3	0,4	0,0	0,6
74,6	1,0	0,4	0,0	0,3
74,8	0,7	0,4	0,0	0,3
75,0	0,3	0,4	0,0	0,0

APÊNDICE B

QUADRO 1B - Valores Médios Estimados (M) do Aumento na Produção de Leite (APL) e no Consumo Alimentar (ACA), Tempo de Acionamento do SRAE (t), Desvio-Padrão (D) das Respectivas Estimativas, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 80%, Nps de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 kg/Animal.Dia, e Distintas Temperaturas de Acionamento (T), Referentes às Localidades de Barbacena, Montes Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa

BARBACENA									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)						ACA (kg/Animal)
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	M	964	0,0	0,6	2,5	5,8	9,4	13,6	5,0
	D	195	0,0	1,0	3,5	6,7	9,9	13,1	5,7
24	M	825	0,0	0,6	2,5	5,8	9,4	13,6	5,0
	D	191	0,0	1,0	3,5	6,7	9,9	13,1	5,7
25	M	691	0,0	0,6	2,5	5,8	9,4	13,6	5,0
	D	191	0,0	1,0	3,5	6,7	9,9	13,1	5,7
26	M	559	0,0	0,6	2,5	5,8	9,3	13,6	5,0
	D	206	0,0	1,0	3,5	6,7	9,9	13,0	5,7
27	M	434	0,0	0,6	2,5	5,8	9,3	13,5	5,0
	D	203	0,0	1,0	3,5	6,7	9,9	12,9	5,7
28	M	325	0,0	0,6	2,5	5,8	9,3	13,4	5,0
	D	192	0,0	1,0	3,5	6,7	9,9	12,8	5,7
29	M	239	0,0	0,6	2,5	5,7	9,1	13,0	4,9
	D	166	0,0	1,0	3,5	6,6	9,7	12,5	5,6
30	M	169	0,0	0,6	2,4	5,3	8,4	11,6	4,6
	D	132	0,0	1,0	3,3	6,1	8,9	11,3	5,1
31	M	110	0,0	0,6	2,2	4,7	7,3	9,7	4,0
	D	95	0,0	1,0	3,1	5,4	7,7	9,6	4,5
32	M	68	0,0	0,6	2,1	4,2	6,2	8,0	3,5
	D	65	0,0	0,9	3,0	5,1	7,2	8,8	4,3
33	M	36	0,0	0,5	1,7	2,8	4,0	5,1	2,3
	D	37	0,0	0,8	2,2	3,4	4,5	5,6	2,8

Continua ...

QUADRO 1B, Cont.

MONTES CLAROS									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)					ACA (kg/Animal)	
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	H	1555	0,0	0,9	9,2	26,4	44,5	63,5	23,2
	D	129	0,0	0,8	5,6	11,9	18,3	24,1	10,2
24	H	1323	0,0	0,9	9,2	26,4	44,4	63,4	23,1
	D	127	0,0	0,8	5,6	11,9	18,3	24,0	10,2
25	H	1119	0,0	0,9	9,2	26,3	44,3	63,0	23,1
	D	127	0,0	0,8	5,6	11,9	18,3	24,0	10,2
26	H	930	0,0	0,9	9,2	26,0	43,5	61,3	22,7
	D	127	0,0	0,8	5,6	11,7	17,8	23,1	9,9
27	H	761	0,0	0,9	9,1	25,3	42,2	59,2	22,2
	D	122	0,0	0,8	5,6	11,6	17,6	22,9	9,8
28	H	598	0,0	0,9	9,0	24,6	40,6	56,2	21,5
	D	119	0,0	0,8	5,6	11,2	17,0	22,1	9,5
29	H	434	0,0	0,9	8,8	22,9	37,0	50,1	19,9
	D	115	0,0	0,8	5,3	10,8	16,4	21,1	9,2
30	H	293	0,0	0,9	8,1	19,6	31,0	41,1	16,9
	D	111	0,0	0,8	5,1	10,3	15,5	19,9	8,7
31	H	161	0,0	0,9	6,7	14,7	22,2	28,1	12,5
	D	89	0,0	0,8	4,9	9,4	13,7	17,1	7,9
32	H	79	0,0	0,8	4,9	9,3	13,3	16,5	7,7
	D	57	0,0	0,7	4,0	6,8	9,5	11,8	5,6
33	H	34	0,0	0,6	3,2	5,3	7,2	8,8	4,3
	D	28	0,0	0,5	2,7	4,3	5,9	7,2	3,5

Continua ...

QUADRO 1B, Cont.

PATOS DE MINAS										
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)					ACA (kg/Animal)		
			NP (kg/Animal.Dia)							
			5	10	15	20	25	30		
23	H	1117	0,0	0,0	0,2	2,1	4,8	9,7	1,9	
	D	113	0,0	0,0	0,4	2,1	4,1	6,5	1,9	
24	H	900	0,0	0,0	0,2	2,1	4,8	9,6	1,9	
	D	114	0,0	0,0	0,4	2,1	4,0	6,4	1,9	
25	H	718	0,0	0,0	0,2	2,1	4,8	9,6	1,9	
	D	110	0,0	0,0	0,4	2,1	4,0	6,3	1,9	
26	H	553	0,0	0,0	0,2	2,1	4,7	9,5	1,9	
	D	98	0,0	0,0	0,4	2,1	4,0	6,3	1,9	
27	H	401	0,0	0,0	0,2	2,1	4,7	9,2	1,9	
	D	88	0,0	0,0	0,4	2,1	4,0	6,1	1,9	
28	H	253	0,0	0,0	0,2	2,0	4,4	8,4	1,9	
	D	74	0,0	0,0	0,4	2,1	3,8	5,6	1,9	
29	H	129	0,0	0,0	0,2	1,8	3,9	6,8	1,7	
	D	50	0,0	0,0	0,4	1,9	3,3	4,6	1,7	
30	H	47	0,0	0,0	0,2	1,1	2,2	3,5	1,0	
	D	27	0,0	0,0	0,3	1,2	2,1	2,7	1,1	

Continua ...

QUADRO 1B, Cont.

POMPEU									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)						ACA (kg/Animal)
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	H	1437	0,0	1,4	9,1	21,4	34,4	48,2	18,5
	D	160	0,0	1,2	5,9	10,8	15,9	20,6	9,1
24	H	1197	0,0	1,4	9,1	21,4	34,4	48,2	18,5
	D	136	0,0	1,2	5,9	10,8	15,9	20,6	9,1
25	H	999	0,0	1,4	9,1	21,4	34,4	48,0	18,5
	D	121	0,0	1,2	5,9	10,8	15,9	20,6	9,1
26	H	811	0,0	1,4	9,1	21,3	34,1	47,6	18,4
	D	116	0,0	1,2	5,9	10,9	15,9	20,5	9,1
27	H	641	0,0	1,4	9,0	21,0	33,5	46,3	18,1
	D	110	0,0	1,2	5,8	10,7	15,6	19,6	9,0
28	H	477	0,0	1,4	8,7	20,0	31,5	42,9	17,1
	D	107	0,0	1,2	5,6	9,9	14,3	17,9	8,3
29	H	337	0,0	1,4	8,2	18,4	28,7	38,3	15,7
	D	105	0,0	1,2	5,3	8,8	12,5	15,7	7,3
30	H	213	0,0	1,3	7,5	16,1	24,4	31,4	13,7
	D	91	0,0	1,2	4,8	7,7	10,6	12,9	6,3
31	H	111	0,0	1,1	5,5	10,2	14,7	18,4	8,5
	D	65	0,0	1,0	3,5	5,5	7,4	9,3	4,5
32	H	47	0,0	0,8	3,7	5,8	7,7	9,4	4,7
	D	40	0,0	0,7	2,8	4,4	6,0	7,3	3,6

Continua ...

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

QUADRO 1B, Cont.

VIÇOSA									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)					ACA (kg/Animal)	
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	M	1088	0,0	0,1	0,7	3,2	6,3	11,2	2,9
	D	103	0,0	0,2	1,1	2,9	4,8	6,7	2,5
24	M	909	0,0	0,1	0,7	3,2	6,3	11,2	2,9
	D	100	0,0	0,2	1,1	2,9	4,8	6,7	2,5
25	M	735	0,0	0,1	0,7	3,2	6,3	11,2	2,9
	D	108	0,0	0,2	1,1	2,9	4,8	6,7	2,5
26	M	560	0,0	0,1	0,7	3,1	6,3	11,0	2,8
	D	112	0,0	0,2	1,1	2,8	4,7	6,5	2,5
27	M	402	0,0	0,1	0,7	3,1	6,1	10,7	2,8
	D	105	0,0	0,2	1,1	2,7	4,5	6,3	2,4
28	M	262	0,0	0,1	0,7	3,0	5,8	9,6	2,7
	D	97	0,0	0,2	1,1	2,7	4,4	6,0	2,4
29	M	146	0,0	0,1	0,6	2,6	4,8	7,7	2,3
	D	77	0,0	0,2	0,9	2,5	4,1	5,3	2,2
30	M	70	0,0	0,1	0,5	1,8	3,3	5,1	1,7
	D	51	0,0	0,2	0,8	1,7	2,7	3,6	1,5
31	M	27	0,0	0,1	0,4	1,0	1,7	2,4	0,9
	D	25	0,0	0,2	0,7	1,2	1,7	2,2	1,0

QUADRO 2B - Valores Médios Estimados (M) do Aumento na Produção de Leite (APL) e no Consumo Alimentar (ACA), Tempo de Acionamento do SRAE (t), Desvio-Padrão (D) das Respectives Estimativas, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 60%, NPs de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 kg/Animal.Dia, e Distintas Temperaturas de Acionamento (T), Referentes às Localidades de Barbacena, Montes Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa

BARBACENA									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)					ACA (kg/Animal)	
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	H	964	0,0	0,6	2,5	5,7	9,3	13,5	4,9
	D	195	0,0	1,0	3,5	6,7	9,8	12,8	5,6
24	H	825	0,0	0,6	2,5	5,7	9,3	13,5	4,9
	D	191	0,0	1,0	3,5	6,7	9,8	12,8	5,6
25	H	691	0,0	0,6	2,5	5,7	9,3	13,5	4,9
	D	191	0,0	1,0	3,5	6,7	9,8	12,8	5,6
26	H	559	0,0	0,6	2,5	5,7	9,2	13,3	4,9
	D	206	0,0	1,0	3,4	6,6	9,6	12,6	5,5
27	H	434	0,0	0,6	2,5	5,7	9,1	13,2	4,9
	D	203	0,0	1,0	3,4	6,6	9,6	12,5	5,5
28	H	325	0,0	0,6	2,5	5,7	9,1	13,1	4,9
	D	192	0,0	1,0	3,4	6,6	9,6	12,4	5,5
29	H	239	0,0	0,6	2,4	5,5	8,8	12,6	4,7
	D	166	0,0	1,0	3,4	6,4	9,3	11,9	5,3
30	H	169	0,0	0,6	2,3	5,2	8,2	11,2	4,5
	D	132	0,0	1,0	3,2	5,9	8,6	10,8	5,0
31	H	110	0,0	0,6	2,2	4,6	7,1	9,5	4,0
	D	95	0,0	1,0	3,1	5,3	7,5	9,3	4,4
32	H	68	0,0	0,5	2,1	4,0	5,9	7,6	3,4
	D	65	0,0	0,9	2,8	4,9	6,8	8,3	4,0
33	H	36	0,0	0,5	1,5	2,6	3,7	4,7	2,1
	D	37	0,0	0,8	2,1	3,2	4,3	5,2	2,6

Continua ...

QUADRO 2B, Cont.

MONTES CLAROS									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)						ACA (kg/Animal)
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	M	1555	0,0	0,9	9,1	26,0	43,6	61,7	22,8
	D	129	0,0	0,8	5,7	11,7	17,8	23,0	9,9
24	M	1323	0,0	0,9	9,1	25,9	43,4	61,5	22,7
	D	127	0,0	0,8	5,7	11,6	17,7	22,9	9,9
25	M	1119	0,0	0,9	9,1	25,8	43,2	61,0	22,6
	D	127	0,0	0,8	5,7	11,6	17,6	22,7	9,9
26	M	930	0,0	0,9	9,1	25,5	42,4	59,4	22,3
	D	127	0,0	0,8	5,6	11,4	17,2	22,0	9,7
27	M	761	0,0	0,9	9,1	24,9	41,2	57,3	21,8
	D	122	0,0	0,8	5,6	11,2	16,7	21,4	9,5
28	M	598	0,0	0,9	9,1	24,5	40,0	54,6	21,3
	D	119	0,0	0,8	5,6	11,0	16,5	20,9	9,3
29	M	434	0,0	0,9	8,7	21,9	35,1	46,8	19,0
	D	115	0,0	0,8	5,2	10,0	14,9	18,8	8,4
30	M	293	0,0	0,9	7,9	18,3	28,4	37,0	15,7
	D	111	0,0	0,8	5,1	9,5	13,9	17,5	7,9
31	M	161	0,0	0,9	6,4	13,2	19,6	24,4	11,2
	D	89	0,0	0,7	4,6	8,3	11,8	14,6	6,9
32	M	79	0,0	0,7	4,4	7,9	11,0	13,5	6,5
	D	57	0,0	0,6	3,6	5,9	8,1	9,9	4,8
33	M	34	0,0	0,6	2,7	4,2	5,6	6,8	3,4
	D	28	0,0	0,5	2,4	3,6	4,9	5,9	3,0

Continua ...

QUADRO 2B, Cont.

PATOS DE MINAS										
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)					ACA (kg/Animal)		
			NP (kg/Animal.Dia)							
			5	10	15	20	25	30		
23	H	1117	0,0	0,0	0,2	2,1	4,8	9,6	1,9	
	D	113	0,0	0,0	0,4	2,1	4,0	6,3	1,9	
24	H	900	0,0	0,0	0,2	2,1	4,8	9,6	1,9	
	D	114	0,0	0,0	0,4	2,1	4,0	6,3	1,9	
25	H	718	0,0	0,0	0,2	2,1	4,8	9,5	1,9	
	D	110	0,0	0,0	0,4	2,1	4,0	6,3	1,9	
26	H	553	0,0	0,0	0,2	2,1	4,7	9,3	1,9	
	D	98	0,0	0,0	0,4	2,1	4,0	6,2	1,9	
27	H	401	0,0	0,0	0,2	2,1	4,7	9,0	1,9	
	D	88	0,0	0,0	0,4	2,1	3,9	5,9	1,9	
28	H	253	0,0	0,0	0,2	2,0	4,3	8,2	1,9	
	D	74	0,0	0,0	0,4	2,0	3,7	5,3	1,8	
29	H	129	0,0	0,0	0,2	1,8	3,8	6,5	1,7	
	D	50	0,0	0,0	0,4	1,9	3,3	4,5	1,7	
30	H	47	0,0	0,0	0,2	1,1	2,2	3,4	1,0	
	D	27	0,0	0,0	0,3	1,2	2,1	2,6	1,1	

Continua ...

QUADRO 2B, Cont.

POHPÉU									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)					ACA (kg/Animal)	
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	M	1437	0,0	1,3	8,6	20,4	32,7	45,6	17,6
	D	160	0,0	1,2	5,4	9,9	14,5	18,6	8,3
24	M	1197	0,0	1,3	8,6	20,3	32,6	45,4	17,5
	D	136	0,0	1,2	5,4	9,9	14,4	18,5	8,3
25	M	999	0,0	1,3	8,6	20,3	32,5	45,1	17,5
	D	121	0,0	1,2	5,4	9,9	14,5	18,6	8,3
26	M	811	0,0	1,3	8,6	20,3	32,4	44,9	17,5
	D	116	0,0	1,2	5,4	9,9	14,4	18,3	8,3
27	M	641	0,0	1,3	8,6	20,0	31,7	43,5	17,2
	D	110	0,0	1,2	5,4	9,7	14,0	17,4	8,1
28	M	477	0,0	1,3	8,5	19,2	29,9	40,2	16,4
	D	107	0,0	1,2	5,3	9,2	13,0	15,6	7,7
29	M	337	0,0	1,3	7,9	17,2	26,4	34,7	14,6
	D	105	0,0	1,2	4,9	7,9	10,9	13,2	6,5
30	M	213	0,0	1,3	7,2	14,5	21,6	27,5	12,3
	D	91	0,0	1,2	4,5	6,8	9,1	11,0	5,6
31	M	111	0,0	1,1	5,3	9,1	12,8	15,7	7,6
	D	65	0,0	1,0	3,4	5,0	6,6	8,1	4,1
32	M	47	0,0	0,8	3,3	5,0	6,6	8,0	4,1
	D	40	0,0	0,7	2,6	4,0	5,3	6,4	3,2

Continua ...

QUADRO 2B, Cont.

VIÇOSA									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)					ACA (kg/Animal)	
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	H	1088	0,0	0,1	0,7	3,1	6,2	11,0	2,8
	D	103	0,0	0,2	1,1	2,8	4,7	6,5	2,5
24	H	909	0,0	0,1	0,7	3,1	6,2	11,0	2,8
	D	100	0,0	0,2	1,1	2,8	4,7	6,5	2,5
25	H	735	0,0	0,1	0,7	3,1	6,2	11,0	2,8
	D	108	0,0	0,2	1,1	2,8	4,7	6,5	2,5
26	H	560	0,0	0,1	0,7	3,1	6,2	10,9	2,8
	D	112	0,0	0,2	1,1	2,8	4,7	6,5	2,5
27	H	402	0,0	0,1	0,7	3,1	6,1	10,6	2,8
	D	105	0,0	0,2	1,1	2,7	4,5	6,3	2,4
28	H	262	0,0	0,1	0,7	3,0	5,7	9,3	2,7
	D	97	0,0	0,2	1,1	2,7	4,4	5,9	2,4
29	H	146	0,0	0,1	0,6	2,5	4,7	7,4	2,2
	D	77	0,0	0,2	0,9	2,4	3,9	5,2	2,1
30	H	70	0,0	0,1	0,5	1,7	3,0	4,5	1,5
	D	51	0,0	0,2	0,8	1,6	2,4	3,2	1,3
31	H	27	0,0	0,1	0,4	1,0	1,7	2,3	0,9
	D	25	0,0	0,2	0,7	1,2	1,7	2,2	1,0

QUADRO 3B - Valores Médios Estimados (M) do Aumento na Produção de Leite (APL) e no Consumo Alimentar (ACA), Tempo de Acionamento do SRAE (t), Desvio-Padrão (D) das Respectives Estimativas, para o Período de Dezembro a Março, EMR de 40%, NPs de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 kg/Animal.Dia, e Distintas Temperaturas de Acionamento (T), Referentes às Localidades de Barbacena, Montes Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa

BARBACENA									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)						ACA (kg/Animal)
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	M	964	0,0	0,5	1,9	4,6	7,5	10,9	4,0
	D	195	0,0	0,8	2,5	4,9	7,3	9,6	4,2
24	M	825	0,0	0,5	1,9	4,6	7,5	10,8	4,0
	D	191	0,0	0,8	2,5	4,9	7,3	9,5	4,2
25	M	691	0,0	0,5	1,9	4,6	7,5	10,8	4,0
	D	191	0,0	0,8	2,5	4,9	7,3	9,5	4,2
26	M	559	0,0	0,5	1,9	4,6	7,5	10,8	4,0
	D	206	0,0	0,8	2,5	4,9	7,3	9,5	4,2
27	M	434	0,0	0,5	1,9	4,5	7,4	10,5	3,9
	D	203	0,0	0,8	2,5	4,8	7,1	9,2	4,1
28	M	325	0,0	0,5	1,9	4,5	7,3	10,4	3,9
	D	192	0,0	0,8	2,5	4,7	7,0	9,0	4,0
29	M	239	0,0	0,5	1,8	4,3	7,0	9,7	3,7
	D	166	0,0	0,8	2,4	4,6	6,7	8,5	3,8
30	M	169	0,0	0,5	1,7	3,9	6,2	8,4	3,4
	D	132	0,0	0,8	2,3	4,2	6,0	7,6	3,5
31	M	110	0,0	0,5	1,6	3,4	5,2	6,8	2,9
	D	95	0,0	0,8	2,3	3,8	5,3	6,7	3,2
32	M	68	0,0	0,4	1,3	2,6	3,8	5,0	2,2
	D	65	0,0	0,7	1,9	3,2	4,4	5,5	2,6
33	M	36	0,0	0,4	1,0	1,8	2,6	3,4	1,5
	D	37	0,0	0,6	1,4	2,2	3,0	3,7	1,8

Continua ...

QUADRO 3B, Cont.

MONTES CLAROS									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)					ACA (kg/Animal)	
			5	10	NP (kg/Animal.Dia) 15 20		25	30	
23	M	1555	0,0	0,9	8,6	23,2	38,1	52,8	20,2
	D	129	0,0	0,7	5,2	9,8	14,4	18,0	8,2
24	M	1323	0,0	0,9	8,5	23,0	37,7	52,2	20,1
	D	127	0,0	0,7	5,2	9,7	14,1	17,7	8,1
25	M	1119	0,0	0,9	8,5	22,8	37,3	51,3	19,9
	D	127	0,0	0,7	5,2	9,5	13,9	17,3	8,0
26	M	930	0,0	0,9	8,4	22,1	35,8	48,7	19,2
	D	127	0,0	0,7	5,1	9,4	13,6	16,6	7,9
27	M	761	0,0	0,9	8,3	21,3	34,2	45,9	18,4
	D	122	0,0	0,7	4,9	8,7	12,5	15,3	7,3
28	M	598	0,0	0,9	8,0	19,8	31,5	41,7	17,2
	D	119	0,0	0,7	4,9	8,4	11,9	14,5	7,0
29	M	434	0,0	0,9	7,5	17,3	26,8	34,9	14,8
	D	115	0,0	0,7	4,9	8,1	11,3	14,1	6,7
30	M	293	0,0	0,9	6,4	13,7	20,8	26,6	11,7
	D	111	0,0	0,7	4,5	7,6	10,7	13,3	6,3
31	M	161	0,0	0,8	4,9	9,4	13,5	16,6	7,9
	D	89	0,0	0,6	3,6	5,6	7,7	9,4	4,6
32	M	79	0,0	0,7	3,4	5,5	7,5	9,1	4,5
	D	57	0,0	0,6	2,8	4,1	5,4	6,7	3,3
33	M	34	0,0	0,5	2,0	3,0	3,9	4,7	2,4
	D	28	0,0	0,4	1,7	2,5	3,3	4,0	2,0

Continua ...

QUADRO 3B, Cont.

PATOS DE MINAS									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)					ACA (kg/Animal)	
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	H	1117	0,0	0,0	0,2	2,0	4,5	8,8	1,9
	D	113	0,0	0,0	0,4	2,0	3,7	5,5	1,8
24	H	900	0,0	0,0	0,2	2,0	4,5	8,8	1,9
	D	114	0,0	0,0	0,4	2,0	3,7	5,5	1,8
25	H	718	0,0	0,0	0,2	2,0	4,4	8,6	1,9
	D	110	0,0	0,0	0,4	2,0	3,6	5,3	1,8
26	H	553	0,0	0,0	0,2	2,0	4,4	8,3	1,9
	D	98	0,0	0,0	0,4	2,0	3,6	5,2	1,8
27	H	401	0,0	0,0	0,2	1,9	4,2	7,8	1,8
	D	88	0,0	0,0	0,4	1,9	3,5	5,0	1,8
28	H	253	0,0	0,0	0,2	1,8	3,8	6,9	1,7
	D	74	0,0	0,0	0,4	1,8	3,3	4,6	1,7
29	H	129	0,0	0,0	0,2	1,6	3,2	5,3	1,5
	D	50	0,0	0,0	0,4	1,6	2,7	3,7	1,4
30	H	47	0,0	0,0	0,2	0,8	1,5	2,3	0,7
	D	27	0,0	0,0	0,3	0,8	1,3	1,5	0,7

Continua ...

QUADRO 3B, Cont.

POMPEU									
T (°C)		t (Horas)	APL (kg/Animal)						ACA (kg/Animal)
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	M	1437	0,0	1,2	7,8	17,6	27,6	38,0	15,1
	D	160	0,0	1,1	4,9	8,5	12,3	15,6	7,2
24	M	1197	0,0	1,2	7,8	17,6	27,6	37,9	15,1
	D	136	0,0	1,1	4,9	8,5	12,3	15,5	7,2
25	M	999	0,0	1,2	7,8	17,4	27,3	37,4	14,9
	D	121	0,0	1,1	4,9	8,4	12,1	15,3	7,1
26	M	811	0,0	1,2	7,6	17,2	26,9	36,3	14,7
	D	116	0,0	1,1	4,8	8,3	11,9	14,7	6,9
27	M	641	0,0	1,2	7,5	16,6	25,8	34,5	14,2
	D	110	0,0	1,1	4,8	8,1	11,5	14,1	6,8
28	M	477	0,0	1,2	7,1	15,1	23,0	30,3	12,8
	D	107	0,0	1,1	4,6	7,7	10,7	12,9	6,4
29	M	337	0,0	1,2	6,5	13,3	19,9	25,6	11,3
	D	105	0,0	1,1	4,1	6,1	8,2	10,1	5,0
30	M	213	0,0	1,1	5,6	10,6	15,3	19,2	8,8
	D	91	0,0	1,1	3,7	5,2	6,6	7,8	4,2
31	M	111	0,0	0,9	3,9	6,6	9,1	11,1	5,4
	D	65	0,0	0,8	2,4	3,4	4,4	5,4	2,7
32	M	47	0,0	0,5	2,1	3,2	4,3	5,1	2,6
	D	40	0,0	0,4	1,7	2,6	3,5	4,3	2,1

Continua ...

QUADRO 3B, Cont.

VIÇOSA									
T (°C)		t (Horas)	AFL (kg/Animal)					ACA (kg/Animal)	
			NP (kg/Animal.Dia)						
			5	10	15	20	25	30	
23	H	1088	0,0	0,1	0,7	2,9	5,6	9,8	2,6
	D	103	0,0	0,2	1,0	2,7	4,4	6,1	2,3
24	H	909	0,0	0,1	0,7	2,9	5,6	9,8	2,6
	D	100	0,0	0,2	1,0	2,7	4,4	6,1	2,3
25	H	735	0,0	0,1	0,7	2,9	5,6	9,7	2,6
	D	108	0,0	0,2	1,0	2,7	4,4	6,1	2,3
26	H	560	0,0	0,1	0,7	2,8	5,5	9,4	2,5
	D	112	0,0	0,2	1,0	2,7	4,4	6,0	2,3
27	H	402	0,0	0,1	0,6	2,7	5,2	8,7	2,4
	D	105	0,0	0,2	0,9	2,4	4,0	5,4	2,1
28	H	262	0,0	0,1	0,6	2,5	4,6	7,3	2,2
	D	97	0,0	0,2	0,9	2,3	3,6	4,9	2,0
29	H	146	0,0	0,1	0,6	1,9	3,5	5,3	1,7
	D	77	0,0	0,2	0,8	1,8	2,9	3,8	1,6
30	H	70	0,0	0,1	0,4	1,2	2,2	3,2	1,1
	D	51	0,0	0,2	0,6	1,1	1,7	2,3	0,9
31	H	27	0,0	0,1	0,3	0,7	1,2	1,7	0,6
	D	25	0,0	0,1	0,5	0,8	1,2	1,6	0,7