

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**MECANISMOS TERMORREGULADORES DE CABRAS DA
RAÇA SAANEN**

Auriclécia Lopes de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Roberto Gomes da Silva

Co-Orientador: Prof. Dr. Danísio Prado Munari

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

JABOTICABAL - SÃO PAULO - BRASIL

Outubro de 2007

O48m Oliveira, Auriclécia Lopes de
Mecanismo termorreguladores de cabras da raça Saanen /
Auriclécia Lopes de Oliveira. – – Jaboticabal, 2007
xviii, 78 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2007
Orientador: Roberto Gomes da Silva
Co-Orientador: Danísio Prado Munari
Banca examinadora: Isabel Cristina Boleli, Iran José Oliveira da
Silva, Orlando Rus Barbosa, Renato Luis Furlan
Bibliografia

1. Capinos. 2. Fluxo térmico. 3. Termorregulação. I. Título. II.
Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.39:636.083.1

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

AURICLÉCIA LOPES DE OLIVEIRA – Nascida em 17 de maio de 1980, em Ipu, CE, Zootecnista, formada pela Fundação Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, CE, em 2001. Ingressou no curso de Mestrado em Zootecnia, área de concentração em Genética e Melhoramento Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP – Campus de Jaboticabal, em março de 2002, defendendo dissertação em fevereiro de 2004. Iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia em março de 2004 da FCAV/UNESP, defendendo tese em outubro de 2007.

Aos meus pais Mauricio Braga de Oliveira e Maria Nerci Lopes de Oliveira por me receberem nessa vida com os sólidos ensinamentos cristãos e principalmente pelo aconchego de me sentir sempre em casa mesmo longe. Aos meus irmãos Amauri (Boí), Aurimar (Má) e Auricélio (Bóia) pelo aprendizado de vivermos juntos nas diferenças e mesmo assim termos certeza do amor que nos une como família, e aos meus sobrinhos, Mauricio Neto, Thayná, Yara e Yuri, vida que se renova e renova a vida da gente,

DEDICO

Ao meu amado noivo Felipe Shindy Aiura, pela ajuda na condução desse trabalho, sem a qual não seria possível sua realização, principalmente pelo companheirismo, paciência e por tocar meu coração e ser a razão do meu sorriso,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao Prof. Roberto Gomes da Silva pela amizade e oportunidade de realizar esse trabalho.

Ao Prof. Danísio Prado Munari pelo amparo na hora precisa e pela amizade que se iniciou e se prolongará pela certeza do querer bem.

Aos meus sogros Alcides Shinji Aiura e Zoraide de Souza Aiura por me acolherem no seio de sua família,

Minha gratidão.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida.

Aos professores participantes das bancas examinadoras: Dra. Isabel Cristina Boleli, Dr. Iran José Oliveira da Silva, Dra. Izabelle Auxiliadora Molina A. Teixeira, Dr. Mateus José Rodrigues Paranhos da Costa, Dr. Newton La Scala Júnior, Dr. Orlando Rus Barbosa e Dr. Renato Luis Furlan pelas importantes sugestões para esse trabalho.

Ao Prof. Dr. Kleber Thomas Resende pela disponibilidade do setor de caprinocultura para realização do trabalho.

A professora Dra. Márcia Rita Fernandes Machado pela amizade e confiança.

Ao professor Dr. Marcos Lânia de Araújo pela amizade e ajuda no trabalho.

A professora Maria Regina Barbieri de Carvalho e sua família pela amizade e momentos de descontração.

À Ângela Regina Arduíno, técnica do Laboratório de Bioclimatologia, pela amizade e ajuda na contagem dos pêlos, trabalho de muita paciência. Ao funcionário Pedro (Lambari) pela ajuda em qualquer momento.

Aos funcionários do capril da FCAV/UNESP pela ajuda com os animais.

A Aretuza pela ajuda na confecção das lâminas.

As turmas de Zootecnia 2004 e 2005, por nos encontrarmos nessa caminhada da vida e bons momentos.

As alunas Denise e Josiane pelos futuros frutos de trabalhos com bioclimatologia e pelas horas de descontração durante a realização dos mesmos.

Aos colegas Beto e Duda, sempre dispostos a ajudar e me ouvir.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa de estudos e apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto.

As funcionárias da seção de Pós-Graduação da FCAV/UNESP.

A Faculdade de Ciência Agrária e Veterinária, UNESP, Campus de Jaboticabal, pela oportunidade de conhecimento e crescimento humano e profissional oferecida.

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

SUMÁRIO

	página
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMO.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
1. Introdução.....	1
2. Revisão de literatura.....	3
2.1. Termorregulação.....	3
2.2. Mecanismos evaporativos.....	8
2.2.1. Glândulas sudoríparas.....	13
2.3. Mecanismos de troca de calor sensível.....	16
2.4. Estocagem térmica.....	16
2.5. Efeito do estresse climático sobre a produção de leite.....	18
3. Material e Métodos.....	20
3.1. Animais e manejo.....	20
3.2. Protocolo das colheitas.....	20
3.3. Medições meteorológicas do ambiente.....	21
3.4. Características morfológicas do pelame.....	23
3.5. Evaporação total.....	23
3.6. Evaporação cutânea.....	24
3.7. Evaporação respiratória.....	27
3.8. Troca por convecção respiratória.....	28
3.9. Troca por convecção cutânea.....	29
3.10. Troca por radiação.....	31
3.11. Estocagem térmica.....	31
3.12. Fluxo total de calor Fluxo total de energia térmica.....	32
3.13. Análises estatísticas.....	32
4. Resultados e Discussão.....	36

4.1. Variáveis meteorológicas.....	36
4.2. Características morfológicas do pelame.....	37
4.3. Respostas fisiológicas.....	40
4.3.1. Frequência respiratória.....	40
4.3.2. Temperatura retal.....	42
4.3.3. Temperatura da superfície da pele.....	43
4.4. Respostas biofísicas.....	45
4.4.1. Evaporação cutânea nas áreas cervical, torácica e glútea.....	45
4.4.2. Evaporação cutânea.....	48
4.4.3. Evaporação respiratória.....	50
4.4.4. Troca por radiação.....	52
4.4.5. Troca por convecção cutânea.....	54
4.4.6. Troca por convecção respiratória.....	54
4.4.7. Troca no trato respiratório.....	56
4.5. Equilíbrio térmico de energia.....	57
4.5.1. Balanço energético por ambiente.....	57
4.5.2. Fluxo sensível total.....	59
4.5.3. Evaporação total.....	60
4.5.4. Fluxo de calor sensível e de calor latente.....	61
4.5.5. Estocagem térmica.....	63
4.5.6. Fluxo total de energia térmica.....	64
5. Conclusão.....	67
6. Referências Bibliográficas.....	68

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 1 - Respostas básicas da termorregulação em relação à temperatura ambiente crítica inferior (TCI) e superior (TCS). ZM, ZN, e ZE são zonas de temperatura com diferentes tipos de regulação (regulação metabólica, não-evaporativa e evaporativa, respectivamente).....	05
Figura 2. Cápsula ventilada usada para medição da evaporação cutânea. A - tubo de entrada de ar, B - tubo de colheita de ar da atmosfera, C - ponta de prova de um termoanemômetro de precisão, D - tubo de saída de ar, E - CO ₂ /H ₂ O analisador de gás, F – compressor e G - registros.....	25
Figura 3. Médias da temperatura do ar (o) e pressão parcial de vapor (x) observada nos meses de colheitas.....	36
Figura 4. Evaporação cutânea à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura do ar.....	49
Figura 5. Evaporação cutânea à sombra (a) e ao sol (b) em função da umidade relativa do ar.....	49
Figura 6. Evaporação respiratória à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura do ar.....	50
Figura 7. Evaporação respiratória à sombra (a) e ao sol (b) em função da umidade relativa do ar.....	51
Figura 8. Troca por radiação à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura radiante média.....	53
Figura 9. Troca por convecção respiratória à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura do ar.....	55
Figura 10. Perda de calor latente (o) e sensível (x) à sombra (a) e ao sol (b) no trato respiratório em função da temperatura do ar.....	56
Figura 11. Perda de calor latente (o) e sensível (x) à sombra (a) e ao sol (b) no trato respiratório em função da umidade relativa do ar.....	57
Figura 12. Perda de calor sensível por radiação (x) e convecção (◇) à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura do ar.....	59

Figura 13. Perda de calor latente (o) e sensível (x) à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura radiante média.....	62
Figura 14. Perda de calor latente (o) e sensível (x) à sombra (a) e ao sol (b) em função da umidade relativa do ar.....	63
Figura 15. Fluxo total de energia térmica à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura radiante média.....	65

LISTA DE TABELAS

	página
Tabela 1. Valores mínimos e máximos das variáveis meteorológicas registradas durante a colheita de dados, nos ambientes estudados.....	36
Tabela 2. Médias gerais observadas e desvios-padrão das características morfológicas do pelame em diferentes partes do corpo de cabras Saanen.....	37
Tabela 3. Resumo da análise de variância das características morfológicas do pelame nas áreas da cervical (1), torácica (2) e glútea (3) das cabras Saanen....	39
Tabela 4. Médias estimadas por quadrados mínimos das características morfológicas do pelame nas áreas cervical (1), torácica (2) e glútea (3) das cabras Saanen.....	40
Tabela 5. Resumo da análise de variância da Temperatura retal (T_R , °C), Frequência respiratória (F_R , mov.min ⁻¹) e Temperatura da superfície do pelame (T_S , °C) de cabras Saanen.....	44
Tabela 6. Médias gerais observadas e desvios-padrão, e médias estimadas por quadrados mínimos da Temperatura retal (T_R , °C), Frequência respiratória (F_R , mov.min ⁻¹) e Temperatura da superfície do pelame (T_S , °C) de cabras Saanen...	44
Tabela 7. Resumo da análise de variância para a evaporação cutânea em diferentes áreas do corpo de cabras Saanen.....	47
Tabela 8. Médias gerais observadas e desvios-padrão e médias estimadas por quadrados mínimos para a evaporação cutânea em diferentes áreas do corpo de cabras Saanen.....	47
Tabela 9. Resumo da análise de variância para a Evaporação cutânea média e Evaporação respiratória em cabras Saanen.....	51
Tabela 10. Médias gerais observadas e desvios-padrão, e médias estimadas por quadrados mínimos para a evaporação cutânea cervical, torácica, média e respiratória em cabras Saanen.....	52
Tabela 11. Resumo da análise de variância das trocas por calor sensível de cabras Saanen.....	55
Tabela 12. Médias gerais observadas e desvios-padrão, e médias estimadas	

por quadrados mínimos das trocas por calor sensível de cabras Saanen.....	56
Tabela 13. Médias observadas e respectivos desvios-padrão e valores mínimos e máximos das perdas e ganhos (+) de energia térmica das características estudadas em cabras, nos dois ambientes.....	58
Tabela 14. Resumo da análise de variância para fluxo sensível total (S), evaporação total (ET), estocagem térmica (HS) e fluxo térmico total (ST) em cabras Saanen.....	65
Tabela 15. Médias gerais observadas e desvios-padrão, e médias estimadas por quadrados mínimos para o fluxo sensível total (S), evaporação total (ET), estocagem térmica (HS) e fluxo térmico total (ST) em cabras Saanen.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS

- λ = Calor latente de vaporização (J.g^{-1})
 σ = Constante de Stefan-Boltzman ($5,67051 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$)
 γ = Constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)
 ρ = Densidade do ar (kg.m^{-3}),
 ν = Viscosidade cinemática do ar ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)
 ψ_A = Umidade absoluta do ar da atmosfera (g.m^{-3})
 ψ_{CV} = Umidade absoluta do ar saindo da cápsula (g.m^{-3})
 ψ_{EXP} = Umidade absoluta do ar expirado (g.m^{-3}),
 ε_G = Emissividade do globo (0,95)
 ε_S = Emissividade da superfície do pelame (= 0,98)
 ΔT_c = Diferença de mudanças na temperatura retal ($^\circ\text{C}$);
 ΔT_s = Diferença de mudanças na temperatura da pele ($^\circ\text{C}$);
 A = Ângulo dos pêlos (graus)
 A_{CV} = Área da cápsula ventilada ($\pi r^2 = 0,003848 \text{ m}^2$).
 A_t = Área da secção médio do tubo traqueal (m^2).
 A_T = Área total de superfície corporal, (m^2)
 C = Comprimento médio dos pêlos (mm)
 C_e = Calor específico dos tecidos, ($3.470 \text{ J kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
 C_p = Calor específico do ar ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
 C_R = Convecção respiratória (W.m^{-2}),
 D = Densidade numérica do pelame (pêlos. cm^{-2})
 d_b = Diâmetro médio corporal (m)
 d_G = Diâmetro do globo (m)
 E = Espessura do pelame (mm)
 E_C = Evaporação cutânea (W.m^{-2}),
 E_R = Evaporação respiratória (W. m^{-2})
 E_T = Evaporação total (W. m^{-2})
 f_c = Volume de ar fluindo através da cápsula ventilada ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)

F_R = Frequência respiratória (resp.min.⁻¹)
 g = Aceleração da gravidade (m.s⁻¹)
 G_r = Número de Grashof
 HC = Convecção cutânea (W.m⁻²),
 h_G = Coeficiente de convecção do globo negro (W.m⁻².K⁻¹)
 HS = Estocagem térmica ou armazenamento de calor corporal, (W.m⁻²),
 k = Condutividade térmica do ar (w.m⁻¹.K⁻¹).
 m = Taxa de fluxo de massa (kg.s⁻¹)
 M_w = Peso molecular da água (18,016 g.mol⁻¹)
 N_u = Número de Nusselt
 P = Peso corporal do animal (kg).
 P_r = Número de Prandtl
 P_s = Pressão de saturação (kPa)
 P_v = Pressão parcial de vapor (kPa)
 $P_{v\{t_{cv}\}}$ = Pressão parcial de vapor do ar saindo da cápsula (kPa);
 R = Constante gasosa (8,3143 J.mol⁻¹)
 RL = Radiação (W.m⁻²)
 r = Raio geométrico da válvula de entrada do ar da cápsula ventilada (0,01075 m);
 Re = Número de Reynolds
 r_H = Resistência à transferência térmica por convecção (s.m⁻¹):
 r_O = Resistência equivalente (s.m⁻¹):
 r_R = Resistência à transferência térmica por radiação (s.m⁻¹):
 S = Fluxo total de calor sensível na superfície do pelame (W.m⁻²)
 S_T = Fluxo térmico total (W.m⁻²)
 t = Intervalo de tempo (seg.)
 t_a = Temperatura do ar ou bulbo seco (°C);
 T_A = Temperatura do ar ou bulbo seco (°K);
 T_{EXP} = Temperatura expirada (°C):
 t_g = Temperatura do globo (°C).
 T_G = Temperatura do globo (°K).
 T_O = Temperatura operativa (°K)

T_R = Temperatura retal ($^{\circ}\text{K}$)

T_{RM} = Temperatura radiante média ($^{\circ}\text{K}$)

T_S = Temperatura da superfície do pelame ($^{\circ}\text{K}$)

t_u = Temperatura do bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$);

U_R = Umidade relativa do ar (,%)

U_t = Fluxo de ar através do tubo traqueal (m.s^{-1})

V = Velocidade do vento (m.s^{-1});

V_{cv} = Velocidade do ar entrando na cápsula (m.s^{-1}),

V_{RC} = Volume respiratório corrente ($\text{m}^3.\text{resp.}^{-1}$)

TERMÓLISE EVAPORATIVA DE CABRAS LEITEIRAS EM CLIMA TROPICAL

RESUMO - Foi estudada a eliminação de calor latente e estimado o fluxo térmico total ao sol e à sombra em cabras da raça Saanen mantidas em ambiente tropical, visando determinar importância da termólise evaporativa para esses animais e proporcionar subsídios para o estabelecimento de métodos de manejo em ambiente tropical. A evaporação total foi determinada por processo gravimétrico, usando-se um sistema de pesagem de precisão. A evaporação cutânea foi obtida por determinação direta através de uma cápsula ventilada; e a evaporação respiratória estimada a partir do fluxo térmico entre aparelho respiratório e o ambiente; determinaram-se ainda a estocagem térmica e as trocas convectivas e radiativas. Por ocasião de cada determinação, foram registradas a temperatura retal, a frequência respiratória e a temperatura da superfície corporal, bem como variáveis ambientais: temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e temperatura do globo negro. Foram avaliadas as características morfológicas do pelame (espessura da capa, comprimento médio, densidade numérica e ângulo dos pêlos) para cada animal. As análises estatísticas basearam-se no método dos quadrados mínimos para dados não-balanceados, tendo o modelo linear geral proposto incluído os efeitos: ambiente (fixo), animal (aleatório), interação animal x ambiente e regressão sobre a temperatura do ar, a umidade relativa, a temperatura radiante média, a temperatura da superfície corporal, a temperatura retal, a frequência respiratória e a idade do animal, além das características morfológicas do pelame, no caso da evaporação cutânea. A termólise evaporativa compreendeu 61,5% da perda de calor para o ambiente, sendo a única via de perda térmica possível ao sol sob temperaturas radiante média acima de 35°C. O fluxo térmico à sombra resultou em um crédito térmico médio de 102,44 W.m⁻² e ao sol um déficit de 22,82 W.m⁻², pois a termólise evaporativa não foi suficiente para proporcionar o equilíbrio térmico em temperaturas radiantes acima de 55°C. Portanto, a permanência à sombra proporciona uma melhor termorregulação a cabras Saanen em ambiente tropical.

Palavras-Chave: caprinos, calor latente, calor sensível, estocagem térmica, fluxo térmico

EVAPORATIVE HEAT LOSS OF MILK GOATS IN TROPICAL CLIMATE

SUMMARY - The present work aimed at to study the elimination of latent heat and esteem the total thermal flow to the sun and the shade in Saanen goats in tropical environment, to determine importance of evaporative heat loss these animals and to provide subsidies for the establishment of methods of handling in tropical environment. The total evaporation was determined by means of gravimetrical process, for a weighing system of precision. The cutaneous evaporation was gotten by direct determination, by means of a ventilated capsule; the respiratory evaporation gotten by calculations of heat flow of respiratory device for environment. It was determined still the heat storage and the convective and radiative exchanges. For occasion of each determination, the rectal temperature, respiratory rate and surface temperature of the animal, as well as meteorological data: air temperature, relative humidity, wind speed and black globe temperature were register. The morphologic characteristics of the hair coat (coat thickness, hair length, numerical density and hair angle to skin) had been evaluated for each animal. The statistical analyses were carried through by the lest-squares method for not-balanced data. The considered model included the effect of environment and animal and the covariates: air temperature, relative humidity, mean radiating temperature, surface temperature, rectal temperature, respiratory rate and age of animal, beyond the morphologic characteristics of the hair coat for cutaneous evaporation. Heat loss evaporative understands 62.2% of the heat carried for environment exchange, being the way possible to the sun under radiant temperatures above of 35°C. The heat flow the shade resulted in an heat credit of 102.44 W.m⁻² and to the sun deficit 22,82 W.m⁻², for heat loss evaporative of the Saanen goats, were don't sufficient for proportionate heat balance in radiant temperature above 55°C. Therefore, conditions provide by shade to the animals to be thermoregulation in tropical environment.

Keywords: goats, heat flow, heat storage, latent heat, sensible heat

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, as cabras têm sido de grande importância como fonte de alimento para o homem, considerando-se que o Brasil – possuindo o décimo quarto maior rebanho mundial de cabras – tem um grande potencial de consumo dos produtos caprinos (RIBEIRO & RIBEIRO, 2005). De acordo com COSTA (2003), a produção nacional diária de leite de cabra é de 22 toneladas, sendo 54,6% deste total produzidos na região sudeste, onde a demanda por este produto é crescente e o potencial de produção é o dobro dos valores atuais. Nessa região, a Saanen é uma das principais raças utilizadas pelos produtores, devido ao seu grande potencial leiteiro (RIBEIRO, 1997).

Contudo, as respostas produtivas dos caprinos são estreitamente relacionadas às variações ambientais. Os fatores do ambiente são fundamentais para o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais. Apesar dos caprinos serem considerados por muitos autores como animais resistentes, as associações entre temperatura elevada, alta umidade do ar e radiação solar podem acarretar alterações comportamentais e fisiológicas, tais como aumento extremo na temperatura corporal e na frequência respiratória, diminuição excessiva da ingestão de alimentos e redução do nível de produção (LU, 1989).

Em altas latitudes a temperatura do ar, em geral é menor do que da superfície corporal dos animais, os quais podem facilmente eliminar energia térmica para o ambiente através de convecção. O contrário acontece na região tropical, onde a termólise por convecção é inibida e, se a região for úmida, os elevados níveis de pressão de vapor do ar podem dificultar a evaporação cutânea e a respiratória, resultando na elevação da temperatura corporal, o que por sua vez afeta o desempenho produtivo, as funções reprodutivas e as condições de saúde dos animais.

Além da temperatura do ar, o principal fator ambiental que caracteriza uma região tropical é a radiação solar que é mais elevada que nas zonas temperadas, afetando significativamente os animais.

Em um ambiente quente e seco, a principal via de termólise dos animais é a evaporação, tanto a cutânea como a respiratória. A vantagem da evaporação é que não depende de um diferencial de temperatura, tal como a condução, a convecção e a radiação, mas sim do diferencial de pressão de vapor entre a atmosfera e a superfície em questão.

Em função da importância da evaporação para os animais em ambientes tropicais, há necessidade de mais informações a respeito das respostas fisiológicas dos mesmos em condições de campo, que poderá proporcionar subsídios para o desenvolvimento de métodos de manejo capazes de minimizar o impacto do ambiente tropical sobre a produção pecuária em geral e a caprina em particular.

Assim, os objetivos do presente trabalho foram determinar a importância da termólise evaporativa em cabras da raça Saanen mantidas em ambiente tropical, avaliar como se comporta a evaporação total nos animais a campo e estimar o fluxo térmico, ao sol e à sombra e proporcionar subsídios para o estabelecimento de métodos de manejo das cabras em ambiente tropical.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Termorregulação

Nos animais endotérmicos, os mecanismos de termorregulação ou de controle da temperatura encarregam-se de manter certa estabilidade na temperatura das várias regiões do corpo, apesar das oscilações na temperatura ambiente. Admiti-se que, na tentativa de evitar ou minimizar a ação de efeitos deletérios provenientes do ambiente, os animais promovam ajustes comportamentais de termorregulação, pois tanto o calor produzido quanto o dissipado são diretamente vinculados às atividades por eles realizadas (HAFEZ, 1968). A manutenção da temperatura corporal é feita pelo sistema nervoso central, mediante ajustes fisiológicos e comportamentais, exigindo uma equivalência entre a produção e a perda de calor pelo organismo (HARDY, 1981).

O equilíbrio térmico em um animal homeotérmico pode ser expresso pela seguinte equação:

$$M + \alpha R_C \pm R_L \pm C \pm K - E_C - E_R + S = 0 \quad (1)$$

Em que:

M = Produção de calor pelos processos metabólicos (W);

α = Coeficiente de absorvência da superfície externa do corpo;

R_C = Ganho de calor por meio da radiação de ondas curtas (W);

R_L = Trocas térmicas por radiação de ondas longas (W);

C = Trocas térmicas por convecção (W);

K = Trocas térmicas por condução (W);

E_C = Perda de calor latente por meio da evaporação cutânea (W);

E_R = Perda de calor latente por meio da evaporação respiratória (W);

S = Armazenamento de energia (W).

A produção de calor pelo metabolismo, **M**, depende do nível de atividade orgânica. Animais em crescimento sempre apresentam temperatura corporal mais alta do que animais adultos, porque os intensos processos de divisão celular durante a fase de crescimento e desenvolvimento dos tecidos implicam em metabolismo mais elevado. A produção de leite, por exemplo, envolve altos níveis metabólicos na glândula mamária. Quanto mais produtiva for uma vaca, tanto mais dificuldades ela encontrará para manter sua produção em um ambiente quente, caso seus mecanismos de eliminação de calor não sejam eficientes. Um dos motivos pelos quais os zebuínos se sentem bem confortáveis sob altas temperaturas é o seu metabolismo, em geral cerca de 20% mais baixo que o de raças européias (SILVA, 2000a).

Conforme FINCH (1986), cerca de um terço da carga térmica de um animal em ambiente quente é gerado pelo metabolismo. Nestas condições, a respiração é responsável por aproximadamente 15% das perdas de calor, ocorrendo às perdas restantes pela condução, convecção, radiação e evaporação cutânea. Na realidade, esses valores podem variar bastante.

Os termos **R_C**, **R_L**, **C** e **K** representam a perda de calor sensível (não evaporativo). O termo **K** poderia ser eliminado da equação (1) porque, exceto no caso de animais deitados sobre o solo, as perdas por condução são desprezíveis. Numa região tropical, os animais evitam o contato com superfícies aquecidas e, por outro lado, a transferência térmica através dos cascos, quando os animais permanecem em pé, é mínima.

Em um ambiente quente, como de uma região tropical, a temperatura do ar encontra-se próxima à corporal ou a excede, e neste caso há necessidade de se proteger o animal contra a penetração de calor externo por convecção, **C**, de modo que a importância deste mecanismo depende das condições ambientais. Isso porque as atividades metabólicas de manutenção e produção geram ainda mais energia térmica a ser dissipada para o ambiente. Além disso, a temperatura radiante média do ambiente tende ser muito mais elevada que a da atmosfera e, conseqüentemente, a quantidade de energia térmica recebida por radiação, **R_C** e **R_L**, pode ser maior que a eliminada.

Assim, o processo evaporativo (**E_C** e **E_R**) torna-se o mais importante para a termorregulação do que em ambientes amenos, como demonstrado na Figura 1.

Quando a temperatura ambiente se encontra abaixo da temperatura crítica inferior (TCI), a perda de calor na forma sensível (não evaporativa) predomina. Porém, quando a temperatura ambiente excede a temperatura crítica superior (TCS), predomina a dissipação de calor latente (evaporativo).

O pelame interfere diretamente nas trocas de calor sensível, pois constitui uma barreira à passagem do fluxo de energia térmica, devido ao isolamento proporcionado pela estrutura física das suas fibras e pela camada de ar aprisionada entre elas. Assim, para dissipar a energia térmica de origem metabólica e a recebida pelo ambiente, o animal pode recorrer à evaporação ou estocar a energia térmica até certo limite, conseqüentemente aumentando a temperatura corporal. A estocagem térmica, **S**, é realmente um fenômeno de grande importância adaptativa.

Portanto, o papel termorregulador do pelame pode ser dividido em dois componentes: (a) proteção contra o excesso de absorção da radiação solar e (b) dissipação do excesso de calor da superfície do animal (HAFEZ, 1968; FINCH, 1985; SILVA, 2000a).

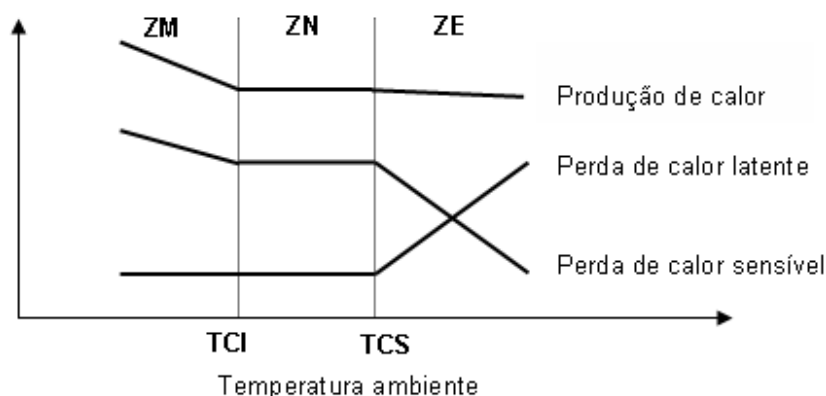


Figura 1 - Respostas básicas da termorregulação em relação à temperatura ambiente crítica inferior (TCI) e superior (TCS). ZM, ZN, e ZE são zonas de temperatura com diferentes tipos de regulação (regulação metabólica, não-evaporativa e evaporativa, respectivamente).

Segundo CENA & MONTEITH (1975a) e SILVA et al. (2001), o ganho de energia térmica e o grau de permeabilidade à radiação na superfície do pelame, não são determinados somente pela cor deste último, mas também pela estrutura e disposição dos pêlos.

Ao avaliarem os caprinos pelo pelame, ACHARYA et al. (1995) encontraram respostas fisiológicas de melhor tolerância ao calor radiante e ingestões de água e comida em caprinos de pêlos longos e de cores branca e marrom claro. Nesse contexto, OLIVEIRA (2004) observou valores para características morfológicas do pelame, como espessura da capa (5,44 mm) e comprimento médio dos pêlos (31,1 mm) favoráveis ao ambiente tropical, bem como diferenças significativas entre as localidades em que foi realizada a colheita, evidenciando o poder adaptativo da espécie.

Em adição, o fluxo de calor através da pele de caprinos da raça indiana Marwari apresentou ganhos de 30 a 56 W.m^{-2} , apenas 6,7 % da quantidade de radiação solar incidente na superfície corporal dos animais (656 a 815 W.m^{-2}), indicando um mecanismo na superfície do pelame de re-irradiar a carga térmica antes que a mesma atingisse a superfície da pele sob a forma de ondas longas (GOYAL & GHOSH, 1987). Isso sugere que a cor do pelame influencia o ganho térmico, principalmente determinando a proporção de radiação que é absorvida, refletida e transmitida para a superfície cutânea.

A coloração branca dos pelames apresenta maior refletância (SILVA et al. 2003). De acordo com SILVA et al (2001) esse fato leva a maioria dos pesquisadores a aceitar a vantagem adaptativa dos pelames claros em ambientes tropicais. Entretanto, os resultados obtidos por esses autores demonstraram que nessas colorações existe uma maior transmissão de ondas curtas, ressaltando que a despeito da maior absorção para a radiação térmica, epidermes de coloração escura oferecem uma proteção bastante eficaz contra a radiação ultravioleta, em relação às epidermes claras ou despigmentadas.

Portanto, o manejo ao que os animais são submetidos pode refletir diretamente no desempenho produtivo e reprodutivo. Por exemplo, EBOZOJE & IKEOBI (1998), estudando os registros de 720 fêmeas caprinas da raça West African Dwarf manejadas extensivamente na Nigéria, verificaram que os animais de coloração preta tiveram desempenho reprodutivo mais eficiente. Nesse caso explicado pela proteção proporcionada pela pigmentação, mais importante em um manejo extensivo.

DMI'EL et al. (1980) estudaram cabras brancas e pretas no inverno do deserto, em Israel, e não obtiveram diferença entre elas à sombra quanto ao metabolismo. No

entanto, expostas ao sol, as cabras pretas reduzem em 28,1% o seu metabolismo, enquanto que as brancas apenas 10,7%. Essa redução no metabolismo em caprinos pretos também foi constatada por CHOSHNIAK et al. (1995). Tais diferenças entre animais brancos e pretos são causadas pela maior absorção de radiação solar pelo pelame preto.

Há ainda um estudo de FINCH et al. (1980) com cabras selvagens e de raças locais em Israel, evidenciando que a pigmentação do pelame afeta significativamente as trocas térmicas desses animais com o meio ambiente, tal como ocorre em bovinos (SILVA, 1999 e 2003; SILVA & La SCALA 2001a). De fato, a taxa de ganho de energia térmica ambiente pela superfície da epiderme e a taxa de eliminação de calor por evaporação cutânea são mais elevadas nos animais com pelame escuro do que nos brancos. De um modo geral, a termólise convectiva (que se espera ser muito acentuada sobre superfícies mais aquecidas) parece não ser suficiente para compensar o calor proporcionado pela absorção da radiação solar (FINCH et al., 1980).

Contudo, HERMIZ et al. (1998) mensuraram semanalmente a produção de leite de um rebanho de 169 caprinos mantidos sob um sistema semi-intensivo para avaliarem as características leiteiras e não encontraram diferenças significativas entre os animais quanto à cor do pelame.

Quando o equilíbrio entre a perda e o ganho de energia térmica fica comprometido, parte do calor gerado metabolicamente se acumula. Este processo pode ser revertido pela redução do metabolismo, tendo como consequência uma restrição na energia destinada à produção, por ser esta utilizada prioritariamente no processo de termorregulação.

Por outro lado, o aumento do metabolismo vem em resposta à necessidade dos animais, seja pelo crescimento, produção ou termorregulação.

A produção de calor encontrada em caprinos das raças Barbari e Black Bengal na Índia por SHUKLA & MAHAPATRO (1992) apresentou diferenças entre os períodos etários (5 a 11 meses de idade), observando-se um decréscimo na termogênese com o avanço da idade e que sugeriu uma relação inversa entre a produção de calor (por unidade de peso) e o peso corporal. Tal fato provavelmente ocorreu principalmente, pela diminuição da divisão celular dos indivíduos mais velhos.

Em novilhas Hereford expostas e protegidas da radiação solar, a qualidade da dieta foi a principal causa da produção de calor em bovinos de corte e não a radiação solar, levando em conta que a produção de calor aumenta durante e depois do consumo (BROSH et al., 1998). Assim, os autores sugeriram reduzir a energia da dieta durante as horas mais quentes ou prover o alimento depois das mesmas. Já LU (1989) indicou uma redução na produção de calor por cabras alimentadas com dietas ricas em concentrados, menor do que aquela de animais alimentados com dietas ricas em volumosos.

O efeito da perda de calor pelo resfriamento no interior das patas por meio de um líquido a 0°C em caprinos conscientes em um ambiente a 38°C, levou uma resposta imediata em termos de aumento do metabolismo, diminuição na evaporação respiratória e distribuição do calor através do corpo, equilibrando, assim, a perda de energia térmica (JESSEN et al., 1983).

A espécie caprina possui uma grande habilidade em se adaptar a situações difíceis e a condições inóspitas. OGEBE et al. (1996) investigaram em diversas regiões da Nigéria o efeito das variações sazonais nas respostas comportamentais e fisiológicas de caprinos adultos, observando que os animais ajustavam o seu comportamento de acordo com a estação do ano.

Existem termorreceptores em todos os tecidos e a temperatura da corrente sanguínea varia continuamente, mesmo nas condições da zona de conforto térmico, de modo que o fato de um indivíduo estar sob tais condições não é uma garantia de homeostase térmica (BLIGH, 1990 e SILVA, 2000a). Diante disso, os mecanismos de termorregulação operam continuamente em todo o organismo do animal.

2.2 Mecanismos evaporativos

A produtividade e a própria sobrevivência de um animal dependem de sua capacidade em manter a temperatura corporal dentro de certos limites, os quais, para caprinos oscilam entre 39,9 a 40,7°C (ABRANHAM, 1989). Segundo SINGH & ROY (1963), as cabras duplicam sua frequência respiratória quando a temperatura se eleva

0,3°C acima da zona de conforto térmico, havendo também um ligeiro aumento da frequência cardíaca.

FEISTKORN et al. (1983) averiguaram que durante o estresse pelo frio havia um incremento de 200% no metabolismo, associado a um aumento da atividade cardíaca, que elevou sua capacidade em 50% para suprir o O₂ necessário à termogênese. Durante o estresse pelo calor a atividade cardíaca não atingia mais do que 30%, quando a temperatura chegara a 42,5°C e a perda evaporativa respiratória a 3 W.kg⁻¹.

De acordo com os resultados de AHMED & EL KHEIR (2004), o desempenho adaptativo de caprinos do deserto é importante para a manutenção da temperatura corporal, principalmente através da ofegação e de uma eficiente economia de água, através da redução da perda evaporativa e da habilidade de concentrar a urina e as fezes. Observaram ainda que o apetite dos animais não foi alterado pela restrição de água, quando o balanço energético do metabolismo se igualava sob uma baixa qualidade de alimento. Entretanto, alimento de boa qualidade pode impor um requerimento adicional de água, para a eliminação dos produtos finais do metabolismo.

A habilidade de muitos animais para se desenvolver em ambientes quentes baseia-se nas respostas compensatórias, tais como um aumento da temperatura retal e da atividade respiratória. AYO et al. (1998) obtiveram valores considerados normais de temperatura retal (37,2 - 40°C) para caprinos Red Sokoto na Nigéria associados com a flutuação diária da temperatura do ar, sendo o período entre 13 e 18 h mais estressante para os animais.

Em ambientes de temperatura muito elevada, tanto o excesso como a carência de umidade são prejudiciais. Se o ambiente é quente e muito seco, a evaporação é rápida, podendo causar irritação cutânea e desidratação geral. No caso do ambiente ser muito quente e demasiadamente úmido, a evaporação torna-se muito lenta ou nula, reduzindo a termólise e aumentando a carga de calor do animal. Isso porque, em condições de alta temperatura, a termólise por convecção é prejudicada ou anulada, podendo ocorrer mesmo ganho de calor por este mecanismo.

O aumento da frequência respiratória é uma das primeiras respostas visíveis à elevação da temperatura do ar. No entanto, a evaporação respiratória é bem menos

expressiva que a cutânea nos caprinos a campo do que em condições de laboratório, mesmo sob temperatura elevada, como foi constatado por BORUT et al. (1979).

O acréscimo da umidade de ar de 37 para 96%, sob uma temperatura média do ar de 33°C influenciou o aumento da frequência respiratória, em resposta ao aumento da temperatura hipotalâmica, ativando o resfriamento seletivo do cérebro feito pela carótida em caprinos (JESSEN & PONGRATZ, 1979).

Além da temperatura e umidade do ar, a qualidade do alimento também influenciou a resposta da frequência respiratória, constatado por KASA et al. (1995), em caprinos da raça Saanen. Os autores verificaram que um incremento no nível de ingestão de alimento durante exercícios seguia-se a um aumento significativo da frequência respiratória, da temperatura retal e das temperaturas das superfícies da garupa e do lombo.

Uma grande vantagem do aumento da ofegação está relacionada a manutenção da temperatura do cérebro, principal órgão termossensível, a uma temperatura inferior ao do centro. Isso se dá pela existência de um mecanismo de contracorrente, pois nos ungulados a maior parte do sangue que vai para o cérebro circula pela artéria carótida externa, que na base do crânio se ramifica em centenas de pequenas artérias. Estas se encontram com o sangue venoso que retorna das paredes das vias nasais onde foi resfriado, trocando calor. Como resultado, a temperatura cerebral é cerca de 2 a 3°C mais baixa que a temperatura corporal média (SCHIMIDT-NIELSEN, 2002).

As características do pelame são fatores importantes para a regulação do calor corporal, pois a capacidade evaporativa cutânea nos animais depende principalmente do tipo, cor e espessura da capa. Se a capacidade de um animal em suar for relativamente grande, o pelame ideal será aquele que permite uma livre circulação do ar sobre a pele, o que possibilita uma maior atividade evaporativa. Tratando-se de animais com baixa capacidade sudorípara, o ideal será que estes possuam pelame mais espesso, que os proteja da incidência direta dos raios solares (SILVA, 2000a). A taxa de perda de calor por evaporação depende da diferença na pressão de vapor entre a pele e o ambiente e na transferência de vapor através do pelame (MCARTHUR, 1987).

LIGEIRO (2004) observou efeito significativo do comprimento dos pêlos sobre a evaporação cutânea, que apresentou uma média de 69,99 W.m⁻² em cabras.

SILVA & STARLING (2003), estudando a evaporação cutânea e a respiratória em ovinos Corriedale sob temperaturas entre 21,1 e 41,9°C e a pressão parcial de vapor entre 1,53 e 3,01 kPa, observaram que à medida que aumentava a espessura do velo reduzia-se a evaporação respiratória e elevava-se a evaporação cutânea, concomitantemente com a temperatura do ar.

Geralmente, em um ambiente tropical, o mecanismo físico de termólise considerado mais eficaz é o evaporativo, por não depender do diferencial de temperatura entre o organismo e a atmosfera. Nesses ambientes, a temperatura do ar tende a ser próxima ou maior que a corporal, tornando ineficaz a termólise por condução e convecção (SILVA, 2000a). Assim, a evaporação no trato respiratório ou na superfície da pele é um mecanismo essencial para a regulação térmica em homeotérmicos (CENA & MONTEITH, 1975c).

Para a evaporação no trato respiratório, são fatores importantes, o volume de ar respirado na unidade de tempo, a temperatura corporal e a umidade do ar inspirado. Para superfície da epiderme, os principais fatores são a velocidade do vento, a temperatura da superfície, a umidade atmosférica, a taxa de transferência de água do interior do corpo para a superfície e a capa de cobertura (SILVA, 2000a).

McLEAN (1963ab) avaliou em bezerros Ayrshire dentro de câmara climática (temperatura do ar de 15 a 40°C e pressão parcial de vapor de 1,067 kPa) a perda por evaporação cutânea e respiratória, através de cápsula ventilada e máscara facial, respectivamente. O autor determinou perdas de $\pm 12 \text{ W.m}^{-2}$ para a evaporação respiratória e $\pm 80 \text{ W.m}^{-2}$ para evaporação cutânea, quando a temperatura do ar chegava a 40°C.

FINCH (1985) observou em animais Shorthorn, Brahman e cruzamentos de Hereford-Shorthorn, que a evaporação cutânea foi responsável por 85% da perda de calor latente sob temperaturas acima de 35°C e umidade menor que 50%. A evaporação respiratória em baixas temperaturas correspondeu entre 30-35% da evaporação total e reduziu para 12-15% quando a evaporação total atingiu o máximo. Nos animais mestiços, a evaporação total tinha um incremento de 60%, entre as temperaturas de 43-45°C.

Usando o método colorimétrico de SCHLEGER & TURNER (1965), OLIVEIRA (2004) encontrou taxas de sudação média de $178,53 \pm 6,14 \text{ g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ em caprinos. Esse valor foi superior aos encontrados por GAYÃO (1992), que variaram entre 18,94 e 30,55 $\text{g.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ em ambiente termoneutro e entre 26,77 e 60,08 $\text{gm}^{-2}\text{h}^{-1}$ sob estresse térmico.

MAIA et al. (2005c), estudando perda de calor latente em vacas Holandesas, verificou que entre 10 e 20°C a evaporação cutânea é responsável por 20-30% da perda total de calor, sendo o restante eliminado sob a forma sensível. Entretanto, quando a temperatura do ar chegava a 34°C, a perda de calor sensível se tornava pouco efetiva, passando a ser uma forma de ganho de calor. A evaporação cutânea respondia por cerca de 85% da termólise total, aproximadamente 300 W.m^{-2} .

SILVA et al. (2001b e 2002) observaram que, para ovinos da raça Corriedale, a evaporação respiratória é um meio efetivo de termorregulação, podendo eliminar até 39 W sob temperaturas de 45°C. No entanto, se o ambiente estiver muito úmido, essa perda de calor reduz-se consideravelmente, induzindo os animais ao estresse térmico.

STARLING et al. (2002) basearam-se na frequência respiratória (FR) e na temperatura retal (TR) para selecionar 10 animais, cinco com valores mais baixos como mais adaptados e cinco com valores mais altos como menos adaptados. Os animais selecionados foram mantidos em câmara climática, onde foram medidas novamente TR, FR e taxa de evaporação total, sob 20, 30 e 40°C de temperatura do ar e pressão parcial de vapor variável. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os grupos classificados, para todas as variáveis medidas. Os autores concluíram que a utilização das variáveis TR e FR como parâmetros únicos para a seleção destes animais não é suficiente para avaliar o grau de adaptação a temperaturas elevadas.

Em ovinos sob temperaturas entre 25 e 45°C e pressão parcial de vapor de 1,3 a 4,5 KPa, SILVA & GAUDIOSI (1995), ao testar o método gravimétrico verificaram que o principal fator de variação foi a frequência respiratória, em uma relação direta com a taxa de evaporação total, constatando que a termólise evaporativa em ovinos lanados processa-se, principalmente, por meio das vias respiratórias, evidenciando a eficiente proteção do velo contra as perdas evaporativas cutâneas.

O aumento da perda do calor cutâneo como resposta imediata à elevação da temperatura da pele pode ser mais importante nas cabras que nos grandes ungulados.

Por serem de menor tamanho, os caprinos expõem à radiação uma maior área de superfície em relação à massa do seu corpo (BORUT et al., 1979).

Nos caprinos a termólise evaporativa, respiratória e a cutânea têm proporções que dependem do modo de estimulação do estresse térmico (DMI'EL & ROBERTSHAW, 1983). O estresse térmico causado pela radiação solar é associado à sudação como o principal mecanismo de perda de calor evaporativo, ao passo que a respiratória predomina nas condições de câmaras climáticas.

O aumento da temperatura corporal incrementa a frequência respiratória, promovendo a troca de calor que ocorre entre o sangue venoso, que vem da mucosa nasal, e o arterial que irriga o cérebro. Assim, em caprinos o resfriamento seletivo do cérebro tem alta correlação com a perda de calor por evaporação respiratória (KUHNEN & JESSEN, 1991e 1994).

O resfriamento seletivo do cérebro está inativo quando a temperatura do sangue é menor que a do cérebro, e é ativado quando a temperatura do sangue se eleva a 39°C (KUHNEN & JESSEN, 1991).

Por outro lado, JESSEN et al. (1998) demonstraram que em caprinos desidratados o resfriamento seletivo do cérebro foi ativado quando a temperatura do sangue excedeu 39,5°C, o que contribui para menor perda evaporativa.

2.2.1 Glândulas sudoríparas

O conceito biológico de adaptação é o efeito conjunto de características morfológicas, anatômicas, fisiológicas, bioquímicas e comportamentais, que promove o bem-estar e favorece a sobrevivência de um organismo em um ambiente específico. Quanto maior o grau de adaptação, maior a tendência de o indivíduo sobreviver e reproduzir-se, passando suas características adaptáveis e herdáveis aos seus descendentes.

Um animal, cujo organismo não possua os mecanismos adequados para enfrentar altas temperaturas e intensa radiação solar, permanecerá em estresse, sendo esta responsável, em grande parte, pelo baixo desempenho produtivo. Assim a capa externa do corpo, o pelame, assume importância fundamental para as trocas térmicas

com o ambiente, em consequência das propriedades físicas, e distinta disposição dos pêlos (CENA & MONTEITH, 1975a) na superfície corporal.

Em um estudo sobre as características morfológicas do pelame em caprinos, OLIVEIRA (2005a) encontrou dados de espessura da capa e comprimento médio dos pêlos, favoráveis ao ambiente tropical e diferenças significativas entre os locais de colheita, evidenciando o poder adaptativo da espécie.

Apesar de o pelame constituir uma barreira quanto à perda de água, é necessário que animais que vivem em ambiente tropical tenham uma produção de suor considerável, propiciando um resfriamento corporal que é providencial para sua termorregulação. Nestes ambientes, as altas temperaturas diminuem consideravelmente as perdas por radiação e convecção, algumas vezes tornando-se uma forma de ganho térmico, quando a temperatura do ar excede a temperatura de superfície do animal.

OLIVEIRA (2004) obteve uma média de sudação de $178,53 \pm 6,14 \text{ gm}^2\text{h}^{-1}$ em caprinos, usando o método colorimétrico de SCHLEGER & TURNER (1965). A autora estimou herdabilidade de 0,32 para sudação, indicando que a característica pode ser submetida à seleção.

Segundo OLIVEIRA et al. (2005b), a cabra possui uma grande capacidade de sudação, assim a evaporação cutânea se apresenta como um eficiente mecanismo de perda de calor para esses animais.

Entretanto, a condição em que o animal se encontra é determinante. Resultados obtidos por OLIVEIRA et al. (2006) demonstraram que animais ao sol despendem duas vezes mais calor latente que à sombra, $115,25 \pm 10,55 \text{ W.m}^{-2}$ e $58,32 \pm 5,55 \text{ W.m}^{-2}$, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por FINCH et al. (1980), com médias de $123,7 \pm 7 \text{ W.m}^{-2}$ ao sol e $89 \pm 19 \text{ W.m}^{-2}$ à sombra em cabras brancas do deserto em que a temperatura variou de 35 a 46 °C.

LIGEIRO et al. (2006) obtiveram taxas de evaporação cutânea, usando cápsula ventilada, em torno de 65 W.m^{-2} para a raça Saanen, 68 W.m^{-2} para a Alpina e 92 W.m^{-2} para os mestiços de Boer-Saanen. Os autores explicaram a superioridade dos últimos em relação às demais, pela raça Boer ser originária da África do Sul.

A pele dos mamíferos consiste, basicamente, de duas porções microscópicas e embriologicamente distintas, pela disposição em que se encontram seus tecidos constituintes. A primeira destas porções, a epiderme, é de origem ectodérmica; dispõe-se superficialmente, sendo constituída por tecido epitelial pavimentoso, estratificado, ceratinizado. A segunda, a derme (de origem mesodérmica), dispõe-se logo abaixo da camada epidérmica e desta é separada por uma fina membrana basal de natureza complexa. A derme é composta essencialmente por tecido conjuntivo (PIMENTA, 1979) e constitui suporte para as estruturas derivadas da epiderme (folículos pilosos, glândulas sebáceas e sudoríparas), com as quais guarda íntimas relações histológicas.

A quantidade de suor produzido depende do número relativo e volume de glândulas sudoríparas ativas e, portanto, o número dessas glândulas por unidade de área epidérmica constitui um dado importante: os animais que vivem em locais constantemente sujeitos às altas temperaturas tendem a apresentar uma maior densidade numérica de glândulas sudoríparas. Entretanto, nem todas as glândulas se acham em atividade em um dado momento, já que o número de glândulas ativas está relacionado com o ciclo de atividades do folículo piloso e também com a idade (SILVA, 2000).

As glândulas sudoríparas dos ruminantes são do tipo apócrinas e apresentam um funcionamento descontínuo. Quando o lúmen celular de uma glândula apócrina está repleto de secreção, as miofibrilas se contraem, causando a expulsão do conteúdo glandular para a superfície (BLIGH, 1967).

JENKINSON & ROBERTSHAW (1971) verificaram que todas as glândulas sudoríparas ativas entraram em funcionamento quando os animais foram expostos ao ambiente de 40°C. Entretanto, houve uma diminuição da produção de suor devido à diminuição do volume de suor dentro da glândula, sendo necessário de 5 a 6 horas para que a glândula voltasse ao nível normal.

A aplicação do hormônio adrenalina teve uma rápida resposta do animal, de suar, possivelmente devido uma rápida ativação do processo secretor pela α -adrenérgico o qual promoveu a rápida fadiga da glândula sudorípara ou simplesmente pela contração mioepitelial. Entretanto, esse fluxo de perda de água por evaporação foi menor do que por meio de estimulação natural (JOHNSON, 1975).

2.3 Mecanismos de troca por calor sensível

Quando materiais físicos são expostos a diferentes temperaturas, o calor flui da região de maior temperatura para a menor. Portanto, um animal só pode perder calor se o seu meio estiver a uma temperatura mais baixa que a sua, do contrário haverá um ganho de energia térmica. O calor sensível é transferido de um ponto para outro através de três mecanismos básicos: radiação, convecção e condução.

Todos os objetos físicos com uma temperatura acima do zero absoluto emitem radiação eletromagnética. A intensidade dessa radiação depende da temperatura da superfície radiante, assim como também recebem radiação dos objetos circunvizinhos.

A transferência de calor por convecção se dá pelo movimento de massa do fluido, admitindo que o ar, fluido, esteja a uma temperatura mais baixa que a do animal, o calor fluirá em direção do animal para o ar, sendo esse processo acelerado quando se aumenta a velocidade do fluxo de massa.

FINCH et al. (1980) calculou a radiação absorvida (ondas longas e curtas), a radiação emitida (ondas longas) e a perda por convecção em três caprinos *Capra hircus* (dois pretos e um branco), e uma *Capra ibex*, à sombra e ao sol para obtenção do ganho de energia pelos animais. Os animais de cor preta, branca e ibex apresentaram ganho de energia, respectivamente, de 3,7, 2,7 e 4,9 vezes maior ao sol que à sombra.

A condução de calor ocorre entre os corpos físicos que estão em contato entre si e depende principalmente da condutância dos materiais envolvidos. No caso dos animais, a condução de calor só pode ser considerada se os mesmos estiverem deitados.

2.4 Estocagem térmica

Normalmente, os animais homeotérmicos aumentam sua taxa metabólica quando a temperatura ambiente se encontra abaixo da temperatura crítica inferior. Entretanto, o contrário não pode ser eficiente a ponto de ocorrer um equilíbrio. Uma vez que a taxa de metabolismo de manutenção não pode ser reduzida abaixo do limite do organismo,

mesmo quando a energia térmica gerada é excessiva. Assim os animais recorrem a mecanismos, como a condução, convecção, radiação e evaporação.

Em algumas situações em que a temperatura do ar excede muito a do animal, por exemplo, em desertos, onde o mecanismo de troca térmica que é mais utilizado seria o de evaporação, a situação se agrava pela carência de água. Os animais que ali vivem desenvolveram mecanismos fisiológicos para evitar a perda de líquidos corporais, como a concentração da urina e das fezes e o controle da temperatura cerebral abaixo da temperatura corporal.

CAIM III et al. (2006), revisando a termorregulação e o balanço de água em ungulados do deserto, relataram que os caprinos podem sobreviver com perda de até 30-40% da massa corporal. Sob severa desidratação (20-30% da massa corporal), os caprinos perdem pouca água do plasma sanguíneo ou tem a habilidade de desviarem a água de outros compartimentos corporais para manter o volume do plasma suficiente para prevenir uma queda na circulação sanguínea.

Outra forma de reduzir a perda de água do organismo é diminuir a taxa evaporativa, como observado por KUHLEN (1997), quando o mecanismo seletivo de resfriamento do cérebro das cabras estava ativo, a evaporação respiratória passava de $65,02 \text{ g.h}^{-1}\text{°C}^{-1}$ para $100,83 \text{ g.h}^{-1}\text{°C}^{-1}$, quando inativo. A importância desse mecanismo nos caprinos também foi relatada por BAKER & NIJLAND (1993) e JESSEN et al. (1998).

O mecanismo de resfriamento do cérebro tem uma importante função termorreguladora e seria como um interruptor para acionar a termólise evaporativa. Por isso, este mecanismo se torna dependente da disponibilidade da água corporal (MITCHELL et al., 2002).

Cabras beduínas do Norte da África, quando bem hidratadas, apresentam uma perda de 1,08 g por kg de peso corporal por hora e sob carência de água, perdem $0,55 \text{ g.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ (LOUW, 1993). Esses animais desenvolveram a capacidade de armazenar no organismo certa quantidade de energia térmica durante o dia, de maneira a reduzir a necessidade de evaporação para resfriamento. Assim, a temperatura interna eleva-se durante o dia até um limite máximo, sendo depois dissipada durante a noite, quando a temperatura do ambiente é geralmente muito inferior à corporal.

Como evidência da heterotermia adaptativa, MITCHELL et al. (2002) relataram que a temperatura corporal se altera, podendo o animal estocar calor, quando exposto a um estresse térmico e assim, conservar sua água corporal.

FINCH et al. (1980) encontraram em um caprino beduíno de pelagem preta uma estocagem térmica de 8 W.m^{-2} quando exposto ao sol e de 10 W.m^{-2} sob à sombra. Em um de pelagem branca, os autores determinaram 7 W.m^{-2} exposto ao sol e 8 W.m^{-2} à sombra.

A estocagem térmica em caprinos expostos ao sol do meio dia no deserto passava de $8,6 \text{ W.kg}^{-1}$, com os mesmos parados, para $29,9 \text{ W.kg}^{-1}$ quando em movimento. Em laboratório, a 40°C , passava de $17,8 \text{ W.kg}^{-1}$ quando parados e para $32,4 \text{ W.kg}^{-1}$ quando andando (BORUT et al., 1979). Entretanto, os autores atribuem esse potencial de estocagem térmica apenas para caminhadas de curta distância.

A estocagem de energia térmica se relaciona positivamente com a massa corporal, de modo que indivíduos mais pesados armazenam mais calor. Essa quantidade de calor armazenado pode ser medida como a diferença entre a perda de calor e a quantidade gerada de calor em dado intervalo de tempo. Esta diferença pode ser dada pela temperatura da pele e temperatura retal, com o calor específico dos tecidos igual a $3.340 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.

2.5 Efeitos do estresse climático sobre a produção de leite

As raças especializadas para produção de leite que foram importadas para o Brasil, como a Saanen, a Toggenburg, a Alpina e outras, são originárias de regiões temperadas e excelentes produtoras nas suas origens. No entanto, não temos tido desempenhos similares com estas raças na região tropical, devido às diferenças entre os ambientes.

Estudos com caprinos das raças Saanen, Anglo Nubiana e Alpina, em clima tropical, indicaram que, além da baixa produção, alguns componentes do leite, como a gordura e sólidos totais, apresentaram valores menores que aqueles das mesmas raças em clima temperado, devido à dieta inadequada e a temperatura elevada do ar (JUARÉZ, 1986).

ESMAIL (1986) relatou que cabras Saanen introduzidas no lêmén reduziam sua produção em até 36,6%, ao enfrentar as temperaturas elevadas prevalecente neste país. BROWN et al. (1988) observaram que a produção diária de leite em cabras Alpinas diminuía quando a temperatura do ar se elevava de 20 para 34°C.

BRASIL et al. (2000) avaliaram cabras Alpinas em câmara climática, considerando dois níveis de temperatura: termoneutralidade (em torno de 22°C) e estresse térmico (27-34°C). As cabras apresentaram produção média maior (1,35 e 0,69kg, de manhã e à tarde respectivamente) sob termoneutralidade do que sob estresse térmico (1,26 e 0,67kg respectivamente). Os autores ainda observaram que os animais estressados apresentaram menores teores de gordura, proteína, lactose e sólidos totais no leite.

Segundo KNIGHTS & GARCIA (1997) e SILANIKOVE (1992 e 2000), o caprino pode ser considerado o animal doméstico mais utilizado nos trópicos. Os autores recomendam que mais atenção seja dada à produção desta espécie em condições tropicais, alegando que esses animais possuem alta adaptabilidade a condições adversas.

A exploração dos caprinos exóticos, os Saanen, já tem entre nós algumas décadas e os mesmos são bastante difundidos no Brasil, tendo indivíduos de alta produtividade. Porém, pouco se sabe sobre alguns dos seus atributos ligados à eficiência da termólise, a qual é essencial em uma região quente. Tais características são relacionadas a fatores ambientais: radiação solar, temperatura e umidade do ar, entre outros, estando intimamente ligadas à dissipação do excesso de calor corporal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Animais e manejo

Participaram do estudo quinze cabras da raça Saanen, que nasceram entre os anos de 1999 e 2004, observadas no capril da FCAV/UNESP de Jaboticabal, SP, entre as oito e dezoito horas, durante os meses de março a junho de 2006, sem comprometimento nos manejos produtivo e reprodutivo.

A ordenha tinha início às sete horas e, em seguida, os animais passavam para um sistema rotacionado de capim tanzânia (*Panicum maximum cv*) permanecendo durante o dia e recolhidos no final da tarde. Este manejo foi conduzido desde o mês de novembro de 2005 até o início de abril de 2006. A partir deste mês, os animais passaram a receber silagem de milho e concentrado no cocho.

A estação de cobertura realizou-se no mês de março de 2006 e todas as fêmeas que participaram do estudo apresentaram confirmação da prenhez. As médias de produção de leite variaram de 2 a 3,5 litros, de acordo com o Programa de controle produtivo e reprodutivo de caprinos - PROCAPRI 2.0 (SALIN et al., 2005).

3.2 Protocolo das colheitas de dados

As fêmeas foram colocadas durante uma hora em uma gaiola metálica do tipo usado em estudos de digestibilidade, sem alimento e sem água.

A temperatura da superfície do pelame (T_s , °K) foi obtida usando-se um termômetro de infravermelho (Raytek ST), sendo medida em três regiões do corpo do animal a 18 cm da coluna vertebral: cervical, torácica e glútea (regiões de maior exposição à radiação solar), em que também foi determinada a evaporação cutânea

com uma cápsula ventilada e medida a espessura do pelame (E , mm) e colhidas amostras de pêlos.

A temperatura retal (T_R , °K) foi medida com um termômetro clínico digital e a frequência respiratória (F_R , resp.min.⁻¹) determinada por avaliação visual, observando-se os movimentos do flanco. Essas medidas, bem como as das variáveis ambientais, foram realizadas no início, meio e fim do período de permanência do animal na gaiola.

Procurou-se manter um cronograma de colheita de dados em que os quinze animais passaram por exposição ao sol e à sombra na mesma semana, assim durante o período de março a junho, as medições foram realizadas em cada animal por no mínimo quatro vezes em cada ambiente.

O ambiente onde os animais ficaram expostos ao sol era o mesmo disponível aos animais pelo solário, com piso de cimento. À sombra, ficaram estabulados em um local construído de alvenaria com piso de cimento e telha de barro.

3.3 Medições meteorológicas do ambiente

Durante a colheita dos dados foram registradas as seguintes variáveis ambientais:

- [1] temperatura do ar ou bulbo seco (T_A °C ou °K);
- [2] temperatura do bulbo úmido (T_U °C ou °K);
- [3] velocidade do vento (V , m.s⁻¹);
- [4] temperatura do globo (T_G °C ou °K).

Essas variáveis meteorológicas foram determinadas a intervalos de trinta minutos, sendo posteriormente calculadas as médias aritméticas das mesmas, referentes a cada animal que estava sendo amostrado naquele momento.

As variáveis meteorológicas foram utilizadas para calcular a pressão parcial de vapor, umidade relativa do ar e a temperatura radiante média do ambiente.

A pressão parcial de vapor (P_V) foi calculada a partir das temperaturas do bulbo seco, t_a (°C), e bulbo úmido, t_u (°C), medidas com um psicrômetro ventilado portátil:

$$P_v = P_s\{t_u\} - \gamma(t_a - t_u) \text{ (kPa)} \quad (2)$$

Em que:

$P_s\{t_u\}$ é a pressão de saturação à temperatura do bulbo úmido (kPa) e γ é a constante psicrométrica (kPa °C⁻¹) à mesma temperatura.

A umidade relativa do ar (U_R) foi estimada como:

$$U_R = 100 \frac{P_v}{P_s\{t_a\}} \text{ (%) } \quad (3)$$

Em que:

$P_s\{t_a\}$ é a pressão de saturação à temperatura do bulbo seco (kPa).

A temperatura radiante média (T_{RM}) foi calculada a partir da temperatura de um globo negro de 15 cm de diâmetro (°C), da velocidade do vento (m.s⁻¹) e da temperatura do ar (°C):

$$T_{RM} = \left[\frac{h_G (T_G - T_A) + \varepsilon_G \sigma T_G^4}{\varepsilon_G \sigma} \right]^{1/4} \text{ (°C)} \quad (4)$$

Em que:

$\varepsilon_G = 0,95$ é a emissividade do globo, T_G é a temperatura do globo negro (K), $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ é a constante de Stefan-Boltzman e h_G é o coeficiente de convecção do globo negro:

$$h_G = \frac{k N_u}{d_G} \text{ (W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}) \quad (5)$$

Em que:

d_G é o diâmetro do globo (m), N_u o número de Nusselt e k é a condutividade térmica do ar (W.m⁻¹.K⁻¹).

3.4 Características morfológicas do pelame

A amostragem dos pêlos foi realizada em média 18 cm abaixo da coluna vertebral em três áreas corporais do animal, sendo: cervical, torácica e glútea, ou seja, as mesmas em que foi realizada a medida para a evaporação da superfície cutânea.

Inicialmente foi medida a espessura da capa com uma régua milimetrada. A retirada das amostras de pêlos foi feita conforme LEE (1953), no mesmo local de medida da espessura, utilizando-se um alicate comum de eletricitista de bico limado, com 17 mm² de abertura. No laboratório foi realizada a contagem do número de pêlos, calculando-o em termos de unidade de área (pêlos/cm²). O comprimento médio dos pêlos (mm) foi tomado pela média aritmética dos dez maiores pêlos, eleitos por meio de uma análise visual e medidos com paquímetro digital, conforme UDO (1978). O ângulo de inclinação dos pêlos em relação à superfície da epiderme (graus) foi obtido conforme SILVA, 2000a:

$$A = \arcsin\left[\frac{E}{C}\right] \text{ (graus)} \quad (6)$$

Em que:

E = espessura da capa (mm)

C = comprimento médio dos pêlos (mm)

3.5 Evaporação total

Para a determinação da termólise evaporativa foi utilizado o processo gravimétrico, por meio de um sistema de pesagem de alta sensibilidade WM-204 (fabricado por Scale-Tronix, Inc., White Plains, New York, USA), desenvolvido originalmente para o monitoramento de perdas de líquidos em pacientes humanos. O mesmo foi utilizado em bovinos por HOLMES (1985) e FINCH (1985), e em ovinos por SILVA & GAUDIOSI (1995) e SILVA & STARLING (2003).

Basicamente, o sistema é constituído por quatro transdutores tipo *strain-gauge*, colocados sob o suporte da gaiola metálica em que são colocados os animais. Foi

colocado óleo na bandeja, destinado a receber os dejetos durante o protocolo, para evitar alterações na medição. Esse sistema foi acoplado a uma unidade central computadorizada, que registra continuamente as alterações de peso com sensibilidade de 10 g. A capacidade total do sistema atingia cerca de 500 kg.

A perda total de água eliminada por evaporação (cutânea e respiratória) foi registrada no fim de cada hora e referida ao peso do animal. A diferença entre o peso corporal inicial e o final, atribuído ao total de água evaporada em cada sessão, foi convertida em gramas de água por kg de peso corporal por hora (g/kg/h).

O calor dissipado por evaporação total (E_T) foi estimado para cada valor de temperatura do ar, utilizando-se a seguinte equação, de acordo com SILVA & GAUDIOSI (1995):

$$E_T = \frac{(Y \cdot \lambda \cdot 3600^{-1})}{A_T} \text{ (W.m}^{-2}\text{)}, \quad (7)$$

Em que:

Y é a quantidade de água evaporada (gramas);

λ é o calor latente de vaporização, estimado para a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

$$\lambda = 2501 - 2,372727t_a \text{ (J.g}^{-1}\text{)} \quad (8)$$

A_T = área total de superfície corporal, estimada pela fórmula de FINCH et al. (1980):

$$A_T = 0,1 \cdot (P^{0,67}) \text{ (m}^2\text{)} \quad (9)$$

Em que:

P é o peso corporal do animal (kg).

3.6 Evaporação cutânea

O método direto foi utilizado para determinar a quantidade de água evaporada na superfície cutânea (E_C , W.m^{-2}), com o uso de uma cápsula ventilada, segundo McLEAN (1963a) e HOFMEYR et al. (1969).

T_A = temperatura da atmosfera ($^{\circ}\text{K}$);

$M_w = 18,016 \text{ g.mol}^{-1}$ é o peso molecular da água;

$R = 8,3143 \text{ J.mol}^{-1}$ é a constante gasosa;

$P_{V\{t_A\}}$ = pressão parcial de vapor da atmosfera (kPa).

A quantidade de água evaporada na superfície cutânea, com relação à área compreendida pela cápsula ventilada, foi dada por:

$$E = \lambda[f_c(\Psi_{CV} - \Psi_A)] (W) \quad (12)$$

Em que:

f_c = volume de ar fluindo através da cápsula ventilada ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$); sendo:

$$f_c = (\pi r^2)V_{CV} (\text{m}^3.\text{s}^{-1}) \quad (13)$$

Em que:

r = raio geométrico da válvula de entrada do ar da cápsula ventilada (0,01075 m);

V_{CV} = velocidade do ar entrando na cápsula (m.s^{-1}), multiplicado pelo fator de correção 0,9 indicado pelo manual do termoanemômetro para fluxos de ar em condutos de pequeno diâmetro.

A evaporação da superfície cutânea foi medida em três áreas corporais diferentes da epiderme, sendo: cervical, torácica e glútea. Estas regiões foram escolhidas com base nos resultados experimentais de McLEAN (1963b), devido à secreção e a evaporação não serem homogeneamente distribuídas em toda superfície cutânea. Assim, a quantidade de água evaporada na superfície cutânea foi baseada na taxa média de água evaporada nas três diferentes regiões medidas, que foram feitas no início e no fim de cada hora em que o animal passava na gaiola, utilizando a fórmula abaixo:

$$E_C = \left\{ \frac{(E_{C1} + E_{C2} + E_{C3})3^{-1}}{A_{CV}} \right\} (W.m^{-2}) \quad (14)$$

Em que:

E_{C1} = quantidade de água evaporada na superfície cutânea da área cervical ($W.m^{-2}$);

E_{C2} = quantidade de água evaporada na superfície cutânea da área torácica ($W \cdot m^{-2}$);

E_{C3} = quantidade de água evaporada na superfície cutânea da área glútea ($W \cdot m^{-2}$);

A_{CV} = área da cápsula ventilada, πr^2 ($0,003848 \text{ m}^2$).

3.7 Evaporação respiratória

O ar é inspirado à temperatura T_A e aquecido à temperatura T_B nos pulmões, diminuindo sua pressão parcial de vapor e absorvendo mais vapor do fluido que cobre as superfícies respiratórias. Entretanto, quando ocorre a expiração, o ar perde calor ao passar pelas superfícies resfriadas das vias respiratórias, ocorrendo a condensação da umidade. Portanto o ar é expirado a uma temperatura mais baixa que a dos pulmões e saturado a essa, que será menor do que seria esperado se o ar fosse saturado a temperatura interna T_B .

Deste modo as propriedades do ar requeridas devem ser obtidas para a temperatura do ar que flui na traquéia. Esse problema foi discutido por STEVENS (1981) e SILVA et al. (2002), que a estimou pela seguinte equação para a temperatura expirada (T_{EXP}):

$$T_{EXP} = -142,6193 + 0,2891T_A + 2,5865P_V + 7,3525T_R - 0,0016T_A^2 - 0,2027P_V^2 - 0,0797T_R^2 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (15)$$

A quantidade de água evaporada através do mecanismo respiratório (E_R , $W \cdot m^{-2}$) foi determinada conforme SILVA et al. (2002) descrita pela equação:

$$E_R = \frac{m C_p \rho^{-1} (\psi_{EXP} - \psi_A)}{A_T} \text{ (} W \cdot m^{-2} \text{)} \quad (16)$$

Em que:

C_p = Calor específico do ar ($J \cdot Kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ à temperatura dada T_A ($^\circ C$));

m = taxa de fluxo de massa,

$$m = \frac{V_{RC} Fr \rho}{60} \text{ (} kg \cdot s^{-1} \text{)} \quad (17)$$

V_{RC} = é o volume respiratório corrente:

$$V_{RC} = 0,0496 Fr^{-1,1557} (m^3.resp.^{-1}) \quad (18)$$

Em que:

F_R é a frequência respiratória (resp.mov.min⁻¹).

ψ_A = a umidade absoluta do ar da atmosfera (g.m⁻³), equação 11;

ψ_{EXP} = a umidade absoluta do ar expirado (g.m⁻³),

$$\Psi_{EXP} = \frac{2166,86913 P_V \{t_{EXP}\}}{T_{EXP}} (g.m^{-3}) \quad (19)$$

Em que:

T_{EXP} = temperatura do ar expirado (°K), equação 15;

$P_V\{t_{EXP}\}$ = pressão parcial de vapor do ar saindo da cápsula (kPa);

3.8 Troca por convecção respiratória

A troca de calor sensível por convecção no sistema respiratório foi descrita pela teoria geral da transferência de calor sensível em tubos de comprimento finito, conforme adaptado por SILVA et al. (2002) para ovinos. Estes autores ressaltam que, apesar do tubo traqueal não apresentar diâmetro uniforme com uma parte mais alongada na laringe e a mais estreita nos pulmões, a diferença entre os diâmetros médio inicial e final do tubo não é particularmente grande no caso de caprinos e ovinos. Assim, foi possível usar a média dos dois extremos para a determinação dos fluxos, sem erros significativos, assumindo uma velocidade constante do fluxo de ar e um diâmetro médio do tubo traqueal de $d=0,014$ (m). A área de secção média foi de $A=0,00015$ (m²) e o comprimento médio de $0,35$ (m). Assim a velocidade do fluxo de ar através do tubo traqueal (U_t) foi:

$$U_t = \frac{V_{RC} F_R}{60 A_t} (m.s^{-1}). \quad (20)$$

Em que:

A_t = área da secção médio do tubo traqueal (m^2).

Assim, de acordo com as equações desenvolvidas por SILVA et al. (2002), a quantidade de calor sensível, convecção respiratória (C_R , $W.m^{-2}$), transferido do sistema respiratório para o exterior foi dada por:

$$C_R = \frac{mC_p(T_{EXP} - T_A)}{A_t} (W.m^{-2}) \quad (21)$$

3.9 Trocas por convecção cutânea

Para determinar a troca térmica por convecção na superfície do pelame (HC , $W.m^{-2}$), para o ar da vizinhança, o animal foi considerado um cilindro horizontal, exceto a cabeça e as patas, conforme McARTHUR, (1987), SILVA, (2000ab) e TURNPENNY et al. (2000), utilizando a seguinte equação:

$$HC = \frac{\rho C_p}{r_H} (T_s - T_A) (W.m^{-2}) \quad (22)$$

Em que:

ρ é a densidade do ar ($kg.m^{-3}$); T_A e T_s são a temperatura do ar e da superfície do pelame (Kelvin), respectivamente enquanto r_H é a resistência à transferência térmica por convecção ($s.m^{-1}$):

$$r_H = \frac{\rho C_p d_b}{k N_u} \quad (23)$$

Em que:

d_b é o diâmetro médio corporal (m), medido com uma fita métrica nas três regiões do corpo do animal (centro, próximo às pernas dianteiras e traseiras), sendo utilizada se a direção do vento fosse perpendicular ao animal. Caso contrário, o valor do comprimento do animal (exceto a cabeça) foi usado; k é a condutividade térmica do ar à temperatura

T_A ($W\ m^{-1}\ K^{-1}$). E N_u é o número de Nusselt, nesse caso foi estimado para um cilindro horizontal usando os números de Reynolds (R_e), Prandt (P_r) e Grashof (G_r):

$$R_e = Vd_b v^{-1} \quad (24)$$

$$P_r = \rho C_p v k^{-1} \quad (25)$$

$$G_r = g d^3 v^{-2} T_A^{-1} (T_C - T_A) \quad (26)$$

Em que:

V é a velocidade do vento sobre o animal ($m.s^{-1}$), g é a aceleração da gravidade ($m.s^{-1}$) e v é a viscosidade cinemática do ar ($m^2.s^{-1}$). A velocidade do ar usada para calcular o número de Reynolds foi medida a 0,1 m da superfície corporal do animal com um anemômetro digital portátil.

A relação $G_r R_e^{-2}$ foi usada para especificar se a convecção foi natural ($G_r R_e^{-2} > 3$), forçada ($G_r R_e^{-2} \leq 0,08$) ou combinada ($0,08 < G_r R_e^{-2} \leq 3$), conforme CHAPMAN (1987). No caso da convecção forçada em cilindros horizontais o N_u foi calculado, conforme o valor do R_e :

$$\text{se } 1 \leq R_e < 40 \text{ então } N_u = 0.75 R_e^{0.4} P_r^{0.37} \quad (27)$$

$$\text{se } 40 \leq R_e < 1000 \text{ então } N_u = 0.51 R_e^{0.5} P_r^{0.37} \quad (28)$$

$$\text{se } 1000 \leq R_e < 2.0 \times 10^5 \text{ então } N_u = 0.26 R_e^{0.6} P_r^{0.37} \quad (29)$$

$$\text{se } R_e \geq 2.0 \times 10^5 \text{ então } N_u = 0.076 R_e^{0.7} P_r^{0.37} \quad (30)$$

Para a convecção natural a equação foi:

$$N_u = \left\{ 0.6 + 0.387 (G_r P_r)^{\frac{1}{6}} \left[1 + (0.559 P_r^{-1})^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{-8}{27}} \right\}^2 \quad (31)$$

No caso de convecção combinada o N_u foi calculado para ambos os tipos de convecção, escolhendo-se o maior valor conforme MONTEITH & UNSWORTH (1990).

3.10 Trocas por radiação

O fluxo térmico por radiação entre um animal e o ambiente pode ser descrito pela seguinte equação usada para estimar a troca de calor por radiação de ondas longas (RL , $W.m^{-2}$) entre a superfície corporal e o ambiente: (McARTHUR, 1987; SILVA, 2000a, b; TURNPENNY et al., 2000):

$$RL = \frac{\rho C_p}{r_R} (T_S - T_{RM}) \quad (W.m^2) \quad (32)$$

Em que:

r_R é a resistência da camada limite à transferência de calor por radiação ($s.m^{-1}$):

$$r_R = \frac{\rho C_p}{4\epsilon_s \sigma T_S^3} \quad (33)$$

Em que:

T_S = é a Temperatura da superfície do pelame (K), $\epsilon_s=0,98$ é a emissividade para radiação térmica da superfície do pelame, $\sigma=5,67051 \times 10^{-8} W.m^{-2}K^{-4}$ é a constante de Stefan-Boltzmann e T_{RM} (K) é a temperatura radiante média da vizinhança.

3.11 Estocagem térmica

O armazenamento de calor corporal, (HS , $W.m^{-2}$), foi calculado utilizando-se a equação de MCLEAN et al. (1983):

$$HS = \frac{[0,86\Delta T_c + 0,14\Delta T_s]CeP}{tA_r} \quad (W.m^{-2}) \quad (34)$$

Em que:

ΔT_c = diferença de mudanças na temperatura corporal (retal), $^{\circ}C$; ΔT_s = diferença de mudanças na temperatura da pele, $^{\circ}C$; Ce = calor específico dos tecidos, assumido como sendo $3.470 J kg^{-1}^{\circ}C^{-1}$; P = Peso do animal, kg e t = intervalo de tempo, seg.

3.12 Fluxo total de calor sensível e Fluxo total de energia térmica

O fluxo de calor sensível, ou seja, as trocas por convecção somadas às trocas por radiação, entre a superfície do pelame e o ambiente dependem de duas temperaturas ambientais, T_A e T_{RM} , as quais podem ser combinadas numa única, a temperatura operativa T_O . Assim, as resistências r_H e r_R , também devem ser combinadas numa resistência equivalente r_O dada por:

$$r_O = \frac{r_H r_R}{r_H + r_R} \text{ (s.m}^{-1}\text{)} \quad (35)$$

$$T_O = \frac{(r_H T_{RM}) + (r_R T_A)}{(r_H + r_R)} \text{ (}^{\circ}\text{K)} \quad (36)$$

Portanto, o fluxo total de calor sensível na superfície do pelame (S , W.m^{-2}) foi dado por:

$$S = \frac{\rho c_p}{r_O} (T_S - T_O) \text{ (W.m}^{-2}\text{)} \quad (37)$$

Assim, o fluxo térmico total (S_T , W.m^{-2}) do animal com o ambiente será a soma das trocas por Radiação, Convecção cutânea, Convecção respiratória e Evaporação total menos a estocagem térmica:

$$S_T = R + C + C_R + E_T - HS \text{ (W.m}^{-2}\text{)} \quad (38)$$

3.13 Análises estatísticas

Para composição do arquivo de dados, estudo descritivo das variáveis, análises de variância e covariância e verificação das pressuposições para as análises estatísticas, foi utilizado o programa computacional SAS (SAS 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA).

Pelo estudo da normalidade dos resíduos das variáveis estudadas, identificamos a necessidade das seguintes transformações de dados:

- Transformação Box-Cox em que, o valor de λ foi estimado por máxima verossimilhança:

$$Y_t = \frac{(Y^\lambda - 1)}{\lambda}$$

Em que Y_t é a variável transformada e $\lambda = 0,25; 0,15; 0,25$ e $0,75$ para as variáveis de Evaporação cutânea cervical; Evaporação cutânea torácica; Evaporação cutânea e Convecção respiratória, respectivamente.

- Transformação logarítmica para Evaporação respiratória.

- Transformação quadrática para Evaporação cutânea glútea.

As análises de variância tiveram como base o método dos quadrados mínimos para dados não-balanceados, utilizando modelos mistos.

O modelo linear geral para as características morfológicas do pelame:

$$Y_{ijkl} = \alpha + a_i + i_j + l_{ij} + m_k + b_1(E_{ijkl}) + b_2(C_{ijkl}) + b_3(D_{ijkl}) + b_4(l_{ijkl}) + \varepsilon_{ijkl}$$

Em que:

Y_{ijkl} = i -ésima medida da característica morfológica (Espessura do pelame, Comprimento médio e Densidade numérica);

α = intercepto;

a_i = efeito aleatório da i -ésima cabra;

i_j = efeito fixo do j -ésimo ambiente ($j = 1, 2$);

m_k = efeito fixo do k -ésimo mês de colheita ($k = 1, 2, 3, 4$);

l_{ij} = efeito aleatório da interação da i -ésima cabra com o j -ésimo ambiente;

$b_1 \dots b_4$ = coeficientes de regressão linear, sobre a espessura do pelame (E_{ijkl}), comprimento médio dos pêlos (C_{ijkl}), densidade numérica dos pêlos (D_{ijkl}), idade da cabra no dia da colheita (l_{ijkl}), respectivamente;

ε_{ijkl} = erro aleatório associado a cada observação.

O modelo linear geral para as variáveis fisiológicas observadas nos animais, perda por calor sensível e evaporação respiratória:

$$Y_{ijk} = \alpha + a_i + I_j + I_{ij} + b_1(Ta_{ijk}) + b_2(Trm_{ijk}) + b_3(V_{ijk}) + b_4(U_{ijk}) + b_5(Fr_{ijk}) + b_6(Tr_{ijk}) + b_7(Ts_{ijk}) + b_8(I_{ijk}) + b_9(ER_{ijk}) + b_{10}(CR_{ijk}) + b_{11}(RL_{ijk}) + b_{12}(EC_{ijk}) + \epsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = k -ésima medida da Temperatura retal, Temperatura da superfície do pelame e Frequência respiratória, Evaporação respiratória, Convecção respiratória, Convecção cutânea e Radiação;

α = intercepto;

a_i = efeito aleatório da i -ésima cabra;

I_j = efeito fixo de ambiente da j -ésima cabra ($j = 1,2$);

I_{ij} = efeito aleatório da interação da i -ésima cabra com o j -ésimo ambiente;

$b_1 \dots b_{12}$ = coeficientes de regressão linear, sobre a temperatura do ar (Ta_{ijk}), temperatura radiante média (Trm_{ijk}), velocidade do vento (V_{ijk}), umidade relativa do ar (U_{ijk}), frequência respiratória (Fr_{ijk}), temperatura retal (Tr_{ijk}), temperatura da superfície do pelame (Ts_{ijk}), idade da cabra no dia da colheita (I_{ijk}), evaporação respiratória (ER_{ijk}), convecção respiratória (CR_{ijk}), troca por radiação (RL_{ijk}), evaporação cutânea (EC_{ijk}), respectivamente;

ϵ_{ijk} = erro aleatório associado a cada observação.

O modelo linear geral para as evaporações cutâneas:

$$Y_{ijk} = \alpha + a_i + I_j + I_{ij} + b_1(Ta_{ijk}) + b_2(Trm_{ijk}) + b_3(V_{ijk}) + b_4(U_{ijk}) + b_5(Ts_{ijk}) + b_6(Tr_{ijk}) + b_7(E_{ijk}) + b_8(C_{ijk}) + b_9(D_{ijk}) + b_{10}(A_{ijk}) + b_{11}(I_{ijk}) + \epsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = k -ésima medida da perda de calor por evaporação cutânea;

α = intercepto;

a_i = efeito aleatório da i -ésima cabra;

i_j = efeito fixo do j -ésima ambiente ($j = 1,2$);

l_{ij} = efeito aleatório da interação da i -ésima cabra com o j -ésimo ambiente;

$b_1 \dots b_{11}$ = coeficientes de regressão linear, sobre a temperatura do ar ($T_{a_{ijk}}$), temperatura radiante média (Trm_{ijk}), velocidade do vento (V_{ijk}), umidade relativa do ar (U_{ijk}), temperatura da superfície do pelame (Ts_{ijk}), temperatura retal (Tr_{ijk}), a espessura do pelame (E_{ijkl}), comprimento médio dos pêlos (C_{ijkl}), densidade numérica dos pêlos (D_{ijkl}), ângulo de inclinação dos pêlos (A_{ijkl}), idade da cabra no dia da colheita (l_{ijkl}), respectivamente;

ϵ_{ijk} = erro aleatório associado a cada observação.

O modelo linear geral proposto para o fluxo de calor sensível total, calor latente, estocagem térmica e fluxo total:

$$Y_{ijk} = \alpha + a_i + i_j + l_{ij} + b_1(T_{a_{ijk}}) + b_2(Trm_{ijk}) + b_3(V_{ijk}) + b_4(U_{ijk}) + b_5(Ts_{ijk}) + b_6(Tr_{ijk}) + b_7(Fr_{ijk}) + b_8(l_{ijk}) + b_9(EC_{ijk}) + b_{10}(RL_{ijk}) + b_{11}(HC_{ijk}) + b_{12}(CR_{ijk}) + b_{13}(ET_{ijk}) + b_{14}(HS_{ijk}) + \epsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = k -ésima medida da perda de calor por fluxo sensível total, evaporação total, estocagem térmica e fluxo térmico total;

α = intercepto;

a_i = efeito aleatório da i -ésima cabra;

i_j = efeito fixo de ambiente da j -ésima cabra ($j = 1,2$);

l_{ij} = efeito aleatório da interação da i -ésima cabra com o j -ésimo ambiente;

$b_1 \dots b_{14}$ = coeficientes de regressão linear, sobre a temperatura do ar ($T_{a_{ijk}}$), temperatura radiante média (Trm_{ijk}), velocidade do vento (V_{ijk}), umidade relativa do ar (U_{ijk}), temperatura da superfície do pelame (Ts_{ijk}), temperatura retal (Tr_{ijk}), frequência respiratória (Fr_{ijk}), idade da cabra no dia da colheita (l_{ijk}), evaporação cutânea (EC_{ijk}), troca por radiação (RL_{ijk}), Convecção cutânea (HC_{ijk}), convecção respiratória (CR_{ijk}), evaporação total (ET_{ijk}), Estocagem térmica (HS_{ijk}), respectivamente;

ϵ_{ijk} = erro aleatório associado a cada observação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis meteorológicas

Na Tabela 1 são sumarizados os valores mínimos e máximos das variáveis meteorológicas registradas durante as observações realizadas no capril.

Tabela 1. Valores mínimos e máximos das variáveis meteorológicas registradas durante a colheita de dados, nos ambientes estudados.

Variáveis	À Sombra		Ao Sol	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Temperatura do ar (°C)	17,33	31,46	18,03	30,47
Temperatura do bulbo úmido (°C)	11,40	24,86	14,60	24,80
Temperatura do globo negro (°C)	14,93	30,03	19,66	42,66
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	0,10	2,83	0,10	4,66
Pressão parcial de vapor (kPa)	0,93	2,77	1,36	2,75
Umidade relativa do ar (%)	38,81	89,39	38,06	80,35
Temperatura radiante média (°C)	6,94	34,52	16,64	76,47

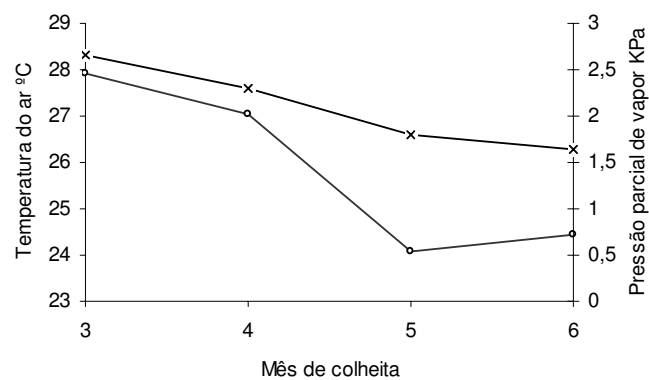


Figura 3. Médias da temperatura do ar (o) e pressão parcial de vapor (x) observada nos meses de colheitas.

4.2 Características morfológicas do pelame

Pelas médias gerais observadas para as características morfológicas do pelame (Tabela 2) verificamos que o pelame das cabras Saanen é bem assentado, espesso, comprido e pouco denso se comparado ao pelame dos bovinos Jersey (SILVA et al., 1988) e Holandeses (PINHEIRO, 1996, MAIA et al., 2003). Entretanto, os valores apresentaram-se próximos aos encontrados por OLIVEIRA (2004) e LIGEIRO et al. (2006) em cabras da raça Saanen.

O que seria considerado inadequado para as trocas térmicas dos bovinos no ambiente tropical tais como o pelame espesso, comprido e pouco denso. Nos caprinos este tipo de pelame funciona como uma proteção à radiação solar e contra absorção excessiva de radiação térmica contribuindo como um isolante, (ACHARYA et al., 1995). Ao mesmo tempo, a pouca densidade numérica facilita os movimentos dos pêlos a fim de promover as trocas convectivas e evaporativas com mais eficiência.

Vale salientar ainda, que apesar do pelame branco refletir mais, este também transmite a radiação em maior proporção que as outras cores (SILVA et al., 2001; SILVA et al., 2003). Por isso é tão importante que no ambiente tropical os animais possuam a pele bem pigmentada, o que não é o caso da raça Saanen, possuidora de pele e mucosas róseas, ainda que as últimas apresentem manchas escuras, como nas narinas, mucosa ocular e vulvar, períneo e úbere. Para efeito de registro genealógico, são aceitas manchas de até 1 cm em qualquer parte do corpo (RIBEIRO, 1998).

Tabela 2. Médias gerais observadas e desvios-padrão das características morfológicas do pelame em diferentes partes do corpo de cabras Saanen.

Características	Cervical	Torácica	Glútea
Espessura da capa do pelame (mm)	9,29 ± 2,68	9,01 ± 2,77	9,07 ± 3,62
Comprimento médio dos pêlos (mm)	36,62 ± 4,61	42,12 ± 5,08	37,47 ± 6,09
Densidade numérica dos pêlos (g/cm ³)	406,97 ± 124,5	482,70 ± 131,0	519,84 ± 146,0
Ângulo de inclinação dos pêlos (graus)	14,71 ± 3,54	12,33 ± 3,34	13,93 ± 4,79

SILVA et al. (2003) relataram em seu trabalho sobre características radiativas do pelame de animais a existência de um animal da raça Holandesa com áreas de pelame branco sobre a epiderme negra, trazendo perspectivas de novas abordagens para a

seleção de gado leiteiro para regiões tropicais. Portanto, seria importante uma investigação nesse sentido para caprinos da raça Saanen, de modo que as características adaptativas ao ambiente tropical sejam adequadamente direcionadas na seleção dessa raça.

Na análise de variância das características morfológicas do pelame (Tabela 3) observamos que houve efeito significativo do animal ($P < 0,01$ e $P < 0,05$) para todas as características, com exceção da densidade numérica na área cervical e glútea. O ambiente influenciou apenas a espessura da área cervical ($P < 0,01$), a qual apresentou um maior valor quando os animais foram expostos ao sol (Tabela 4), indicando que nessa área havia uma necessidade maior de isolamento térmico através da camada de ar aprisionada entre os pêlos. Ao mesmo tempo, a elevação dos pêlos favoreceu a penetração da corrente do vento que facilita tanto a termólise convectiva quanto a evaporativa, uma vez que os pêlos das cabras apresentaram-se compridos (Tabela 2), como constatado pelo efeito significativo ($P < 0,01$) da regressão linear em função do comprimento dos pêlos para a espessura na área glútea (Tabela 3), com o valor do coeficiente linear igual a $0,27 \pm 0,08$. A espessura constitui uma camada protetora que dificulta a passagem de calor em ambos os sentidos, porém esta é importante para a proteção destes animais à radiação solar.

Na análise de variância do comprimento médio dos pêlos constatou-se efeito significativo de animal ($P < 0,01$) em todas as áreas estudadas e efeito significativo do mês de colheita ($P < 0,05$) sobre os comprimentos dos pêlos da área da cervical (Tabela 3). O mês de junho apresentou a menor média (Tabela 4), possivelmente pela menor intensidade da radiação solar no solstício de inverno, entretanto observa-se um aumento na densidade do pelame e na espessura nessa área, embora não significativo. Neste caso, este aumento deve-se à necessidade de proteção ao frio. Para o comprimento da área glútea houve efeito significativo ($P < 0,01$) das regressões lineares em função da espessura e densidade com coeficientes lineares de $0,45 \pm 0,13$ e $0,01 \pm 0,002$, respectivamente.

A análise de variância da densidade numérica do pelame para a área cervical apresentou efeito significativo ($P < 0,05$) apenas para a regressão linear em função da idade (Tabela 3) com um coeficiente de regressão linear de $-2041,07 \pm 817,59$. Este

resultado indicou que, com o avanço da idade, a área cervical diminui consideravelmente o número de pêlos. Esse fato pode ser explicado pela ida ao canzil, confeccionado com ferro que prende o animal ao redor do pescoço, diminuindo o número de pêlo no local durante a alimentação.

Para a densidade numérica da área torácica houve efeito significativo ($P < 0,05$) da regressão linear em função do comprimento dos pêlos (Tabela 3), com coeficiente de regressão linear de $15,01 \pm 6,23$.

No Brasil, o comprimento dos pêlos dos bovinos aumenta em abril e diminui em outubro (SILVA et al., 1988), ocorrendo o mesmo com a densidade do pelame. Por exemplo, PINHEIRO & SILVA (1998) encontraram, no estado de São Paulo, maior densidade do pelame no outono (718 pêlos/cm^2) e menor na primavera (474 pêlos/cm^2), indicando duas mudas da pelagem no ano, nas quais os bovinos se preparavam para o inverno e verão, respectivamente. Em bovinos de uma região mais próxima do Equador (Ceará), em que a duração do fotoperíodo é praticamente constante, MORAIS (2000) encontrou maior densidade de pelame no mês de junho e menor em dezembro.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das características morfológicas do pelame nas áreas da cervical (1), torácica (2) e glútea (3) das cabras Saanen.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio								
		E1	E2	E3	C1	C2	C3	D1	D2	D3
AM	1	21,26**	4,27	6,60	0,53	0,03	7,19	5794,92	5000,62	42247
AN	14	10,67**	16,84**	24,25**	70,80**	98,36**	79,21**	22906	11708*	32505
Mês	3	5,14	7,67	6,52	10,73*	3,37	6,10	24771	7815,68	51180**
AM x AN	14	3,24	4,86	5,71	4,65	3,83	5,52	15458	4910,35	17230
$b_1(E)$	1	-	-	-	4,61	0,48	71,39**	1556,75	529,77	156,06
$b_2(C)$	1	0,52	0,56	42,59**	-	-	-	155,37	64845*	83990**
$b_3(D)$	1	5,14	0,18	0,06	0,05	18,99*	54,46**	-	-	-
$b_4(I)$	1	0,82	4,46	24,37*	3,81	5,33	7,72	67641*	33075	21699
Resíduo	121	2,82	3,79	3,86	3,39	3,28	6,47	10853	11189	9980,5
R^2		0,71	0,66	0,79	0,89	0,91	0,88	0,51	0,57	0,68

AM = ambiente, AN = animal; E = Espessura da capa (mm), C = Comprimento médio dos pêlos (mm), D = Densidade numérica (pêlos.cm^{-2}), I = Idade das cabras (anos). R^2 = Coeficiente de Determinação.

*($P < 0,05$); ** ($P < 0,01$).

As cabras Saanen parecem ter o mesmo comportamento que os bovinos com relação à muda de pêlos, pois no mês de março (Tabela 4) as médias de densidade numérica de pêlos na área glútea foram significativamente menores ($P < 0,01$) do que dos demais meses, o que indica possivelmente a ocorrência da muda do pelame de verão. Contudo, mais estudos devem ser realizados para concluirmos de forma contundente como variam as características morfológicas do pelame em caprinos durante o ano.

Tabela 4. Médias estimadas por quadrados mínimos das características morfológicas do pelame nas áreas cervical (1), torácica (2) e glútea (3) das cabras Saanen.

Efeitos	N	E1	E2	E3	C1	C2	C3	D1	D2	D3
<u>Ambiente</u>										
À sombra	60	7,97 ^b	7,69	7,55	37,21	42,69	38,44	324,06	416,05	466,77
Ao sol	62	9,16 ^a	8,22	8,23	37,01	42,73	37,73	344,56	434,26	521,98
<u>Mês</u>										
Março	20	6,83	5,55	4,86	37,14	41,82	40,38	141,6	372,12	368,66 ^b
Abril	18	7,41	8,08	5,74	38,40	43,33	37,91	263,32	446,21	549,20 ^a
Maio	50	9,78	8,77	9,33	37,25	42,86	37,52	425,39	440,58	529,20 ^a
Junho	34	10,23	9,42	11,62	35,67	42,83	36,51	506,93	441,72	530,46 ^a

E = Espessura da capa (mm), C = Comprimento médio dos pêlos (mm), D = Densidade numérica (pêlos.cm⁻²).

Médias seguidas por letras diferentes, para cada efeito dentro da coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). N = número de observações em 15 cabras.

4.3 Respostas Fisiológicas

4.3.1 Freqüência respiratória

Alterações na freqüência respiratória são usadas por diversas espécies animais para trocar calor com o ambiente pela via respiratória; o seu aumento tem sido descrito por vários autores (BORUT et al., 1979; DMI'EL & ROBERTSHAW, 1983; GAYÃO, 1992; SANTOS, 2003, entre outros) como sendo a primeira resposta corporal à elevação da temperatura do ar.

Na análise de variância da freqüência respiratória (Tabela 5), observaram-se efeitos significativos para as regressões lineares em função da temperatura radiante

média ($P<0,05$), velocidade do vento ($P<0,01$), umidade relativa ($P<0,01$), temperatura retal ($P<0,01$), evaporação respiratória ($P<0,05$) e convecção cutânea ($P<0,05$).

No ambiente tropical, o fator que mais afeta os animais é o aporte térmico devido a radiação solar intensa, tanto em forma direta como indireta (re-irradiação da energia térmica pelas superfícies ambientes circunvizinhas). Caracterizado pela temperatura radiante média que apresentou um coeficiente de regressão linear igual a $0,2 \pm 0,1$.

Além da temperatura radiante média, a velocidade do vento e a umidade relativa do ar, com coeficientes de regressões lineares de $-3,82 \pm 1,41$ e $-3,31 \pm 0,49$, respectivamente, foram fatores importantes para as respostas lineares da frequência respiratória. Estes fatores agiram de forma inversa à temperatura radiante. Isto ocorreu pelo fato da corrente de ar facilitar a perda de calor sensível por convecção e acelerar a perda evaporativa. As altas umidades do ar dificultam a perda de calor latente pelas vias respiratórias. Neste caso, existe uma maior resistência à passagem de calor latente da superfície corporal para a atmosfera.

O incremento da temperatura interna, caracterizado pela temperatura retal induz a necessidade do animal dissipar esse excedente de energia, levando ao aumento da frequência respiratória, como observado pelo coeficiente de regressão linear em função da temperatura retal de $53,68 \pm 2,89$.

Sob condições controladas de temperatura e umidade, JESSEN & PONGRATZ (1979) observaram que a frequência respiratória declinava imediatamente quando a umidade do ar passou de 37 a 95,7%, voltando a subir três minutos após. O aumento observado pode ser explicado como uma tentativa desses animais em perder calor pela via respiratória principalmente pelo mecanismo convectivo, uma vez que houve diminuição pela perda evaporativa respiratória, inibida pela alta umidade. O mesmo aconteceu com as cabras Saanen deste estudo, como observamos pelos coeficientes de regressões lineares em função da evaporação e convecção respiratória de $-26,60 \pm 2,21$ e $26,80 \pm 11,63$, respectivamente.

Nos ungulados a ofegação é uma importante via de perda de calor, o que tem sido explicado por certos autores como uma forma de resfriamento seletivo do cérebro que auxilia na manutenção da temperatura cerebral abaixo da temperatura média do corpo (JESSEN & PONGRATZ, 1979; JESSEN, et al., 1983). Entretanto, o aumento do

trabalho respiratório é na realidade uma desvantagem devido ao considerável calor gerado pelos músculos respiratórios, o qual é maior que o que pode ser dissipado, atenuado pela propriedade elástica do sistema respiratório (SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

4.3.2 Temperatura retal

As cabras Saanen apresentaram temperatura retal média considerada fisiologicamente normal (SCHMIDT-NIELSEN, 2002) entre 37,4 e 40,3 °C. O aumento dessa temperatura comprovou que os animais absorvem em parte o aporte térmico do ambiente, como se observa na análise de variância (Tabela 5) pelas significâncias ($P < 0,01$) das regressões em função da temperatura do ar e temperatura radiante média que apresentaram coeficientes lineares de $0,1 \pm 0,01$ e $0,22 \pm 0,05$, respectivamente.

LU (1989) observou que, com a elevação da temperatura do ar, aumentava a temperatura retal de cabras. Entretanto, os animais que recebiam uma dieta de 100% de forragem apresentaram médias um pouco maiores que aquelas que recebiam 50:50, forragem:concentrado. No entanto, os animais utilizados no presente trabalho não tiveram dieta diferenciada.

Em adição, o mesmo autor concluiu que a zona crítica de temperaturas para caprinos da raça Alpina seria de 25 a 30 °C. Todavia, SCHMIDT-NIELSEN (2002) reportaram que a tolerância à temperatura pode variar com o tempo e é possível certo grau de adaptação, de forma que a exposição contínua a uma temperatura próxima ao limite dessa tolerância amplia esse limite.

Mais importante do que a temperatura do meio ambiente é a temperatura corporal do animal. Neste caso, o animal pode perder o excesso dessa energia de forma sensível como visto pelo efeito significativo das regressões ($P < 0,01$) em função da temperatura da superfície do pelame e da troca por radiação (Tabela 5), que apresentaram coeficientes lineares de $-0,18 \pm 0,04$ e $-0,03 \pm 0,007$, respectivamente. Além disto, o animal pode perder energia térmica por calor latente, como identificamos com o efeito significativo ($P < 0,01$) da evaporação e frequência respiratória (Tabela 5), com coeficientes lineares de regressão equivalentes a $0,35 \pm 0,01$ e $0,01 \pm 0,001$, respectivamente.

Os animais ainda podem estocar a energia térmica. Isto normalmente ocorre para diminuir a perda por calor latente, que é menor quando a umidade do ar se eleva, estando de acordo com o efeito significativo ($P < 0,01$) da regressão em função da umidade do ar (Tabela 5) que apresentou um coeficiente linear de $0,03 \pm 0,002$ e pela regressão em função da idade ($P < 0,05$), com coeficiente linear de $0,1 \pm 0,04$. Entretanto, essa função não pode se exceder, já que o animal possui uma temperatura interna ótima, controlada pelo hipotálamo (JESSEN, 1983) e que pode variar em até $0,5^{\circ}\text{C}$ conforme o órgão.

4.3.3 Temperatura da superfície do pelame

O diferencial entre a temperatura do ar e a temperatura da superfície do pelame é o principal responsável pela troca por calor sensível. Entretanto, em ambiente tropical, a temperatura do ar pode exceder a da superfície do pelame e ocorrer um afluxo térmico, aumentando a necessidade do animal se termorregular por evaporação.

Na análise de variância da temperatura da superfície do pelame (Tabela 5) observou-se o efeito significativo ($P < 0,01$) de ambiente. Quando os animais foram expostos à radiação solar, estes apresentaram temperatura de superfície menor do que à sombra (Tabela 6). Isso pode parecer contraditório, mas conforme SCHIMIDT-NIELSEN (2002) a temperatura superficial pode variar muito, dependendo das circunstâncias (temperatura externa e necessidade de perda de calor).

No presente caso, os animais à sombra recebem menos radiação solar e conseguem trocar calor de maneira mais eficiente por radiação, indicado pelo efeito linear significativo ($P < 0,01$) deste mecanismo em função da superfície do pelame, cujo coeficiente linear foi de $-0,17 \pm 0,004$. Nos animais expostos à radiação solar, o mecanismo mais eficaz foi de evaporação, que apresentou um coeficiente linear significativo ($P < 0,05$) de $-0,001 \pm 0,0005$. Como a troca de calor latente se faz com a mudança de estado físico, a água evaporada carrearia o calor e diminuiria a temperatura da superfície do pelame.

Tabela 5. Resumo da análise de variância da Temperatura retal (T_R , °C), Frequência respiratória (F_R , mov.min⁻¹) e Temperatura da superfície do pelame (T_S , °C) de cabras Saanen.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Frequência respiratória	Temperatura retal	Temperatura da superfície do pelame
Ambiente	1	10,56	0,002	0,41**
Animal	14	37,50	0,025	0,10
Ambiente x animal	14	51,74	0,011	0,56
b ₁ (Ta)	1	6,09	1,995**	0,09
b ₂ (Trm)	1	313,74*	0,265**	93,58**
b ₃ (V)	1	483,88**	0,047	0,01
b ₄ (Ur)	1	2966,46**	3,861**	0,16
b ₅ (Fr)	1	-	6,566**	0,04
b ₆ (Tr)	1	227,93**	-	0,00
b ₇ (Ts)	1	11,11	0,223**	-
b ₈ (I)	1	180,42	0,091*	0,44**
b ₉ (ER)	1	9572,45**	8,382**	-
b ₁₀ (CR)	1	351,84*	-	-
b ₁₁ (RL)	1	-	0,271**	94,79**
b ₁₂ (EC)	1	-	-	0,29*
Resíduo	151	66,20	0,149	0,06
R ²		0,95	0,92	0,99

Ta = Temperatura do ar (°C), Trm = Temperatura radiante média (°K), V = Velocidade do vento (m.s⁻¹); Ur = Umidade relativa do ar (%), Fr = Frequência respiratória (mov.min⁻¹), Tr = Temperatura retal (°C), Ts = Temperatura da superfície do pelame (°C), I = Idade das cabras (anos), ER = Evaporação respiratória (W.m⁻²), CR = Convecção respiratória (W.m⁻²), RL = Troca por Radiação (W.m⁻²), EC = Evaporação cutânea (W.m⁻²). R² = Coeficiente de Determinação.

*(P<0,05); ** (P<0,01).

Tabela 6. Médias gerais observadas e desvios-padrão, e médias estimadas por quadrados mínimos da Temperatura retal (T_R , °C), Frequência respiratória (F_R , mov.min⁻¹) e Temperatura da superfície do pelame (T_S , °C) de cabras Saanen.

Efeitos	N	Frequência respiratória	Temperatura retal	Temperatura da superfície do pelame
Média Geral	152	99,15 ± 32,66	38,97 ± 0,37	32,86 ± 2,08
Ambiente				
À sombra	70	99,73	38,98	33,03 ^a
Ao sol	82	98,50	38,96	32,77 ^b

Médias seguidas por letras diferentes, para cada efeito dentro da coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05). N = número de observações em 15 cabras.

A regressão linear em função da temperatura radiante média influencia ($P<0,01$) positivamente a temperatura da superfície do pelame (com um coeficiente de $1,05 \pm 0,02$), indicando que o aumento da temperatura da superfície permita que o animal troque calor com a sua vizinhança. A regressão linear em função da idade foi significativa ($P<0,01$), com coeficiente linear de $-0,21 \pm 0,07$. Possivelmente animais mais velhos utilizam, de forma mais eficaz, o mecanismo de evaporação.

4.4 Respostas biofísicas

4.4.1 Evaporação cutânea nas áreas cervical, torácica e glútea

Na análise de variância para a evaporação cutânea nas áreas da cervical, torácica e glútea (Tabela 7), observou-se que o efeito do ambiente foi significativo ($P<0,05$) para a área torácica, que apresentou uma evaporação 62% mais elevada nos animais ao sol (Tabela 8). Possivelmente, por ser a área do corpo proporcionalmente mais exposta aos fatores ambientais, principalmente à radiação solar, apresenta uma taxa mais intensa de sudação (DAS, 1995).

Entretanto, esse resultado pode ser também devido a uma maior quantidade de glândulas sudoríparas na área torácica. Quando o animal é submetido às altas temperaturas, ocorre um incremento no aporte sanguíneo para a epiderme, o que proporciona às glândulas sudoríparas uma quantidade adicional de matéria prima que também é estimulante para sua ação (SILVA, 2000a).

Para a evaporação na área da cervical (Tabela 7) houve efeitos significativos ($P<0,05$) para as regressões lineares em função da temperatura do ar, temperatura da superfície do pelame, comprimento médio dos pêlos e densidade numérica dos pêlos, proporcionando o aumento da sudação; com coeficientes lineares positivos de $1,98 \pm 2,48$, $14,02 \pm 4,08$, $5,70 \pm 1,96$ e $0,09 \pm 0,04$, respectivamente. Efeitos significativos para as regressões lineares em função da espessura do pelame ($P<0,05$) e velocidade do vento ($P<0,01$) foram verificados para a mesma característica, em que o primeiro constitui uma barreira formada pelo pelame e o segundo facilita a perda por evaporação, com coeficientes lineares negativos de $-10,39 \pm 3,77$ e $-15,45 \pm 7,73$.

Para a evaporação na área torácica (Tabela 7) constataram-se efeitos significativos ($P < 0,05$) para as regressões lineares sobre: a temperatura do ar, densidade numérica dos pêlos e idade do animal, com coeficientes lineares positivos de $1,93 \pm 2,81$, $0,07 \pm 0,04$ e $22,08 \pm 19,90$, respectivamente. Efeitos significativos para as regressões lineares em função da velocidade do vento ($P < 0,01$) e temperatura retal ($P < 0,05$) foram observados para a característica, com coeficientes lineares negativos de $-8,17 \pm 4,56$ e $-30,16 \pm 14,81$.

Para a evaporação na área glútea (Tabela 7) houve efeitos significativos ($P < 0,01$) para as regressões lineares sobre: a temperatura do ar, temperatura da superfície do pelame e densidade numérica dos pêlos, com coeficientes lineares positivos de $3,96 \pm 2,44$, $14,97 \pm 4,10$ e $0,15 \pm 0,03$, respectivamente. Efeitos significativos ($P < 0,05$) para as regressões lineares em função da velocidade do vento e temperatura retal, com coeficientes lineares negativos de $-14,00 \pm 7,92$ e $-31,37 \pm 14,03$.

As regressões lineares em função da temperatura do ar e a velocidade do vento tiveram efeito linear significativo ($P < 0,01$) e ($P < 0,05$) para a evaporação cutânea em todas as áreas (Tabela 7), o que foi esperado porque a primeira é um fator importante para desencadear o aumento da sudação e a segunda auxilia no transporte do vapor da superfície do animal para o ambiente.

Quanto às regressões em função das características do pelame, a densidade numérica apresentou efeito linear significativo ($P < 0,01$) e ($P < 0,05$) sobre todas as regiões do corpo do animal (Tabela 7), visto que o pelame funciona como uma barreira às trocas térmicas da epiderme para o ambiente, obrigando o animal a aumentar sua taxa sudorípara.

A temperatura de superfície teve efeito linear significativo sobre as regiões cervical ($P < 0,05$) e glútea ($P < 0,05$) (Tabela 7), proporcionando um aumento da pressão de saturação na superfície do animal elevando a evaporação nessas regiões. A temperatura retal teve efeito linear significativo ($P < 0,05$) em função das regiões torácica e glútea, indicando que o armazenamento de energia diminuiu a evaporação nessas áreas. A regressão em função da idade ($P < 0,05$) foi significativa para a área torácica

(Tabela 7). Tal fato pode ter acontecido pela melhor capacidade dos animais mais velhos em suar, provavelmente pela sua maior adaptabilidade ao ambiente.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para a evaporação cutânea em diferentes áreas do corpo de cabras Saanen.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Cervical	Torácica	Glútea
Ambiente	1	3333,99	8315,26*	5554,44
Animal	14	3848,09**	2038,06	5109,99*
Ambiente x animal	14	1082,05	1214,13	1892,72
b ₁ (Ta)	1	1245,82*	1162,19**	5182,17**
b ₂ (Trm)	1	1096,18	11128	8671,17
b ₃ (V)	1	7815,35**	2042,10**	6171,50*
b ₄ (Ur)	1	31,67	365,99	8,75
b ₅ (Ts)	1	22926*	37367	26317**
b ₆ (Tr)	1	4234,00	10173*	9867,23*
b ₇ (C)	1	16384*	529,91	369,46
b ₈ (E)	1	14764*	464,98	10,35
b ₉ (D)	1	10570*	6093,41*	32240**
b ₁₀ (A)	1	11390	91,91	874,02
b ₁₁ (I)	1	814,18	3020,39*	4788,84
Resíduo	151	1944,99	2453,88	1974,46
R ²		0,61	0,61	0,66

Ta = Temperatura do ar (°C), Trm = Temperatura radiante média (°K), V = Velocidade do vento (m.s⁻¹); Ur = Umidade relativa do ar (%), Ts = Temperatura da superfície do pelame (°C), Tr = Temperatura retal (°C), C = Comprimento do pêlo (mm), E = Espessura do pelame (mm), D = Densidade do pelame (pêlos/cm²), A = Ângulo de inclinação dos pêlos (graus), I = Idade das cabras (anos). R² = Coeficiente de Determinação.

*(P<0,05); ** (P<0,01).

Tabela 8. Médias gerais observadas e desvios-padrão e médias estimadas por quadrados mínimos para a evaporação cutânea em diferentes áreas do corpo de cabras Saanen.

Efeitos	N	Cervical	Torácica	Glútea
Média Geral	152	78,28 ± 59,92	82,55 ± 58,10	84,30 ± 65,67
Ambiente				
À sombra	70	71,17	57,14 ^b	69,77
Ao sol	82	93,37	92,08 ^a	99,08

Médias seguidas por letras diferentes, para cada efeito dentro da coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05). N = número de observações em 15 cabras.

4.4.2 Evaporação cutânea

A evaporação cutânea foi influenciada (Tabela 9) pelo efeito aleatório de animal ($P<0,01$) e pelas regressões em função da temperatura do ar ($P<0,05$) e velocidade do vento ($P<0,01$), com coeficientes de regressão linear $1,81 \pm 2,47$ e $-15,20 \pm 7,66$, respectivamente.

As regressões em função das temperaturas da superfície do pelame e temperatura retal foram significativas ($P<0,05$), demonstrando que tanto a temperatura interna quanto a externa do animal influencia a variável, com coeficientes lineares de $16,39 \pm 4,04$ e $-29,06 \pm 13,33$, respectivamente.

O aumento da temperatura interna (retal) gera um fluxo mais intenso de calor do centro do corpo para o exterior e ativa a atividade sudorípara, que por sua vez é influenciada pela temperatura externa do corpo (superfície), podendo levar mais ou menos tempo para ser evaporada, contudo pelos coeficientes de regressão lineares estas atuam de maneira antagônica.

Portanto, o aumento da temperatura retal das cabras Saanen demonstra que estas estocam energia térmica a fim de diminuir a perda de líquidos. Segundo MITCHELL et al. (2002), o animal aumenta consideravelmente sua temperatura externa para facilitar a perda de calor. A densidade numérica foi a única característica do pelame que influenciou a variável ($P<0,01$), uma vez que o pelame acaba sendo um obstáculo para a evaporação cutânea, obrigando o animal a aumentar a sua atividade sudorípara como observamos pelo coeficiente de regressão linear de $0,15 \pm 0,03$.

A evaporação cutânea (Figura 4) elevou-se com a temperatura do ar, intensificando-se a partir de 20°C. À sombra, (Figura 4a) os valores de evaporação cutânea apresentaram respostas menores que ao sol (Figura 4b), nas mesmas temperaturas. Resultados similares foram encontrados por DMI'EL & ROBERTSHAW (1983) e BORUT et al. (1979).

Apesar de os animais à sombra e ao sol aumentarem a evaporação cutânea a partir de 20°C, aqueles expostos à radiação solar ganharam muito mais calor. Em adição, aumentaram a temperatura da superfície, o que incrementa a pressão de vapor de água e, conseqüentemente, evaporam água em maior quantidade. Outro fator

relevante é o movimento do ar que acelera a perda evaporativa (Tabela 9), pois em condições naturais o ar próximo a superfície está sempre sendo renovado. No caso dos animais ao sol, o fluxo de ar apresentou maior velocidade (Tabela 1).

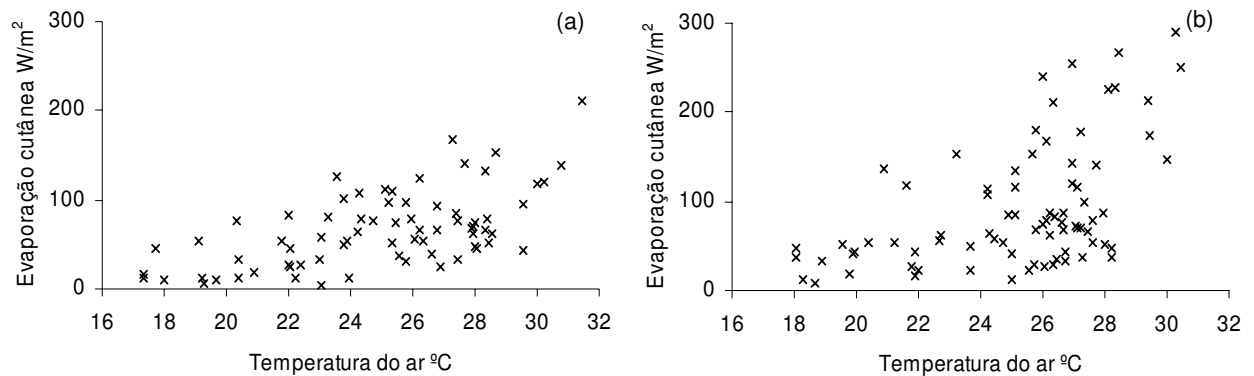


Figura 4. Evaporação cutânea à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura do ar.

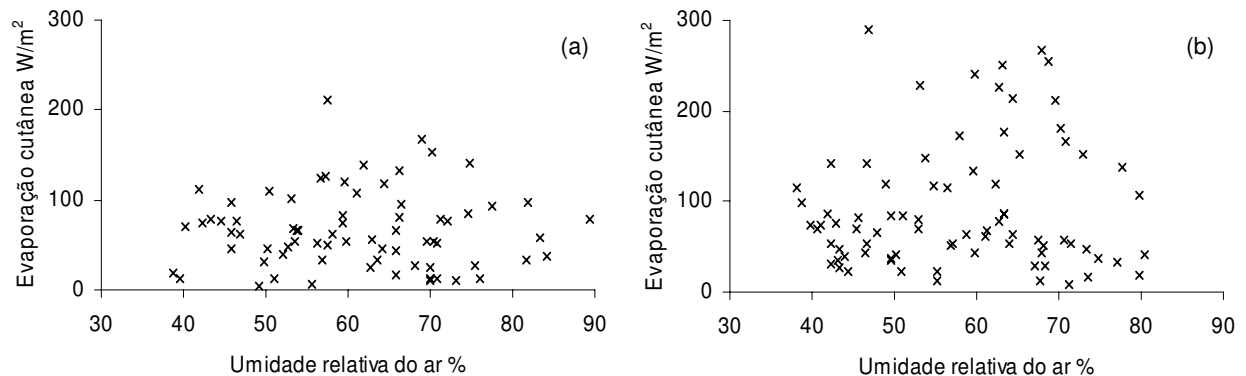


Figura 5. Evaporação cutânea à sombra (a) e ao sol (b) em função da umidade relativa do ar.

A quantidade de calor latente dissipado por evaporação cutânea depende dos seguintes fatores: (a) natureza e atividade das glândulas sudoríparas, (b) permeabilidade da epiderme à passagem de líquidos procedentes do interior do corpo (perspiração insensível), e (c) natureza do pelame e sua permeabilidade ao vapor de água, sendo a densidade numérica dos pêlos a principal característica morfológica responsável, que foi verificado na análise de variância da evaporação cutânea para as regiões do corpo (Tabela 7).

Um outro fator importante seria a umidade do ar, uma vez que a atmosfera já está saturada de vapor de água reduz-se a passagem do suor para o ambiente. Entretanto, não identificamos sua influência sobre a evaporação cutânea (Tabela 9), pois as cabras Saanen só a diminuíram (Figura 5) a partir dos 70%.

4.4.3 Evaporação respiratória

Na análise de variância da evaporação respiratória houve efeito significativo ($P < 0,05$) do ambiente (Tabela 9), com uma média maior à sombra (Tabela 10). Quando o ambiente tem uma carga térmica menor como no caso da sombra, a evaporação respiratória pode ser utilizada com mais eficiência pelo animal.

A evaporação respiratória se apresentou sensível à temperatura do ar ($P < 0,01$), ocorrendo uma diminuição da mesma sob temperaturas mais altas (Figura 6), com coeficiente de regressão linear de $-0,33 \pm 0,02$. Sob altos ganhos de energia térmica a evaporação cutânea torna-se mais eficiente e apresenta-se em maior proporção (BORUT et al., 1979).

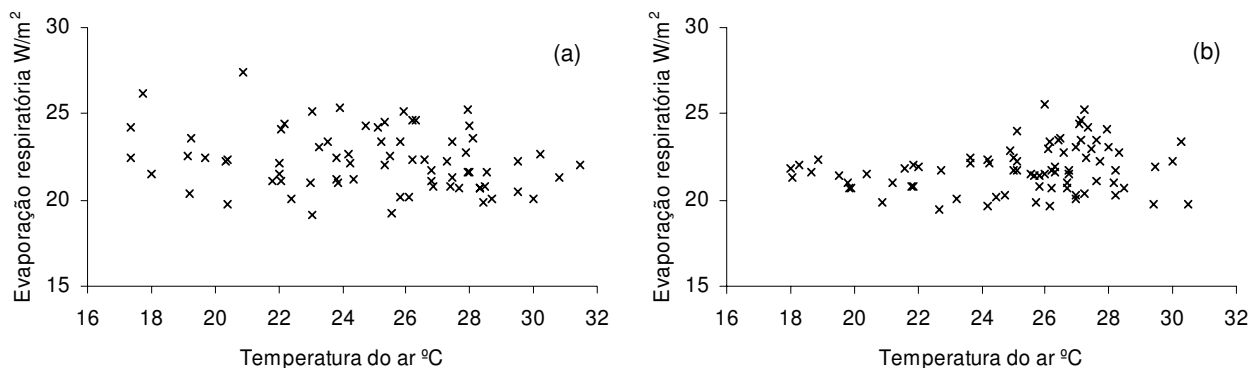


Figura 6. Evaporação respiratória à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura do ar.

Verificou-se efeito linear significativo ($P < 0,01$) da umidade relativa do ar em função da evaporação respiratória (Tabela 9), com coeficiente de regressão linear de $-0,10 \pm 0,03$, indicando uma diminuição da evaporação respiratória em função do aumento da umidade relativa do ar (Figura 7).

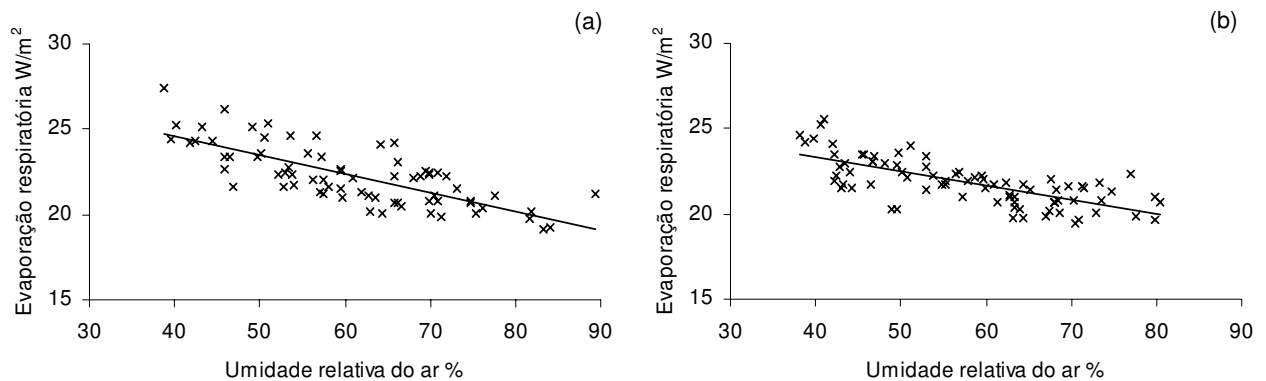


Figura 7. Evaporação respiratória à sombra (a) e ao sol (b) em função da umidade relativa do ar.

Tabela 9. Resumo da análise de variância para a Evaporação cutânea média e Evaporação respiratória em cabras Saanen.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio	
		Evaporação cutânea	Evaporação respiratória
Ambiente	1	2188,40	0,06*
Animal	14	3808,86**	0,14
Ambiente x animal	14	1133,99	0,12
b ₁ (Ta)	1	1019,05*	31,71**
b ₂ (Trm)	1	3550,86	0,04
b ₃ (V)	1	7483,91**	0,51*
b ₄ (Ur)	1	348,25	99,59**
b ₅ (Fr)	1	-	65,21**
b ₆ (Ts)	1	31303*	0,03
b ₇ (Tr)	1	9054,24*	56,05**
b ₈ (E)	1	267,49	-
b ₉ (C)	1	1460,15	-
b ₁₀ (D)	1	32925**	-
b ₁₁ (A)	1	1062,23	-
b ₁₂ (I)	1	2025,83	0,88
Resíduo	151	1905,27	0,12
R ²		0,65	0,98

Ta = Temperatura do ar (°C), Trm = Temperatura radiante média (°K), V = Velocidade do vento (m.s⁻¹); Ur = Umidade relativa do ar (%), Fr = Frequência respiratória (mov.min⁻¹), Ts = Temperatura da superfície do pelame (°C), Tr = Temperatura retal (°C), E = Espessura do pelame (mm), C = Comprimento do pêlo (mm), D = Densidade do pelame (pêlos/cm²), A = Ângulo de inclinação dos pêlos (graus), I = Idade das cabras (anos). R² = Coeficiente de Determinação.

*(P<0,05); ** (P<0,01).

Uma diferença entre a ofegação e a sudação é que na ofegação o fluxo de ar vai diretamente para as superfícies úmidas, facilitando a evaporação. Não obstante, se o ambiente está úmido, será menor a diferença entre a pressão de vapor vinda do aparelho respiratório e do ar, assim a difusão do vapor d'água será menor.

A regressão em função da frequência respiratória significativa ($P < 0,01$) indicou, coeficiente linear de $-0,04 \pm 0,001$, que a perda por evaporação respiratória diminui. Isto se deu porque o volume respiratório corrente diminui com o aumento da frequência respiratória (MAIA et al., 2005b).

Ao contrário da evaporação cutânea, a temperatura retal influenciou ($P < 0,01$) a evaporação respiratória, com coeficiente linear de $2,35 \pm 0,10$. Isso ocorre porque nos ungulados a perda de calor no sistema respiratório é importante para manutenção da temperatura cerebral, que deve ser menor em 2 a 3°C do que a temperatura do centro do corpo, nesse caso representada pela temperatura retal (SHIMIDT-NIELSEN, 2002).

Tabela 10. Médias gerais observadas e desvios-padrão, e médias estimadas por quadrados mínimos para a evaporação cutânea cervical, torácica, média e respiratória em cabras Saanen.

Efeitos	N	Evaporação Cutânea	Evaporação Respiratória
Média Geral	152	$74,02 \pm 64,29$	$25,69 \pm 1,88$
Ambiente			
À sombra	70	71,46	25,73 ^a
Ao sol	82	89,82	25,64 ^b

Médias seguidas por letras diferentes, para cada efeito dentro da coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). N = número de observações em 15 cabras.

4.4.4 Troca por radiação

A troca por radiação ocorre pela diferença entre a temperatura de superfície e a temperatura radiante média, que quantifica a radiação procedente de todo o ambiente incidindo sobre o animal. Assim na análise de variância para a troca por radiação (Tabela 11), que apresentou ganho, observou-se significância ($P < 0,01$) do efeito de ambiente. O ganho por radiação foi significativamente ($P < 0,05$) maior à sombra que ao sol (Tabela 12).

A troca por radiação foi influenciada ($P < 0,01$) pela temperatura radiante média (Tabela 11), que quanto maior, maior o ganho térmico do animal (coeficiente de regressão linear de $6,40 \pm 0,017$). Assim, o animal deveria aumentar sua temperatura externa a fim de perder calor. Entretanto, nem sempre é possível o organismo elevar sua temperatura externa de forma a perder o excesso de energia por calor sensível. Portanto, o animal passa a ganhar energia térmica em ambientes com maior carga térmica radiante (Figura 8).

A regressão linear em função da temperatura da superfície do pelame influenciou significativamente ($P < 0,01$) a troca por radiação (Tabela 11), com coeficiente linear de $-5,50 \pm 0,14$. O acréscimo da mesma contribuiu para aumentar a perda de calor por radiação. Observou-se que a troca por radiação começou a ser ganho nas temperaturas radiante média acima de 30°C , tanto à sombra (Figura 8a) como ao sol, que foi muito maior devido à radiação solar (Figura 8b).

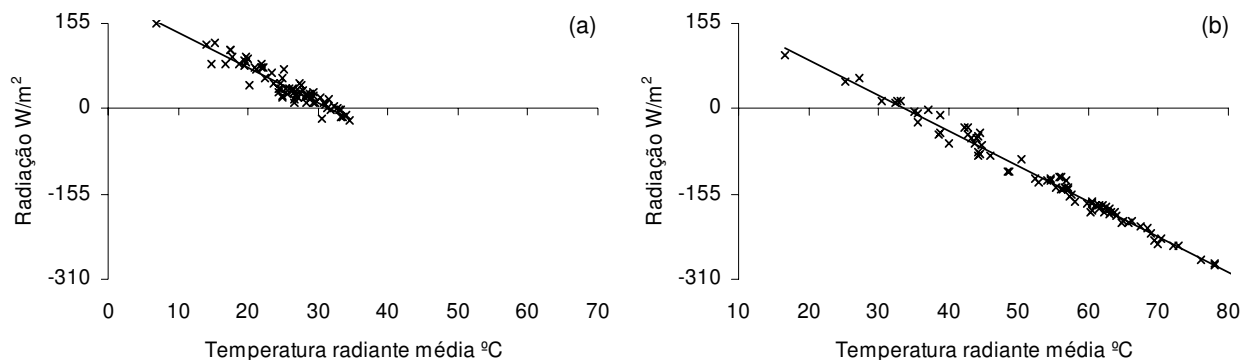


Figura 8. Troca por radiação à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura radiante média.

As regressões lineares em função da temperatura do ar e idade do animal (Tabela 11) foram significativas ($P < 0,01$), identificando-se a diminuição do ganho térmico por radiação com o acréscimo dessas variáveis, com coeficientes lineares de $-0,32 \pm 0,09$ e $-1,06 \pm 0,49$, respectivamente. Este resultado foi atribuído ao fato de que a temperatura da superfície do pelame aumentou juntamente com a temperatura do ar (Tabela 5), contribuindo para minimizar o ganho térmico. Com o acréscimo da idade o ganho por radiação foi menor, possivelmente porque os animais mais velhos recorreram a termólise evaporativa com mais eficiência.

4.4.5 Troca por convecção cutânea

Na análise de variância para troca por convecção cutânea (Tabela 11) observou-se efeitos significativos ($P < 0,01$) das regressões lineares em função da temperatura do ar, temperatura da superfície do pelame e velocidade do vento, com coeficientes lineares de $-3,28 \pm 0,33$, $3,53 \pm 0,52$ e $21,54 \pm 1,06$.

Para que ocorra a troca de calor por convecção necessita-se da existência de um gradiente entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar, em que o calor vai fluir do meio mais quente para o mais frio. Se o fluido, nesse caso o ar, estiver em movimento, esse processo será acelerado.

4.4.6 Troca por convecção respiratória

Na análise de variância para troca de calor por convecção respiratória (Tabela 11) o efeito aleatório de animal foi significativo ($P < 0,05$) assim como das regressões lineares ($P < 0,01$) em função da temperatura do ar, umidade, frequência respiratória, temperatura retal e idade animal, com coeficientes lineares de $-0,27 \pm 0,005$, $0,02 \pm 0,001$, $-0,006 \pm 0,0004$, $0,46 \pm 0,03$ e $-0,11 \pm 0,03$, respectivamente.

A troca de calor por convecção respiratória decresce conforme aumenta a temperatura do ar (Figura 9). Quando o ar é inspirado este resfria o trecho superior do aparelho respiratório e, ao alcançar os pulmões, o ar já está saturado àquela temperatura. Quando ocorre a expiração, o ar perde calor para as superfícies respiratórias que foram resfriadas anteriormente e a sua umidade se condensa. Assim, a temperatura do ar expirado é mais baixa que a dos pulmões. Entretanto, quando a temperatura do ar se eleva aumenta a temperatura do ar inspirado. Isto diminui o gradiente térmico com respeito às vias respiratórias e minimiza a troca por convecção respiratória até tornar-se nula, nesse caso, a uma temperatura mais elevada que 32°C , possivelmente vir a ser uma forma de ganho térmico.

A umidade do ar diminui a perda por calor latente pela menor difusividade do vapor para a atmosfera, aumentando a perda por convecção respiratória (Figura 11).

Portanto, a convecção respiratória contribui em média com 14% da perda de calor nas vias respiratórias. No entanto, este processo se torna mais importante, quando a umidade relativa do ar se eleva, podendo representar até 22% dessa perda.

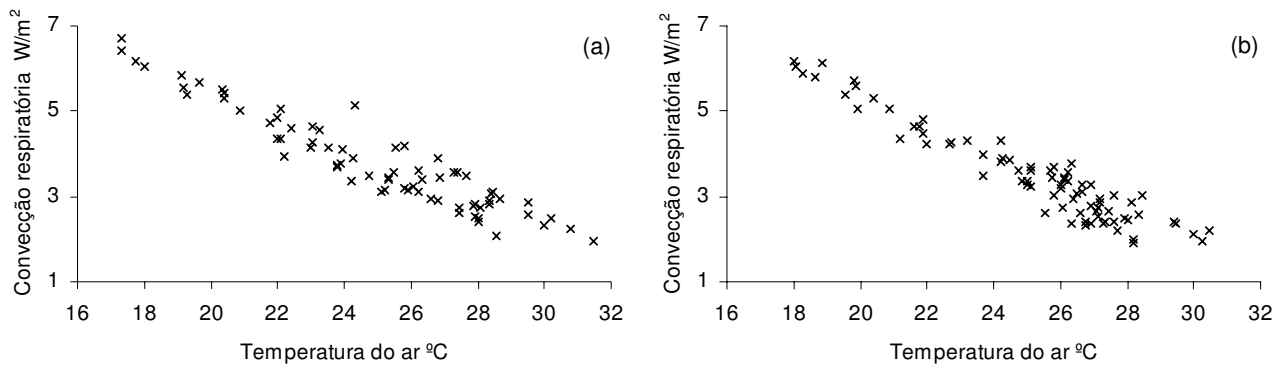


Figura 9. Troca por convecção respiratória à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura do ar.

Tabela 11. Resumo da análise de variância das trocas por calor sensível de cabras Saanen.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Radiação	Convecção Cutânea	Convecção Respiratória
Ambiente	1	28,33**	5,11	0,000
Animal	14	3,46	16,65	0,015*
Ambiente x animal	14	3,29	17,92	0,006
b ₁ (Ta)	1	15,97**	3123,67**	21,492**
b ₂ (Trm)	1	312129**	4,28	0,004
b ₃ (V)	1	0,24	13200**	0,011
b ₄ (Ur)	1	7,64	0,77	5,962**
b ₅ (Fr)	1	0,11	3,38	1,786**
b ₆ (Tr)	1	0,22	38,05	2,134**
b ₇ (Ts)	1	3643,22**	1481,86**	0,01
b ₈ (I)	1	15,46**	3,28	0,129**
Resíduo	151	2,44	32,16	0,009
R ²		0,99	0,91	0,99

Ta = Temperatura do ar (°C), Trm = Temperatura radiante média (°K), V = Velocidade do vento (m.s⁻¹); Ur = Umidade relativa do ar (%), Ts = Temperatura da superfície do pelame (°C), Tr = Temperatura retal (°C), I = Idade das cabras (anos). R² = Coeficiente de Determinação.

*(P<0,05); ** (P<0,01).

A regressão linear em função da temperatura retal (Tabela 11) indicou que as cabras Saanen aumentam ($P < 0,01$) a perda por convecção principalmente para manutenção da temperatura cerebral, a qual é feito pelo mecanismo de contracorrente entre o sangue venoso que vem resfriado das vias respiratórias com a carótida que irrigará o cérebro com sangue com menor temperatura do que corre no restante do organismo (JESSEN & PONGRATZ, 1979). Com o acréscimo da idade essa troca diminui possivelmente pela maior eficiência desses animais na perda por calor latente.

Tabela 12. Médias gerais observadas e desvios-padrão, e médias estimadas por quadrados mínimos das trocas por calor sensível de cabras Saanen.

Efeitos	N	Radiação	Convecção Cutânea	Convecção Respiratória
Média Geral	152	$+45,26 \pm 107,05$	$27,61 \pm 16,54$	$3,65 \pm 1,13$
Ambiente				
À sombra	70	$+46,35^a$	27,99	3,65
Ao sol	82	$+44,33^b$	27,13	3,65

Médias seguidas por letras diferentes, para cada efeito dentro da coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). N = número de observações de 15 cabras. * Ganho de calor

4.4.7 Troca no trato respiratório

Observando-se as trocas realizadas nas vias respiratórias em função da temperatura do ar, constatou-se que à sombra (Figura 10a) o calor latente diminuiu um pouco, enquanto que a perda sensível diminuiu com mais intensidade.

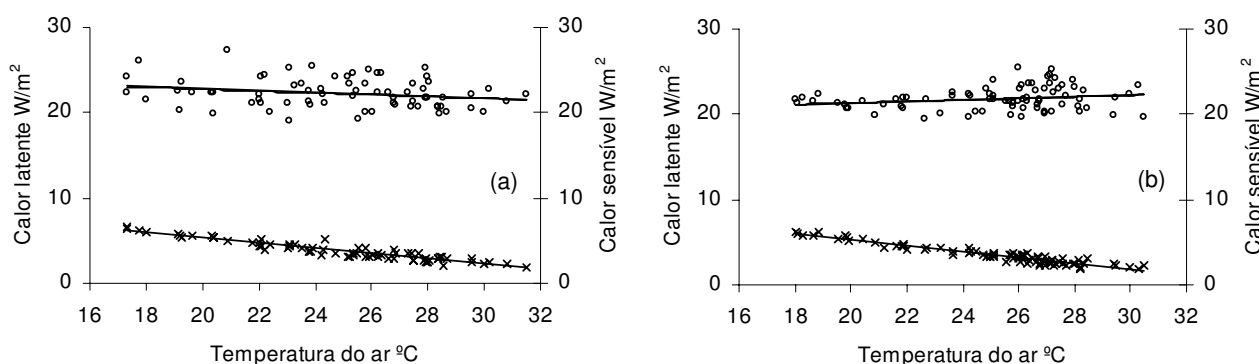


Figura 10. Perda de calor latente (o) e sensível (x) à sombra (a) e ao sol (b) no trato respiratório em função da temperatura do ar.

Ao sol (Figura 10b), o calor latente aumentou em pequena proporção e o calor sensível reduziu mais intensamente que à sombra. Com a diminuição do gradiente térmico aumenta-se o calor no trato respiratório, provocando o aumento da mudança de estado físico da água para vapor. A mesma variação foi verificada por SILVA & LaSCALA JÚNIOR (2001b), em ovinos da raça Corriedale em câmara climática com temperaturas variando entre 17 e 45°C.

Em função da umidade do ar (Figura 11) as trocas nas vias respiratórias comportam-se exatamente ao contrário da dada em função da temperatura do ar. Nesse caso o calor sensível, tornou-se importante, devido a diminuição da perda por calor latente.

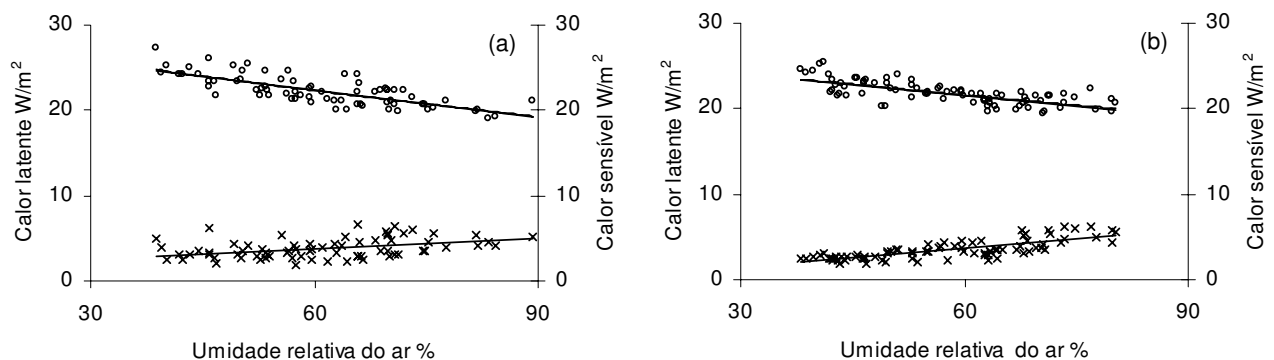


Figura 11. Perda de calor latente (o) e sensível (x) à sombra (a) e ao sol (b) no trato respiratório em função da umidade relativa do ar.

4.5 Equilíbrio térmico de energia

4.5.1 Balanço energético por ambiente

As médias observadas e respectivos desvios-padrão, valores máximos e mínimos das perdas e ganhos de energia térmica das variáveis estudadas por ambiente estão relacionados na Tabela 13.

A perda por convecção aproximadamente dobrou sob o sol, principalmente devido a maior temperatura da superfície do pelame e pela maior corrente do ar que foi constatado em campo aberto (Tabela 1). Ocorreu ganho térmico por radiação ao sol e

perda à sombra. Conseqüentemente, o fluxo total de calor sensível (radiação + convecção) ao sol apresentou ganho, enquanto que à sombra houve perda.

Tabela 13. Médias observadas e respectivos desvios-padrão e valores mínimos e máximos das perdas e ganhos (+) de energia térmica das características estudadas em cabras, nos dois ambientes.

Ambiente	Variável	Média $\pm$ desvio padrão	Mínimo	Máximo
Sombra (N = 72)	HC	18,94 $\pm$ 13,50	4,56	68,17
	RL	40,55 $\pm$ 37,19	21,75	155,13
	S	59,72 $\pm$ 36,93	1,74	170,85
	ET	44,54 $\pm$ 2,34	12,85	81,46
	HS	5,40 $\pm$ 12,02	0,00	28,16
	ST	102,44 $\pm$ 37,47	27,02	196,17
Sol (N = 80)	HC	35,80 $\pm$ 15,17	8,11	68,57
	RL	+127,41 $\pm$ 88,38	0,00	98,21
	S	+91,09 $\pm$ 81,84	0,00	148,68
	ET	78,65 $\pm$ 28,27	25,18	170,27
	HS	12,44 $\pm$ 12,94	0,00	52,64
	ST	+22,82 $\pm$ 84,67	0,00	194,28

EC = Evaporação cutânea (W.m^{-2}); ER = Evaporação respiratória (W.m^{-2}); ET = Evaporação total (W.m^{-2}); HS = Estocagem térmica (W.m^{-2}); HC = Convecção (W.m^{-2}); CR = Convecção respiratória (W.m^{-2}); RL = Radiação (W.m^{-2}); S = Fluxo total de calor sensível (W.m^{-2}); ST = Fluxo total de energia térmica (W.m^{-2}).

N = número de observações por ambiente em 15 cabras.

+ Ganho de calor.

Os valores das respostas das trocas térmicas evaporativas dos animais ao sol foram maiores que à sombra, chegando a um aumento de aproximadamente 76,6%. Este incremento foi duas vezes maior que o encontrado por FINCH et al. (1980) em cabras brancas. Tornando-se responsável em média por 62,2% da perda térmica total nos animais ao sol. Os animais ao sol apresentaram uma estocagem térmica 2,3 vezes maior que aqueles à sombra.

Assim, quanto ao fluxo total de calor, os animais que estavam à sombra conseguiram se termorregular, ao passo que aqueles ao sol apresentaram ganho térmico. Tal efeito afeta diretamente a produção, pois como os animais não conseguem manter o equilíbrio térmico pelas trocas, haverá diminuição do seu metabolismo (CHOSNIAK et al., 1995).

4.5.2 Fluxo sensível total

Na análise de variância para o fluxo total de calor sensível (Tabela 13) houve efeito significativo ($P < 0,01$) de ambiente, o qual resultou em ganho térmico, em que os animais expostos ao sol apresentaram maior ganho (Tabela 14).

As regressões em função da temperatura do ar, velocidade do vento, troca por radiação e troca por convecção cutânea foram significativas ($P < 0,05$), com coeficiente de regressão linear de $0,02 \pm 0,01$, $-0,15 \pm 0,01$, $-1,00 \pm 0,002$, $-1,02 \pm 0,0006$, respectivamente.

Para ocorrer a perda de energia térmica por calor sensível deve existir um diferencial de temperaturas entre o ar e o animal. Se a temperatura do ar se eleva esse diferencial diminui, portanto diminui-se a perda por calor sensível. Normalmente acontece a troca de calor por convecção de forma passiva pelo diferencial de densidade do ar que está envolvendo o animal. No entanto, essa troca se torna mais eficiente se houver uma corrente de ar, por isso a velocidade do vento contribui para o aumento da perda por calor sensível.

As trocas de calor por convecção e radiação é o total de calor sensível trocado com o meio. Pela Figura 12, observamos que a perda convectiva em relação a radiativa à sombra (Figura 12a) diminuiu. Isto ocorreu principalmente pelo fato da velocidade do fluxo de ar ter sido menor em animais à sombra (Tabela 1), pois estavam estabulados.

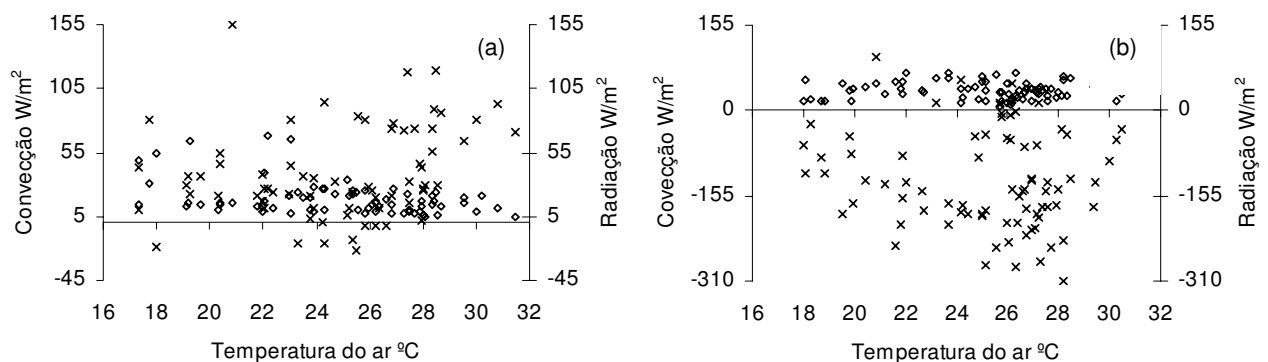


Figura 12. Perda de calor sensível por radiação (x) e convecção (◇) à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura do ar.

Nos animais ao sol (Figura 12b), houve perda por convecção em todas as temperaturas e ganho para radiação, resultado das altas temperaturas radiante média nesse ambiente.

4.5.3 Evaporação total

Pela análise de variância da evaporação total (Tabela 13) observou-se que o ambiente ($P<0,01$) foi significativo. Os animais expostos ao sol apresentaram maior valor (Tabela 14) que os à sombra, concordando com o observado por BORUT, et al. (1979) e DMI'EL & ROBERTSHAW (1983), segundo os quais as estratégias de perda evaporativa (respiratória e cutânea) usadas pelos caprinos comportavam-se de acordo com o tipo de estresse térmico. Identificamos um incremento de 50,3% na termólise evaporativa em cabras brancas expostas ao sol do que à sombra, maior que a encontrada por FINCH et al. (1980). Entretanto essa característica também sofreu influencia significativa do efeito aleatório de animal ($P<0,05$).

A regressão em função da temperatura da superfície do pelame influenciou a característica ($P<0,05$), com coeficiente de regressão linear de $12,83 \pm 6,34$, visto que a mesma é responsável por aumentar a pressão de saturação na superfície do animal, consequentemente aumenta a capacidade de evaporação desse suor. Isso refletiu também pelo efeito significativo em função da evaporação cutânea ($P<0,01$), que apresentou um coeficiente de regressão linear de $0,14 \pm 0,03$, que nas cabras desse estudo apresentou-se 67% maior que a evaporação respiratória em concordância com os resultados encontrados à campo por BORUT et al. (1979).

A temperatura radiante média apresentou um coeficiente de regressão linear de $-14,37 \pm 7,12$ e indicando que o aumento da mesma suprime a evaporação total, não condizendo com o esperado. Entretanto, esse fato aconteceu principalmente nos animais expostos ao sol, que apresentaram uma evaporação total muito maior que à sombra e possivelmente não conseguiram eliminar todo o excesso de energia térmica, estando em estresse térmico.

O efeito linear em função da troca por radiação foi significativo ($P < 0,05$), com coeficiente linear de $-2,26 \pm 1,11$, diminuindo a utilização do mecanismo evaporativo das cabras.

Com o avanço da idade ($P < 0,05$) os animais aumentaram a eficiência da termólise evaporativa, coeficiente linear de $11,37 \pm 5,55$.

Entretanto, apesar da termólise evaporativa ser a forma mais eficiente de perda de calor por não depender do gradiente de temperatura, para que ocorra essa troca térmica existe uma demanda de energia, que será desviada da produção. Portanto, os animais que vivem em ambiente tropical têm e precisam ter essa função termorreguladora bem eficiente. Nesse processo a seleção natural agiu nesse sentido. No entanto, os animais são pouco eficientes para produção, o que se faz necessário conhecermos bem esse mecanismo e selecionarmos na direção da adaptação ao ambiente e a produção.

4.5.4 Fluxo de calor sensível e de calor latente

Estudando o comportamento dos calores sensível e latente em função da temperatura radiante média (Figura 13), observou-se que à sombra (Figura 13a), a perda por calor sensível diminui com o aumento da temperatura radiante, contudo a perda pelo calor latente aumenta, proporcionando a termorregulação das cabras. O que não foi o caso dos animais ao sol (Figura 13b), que a partir de 35°C apresentaram ganho de energia por calor sensível, chegando a ser 50% maior que a perda de calor por evaporação. Isto se deve ao fato de os animais ganharem calor por radiação do meio e por irradiação solar. Nesse caso, os animais podem diminuir o metabolismo (CHOSNIAK et al., 1995) e ainda estocar calor para atingir o equilíbrio térmico.

Em ambiente com alta umidade, a troca de calor latente fica comprometida. Já que o ar está cheio de vapor d'água será menor a diferença entre a pressão de vapor na superfície da água fluida e no ar, e a força motriz, para a difusão do vapor da superfície será menor.

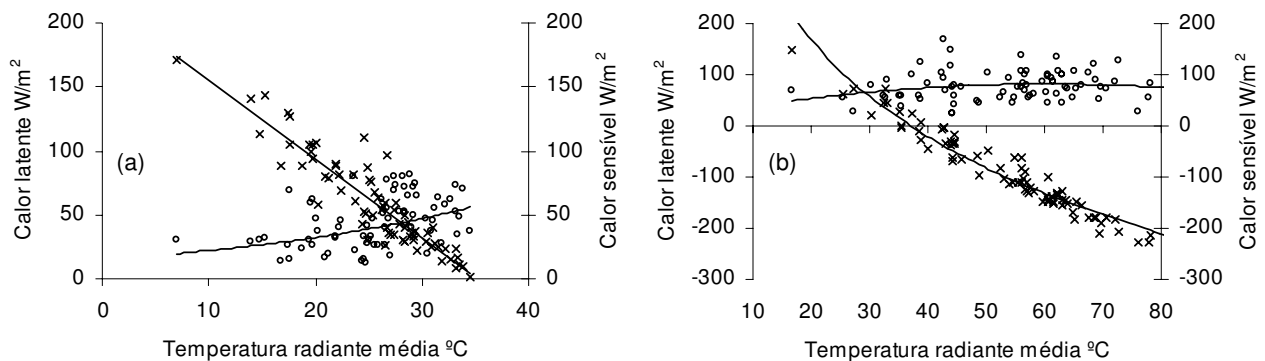


Figura 13. Perda de calor latente (o) e sensível (x) à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura radiante média .

Assim, o calor sensível torna-se uma via muito importante (Figura 14). Nesse caso, a troca de calor por convecção seria mais eficiente com o aumento do fluxo de ar que seria providencial para resfriar a superfície, levando o calor e a umidade que está entre as fibras e diminuindo o efeito do ambiente estressante.

Essa condição foi estudada por GEBREMEDHIN & BINXIN (2001), que testaram três diferentes níveis de velocidade do ar ($0,5$, $1,0$ e $2,0 \text{ m.s}^{-1}$) para cada nível de umedecimento (25, 50 e 75%) e evidenciaram que quando a temperatura do ar atingiu 30°C , a perda de calor latente diminuía com a elevação do nível de umidade da superfície do pelame, conforme à umidade relativa do ar se elevou de 20 para 80%. Quando a quantidade de água pulverizada foi suficiente para umedecer 75% da superfície do pelame, a perda de calor latente foi de $918,72 \text{ W}$, ao mesmo tempo em que ocorria um afluxo de calor sensível na ordem de $187,44 \text{ W}$, devido a diminuição do diferencial de temperatura entre a superfície do pelame e a atmosfera. Porém, HILLMAN et al. (2001), demonstrou que esse modelo não é suficiente para promover o resfriamento se os animais estiverem expostos à radiação.

À sombra (Figura 14a) e ao sol (Figura 14b) apesar de diferirem quanto aos ganhos, a variação da resposta é a mesma, com a termólise evaporativa diminuindo e a perda por calor sensível aumentando. Nesse caso, as altas umidades aconteceram sob temperaturas amenas, assim os animais expostos a radiação conseguiram perder calor de forma sensível.

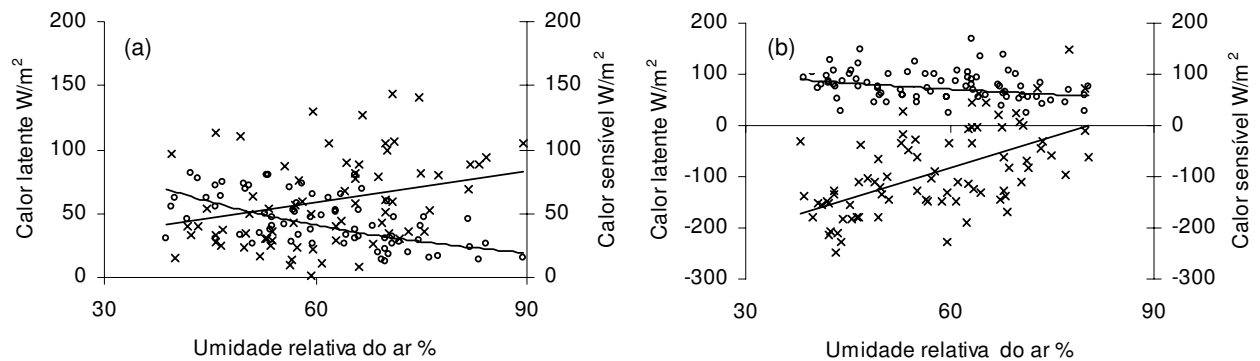


Figura 14. Perda de calor latente (o) e sensível (x) à sombra (a) e ao sol (b) em função da umidade relativa do ar.

4.5.5 Estocagem térmica

Na análise de variância para estocagem térmica (Tabela 13) não se observou efeito nem do ambiente, nem do animal ou sua interação. Porém, foram verificados efeitos significativos para as regressões em função das temperaturas do ar ($P < 0,01$) e radiante média ($P < 0,05$), umidade do ar ($P < 0,05$), temperatura retal ($P < 0,01$) e para as trocas por radiação ($P < 0,05$) e por convecção respiratória ($P < 0,01$).

A estocagem térmica é um importante meio para a termorregulação, principalmente quando o ganho térmico é excessivo, identificado pela significância ($P < 0,01$) das regressões em função das temperaturas do ar e radiante média (coeficientes lineares de $9,28 \pm 3,17$ e $9,16 \pm 4,61$, respectivamente) o que é muito comum no ambiente tropical. MITCHELL et al. (2002) reportaram o aumento de temperatura da superfície do corpo e central, sem alteração da massa de água corporal, como um indicador da heterotermia adaptativa. Tal fato torna-se mais importante numa escassez de líquidos, ou quando a umidade do ar está alta, dificultando as trocas por evaporação como no caso desse estudo em que tal efeito apresentou um coeficiente de regressão linear de $-0,80 \pm 0,06$ ($P < 0,01$).

As trocas por radiação e convecção respiratória influenciaram a estocagem térmica positivamente com coeficientes de regressão lineares de $1,43 \pm 0,72$ ($P < 0,05$) e $36,98 \pm 11,71$ ($P < 0,01$), respectivamente. Possivelmente, a troca por radiação permite ao animal estocar o calor gerado pelas suas reações metabólicas. Já a troca por

convecção, proporcionalmente mais importante, contribui principalmente para manutenção da temperatura cerebral abaixo da temperatura do centro, pois nesse caso a evaporação respiratória é menor.

Contudo esse mecanismo tem um limite fisiológico, não permitindo que a temperatura interna esteja acima da temperatura compatível para as reações do organismo, como evidenciado pelo coeficiente linear de $-23,07 \pm 6,43$ ($P < 0,01$) da regressão em função da temperatura retal, nesse caso representando a temperatura interna. Portanto, o animal que consegue estocar o excesso de energia térmica tem um importante poder adaptativo (MITCHELL et al., 2002) para suportar melhor o estresse térmico, devido à menor necessidade de sobrecarregar os mecanismos de termólise.

4.5.6 Fluxo total de energia térmica

Na análise de variância (Tabela 14) do fluxo total de energia térmica dos animais com o ambiente foi observado o efeito significativo ($P < 0,05$) da interação entre o ambiente e o animal e para as regressões lineares ($P < 0,01$) em função das trocas de calor sensível e latente e em função da estocagem térmica com coeficientes de regressão lineares iguais a $1 \pm 0,001$. Que acompanhou exatamente a fórmula do fluxo total de energia térmica, cujos fatores influenciam em 100%, com a estocagem térmica - $1 \pm 0,001$, pois o calor fica no organismo.

No equilíbrio geral das trocas térmicas em função da temperatura radiante média (Figura 15), observou-se que os animais protegidos da radiação solar, à sombra (Figura 15a) conseguiram perder calor, possivelmente ocasionando o equilíbrio térmico. Ao sol (Figura 15b) ocorreram ganhos, o que foi esperado pelo maior aporte térmico, principalmente pela radiação solar. Contudo até a temperatura radiante média de 40°C só houve perdas. Importante indicativo para estabelecimento de estratégias no manejo dos animais a campo. Outro importante fato que se observa é a existência de animais que conseguiram perder energia térmica expostos ao sol (Figura 15b) em temperatura radiante média de até 55°C. Isto demonstrou que os mesmos utilizaram com mais eficiência a termólise evaporativa e conseguiram obter um crédito que pode ser empregado para a atividade produtiva.

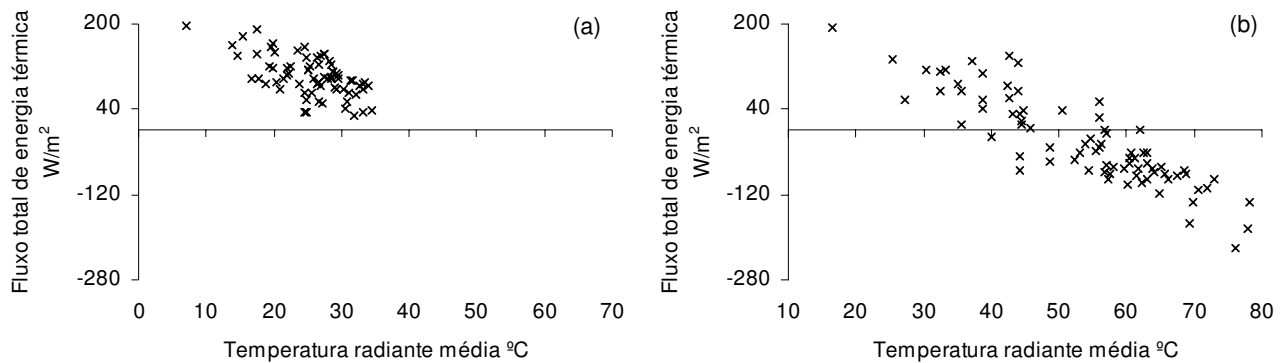


Figura 15. Fluxo total de energia térmica à sombra (a) e ao sol (b) em função da temperatura radiante média.

Tabela 14. Resumo da análise de variância para fluxo sensível total (S), evaporação total (ET), estocagem térmica (HS) e fluxo térmico total (ST) em cabras Saanen.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio			
		S	ET	HS	ST
Ambiente	1	0,003**	3462,81**	331,44	0,001**
Animal	14	0,003	681,18*	187,08	0,001
Ambiente x animal	14	0,001	248,16	93,32	0,001*
b ₁ (Ta)	1	0,005*	137,66	1039,18**	0,000
b ₂ (Trm)	1	0,003	1133,18*	479,10*	0,000
b ₃ (V)	1	0,137**	170,60	59,84	0,000
b ₄ (Ur)	1	0,001	41,64	790,68*	0,000
b ₅ (Fr)	1	0,000	105,56	81,28	0,000
b ₆ (Tr)	1	0,000	112,04	1559,92**	0,000
b ₇ (Ts)	1	0,000	1170,18*	223,48	0,000
b ₈ (RL)	1	226,91**	1149,85*	480,80*	219,70**
b ₉ (HC)	1	3641,52**	-	-	4656,58**
b ₁₀ (CR)	1	0,000	141,51	1209,91**	0,830**
b ₁₁ (HS)	1	0,000	405,25	-	41601**
b ₁₂ (EC)	1	-	4411,26**	311,17	-
b ₁₃ (ET)	1	-	-	-	13494**
b ₁₄ (I)	1	0,000	1126,62*	345,45	0,001
Resíduo	151	0,001	260,83	121,37	0,000
R ²		1,00	0,77	0,47	1,00

Ta = Temperatura do ar (°C), Trm = Temperatura radiante média (°K), V = Velocidade do vento (m.s⁻¹), Ur = Umidade relativa do ar (%), Fr = Frequência respiratória (mov.min⁻¹), Tr = Temperatura retal (°C), Ts = Temperatura da superfície do pelame (°C), RL = Troca por radiação (W.m⁻²), HC = Troca por convecção (W.m⁻²), CR = Troca por convecção respiratória (W.m⁻²), HS = Estocagem térmica (W.m⁻²), EC = Evaporação cutânea (W.m⁻²), ET = Evaporação total (W.m⁻²), I = Idade das cabras (anos). R² = Coeficiente de Determinação. *(P<0,05); ** (P<0,01).

Os ganhos (excesso de energia térmica) para animais em produção indicam que, depois de utilizados todos os mecanismos de troca de calor por radiação, convecção e evaporação, além da estocagem térmica, os animais diminuirão o seu metabolismo para se termorregularem e a continuidade desse estresse poderá resultar em menor desempenho produtivo.

Assim, fica evidente a importante função da sombra em ambiente tropical, o qual apresenta altas cargas térmicas radiante, facilitando aos animais a utilização mais eficiente dos mecanismos de troca térmica no alcance do equilíbrio térmico. Em adição, constatou-se a existência de genótipos que conseguiram termorregularem-se mesmo em ambiente estressante.

Tabela 15. Médias gerais observadas e desvios-padrão, e médias estimadas por quadrados mínimos para o fluxo sensível total (S), evaporação total (ET), estocagem térmica (HS) e fluxo térmico total (ST) em cabras Saanen.

Efeitos	N	S	ET	HS	ST
Média Geral	152	+18,59 ± 98,73	62,03 ± 28,68	9,11 ± 12,96	36,76 ± 91,63
Ambiente					
À sombra	70	+18,28	49,31 ^b	5,54	36,51 ^b
Ao sol	82	+18,31	74,10 ^a	13,10	36,52 ^a

Médias seguidas por letras diferentes, para cada efeito dentro da coluna, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05). N = número de observações de 15 cabras.

⁺ Ganho de calor.

5 CONCLUSÕES

A termólise evaporativa tem um incremento de 50,3% nos animais expostos a sol em relação quando protegidos da radiação solar. Que por sua vez deve-se isso as altas temperaturas radiantes nesse ambiente. Tornando-se responsável em média por 62,2% da perda térmica total nos animais ao sol. E representou a única alternativa possível para a perda de calor quando os animais estão ao sol sob temperaturas radiante média acima de 35,6°C.

Sob o sol, o calor sensível passa a ser ganho de energia térmica, principalmente pela radiação. E sob alta umidade, aumenta sua importância tornando-se uma forma de perda térmica.

Contudo, a termólise evaporativa nas cabras Saanen não foi suficiente para proporcionar o equilíbrio térmico ao sol em temperaturas radiantes acima de 55°C. Portanto, o fornecimento de sombra aos caprinos que vivem em ambiente tropical é de suma importância, sobretudo porque facilita a eficiência dos mecanismos de trocas térmicas, além de atenuar o ganho de calor por radiação pela alta carga térmica radiante. Assim, os procedimentos de seleção para melhorar a produção de leite devem também incluir as características adaptativas, principalmente a capacidade sudorípara. Para tanto, recomenda-se que sejam realizados estudos que quantifiquem possíveis associações genéticas entre a produção de leite e a capacidade sudorípara.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANHAM, A.A. **Caprinotecnia**. Mexico, Noriega. 1989, 2040 p.

ACHARYA, R.M.; GUPTA, U.D.; SEHGAL, J.P.; SINGH, M. Coat characteristics of goats in relation to heat tolerance in the hot tropics. **Small Ruminant Research**, v.18, p.245-248, 1995.

ADAMS, N.R.; CRONJÉ, P.B. A review of the biology linking fiber diameter with fleece weight, live weight, and reproduction in Merino sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.54, p.1-10, 2003.

AHMED, M.M.M.; EL KHEIR, I.M. Thermoregulation and water balance as affected by water and food restriction in Sudanese desert goats fed good-quality and poor-quality diets. **Tropical Animal Health and Production**, v.36, n.2, p.191-204, 2004.

ARAUJO, M.L. **Contribuição ao estudo morfológico do tegumento de bovinos das raças Holandês Preto e Branco e Jersey**. 109 f. Tese (Doutorado em morfologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1990.

AYO, J.O.; OLADELE, S.B.; NGAM, S. Diurnal fluctuations in rectal temperature of the Red Sokoto goat during the harmattan season. **Research in Veterinary Science**, v.66, p.7-9, 1998.

BAKER, M.A.; NIJLAND, M.M.J. Selective brain cooling in goats: Effects of exercise and dehydration. **Journal of Physiology**, v.471, p.679-692, 1993.

BHEMER, O.A.; TOLOSA, E.M.C.; FREITAS NETO, A.G. **Manual de Técnicas para Histologia Normal e Patológica**, São Paulo, EDART Usp, 1976, 241p.

BLIGH, J. A thesis concerning the process of secretion and discharge of sweat. **Environmental Research**, v.1, p.28-45, 1967.

BLIGH, J. Cell, cell-talk and mammalian homeothermy. In: **Thermoreception and Temperature Regulation** (J. Bligh & K. Voigt, eds). Berlin: Springer-Verlag, 1990.

BORUT, A.; DMI'EL, R.; SHKOLNIK, A. Heat balance of resting and walking goats: comparison of climatic chamber and exposure in the desert. **Physiology Zoology**, v.52, p.105-112, 1979.

BRASIL, L.H.A.; WECHESLER, F.S.; BACCARI JUNIOR, F.; GONÇALVES, H.C.; BONASSI, I.A. Efeitos do estresse térmico sobre a produção, composição química do leite e respostas termorreguladoras de cabras da raça Alpina. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p.1632-1641, 2000.

BROSH, A.; AHARONI Y.; DEGEN, A.A.; WRIGHT, D.; YOUNG B.A. Effects of solar radiation, dietary energy, and time of feeding on thermoregulatory responses and energy balance in cattle in a hot environment. **Journal of Animal Science**, v.76, p.2671–2677, 1998.

BROWN, D.L.; MORRISON, S.R.; BRADFORD, G.E. Effects of ambient temperature on milk production of Nubian and Alpine goats. **Journal of Dairy Science**, v.71, p.2486-2490, 1988.

CAIM III, J.W.; KRAUSMAN, P.R.; ROSENSTOCK, S.S.; TURNER, J.C. Mechanisms of thermoregulation and water balance in desert ungulates. **Wildlife Society Bulletin**. v.34, n.3, p.570-581, 2006.

CENA, K.; MONTEITH, J.L. Transfer processes in animal coats. I. Radiative transfer. **Proceedings the Royal Society of London B**. v.188, p.377-393, 1975a.

CENA, K.; MONTEITH, J.L. Transfer processes in animal coats. II. Conduction and convection. **Proceedings the Royal Society of London B**. v.188, p.395-411, 1975b.

CENA, K.; MONTEITH, J.L. Transfer processes in animal coats. III. Water vapour diffusion. **Proceedings the Royal Society of London B**. v.188, p.413-423, 1975c.

CHAPMAN, A.J. **Fundamentals of heat transfer**. New York. McMillan, 1987.

CHOSHNIAC, I.; BEM-KOHAV, N.; TAYLOR, C.R.; et al. Metabolic adaptation for desert survival in the Bedoin goat. **Journal of Physiology**. v.268, n.5, p.R1101-R1010, 1995.

COSTA, L.A. **Leite Caprino: Um novo enfoque de pesquisa**. <http://www.vivernocampo.com.br/pecuaria/caprinosleiteartigo1.htm> - acessado em 10 / 03 / 2003.

DAS, S.K. A note on cutaneous evaporative loss in Sirohi goats. **Indian Veterinary Journal**. v.72, p.771-772, 1995.

DMI'EL, R., PREVULOTZKY, A., SHKOLNIK A. Is a black coat in the desert a means of saving metabolic energy? **Nature**. v.283, p.761-762, 1980.

DMI'EL, R.; ROBERTSHAW, D. The control of panting and sweating in the black Bedoin goat: A comparison of two modes of imposing a heat load. **Physiology Zoology**. v.56, n. 3, p.404-411, 1983.

EBOZOJE, M.O.; IKEOBI, C.O.N Colour variation and reproduction in the West African Dwarf (WAD) goats. **Small Ruminant Research**, v.27, p.125-130, 1998.

ESMAIL, S.H.M. Acclimatization of improved Saanen goats in North Yemen. **World Review of Animal Production**, v.22, p.80-82, 1986.

FEISTKORN, G.; RITTER, P.; JESSEN, C. Cardiovascular responses to thermal stress in conscious goat. **Journal of Thermal Biology**. v.8. n.3, p.241-246, 1983.

FINCH, V.A. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.36, p.497-508, 1985.

FINCH, V.A. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the tropics. **Journal of Animal Science**. v.62, p.531-542, 1986.

FINCH, V.A.; DMI'EL, R.; BOXMAN, R.; SHKOLNIK, A.; TAYLOR, C.R. Why black coats in hot deserts? Effects of coat colour on heat exchanges of wild and domestic goats. **Physiology Zoology**. v.530, p.19-25, 1980.

GAUDIOSI, M.C. **Parâmetros genéticos relacionados à espessura do velo e peso a desmama e caracterização histológica da pele de ovinos criados em ambiente**

tropical. 1998. 75f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 1998.

GAYÃO, A.L.B.A. **Efeito do estresse térmico sobre a taxa metabólica e o desempenho produtivo de cabritas Saanen em crescimento.** 1992. 68f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1992.

GEBREMEDHIN, K.G.; BINXIN, W. A model of evaporation cooling of wet skin surface and fur layer. **Journal of Thermal Biology**, v.26, p.537-545, 2001.

GOYAL, S.P.; GHOSH, P.K. A note on the measurement of heat exchange by radiotelemetry in black deserts goats during winter. **Journal of Agricultural Science**, v.108, p.509-510, 1987.

HAFEZ, E.S.E. **Adaptation of domestic animals.** Lea and Febiger: Philadelphia, 1968, 415p.

HARDY, R.N. **Temperatura e vida animal.** (2^a ed.), EPU/EDUSP, São Paulo-SP, 91 pp, 1981.

HERMIZ, H.N.; ASOFI, M.K.; AL-RAWI, A.A. Some genetic and non-genetic causes of variation in milk traits of Iraqi local goat. In: International Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 6th, 1998, Armidale. **Proceedings...** Armidale, Australia. 1998. v.24, p.212-215.

HILLMAN, P. E.; LEE, C. N. PARKHURST, A. Impact of hair color on thermoregulation of dairy cows to direct sunlight. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING OF THE ASAE, 94th, 2001, Sacramento. **Paper.** Sacramento, 2001. n^o. 014301.

HOFMEYR, H. S.; GUIDRY, A. J.; WALTZ, F. A. Effects of temperature and wool length on surface and respiratory evaporative losses of sheep. **Journal of Applied Physiology.** v.26, n.5, p.517-523, 1969.

HOLMES, C.W. A note on the protection provided by the hair coat or fleece of the animal against the thermal effects of simulated rain. **Animal Production** v.32, p.225-226, 1981.

- HUTCHINSON, J.C.D.; BROWN, G.D. Penetrance of cattle coats by radiation. **Journal of Applied Physiology**, v.26, p.454-464, 1969.
- JACINTO, M.A.C.; SOBRINHO, A.G.S.; COSTA, R.G. Características anátomo-estruturais da pele de ovinos (*Ovis Áries* L.) lanados e deslanados, relacionadas com o aspecto físico-mecânico do couro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.4, p.1001-1008, 2004.
- JENKINSON, K.M.; ROBERTSHAW, D. Studies on the nature of sweat gland fatigue in the goat. **Journal Physiology**, v.212, p.455-465, 1971.
- JESSEN, C.; PONGRATZ, H. Air humidity and carotid rate function in thermoregulation of the goat. **Journal Physiology**, v.292. p.469-479, 1979.
- JESSEN, C.; FEISTKORN, G.; NAGEL, A. Effects on heat loss of central-leg cooling in the conscious goat. **Journal of Thermal Biology**. v.8. p.65-67, 1983.
- JESSEN, C; DMI'EL, R.; CHOSHNIAC, I.; EZRA, D.; KUHNEN, G. Effects of dehydration and rehydration on body temperatures in the black Bedouin goat. **European Journal of Physiology**, v.436, p.659–666, 1998.
- JOHNSON, K.G. Sweat gland function in isolated perfused skin. **Journal Physiology**, v.250, p.633-649, 1975.
- JUARÉZ, M. Physico-chemical characteristics of goat's milk as distinct from those of cow's milk. **Bulletin of the International Dairy Federation**. v.202, p.54-67, 1986.
- KASA, I.W.; HILL, M.K.; THWAITES, C.J.; BAILLIE, N.D. Physiological effects of exercise in male and female Saanen goats at the same body weight but different feed intake. **Small Ruminant Research**, v.16, p.83-86, 1995.
- KNIGHTS, M.GARCIA, G. W. The stars and characteristics of the goat (*Capra hircus*) and potential role a significant milk producer in the tropics: A review. **Small Ruminant Research**, v.2, p.203-215, 1997.
- KUHNEN, G. Selective Brain Cooling Reduces Respiratory Water Loss During Heat Stress. **Comparative Biochemistry Physiology**, v.118A, no. 3, p.891-895, 1997

KUHNEN, G.; JESSEN, C. Threshold and slope of selective brain cooling. **Pflugers Archive European Journal of Physiology**, v.418, p.176-183, 1991.

KUHNEN, G.; JESSEN, C. Thermal signals in the control of selective brain cooling. **American Journal of Physiology**, v.267, R355-R359, 1994.

LEE, D. H. K. **Manual of field studies on heat tolerance of domestic animals**. Roma: FAO, 1953. 161 p.

LIGEIRO, E.C. **Um estudo genético das características morfológicas do pelame, da perda de calor por evaporação e suas correlações genéticas de cabras leiteiras**. 2004. 40f. Monografia (Graduação em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2004.

LIGEIRO, E.C.; MAIA, A.S.C; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. Estudo genético das características morfológicas do pelame, da perda de calor por evaporação e suas correlações genéticas em cabras leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.2, p.544-549, 2006.

LOUW, G. **Physiological Animal Ecology**. Londres: Longman, 288p., 1993.

LU, C.D. Effects of heat stress on goat production. **Small Ruminant Research**, v.2, p.151-162, 1989.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; BERTIPAGLIA, E.C.A. Environmental and genetic variation of the effective radiative properties of the coat of Holstein cows under tropical conditions. **Livestock Production Science**. v.92, p.307-315, 2005a.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**. v.49, p.332-336, 2005b.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**. v.50, p.17-22, 2005c.

McARTHUR, A.J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. **Journal of Theoretical Biology**. v.126, p.203-238, 1987.

McLEAN, J. A. Measurement of cutaneous moisture vaporization from cattle by ventilated capsules. **Journal Physiology**, v.167, p.417-426, 1963a.

McLEAN, J. A. The partition of insensible losses of body weight na heat from cattle under various climatic conditions. **Journal Physiology**,v.167. p.427-447, 1963b.

McLEAN, J.A.; DOWNIE, A.J.; WATTS, P.R.; GLASBEY, C.A. Thermal adjustment of steers (*Bos Taurus*) to abrupt changes in environmental temperature. **The Journal of Agriculture Science**, v.100. part 2, p.305-314, 1983.

MEDEIROS, L.F.D.; QUINTANA, J.R.; SCHERER, P.O.; VIEIRA, D.H. Reações fisiológicas de caprinos de diferentes raças mantidas à sombra, ao sol e em ambiente parcialmente sombreado. In: 35ª Reunião Brasileira de Zootecnia, 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu, SP, 1998. CD.

MITCHELL, D.; MALONEY, S.K.; JESSEN C., LABURN, H.P; KAMERMANA, P.R.; MITCHELL, G.; FULLER, A. Adaptive heterothermy and selective brain cooling in arid-zone mammals. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part B 131, p.571-585, 2002.

MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**, 2nd Edition. E. Arnold, London, 1990.

MORAIS, D.A.E.F. **Variação de características do pelame, níveis de hormônios tireoidianos e produção de vacas leiteiras em ambiente quente e seco**. 2002. 121f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2002.

OGEBE, P.O.; OGUNMODEDE, B.K.; MCDOWELL, L.R. Behavioral and physiological responses of Nigerian dwarf goats to seasonal changes of the humid tropics. **Small Ruminant Reseach**, v.22, p.213-217, 1996.

OLIVEIRA, A.L. **Aspectos genéticos de características adaptativas de cabras leiteiras em clima tropical**. 2004. 42f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2004.

OLIVEIRA, A.L.; SILVA, R.G.; AIURA, F.S.; MAIA, A.S.C. Características Morfológicas do Pelame de Cabras Leiteiras. In: 42ª Reunião Brasileira de Zootecnia, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, GO, 2005a. CD.

OLIVEIRA, A.L.; SILVA, R.G.; AIURA, F.S.; MAIA, ANDRADE, L.M.; SOUZA JÚNIOR, S.C. Avaliação da Temperatura Retal, Frequência Respiratória e Taxa de Sudação em Cabras Leiteiras. In: 42ª Reunião Brasileira de Zootecnia, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, GO, 2005b. CD.

OLIVEIRA, A.L.; SILVA, R.G.; AIURA, F.S.; MAIA. Evaporação Total em Cabras Saanen Sob Ambientes de Sol e Sombra. In: 43ª Reunião Brasileira de Zootecnia, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, PB, 2006. CD.

PIMENTA, J.T.S. **Estudo histológico da pele de ovinos (*Ovis aries*) criados no nordeste brasileiro.** 1979. 67f. Dissertação (Mestrado em Histologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Ciência Biomédicas, Rio de Janeiro, 1979.

PINHEIRO, M.G. **Variação genética de características da capa externa de vacas da raça Holandesa em ambiente tropical.** 1996. 43f. Tese (Doutorado em Ciências). Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 1996.

PINHEIRO, M.G., SILVA, R.G. Pelame e produção de vacas da raça Holandesa em ambiente tropical-I. Características do pelame. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v.55, n.1, p.1-6, 1998.

RIBEIRO, S.D.A. **Criação racional de caprinos.** São Paulo: Nobel /FAPESP, 318p., 1998.

RIBEIRO, S.D.A.; RIBEIRO, A.C. Situação atual e perspectivas da caprinocultura de corte para o Brasil. In: 1º Simpósio Paulista de Caprinocultura, 2005, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal, SP, 2005. p.9-27.

RIBEIRO, A.C. **Estudos dos efeitos genéticos e de ambiente sobre características de importância econômica caprinos da raça Saanen.** 1997. 116f. Dissertação

(Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 1997.

SALIN, M.M.; RESENDE, K.T.; TEIXEIRA, I.A.M.A. PROCAPRI – Versão 2.0. In: 1º Simpósio Paulista de Caprinocultura, 2005, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal, SP, 2005. p.29-45.

SANTOS, E.L. **Efeito do estresse calórico em caprinos**. 2003. 66f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2003.

SCHLEGER, A.V.; TURNER, H.G. Sweating rates of cattle in the field and their reaction to diurnal and seasonal changes. Australian **Journal of Agriculture Research**, v.16, p.92-106, 1965.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia Animal: Adaptação e Ambiente**, 5th ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2002, 611p.

SHUKLA, D.C.; MAHAPATRO, B.B. Resting heat production in Barbari and Black Bengal goats. **Small Ruminant Research**, v.7, p.185-188, 1992

SILANIKOVE, N. Effect of water scarcity and hot environmental on appetite and digestion in ruminants: A Review. **Livestock Production Science**, v.30, p.175-194, 1992.

SILANIKOVE, N. Effect of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants: A Review. **Livestock Production Science**, v.67, p.1-18, 2000.

SILVA, R.G. Estimativa do balanço térmico por radiação em vacas Holandesas expostas ao sol e à sombra em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, p.1403-1411, 1999.

SILVA, R.G. **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo: Nobel /FAPESP, 286p., 2000a.

SILVA, R.G. Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n. 4 p.1244-1252, 2000b.

SILVA, R.G.; ARANTES NETO; J.G.; HOLTZ FILHO, S.V. Genetic aspects of the variation of the sweating rate and coat characteristics of Jersey cattle. **Brazilian Journal of Genetics**, v.11, p.335-347, 1988.

SILVA, R.G.; GAUDIOSI, M.C. Termólise evaporativa em ovinos sob altas temperaturas. In: 1º Congresso Brasileiro de Biometeorologia, 1995, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal, SP, Legis Summa, p.193-203, 1995.

SILVA, R.G.; LaSCALA Jr, N. Propriedades radiativas do pelame e da epiderme de bovinos. In: 3º Congresso Brasileiro de Biometeorologia, 2001, Maringá. **Anais...** Maringá, PR, 2001a. CD.

SILVA, R.G.; LaSCALA Jr. N. Determinação do calor latente do calor sensível eliminado pela respiração em ovinos. In: 3º Congresso Brasileiro de Biometeorologia, 2001, Maringá. **Anais...** Maringá, PR, 2001b. CD.

SILVA, R.G.; LaSCALA Jr, N.; POCCAY, P.L.B. Transmissão de radiação ultravioleta através do pelame e da epiderme de bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n. 6, p.1939-1947, 2001.

SILVA, R.G. LaSCALA Jr, N.; LIMA FILHO, A.E., CATHARIN, M.C. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. **International Journal of Biometeorology**, v.46, p.136-140, 2002.

SILVA, R.G.; STARLING, J.M.C. Evaporação cutânea e respiratória em ovinos sob altas temperaturas ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.32, n.6, p.1956-1961, 2003 (Supl. 2).

SILVA, R.G.; LaSCALA Jr; TONHATI, H. Radiative properties of the body surface of cattle and other animals. **Transaction of the ASAE**. v.46, p.913-918, 2003.

SINGH, B.; ROY, A. Studies on certain aspects of sheep and goat husbandry. V. Effect of season on respiration and puserate of Corriedale and Bikaneri sheep and Jamnapari goat. **College Veterinary Science Animal**, 1963.

STARLING, J.M.C.; SILVA, R.G.; MUÑOZ, M.C. et al. Análise de algumas Variáveis Fisiológicas para Avaliação do Grau de Adaptação de Ovinos Submetidos ao Estresse por Calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2070-2077, 2002.

STEVENS, D.G. A model of respiratory vapour loss in Holstein dairy cattle. **Transactions of the ASAE**. v.24, p.151-158, 1981.

TURNER, H.G.; NAY, T.; FRENCH, G.T. The hair follicle population of cattle in relation to breed in body weight. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 13, p. 960-973, 1962.

TURPENNY, J.R.; McARTHUR, A.J.; CLARK, J.A.; WATHES, C.M. Thermal balance of livestock. 1. A parsimonious model. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.101, p.15-27, 2000.

UDO, H.M.J. **Hair coat characteristics in Friesian heifers in the Netherlands and Kenya**. Meded. Landbouwhogeschool 78-6. Wageningen: H. Veenman & Zonen, B. V., 1978.