



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

**PRODUÇÃO DE CALOR METABÓLICO EM CAPRINOS  
MANEJADOS NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO.**

HÉRICA GIRLANE TERTULINO DOMINGOS

Zootecnista

MOSSORÓ – RN – BRASIL

Março – 2012

**HÉRICA GIRLANE TERTULINO DOMINGOS**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE CALOR METABÓLICO EM CAPRINOS  
MANEJADOS NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural  
do Semi-Árido – UFERSA, Campus de Mossoró,  
como parte das exigências para a obtenção do título de  
Mestre em Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia

MOSSORÓ – RN – BRASIL

Março – 2012

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e  
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFERSA**

Bibliotecária:  
Vanessa  
de Oliveira  
Pessoa

CRB15/45  
3

D671e Domingos, Hérica Gislane Tertulino.  
Estudo da produção de calor metabólico em caprinos no  
semi-árido nordestino. / Hérica Gislane Tertulino Domingos. --  
Mossoró, 2012.  
47 f.

Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) Área de  
concentração: Ciência animal – Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido.

Orientador: Profº. Dr. Alex Sandro Campos Maia.

1. Caprinos. 2. Calorimetria indireta. 3. Temperatura. 4. Perda  
de calor latente. I. Título.

CDD: 636.39

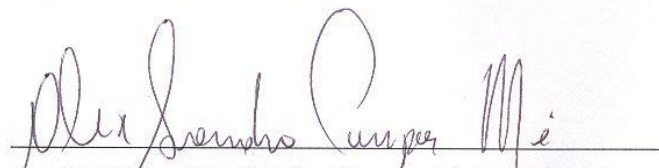
**HÉRICA GIRLANE TERTULINO DOMINGOS**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE CALOR METABÓLICO EM CAPRINOS  
MANEJADOS NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO.**

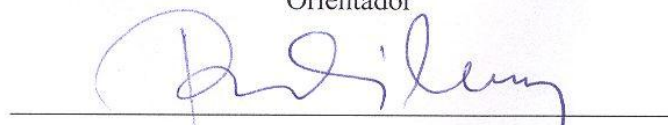
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido – UFERSA, Campus de Mossoró, como  
parte das exigências para a obtenção do título de Mestre  
em Ciência Animal.

APROVADA EM 21 / 03 / 2012

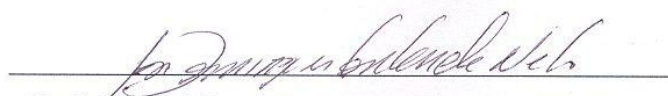
**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia (UNESP)

Orientador

  
Prof. Dr. Roberto Gomes da Silva (UFERSA)

Primeiro Membro

  
Prof. Dr. José Domingues Fontenele Neto (UFERSA)

Segundo Membro

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**HÉRICA GIRLANE TERTULINO DOMINGOS** – Nascida em Mossoró-RN no dia 21/08/1986, filha de Antônio Domingos Sobrinho e Hildérica Maria Tertulino Viana, concluiu o ensino médio no Colégio José Moreira da Costa. Graduiu-se em Zootecnia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) em 2009.1, sendo o trabalho de conclusão de curso “Influência do sombreamento e da aspersão de água sobre a produção de leite e respostas fisiológicas de vacas holandesas no semi-árido. Na graduação, realizou trabalhos de iniciação científica na área de Biometeorologia, Comportamento e Bem-Estar Animal junto ao Núcleo de Biometeorologia, Biofísica Ambiental e Bem-Estar Animal (NUBBEA). É co-autor do trabalho “Cutaneous Evaporation in Different Body Regions of Black and White Holstein Cows in a Tropical Environment”, que recebeu o prêmio de melhor trabalho, na área animal, no 18º International Congresso of Biometeorology no ano de 2008 em Tokio, Japão. Em janeiro de 2009, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da UFERSA, com período sanduíche de quatro meses na Universidade Estadual Paulista - UNESP/Jaboticabal.

*Ao único que é digno de receber,  
a honra, a glória, a força e o poder.  
Ao Rei eterno e imortal, invisível,  
mas real: Jesus Cristo*

*DEDICO.*

*“Observai as aves do céu: não semeiam, não colhem,  
nem ajuntam em celeiros; contudo, vosso Pai celeste  
as sustenta. Porventura, não valeis vós muito  
mais do que as aves?”*

*Mateus: 26:6*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, que durante 5 anos de trabalho juntos, me ajudou, sem poupar esforços, para que eu tivesse uma ótima formação. Muito obrigada.

Ao CNPq, pela bolsa concedida durante meu mestrado.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Roberto Gomes da Silva e Prof. Dr. José Domingues Fontenele Neto pela gentileza de participar da minha banca e pelas contribuições em minha dissertação.

Ao Prof. Ms. Leonardo Lélis de Macedo Costa por sempre disponibilizar o laboratório de Biometeorologia e por todo apoio durante a realização desse trabalho.

Aos meus pais, Hildérica Maria e Antônio Domingos por todo amor, investimento e por acreditarem tanto em mim.

Ao meu irmão Tony e a minha cunhada Pâmela por estarem sempre ao meu lado comemorando comigo as minhas conquistas, orando por mim e por esse ano me presentear com meu sobrinho que já está chegando.

A minha grande amiga Núbia, que não importa a circunstância, sempre está ao meu lado. Obrigada pelas orações e por torcer por mim.

A minha amiga Rosiane Batista, por toda ajuda, não só na realização desse trabalho, mas por sua amizade, que é muito preciosa pra mim.

Ao meu irmão em Cristo Jesus, João Batista (maninho), porque juntos nos formamos um elo de amizade firmado em Cristo. Você sabe exatamente a importância que teve na realização desse trabalho, principalmente pela ajuda, incentivo e orações.



A minha irmã em Cristo Jesus, Cheyla Magdala (maninha), por sua amizade aliançada em Deus, por acreditar em mim, me incentivar e principalmente, por suas orações.

Ao meu noivo (muito em breve esposo), Cássio Raniery pelo amor, apoio, orações, por ser meu grande incentivador, por está sempre ao meu lado. Por sorrir comigo, chorar comigo e porque para sempre estaremos juntos. Essa conquista é nossa!

Enfim, aos meus familiares, colegas do NUBBEA, amigos da igreja e todos aqueles que de alguma forma contribuem com minha vida.

## **ESTUDO DA PRODUÇÃO DE CALOR METABÓLICO EM CAPRINOS MANEJADOS NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO**

DOMINGOS, Hérica Girlane Tertulino. **Estudo da produção de calor metabólico em caprinos manejados no semi-árido nordestino**. 2012. 48f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal: Produção Animal) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2012.

**RESUMO** – Este estudo objetivou avaliar a variação diária da produção de calor metabólico em caprinos baseada no consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono em associação com variáveis meteorológicas e respostas fisiológicas. Foram utilizados 10 caprinos SPRD, sendo quatro com pelame predominantemente branco e seis com pelame predominantemente preto. As observações foram feitas com os animais protegidos e expostos à radiação solar direta, em um período de 12 dias, durante os meses de agosto e setembro de 2012, em Mossoró-RN. A produção de calor metabólico ( $M$ ,  $Wm^{-2}$ ), o fluxo de calor latente a partir do sistema respiratório ( $E_R$ ,  $Wm^{-2}$ ) e a partir da superfície cutânea ( $E_{SC}$ ,  $Wm^{-2}$ ) foram determinados, ao mesmo tempo, por meio de uma máscara facial e uma cápsula ventilada, respectivamente. Foram também aferidas a temperatura retal, temperatura de superfície e a frequência respiratória e medidas as variáveis ambientais, temperatura do ar, temperatura do globo negro, e velocidade do vento, pressão parcial de vapor, e radiação solar. A análise de variância foi baseada no método dos quadrados mínimos e a comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey com nível de 5% de significância. Os resultados mostraram que as cabras do semi-árido brasileiro mantiveram estável a produção de calor metabólico ao longo do dia, no entanto, quando expostas a radiação solar direta, aumentaram consideravelmente a perda de calor latente na superfície cutânea e reduziram a produção de calor metabólico em aproximadamente 24%, numa tentativa de manter a temperatura interna constante.

**Palavras chave:** caprinos, produção de calor metabólico, perda de calor latente, calorimetria indireta, semiárido.

## **METABOLIC HEAT PRODUCTION IN GOATS MANAGED IN SEMIARID REGION**

DOMINGOS, Hérica Girlane Tertulino. **Metabolic heat production in goats managed in semiarid region.** 2012. 49f. Thesis (Master's degree In Animal Science: Animal Production and Reproduction) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2012.

**ABSTRACT** – This study aimed to assess the daily variation of metabolic heat production in goats based on oxygen consumption and carbon dioxide production in association with meteorological variables and physiological responses. 10 SPRD goats were used, four with predominantly white fur and six with predominantly black. The observations were made with the protected and exposed animals to direct sunlight, in a period of 12 days during the months of August and September, 2010 in Mossoró-RN. The metabolic heat production ( $M$ ,  $Wm^{-2}$ ), the latent heat flow from the respiratory system ( $E_R$ ,  $Wm^{-2}$ ) and from the cutaneous surface ( $E_{SC}$   $Wm^{-2}$ ) were determined simultaneously through a face mask and a ventilated capsule, respectively. We also measured the rectal temperature, surface temperature and respiratory rate and measured the environmental variables, air temperature, black globe temperature, wind speed, air humidity, partial vapor pressure and solar radiation. Analysis of variance was based on least-squares method and comparison of means was done by Tukey's test at 5% level of significance. The results showed that the semi-arid goats maintained stable to metabolic heat production during the day, however, when exposed to direct sunlight, significantly increased the latent heat loss in the cutaneous surface and reduced metabolic heat production approximately 24% in an attempt to maintain constant internal temperature.

**Key words:** indirect calorimetry, latent heat loss, shade, solar radiation, thermal equilibrium.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Calor produzido, oxigênio consumido e dióxido de carbono formado no metabolismo de alimentos comuns. Os valores para as proteínas depende de o produto final ser uréia ou ácido úrico. A proporção entre o dióxido de carbono e oxigênio usada é conhecida como quociente respiratório (QR).

**Tabela 2.** Médias ajustadas por quadrados mínimos e erro padrão das variáveis ambientais, temperatura do ar ( $T_A$ ), pressão parcial de vapor ( $P_p T_A$ ), velocidade do vento ( $V_V$ ), radiação solar ( $R_S$ ) e temperatura radiante média (TRM), de acordo com as classes de hora.

**Tabela 3.** Médias ajustadas por quadrados mínimos e erro padrão da produção de calor metabólico de acordo com as classes de hora, ambiente e cor do pelame.

**Tabela 4.** Médias estimadas por quadrados mínimos e erro padrão da temperatura retal ( $T_R$ ), temperatura de superfície ( $T_S$ ) e frequência respiratória ( $F_R$ ) conforme o ambiente e cor do pelame.

**Tabela 5.** Médias ajustadas por quadrados mínimos e erro padrão da perda de calor na superfície cutânea ( $E_{SC}$ ) e respiratória ( $E_R$ ) de acordo com a hora do dia, ambiente, e cor do pelame.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** A forma da cápsula ventilada usada, desenvolvida por Maia et al., (2005b). Ela foi confeccionada a partir de um cano plástico de 9.6 cm diâmetro e 6.78 cm comprimento. A tubo de entrada de ar; B tubo de coleta de ar da atmosfera; C pontas sensoras (Termoresistência PT-100 classe A); D tubo de saída de ar; E ponta de prova de um termômetro de infravermelho; F CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O analisador de gás; G compressor; H termômetro de infravermelho sem contato e I registros.

## SUMÁRIO

|                                                                     | Página    |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                           | <b>13</b> |
| <b>2 OBJETIVOS .....</b>                                            | <b>15</b> |
| 2.1 GERAL .....                                                     | 15        |
| 2.2 ESPECÍFICOS .....                                               | 15        |
| <b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                                | <b>16</b> |
| 3.1 CAPRINOS .....                                                  | 16        |
| 3.2 METABOLISMO ENERGÉTICO .....                                    | 17        |
| 3.3 CALORIMETRIA INDIRETA.....                                      | 18        |
| 3.1.3 MECANISMOS EVAPORATIVOS .....                                 | 21        |
| 3.2 PRODUÇÃO DE CALOR METABÓLICO EM CAPRINOS E OUTRAS ESPÉCIES..... | 23        |
| <b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                   | <b>25</b> |
| 4.1 LOCAL .....                                                     | 25        |
| 4.2 ANIMAIS .....                                                   | 25        |
| 4.3 COLETAS .....                                                   | 26        |
| 4.4 DADOS METEOROLÓGICOS .....                                      | 27        |
| 4.5 TEMPERATURA RETAL E SUPERFÍCIE CORPORAL.....                    | 27        |
| 4.6 METABOLISMO .....                                               | 28        |
| 4.7 PERDA DE CALOR POR EVAPORAÇÃO NA SUPERFÍCIE CORPORAL .....      | 30        |
| 4.8 PERDA DE CALOR POR EVAPORAÇÃO RESPIRATÓRIA .....                | 30        |
| 4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....                                       | 31        |
| <b>5 RESULTADOS .....</b>                                           | <b>32</b> |
| <b>6 DISCUSSÃO .....</b>                                            | <b>34</b> |
| <b>7 CONCLUSÕES .....</b>                                           | <b>40</b> |
| <b>8 REFERÊNCIAS .....</b>                                          | <b>41</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O baixo desempenho produtivo da maior parte dos caprinos criados na Região Nordeste juntamente com a exigência do mercado consumidor em obter animais mais precoces vem ao longo dos anos impulsionado a importação de animais, para através do cruzamento entre raças nativas e exóticas, aumentar a produtividade dos rebanhos locais.

Considerando que o estresse calórico tem sido reconhecido como importante fator limitante da produção animal nos trópicos, há uma necessidade de se conhecer a tolerância e a capacidade de adaptação das diversas raças como forma de embasamento técnico para a exploração animal, bem como para a introdução de novas raças em uma região ou mesmo para o norteamento de programas de cruzamento, visando dessa forma, a obtenção de tipos ou raças mais adequadas a uma condição específica de ambiente (MONTY JUNIOR et al., 1991).

O metabolismo energético é imprescindível a vida. Em ruminantes a produção de calor é oriunda primariamente da conversão da energia química estocada nos alimentos ou nas reservas corporais (ESMAY 1969), sendo a condição de equilíbrio térmico satisfeita quando a soma da quantidade de calor ganha do ambiente com aquela produzida no metabolismo é igual às perdas. Na faixa de conforto térmico, os animais não precisam lançar mão de processos reguladores de sua temperatura corporal, pois o calor produzido e o calor dissipado estão equilibrados. Nessa faixa, a maior e mais eficiente produção ocorre desde que outros fatores envolvidos estejam satisfeitos (nutrição, estado sanitário, etc.).

Sob altas temperaturas, essa condição pode não ser alcançada e neste caso o animal passa a estocar energia térmica nos tecidos (FINCH, 1985; MCLEAN et al., 1983ab), resultando na elevação da sua temperatura corporal. Isto acontece porque em baixas latitudes a temperatura do ar tende a ser muito próxima a ou até superior àquela da superfície corporal, tornando a convecção ineficaz; em adição, esse ambiente geralmente é caracterizado por intensa radiação solar, conseqüentemente o animal passa a ganhar calor por radiação (Silva 2000). Nestas condições, há necessidade de ajustes fisiológicos e comportamentais que promovam compensações as condições ambientais, de modo que o organismo funcione eficazmente (BAÊTA e SOUZA, 1997). Logo, a habilidade de um animal resistir em ambientes quentes é proporcional à sua capacidade em dissipar calor latente na superfície corporal como resultado da sudação (FINCH et al., 1982; MCLEAN

1963b) ou no sistema respiratório (Stevens 1981; Silva et al., 2002) e ao mesmo tempo diminuir a produção de calor metabólico (THOMPSON et al., 1953; KIBLER E BRODY 1954; MCLEAN 1963ab; FINCH 1985). Se os processos fisiológicos e comportamentais em resposta as estresse não forem eficientes o bastante, o animal decresce o consumo diário de alimento para diminuir sua produção de calor metabólico e assim manter sua homeotermia, mas resultando em declínio nos desempenhos produtivos e reprodutivos.

Na maioria dos estudos, a produção de calor metabólico foi estimada como uma média de um período de tempo, geralmente ao longo de um dia (GONZALEZ-JIMENEZ E BLAXTER, 1962; HOLMES e MCLEAN, 1975; WEBSTER ET AL., 1978; SCHRAMA et al., 1992; MAIA et al., 2005ab). Esses trabalhos têm mostrado que com a elevação da temperatura do ar ocorre uma diminuição no metabolismo (FINCH 1985) e a elevação da perda de calor via evaporação (MAIA et al., 2005ab). No entanto, o ambiente natural onde os animais vivem normalmente é muito complexo e nele os fatores como velocidade do vento, radiação e umidade do ar podem também, causar alterações significativas no metabolismo (VAN DER HEL et al., 1984; VESTEGEN et al., 1986). Segundo Yousef et. al. (1968), o tipo de animal adequado para os trópicos deveria possuir, entre outras características, a habilidade para conservar a produção de calor corporal permitindo que os processos produtivos e reprodutivos ocorram em um nível normal, mesmo quando existam fatores climáticos limitantes.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Estudar a variação diária da produção de calor metabólico em caprinos baseada no consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono.

### **2.2 Específicos**

[1] Estudar a influência das condições ambientais do semi-árido (temperatura do ar, radiação solar, movimentação do ar e umidade relativa do ar) ao longo do dia sobre a produção de calor metabólico em caprinos protegidos e expostos à radiação solar direta.

[2] Estudar a influência das condições ambientais do semi-árido em associação a alterações nas respostas fisiológicas (frequência respiratória, evaporação respiratória, temperatura retal, temperatura da superfície do pelame, evaporação cutânea) sobre a produção de calor metabólico em caprinos protegidos e expostos à radiação solar direta associado a no intuito de melhorar o manejo ambiental via melhoria do ambiente térmico, assim elevando o bem-estar dos animais e conseqüentemente seu conforto térmico, o que certamente refletirá na sua produtividade.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 CAPRINOS

Os caprinos pertencem cientificamente à família Bovidae dentro da sub-família caprinae, pertencente ao gênero Capra e a espécie hircus. Os primeiros exemplares foram introduzidos no Brasil pelos colonizadores portugueses, franceses e holandeses por volta de 1535, que trouxeram raças caprinas européias produtoras de leite (PORTER, 1996) citado por FREITAS 2007.

Domesticados a cerca de 7000 anos a.C.e com rebanho mundial na ordem de 743 milhões de cabeças (FAO, 2008), os caprinos encontram-se atualmente distribuídos em quase todas as regiões do planeta, representando uma importante atividade socioeconômica principalmente para as populações dos países em desenvolvimento (NOGUEIRA FILHO, 2003) citado por SILVA 2006. O Brasil possui cerca de 12,6 milhões de cabeças de caprinos, o que corresponde ao 11º maior rebanho do mundo. O Nordeste é a região mais representativa do Brasil, possuindo um rebanho de 8,9 milhões de caprinos, compreendendo aproximadamente a 93 % (ANUALPEC 2008).

A caprinocultura tem aumentado de forma significativa sua participação no cenário agropecuário brasileiro. A busca de alternativas para reduzir custos de produção e garantir maior competitividade é um ponto importante na sustentabilidade de qualquer atividade econômica (HAENLEIN, 2001).

Os caprinos são animais resistentes, prolíficos, com excelente habilidade para aproveitar restos de alimentos e sobreviver muito bem em climas quentes, áridos e semi-áridos (OLIVEIRA e LIMA, 1994). Para a bioclimatologia, são animais considerados rústicos, mas quando expostos em regiões quentes como o Nordeste brasileiro caracterizado por altas temperaturas e intensa radiação solar, esses animais sofrem alterações no seu comportamento fisiológico como aumento da temperatura da pele, elevação da temperatura retal, aumento da frequência respiratória, diminuição da ingestão de alimentos, com conseqüente queda na produção de calor metabólico e redução do nível de produção (SHELTON, 2000).

### 3.2 METABOLISMO ENERGÉTICO

Os animais são sistemas termodinâmicos que necessitam de energia para manter sua organização e estão em constante troca com o meio ambiente (WELCH GR, 1991). A energia para suportar os processos vitais é obtida pela oxidação dos nutrientes contidos nos alimentos ingeridos (MUELLER CB & THOMAS EJ, 1975). A energia química potencial contida nas ligações C-H dos carboidratos, lipídios e proteínas é liberada por oxidação desses substratos dentro das células, numa série de passos bioquímicos que ocorrem no citosol e nas mitocôndrias, conhecidos como metabolismo intermediário (MUELLER CB & THOMAS EJ, 1975).

Esse processo consome oxigênio e produz água, gás carbônico, energia química armazenada nas ligações fosfato do trifosfato de adenosina (ATP) e calor que é dissipado para o meio ambiente. Aproximadamente 65% da energia liberada na oxidação do substrato é transformada em energia química armazenada no ATP e 35% da energia é liberada sob a forma de calor. O ATP é uma forma de armazenamento de energia intracelular prontamente disponível para realizar trabalho químico ou mecânico, por meio da sua hidrólise em difosfato de adenosina (ADP) com liberação da energia armazenada (CAHILL JR, 1977).

O dispêndio energético diário compreende o dispêndio basal, o dispêndio da atividade física e o efeito térmico dos alimentos (HOUSSAY, 1969). O dispêndio basal representa 60% a 75% do custo energético diário e inclui a energia gasta com a bomba de sódio-potássio e outros sistemas que mantêm o gradiente eletroquímico das membranas celulares, a energia empregada na síntese dos componentes do organismo, a energia necessária para o funcionamento dos sistemas cardiovascular e respiratório e a energia despendida pelos mecanismos termorregulatórios para manter a temperatura corporal (DEVLIN JT & HORTON ES, 1991).

Na ausência de trabalho externo ou de armazenagem de energia química, toda energia liberada durante os processos metabólicos aparecem finalmente como calor. Este fato simples torna possível usar a produção de calor como um índice de metabolismo energético, desde que o organismo esteja em um estado térmico estável como seu ambiente.

A conversão da energia química em calor é medida como a taxa metabólica – energia térmica liberada por unidade de tempo. Embora a produção de calor seja uma medida útil da taxa metabólica, existem outras medidas comuns e tradicionais como o consumo de oxigênio. A atividade metabólica não se mantém em nível uniforme durante todo o tempo, mesmo nos animais homeotérmicos. Uma das evidências disso é a variação da temperatura corporal nos animais endotérmicos, influenciada por mudanças na sua atividade física e no nível de metabolismo (STANIER ET AL., 1984), mas sincronizadas a modificações diárias na intensidade da luz, na temperatura e talvez em outros fatores ambientais (KLEITMAN, 1949, BEAKLEY & FINDLAY, 1955)

Além das temperaturas corporais e ambientais da massa corporal, da fase reprodutiva e da atividade, outros fatores que afetam a taxa metabólica são a hora o dia, a estação do ano, a idade, o sexo, a forma, o estresse, o tipo de comida que esta sendo metabolizada e o estado reprodutivo. As medidas indiretas da taxa metabólica dependem da medida de algumas variáveis além do calor produzido pela utilização da energia. A energia contida nas moléculas de alimento torna-se disponível para o uso do animal quando tais moléculas ou seus produtos são sujeitos a oxidação (SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

### 3.3 CALORIMETRIA INDIRETA

A calorimetria indireta mede a produção de energia a partir das trocas gasosas do organismo com o meio ambiente. É um método não-invasivo que determina as necessidades nutricionais e a taxa de utilização dos substratos energéticos a partir do consumo de oxigênio e da produção de gás carbônico obtidos por análise do ar inspirado e expirado pelos pulmões (BRANSON, 1990).

De acordo com DIENER (1997) a denominação indireta indica que a produção de energia, diferentemente da calorimetria direta que mede a transferência de calor do organismo para o meio ambiente, é calculada a partir dos equivalentes calóricos do oxigênio consumido e do gás carbônico produzido. Admitindo-se que todo o oxigênio consumido é utilizado para oxidar os substratos energéticos e que todo o gás carbônico produzido é eliminado pela respiração, é possível calcular a quantidade total de energia produzida. Essa “produção de energia” significa a conversão da energia química

armazenada nos nutrientes em energia química armazenada no ATP mais a energia dissipada como calor durante o processo de oxidação (SIMONSON, 1990).

Para Schmidt-Nielsen (2002), a razão pela qual o consumo de oxigênio pode ser usado como uma medida prática da taxa metabólica decorre do fato de a quantidade de calor produzido para cada litro de oxigênio usado no metabolismo permanece quase constante, independente de gordura, carboidrato ou proteína serem oxidados (tabela 1, coluna c). O número mais alto (20,9 kJ por litro de O<sub>2</sub> para o metabolismo de carboidrato) e o mais baixo (18,8 kJ por litro de O<sub>2</sub> para proteína) diferem em apenas 10%. A energia térmica produzida pelo consumo de O<sub>2</sub> permanece quase constante. De um modo geral, a literatura aceita uma média de 20,100 kJ para cada litro de O<sub>2</sub> consumido.

**Tabela 1.** Calor produzido, oxigênio consumido e dióxido de carbono formado no metabolismo de alimentos comuns. Os valores para as proteínas dependem do produto final ser uréia ou ácido úrico. A proporção entre o dióxido de carbono e oxigênio usada é conhecida como quociente respiratório (QR).

| Alimento              | (a)<br>kJ g <sup>-1</sup> | (b)<br>litro O <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> | (c)<br>kJ/litro O <sub>2</sub> | (d)<br>kJ/litro CO <sub>2</sub> | (e)<br>QR |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------|
| Carboidrato           | 17,6                      | 0,84                                        | 20,9                           | 20,9                            | 1,00      |
| Gordura               | 39,3                      | 2,0                                         | 19,7                           | 13,9                            | 0,71      |
| Proteína (uréia)      | 18,0                      | 0,96                                        | 18,8                           | 15,2                            | 0,81      |
| Proteína(ácido úrico) | 17,8                      | 0,97                                        | 18,4                           | 13,6                            | 0,74      |

Adaptado de Schmidt-Nielsen, 2002.

A razão conhecida como quociente respiratório (QR) ou razão de troca respiratória (R), é um conceito importante na fisiologia metabólica. O QR fornece informações sobre o combustível utilizado no metabolismo. Em geral, o QR encontra-se entre 0,7 e 1,0. Um QR próximo a 0,7 sugere principalmente metabolismo de gordura; um QR próximo de 1,0 sugere primariamente metabolismo de carboidrato. Para um QR intermediário, é mais difícil dizer que alimentos foram metabolizados; pode ser proteína, uma mistura de gorduras e carboidratos ou uma mistura dos três (SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

Na calorimetria indireta a quantidade de calor produzida pode ser estimada pela equação de regressão múltipla proposta por Brouwer (1965), que foi baseada na oxidação da mistura de carboidratos, gorduras e proteínas. Esta fórmula é atualmente a mais adotada, sendo:

$$M = 16,18O_2 + 5,016CO_2 - 2,17CH_4 - 5,99N$$

onde  $M$  (kJoules) é a produção de calor metabólico,  $O_2$ ,  $CO_2$  e  $CH_4$  são, respectivamente os volumes em litros de oxigênio consumido, dióxido de carbono e metano produzido, enquanto  $N$  (g) é o nitrogênio excretado na urina.

Segundo Brouwer (1965) o  $O_2$  e o  $CO_2$  contribuem, respectivamente com aproximadamente 75 e 25% para a produção total de calor, enquanto que o  $CH_4$  e o  $N$  contribuem apenas com 1%. Obviamente, o metabolismo pode ser determinado apenas pela medida do  $O_2$  consumido e do  $CO_2$  produzido, sem erros significativos,

$$M = 16,18O_2 + 5,016CO_2$$

no entanto, McLean (1972) baseia-se somente na medida do consumo de  $O_2$  e proporciona uma boa estimativa da produção de calor para ruminantes, com uma aproximação de  $\pm 2\%$ , exceto no caso de condições anormais de alimentação. Esta equação é:

$$M = 20,44O_2$$

onde  $M$  (kJ) é a produção de calor metabólico e  $O_2$  é o volume em litros de oxigênio consumido.

Por último, o metabolismo também pode ser determinado somente pela produção de  $CO_2$ , embora isso não seja recomendado. Podemos empregá-lo em último caso, como uma forma de termos uma idéia a respeito do nível de metabolismo, uma vez que a maioria das determinações das taxas metabólicas não é muito precisa devido a que os níveis de atividade normal e outras funções fisiológicas tendem a variar muito (SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

### 3.4 PRODUÇÃO DE CALOR METABÓLICO EM CAPRINOS E OUTRAS ESPÉCIES

Alguns estudos propõem a seleção de animais adaptados a produção em climas quentes, através da habilidade para manter sua taxa metabólica constante (DAVIS et. al., 1976). Outros afirmam que, com a prolongada exposição ao ambiente quente, os animais se aclimatam reduzindo seu metabolismo através do menor consumo de alimentos e redução na atividade do hormônio da tireóide (FUQUAY, 1981).

Appleman & Delouche (1958), avaliando as respostas de caprinos submetidos a elevação da temperatura ambiente de  $20^\circ C$  para  $40^\circ C$ , concluíram que o limite ao estresse calórico para esta espécie está entre  $35 - 40^\circ C$ . Ocorrendo falhas na regulação do calor em temperaturas ambiente iguais ou superiores a  $40^\circ C$ . Gayão (1992) encontraram redução na

taxa metabólica de cabras em período de estresse térmico, mas não encontraram nenhuma alteração na taxa metabólica para os animais em período de termoneutralidade. Seif et. al. (1973) obtiveram resultados similares em seu trabalho com vacas secas submetidas a estresse térmico durante 5 semanas. 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 reduziam 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).

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. 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. Já Joshi et al. (1977) indicou em trabalhos realizados com bodes da raça Jamnapari que sobre estresse agudo, a produção de calor metabólico pode aumentar.

Gebremedhin et al. (1981), através do  $O_2$  consumido e do  $CO_2$  liberado na respiração, observou em bezerros Holandeses que a energia requerida para manutenção era mínima a uma temperatura de  $\pm 21^\circ C$ , aproximadamente  $107 \text{ W m}^{-2}$ , enquanto que a  $5^\circ C$  essa energia aumentava para  $\pm 122 \text{ W m}^{-2}$ . Estes resultados mostram que animais sob estresse pelo frio aumentaram sua taxa metabólica a fim de manter sua temperatura corporal. Resultados similares foram reportados por Gonzalez e Blaxter (1962) e Blaxter et al. (1963). Em bovinos das raças Shorthorn e Brahman a produção de calor metabólico, baseado no consumo de  $O_2$ , declinou continuamente com a elevação da temperatura ambiente; a uma temperatura do ar de  $20^\circ C$  o metabolismo foi  $\pm 27\%$  nos Shorthorn e  $\pm 17\%$

nos Brahman maior do que o observado a 45°C, havendo uma diferença significativa entre as raças (FINCH, 1985). Nos Shorthorn o metabolismo diminuiu continuamente quando a temperatura do ar se elevou de 25 para 45°C, enquanto nos Brahman essa queda somente foi observada quando a temperatura do ar elevou-se acima de 35°C.

### 3.5 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 do ar se eleva 0,3°C acima da zona de conforto térmico (entre 20 e 30°C), 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 O<sub>2</sub> necessário à termogênese.

Durante o estresse pelo calor a atividade cardíaca não atingia mais do que 30%, quando a temperatura chegava a 42,5°C e a perda evaporativa respiratória a 3 W.kg<sup>-1</sup>. A habilidade de muitos animais para se desenvolver em ambientes quentes baseia-se na sua capacidade termorregulatória, tais como o aumento da temperatura retal e da atividade respiratória. Silva et al. (2006) obtiveram valores considerados normais de temperatura retal (39,1 – 39,5°C) para caprinos no semiárido paraibano associados com a flutuação diária da temperatura do ar.

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 Oliveira et al. (2006).

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, apresentando assim, uma menor resistência a difusão do vapor. Ligeiro (2004) observou efeito significativo do comprimento dos pêlos sobre a evaporação cutânea, que apresentou



uma média de 69,99 W.m<sup>-2</sup> 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.

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 a 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). Oliveira (2004) encontrou taxas de sudação média de 178,53 ± 6,14 g.m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> em caprinos. Esse valor foi superior aos encontrados por Silva (2010), que encontrou sudação média de 127,28 g.m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> para cabras Saanen e 145,58 g.m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> para cabras Pardo Alpina em ambiente tropical. 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. 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.

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.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 LOCAL**

O estudo foi desenvolvido durante os meses de agosto e setembro de 2010, no setor de caprinocultura da Universidade Federal Rural do Semi-Árido campus Mossoró (latitude 05°11'S e longitude 37°22'W), e os dados analisados no Laboratório de Biometeorologia e Bem-Estar Animal e Biofísica Ambiental.

### **4.2 ANIMAIS**

Foram utilizados 10 caprinos SPRD (sem padrão racial definido) pertencentes ao Laboratório de Biometeorologia e Bem-Estar Animal (LBBA), selecionados com idade e condição corporal semelhantes. Quatro animais possuíam cor do pelame predominantemente branco, enquanto os outros seis, pelame predominantemente preto. Durante o período de observação, os animais foram alimentados duas vezes por dia, enquanto a água disponível *ad libitum* durante todo o período de observação.

### **4.3 COLETAS**

As observações foram feitas com os animais protegidos e expostos à radiação solar direta, em um período de 12 dias, durante os meses de agosto e setembro de 2012. As medições a sombra foram feitas no interior do estábulo, onde cada animal ficava do lado de dentro de um cercado protegido da radiação solar direta, enquanto aquelas feitas ao sol os animais ficavam expostos à radiação solar direta. Em cada dia de coleta de dados foram avaliados três animais simultaneamente. As medições começavam às 08h00min e terminavam por volta das 18h00min, sendo esse período de observação dividido em cinco classes de hora:

- Classe 1: <10:00
- Classe 2: das 10:00 – 12:00
- Classe 3: das 12:00 – 14:00

- Classe 4: das 14:00 – 16:00
- Classe 5: >16:00

Durante esse período foi registrado o consumo de O<sub>2</sub> e a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada no processo respiratório, temperatura retal, e do ar expirado; temperatura da superfície do pelame, frequência respiratória e perda de calor latente na superfície cutânea e respiratória. Os registros foram feitos em intervalos de aproximadamente trinta minutos, que começavam as 8 horas e terminavam por volta das 18 horas.

#### 4.4 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos foram medidos no mesmo local onde foram avaliados os animais. As temperaturas do ar (T<sub>A</sub>, °C) e do bulbo úmido (T<sub>U</sub>, °C) foram medidas através de um psicrômetro giratório sob a sombra, aproximadamente a 1,2m do solo; a velocidade do ar (U, m s<sup>-1</sup>) medida com um termo-anemômetro digital (Alnor APM-360); a radiação solar (R<sub>S</sub>, Wm<sup>-2</sup>) medida com um piranômetro (Kipp & Zonen mod CMP-22); a pressão parcial de vapor da atmosfera (P<sub>P</sub>{tA}, kPa) medida com um analisador de vapor d'água e CO<sub>2</sub>.

A temperatura radiante média (T<sub>RM</sub>, K) foi estimada a partir dos dados de temperatura do ar, velocidade do vento e da temperatura de um globo negro (esfera oca de chapa de cobre, com 0,15 m de diâmetro e pintada de preto fosco, que foi colocado aproximadamente a 50cm do chão, próximo aos animais), a qual foi medida com a ponta de prova de um sensor (Termopar tipo K) inserido no centro do globo. A T<sub>RM</sub> foi estimada utilizando a equação proposta por Silva (2000):

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

onde  $\varepsilon_G = 0,95$  é a emissividade do globo negro, T<sub>G</sub> (K) é a temperatura do globo negro,  $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  é a constante de Stefan-Boltzman e h<sub>G</sub> (W m<sup>-2</sup> K<sup>-1</sup>) é o coeficiente de convecção do globo negro,

$$h_G = k N_U d_G^{-1}$$

onde  $d_G$  (0,15 m) é o diâmetro do globo. No caso de esferas o número de Nusselt para convecção forçada é dado pela seguinte relação,

$$N_U = 0,38R_e^{0,6}P_r^{0,37}$$

e para convecção natural,

$$N_U = 2 + 0,43G_r^{0,25}P_r^{0,25}.$$

sendo o número de Reynolds ( $R_e$ ), Prandtl ( $P_r$ ) e o de Grashof ( $G_r$ ) dado por:

$$R_e = U_G d_G \nu^{-1}$$

$$P_r = \rho c_p \nu k^{-1}$$

$$G_r = g d_G^3 \nu^{-2} T_A^{-1} (T_G - T_A)$$

onde  $U_G$  ( $m s^{-1}$ ) é a velocidade do vento próxima ao globo negro. A velocidade do ar usada para calcular o número de Reynolds foi medida próximo ao globo negro com um termo-anemômetro (Alnor APM-360). A relação  $G_r R_e^{-2}$  foi usada para especificar se a convecção é livre ( $G_r R_e^{-2} > 3$ ), forçada ( $G_r R_e^{-2} \leq 0,08$ ) ou mista ( $0,08 < G_r R_e^{-2} \leq 3$ ), conforme Chapman (1987).

As propriedades físicas da atmosfera, densidade, condutividade térmica, e a viscosidade cinemática ( $\rho$ ,  $k$ , e  $\nu$ ) além do calor latente de vaporização da água ( $\lambda$ ) foram obtidas a partir das seguintes relações:

$$\rho = \left[ 3481,9648 (101,325 e^{-\frac{zg}{287T_A}}) \right] T_A^{-1} \quad g m^{-3}$$

$$k = \rho c_p [1,888 \times 10^{-5} + 1,324 \times 10^{-7} t_A] \quad W m^{-1} K^{-1}$$

$$\nu = 1,3291 \times 10^{-5} + 9,0 \times 10^{-8} t_A \quad m s^{-1}$$

$$\lambda = 2500,7879 - 2,3737 t_A \quad J g^{-1}$$

#### 4.5 TEMPERATURA RETAL E SUPERFÍCIE CORPORAL

A temperatura retal ( $T_R$ ) foi aferida utilizando um sensor de temperatura modelo termopar PT-100 Classe A (SALVTERM 200), que foi inserido ( $\pm 6$  cm) no reto do animal. A temperatura de superfície ( $T_S$ ) foi medida em três diferentes pontos do corpo dos animais (pescoço, flanco e garupa) a fim de se obter a temperatura de superfície média, utilizando-se um termômetro de infravermelho (Fluke mod. FK576).

#### 4.6 METABOLISMO

A metodologia para determinar o calor metabólico foi por calorimetria indireta, segundo Brouwer (1965) o  $O_2$  e o  $CO_2$  contribuem, respectivamente com aproximadamente 75 e 25% para a produção total de calor, enquanto que o  $CH_4$  e o N contribuem apenas com 1%. O metabolismo foi determinado utilizando o Sistema de Estudo Metabólico ML870B80 (ADInstruments), com o ML206 Analisador de Gases Metabólico (ADInstruments) conectado na 170270 IHT ERA máscara facial e acoplado ao ML870/P PowerLab 8/30 and LabChart Pro (ADInstruments).

Em cada animal, por meio da máscara facial ventilada desenvolvida por Maia et al., (2005a), foi determinado a concentração de  $O_2$  e  $CO_2$  no ar inspirado ( $O_{2A}$  e  $CO_{2A}$ ) e no ar expirado ( $O_{2E}$  e  $CO_{2E}$ ), respectivamente, enquanto o volume respiratório corrente ( $V_R$ , Litros.resp.<sup>-1</sup>) e a frequência respiratória ( $F_R$ , resp.min.<sup>-1</sup>) foram medidos com um espirômetro (modelo ML141 ADInstruments). A produção de calor metabólico ( $M$ , Wm<sup>-2</sup>) foi então obtida pela equação (Lighton, 2008):

$$M = A^{-1}F_RV_R[0,75Q_{O_2}(O_{2A} - O_{2E}) + 0,25Q_{CO_2}(CO_{2E} - CO_{2A})]$$

Onde  $Q_{O_2}$  e  $Q_{CO_2}$  são os coeficientes calóricos (J.L<sup>-1</sup>) de  $O_2$  e  $CO_2$ , respectivamente. Estes coeficientes variam de acordo com a relação  $CO_2/O_2$  (Randall et al, 2008; Schmidt-Nilsen, 2002).  $A$  é a área de superfície corporal ( $A = 0,489 + 0,015 w$ , m<sup>2</sup>, proposta por Bennett, 1973) e  $w$  é o peso corporal (kg).

#### 4.7 PERDA DE CALOR POR EVAPORAÇÃO NA SUPERFÍCIE CORPORAL ( $E_{SC}$ , W M<sup>-2</sup>)

A evaporação cutânea ( $E_{SC}$ ) foi medida em regiões de pele selecionadas por meio de uma cápsula ventilada similar àquela desenvolvida por Maia et al., (2005b). Três regiões do corpo (pescoço, flanco e na garupa) foram medidas com base nos resultados de McLean (1963) como sendo representativas da taxa de evaporação cutânea média da superfície corporal.

O sistema da cápsula ventilada está diagramaticamente apresentado na figura 2. O ar ambiente era aspirado para dentro do tubo A aplicando-se uma sucção no tubo D. Na projeção do tubo A (1,0 cm da superfície do pelame) no interior da cápsula, existem vários orifícios com o objetivo de distribuir o ar homogeneamente sobre a área de teste. Os tubos B e D foram conectados ao analisador de CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O (Li-Cor, mod. LI-7000), enquanto este foi conectado a um compressor G. Se o registro I<sub>2</sub> estivesse aberto e I<sub>1</sub> fechado, a pressão parcial de vapor do ar entrando na cápsula (P<sub>P</sub>{t<sub>A</sub>}, kPa) era determinada pelo analisador de CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O; caso contrario, era determinada a pressão parcial de vapor do ar passando sobre a área de teste saindo da cápsula (P<sub>P</sub>{CAP}, kPa). A E<sub>C</sub> foi então estimada pela função:

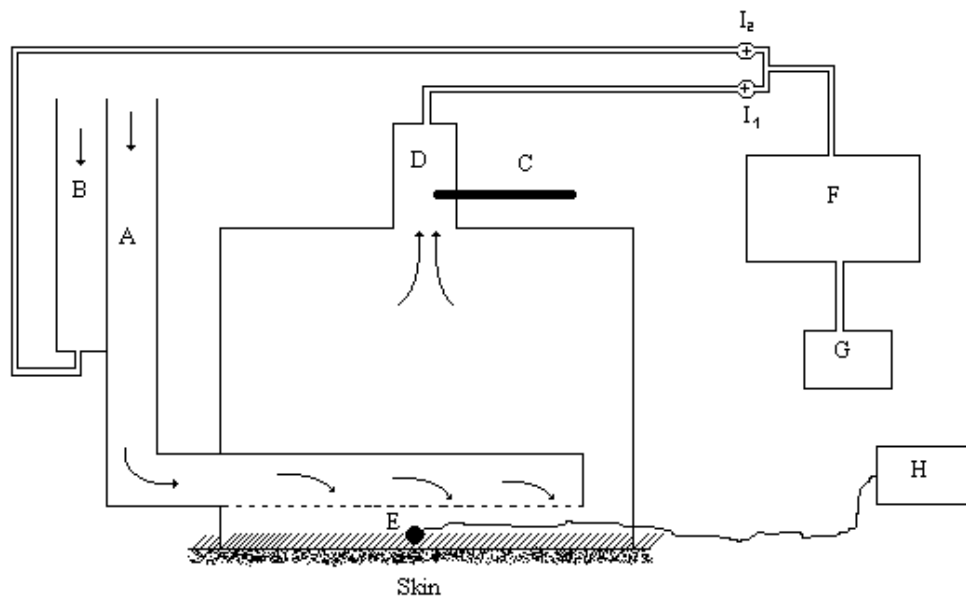
$$E_C = A_{CAP}^{-1} \lambda \phi (\psi_{CAP} - \psi_{ATM})$$

Onde  $\phi$  é a taxa de fluxo de ar através da cápsula (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) e A<sub>CAP</sub> é a área cutânea sob a cápsula (m<sup>2</sup>);  $\psi_{CAP}$  e  $\psi_{ATM}$  são os níveis de umidade absoluta do ar na saída da cápsula e na atmosfera, respectivamente (gm<sup>-3</sup>), e  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água (J.g<sup>-1</sup>). Eles são dados respectivamente por:

$$\psi_{CAP} = \frac{2166.87 P_p(CAP)}{T_s}$$

$$\psi_{ATM} = \frac{2166.87 P_p\{t_A\}}{T_A}$$

A temperatura da superfície do pelame no interior da cápsula foi medida por meio de pontas sensoras (Termoresistência PT-100 classe A) inseridas no interior da cápsula, enquanto a temperatura da superfície do pelame externo e próximo a área de teste (T<sub>S</sub>, °C) foi medida diretamente por um termômetro de infravermelho.



**Figura 2.** A forma da cápsula ventilada usada, desenvolvida por Maia et al., (2005b). Ela foi confeccionada a partir de um cano plástico de 9.6 cm diâmetro e 6.78 cm comprimento. A tubo de entrada de ar; B tubo de coleta de ar da atmosfera; C pontas sensoras (Termoresistência PT-100 classe A); D tubo de saída de ar; E ponta de prova de um termômetro de infravermelho; F CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O analisador de gás; G compressor; H termômetro de infravermelho sem contato e I registros.

#### 4.8 PERDA DE CALOR POR EVAPORAÇÃO NO SISTEMA RESPIRATÓRIO ( $E_R$ , $WM^{-2}$ )

O fluxo de calor latente no processo respiratório foi determinado pelo produto da  $F_R V_R$  pelo gradiente de concentração de H<sub>2</sub>O no ar inspirado e expirado, de acordo com Maia et. al. (2005a).

$$E_R = A^{-1} \lambda F_R V_R (\psi_{EXP} - \psi_{ATM})$$

onde  $A$  ( $m^2$ ) é a área de superfície corporal, sendo  $V_R$  ( $m^3$  resp.-1) o volume respiratório corrente,  $F_R$  (resp. min-1) a frequência respiratória e  $\psi_{EXP}$  (g m-3) a umidade absoluta do ar expirado:

$$\psi_{EXP} = \frac{2166.87 P_p(T_{EXP})}{T_{EXP}}$$

onde  $P_p\{T_{EXP}\}$  (kPa) é a pressão parcial de vapor do ar expirado e  $T_{EXP}$  (K) é a temperatura do ar expirado.

A  $P_p\{T_{EXP}\}$  foi determinada a partir de amostras do ar expirado que foram aspiradas junto ao tubo de saída de ar da 170270 IHT ERA máscara facial (ADInstruments) para o analisador de CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O (Li – Cor, mod. LI 7000), enquanto a  $T_{exp}$  foi avaliada com o MLA415/AL Nasal Temperature Probe (ADInstruments) inserido justo a frente das narinas do animal no interior da máscara facial (170270 IHT ERA). Neste sistema, se o analisador de CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O estivesse conectado ao conduto de saída da máscara, o analisador proporcionava a leitura digital da pressão parcial de vapor de água do ar expirado ( $P_p\{T_{EXP}\}$ , kPa); em caso contrário, ele proporcionava a pressão parcial de vapor do ar inspirado ( $P_p\{t_A\}$ , kPa). O volume de ar deslocado a cada movimento respiratório ( $V_R$ , Litros. resp-1) foi determinado pelo espirômetro (ML141 Spirometer).

## 4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi utilizado o programa “Statistical Analyses System” (SAS), para composição do arquivo, exame da distribuição de frequência dos dados, análises descritivas, análises de regressão e análises de variância, conforme Littell et al. (1991) e Freund e Littell (2000). Antes de proceder às análises de variância das variáveis em estudo, em primeiro lugar foi verificada a condição de normalidade da distribuição dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk.

A análise de variância foi baseada no método dos quadrados mínimos (Harvey, 1960). A comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey com nível de 5% de significância. O modelo estatístico utilizado para descrever as variáveis do estudo foi:

$$Y_{ijklm} = \mu + C_i + A_{ji} + E_k + \varepsilon_{1ijk} + h_l + I1_{il} + I2_{kl} + \varepsilon_{2ijklm}$$

onde  $Y_{ijklm}$  é a observação sobre a j-ésima cabra da i-ésima cor do pelame do k-ésimo ambiente na l-ésima hora;  $C_i$  é o efeito fixo da i-ésima cor do pelame (i = preto ou branco);  $A_{ji}$  é o efeito aleatório do j-ésimo animal dentro da i-ésima cor do pelame,  $E_k$  é o efeito fixo do k-ésimo ambiente (k= sombra ou sol),  $\varepsilon_{1ijk}$  é o erro apropriado para testar as diferenças entre as cores do pelame e os ambientes;  $h_l$  é o efeito fixo da l-ésima hora do dia nas classe (l = 1, ..., 4);  $I1_{il}$  é o efeito da interação entre a i-ésima cor do pelame com a l-ésima hora do dia nas classe ;  $I2_{kl}$  é o efeito da interação entre o k-ésimo ambiente e a l-ésima hora do dia nas classe;  $\varepsilon_{2ijklm}$  é o efeito residual, que inclui todas as demais fontes de variações não consideradas no modelo, e  $\mu$  é a média geral.

## 5 RESULTADOS

As médias gerais e erro padrão de acordo com as classes de horas, das variáveis meteorológicas, temperatura do ar (°C), pressão parcial de vapor (KPa), velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>), radiação solar (W.m<sup>2</sup>) e a temperatura radiante média, registradas durante o período de observações, estão sumarizadas na tabela 2.

**Tabela 2.** Médias ajustadas por quadrados mínimos e erro padrão das variáveis ambientais, temperatura do ar ( $T_A$ ), pressão parcial de vapor ( $P_{PTA}$ ), velocidade do vento ( $V_V$ ), radiação solar ( $R_S$ ) e temperatura radiante média (TRM), de acordo com as classes de hora.



As médias ajustadas por quadrados mínimos e erro padrão para a produção de calor metabólico (M) avaliados dentro das classes de horas, nos ambientes, sol e sombra, e de acordo com a cor do pelame, preto e branco, estão descritos na tabela 3. Para a produção de calor metabólico, a análise de variância mostrou que o efeito da cor do pelame não foi significativo ( $P>0,05$ ). O inverso ocorreu para o efeito do ambiente e hora do dia que foram significativos ( $P<0,05$ ).

**Tabela 3.** Médias ajustadas por quadrados mínimos e erro padrão da produção de calor metabólico de acordo com as classes de hora, ambiente e cor do pelame.

| <b>Efeito</b>        | <b>n</b> | <b>M (W.m<sup>-2</sup>)</b> |
|----------------------|----------|-----------------------------|
| <b>Média geral</b>   | 294      | 47,98±1,03                  |
| <b>Cor do pelame</b> |          |                             |
| Branco               | 173      | 46,14 <sup>a</sup> ±1,69    |
| Preto                | 121      | 49,78 <sup>a</sup> ±2,12    |
| <b>Ambiente</b>      |          |                             |
| Sol                  | 81       | 43,03 <sup>b</sup> ±2,52    |
| Sombra               | 213      | 50,79 <sup>a</sup> ±1,55    |
| <b>Hora do dia</b>   |          |                             |
| <10:00               | 42       | 56,44 <sup>a</sup> ±3,44    |
| 10:00 – 12:00        | 82       | 44,39 <sup>b</sup> ±2,42    |
| 12:00 – 14:00        | 52       | 41,30 <sup>b</sup> ±3,12    |
| 14:00 – 16:00        | 78       | 41,85 <sup>b</sup> ±2,88    |
| >16:00               | 40       | 49,94 <sup>ab</sup> ±3,19   |

n= número de observações. Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

As médias gerais ajustadas por quadrados mínimos e erro padrão da frequência respiratória ( $F_R$ , mov/min), temperatura retal ( $T_R$ , °C) e temperatura de superfície ( $T_S$ , °C) em função dos ambientes (sol e sombra) e da cor do pelame (preto e branco), estão descritos na tabela 4.

**Tabela 4.** Médias estimadas por quadrados mínimos e erro padrão da temperatura retal ( $T_R$ ), temperatura de superfície ( $T_S$ ) e frequência respiratória ( $F_R$ ) conforme o ambiente e cor do pelame.

| <b>Efeito</b>        | <b>n</b> | <b><math>T_S</math> (°C)</b> | <b><math>T_R</math> (°C)</b> | <b><math>F_R</math> (mov.min<sup>-1</sup>)</b> |
|----------------------|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Média geral</b>   | 1196     | 36,46                        | 38,87                        | 58,26                                          |
| <b>Cor do pelame</b> |          |                              |                              |                                                |
| Branco               | 1154     | 36,10±0,09 <sup>a</sup>      | 38,81±0,02 <sup>a</sup>      | 58,13±1,50 <sup>a</sup>                        |
| Preto                | 842      | 37,81±0,11 <sup>a</sup>      | 39,01±0,04 <sup>a</sup>      | 64,30±2,16 <sup>a</sup>                        |
| <b>Ambiente</b>      |          |                              |                              |                                                |
| Sombra               | 637      | 35,15±0,08 <sup>b</sup>      | 38,83±0,02 <sup>a</sup>      | 43,65±1,40 <sup>b</sup>                        |
| Sol                  | 1359     | 38,74±0,11 <sup>a</sup>      | 38,99±0,04 <sup>a</sup>      | 78,78±2,24 <sup>a</sup>                        |

n= número de observações. Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

A média geral observada para a frequência respiratória foi de 58,26 movimentos/minuto. Na análise de variância da  $F_R$  observou-se efeito significativo ( $P<0,01$ ) de ambiente, no entanto, não houve diferença significativa ( $P>0,05$ ) para as classes de hora e para cor do pelame. A média geral ao sol foi 78,78 mov.min<sup>-1</sup>, enquanto a sombra foi de 43,65 mov.min<sup>-1</sup>. A média geral observada para a temperatura retal foi de 38,87°C. A análise de variância para  $T_R$ , mostrou que não houve nenhuma mudança significativa para as duas condições ambientais, assim como para as classes de hora e cor do pelame. A média geral observada para a temperatura de superfície foi de 36,46°C. Para a  $T_S$  houve efeito significativo de ambiente ( $P<0,01$ ) e da interação entre as classes de horas e ambiente ( $P<0,05$ ), no entanto, não houve diferença significativa ( $P>0,05$ ) para as classes de hora e cor do pelame. A média geral para a  $T_S$  ao sol foi de 38,74°C enquanto a sombra foi de 35,15°C.

As médias ajustadas por quadrados mínimos e erro padrão da perda de calor na superfície cutânea ( $E_{SC}$ ) e respiratória ( $E_R$ ) avaliados dentro das classes de horas, nos ambientes, sol e sombra, e de acordo com cor do pelame (preto e branco) estão descritos na tabelas 5.

**Tabela 5.** Médias ajustadas por quadrados mínimos e erro padrão da perda de calor respiratória ( $E_R$ ) e na superfície cutânea ( $E_{SC}$ ) de acordo com a hora do dia, ambiente, e cor do pelame.

| <b>Efeito</b>        | <b>n</b> | <b><math>E_R</math> (<math>W.m^{-2}</math>)</b> | <b><math>E_{SC}</math> (<math>W.m^{-2}</math>)</b> |
|----------------------|----------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Média geral</b>   | 294      | 6,55±0,17                                       | 46,57±1,65                                         |
| <b>Cor do pelame</b> |          |                                                 |                                                    |
| Branco               | 173      | 6,73 <sup>a</sup> ±0,26                         | 54,94 <sup>a</sup> ±2,12                           |
| Preto                | 121      | 7,52 <sup>a</sup> ±0,22                         | 57,04 <sup>a</sup> ±1,81                           |
| <b>Ambiente</b>      |          |                                                 |                                                    |
| Sol                  | 81       | 8,46 <sup>a</sup> ±0,31                         | 78,36 <sup>a</sup> ±2,42                           |
| Sombra               | 213      | 5,79 <sup>b</sup> ±0,18                         | 33,62 <sup>b</sup> ±1,47                           |
| <b>Hora do dia</b>   |          |                                                 |                                                    |
| <10:00               | 42       | 7,48 <sup>a</sup> ±0,40                         | 52,25 <sup>a</sup> ±3,24                           |
| 10:00 – 12:00        | 82       | 7,29 <sup>a</sup> ±0,27                         | 56,73 <sup>a</sup> ±2,24                           |
| 12:00 – 14:00        | 52       | 7,67 <sup>a</sup> ±0,38                         | 61,28 <sup>a</sup> ±2,99                           |
| 14:00 – 16:00        | 78       | 7,07 <sup>a</sup> ±0,34                         | 55,84 <sup>a</sup> ±2,72                           |
| >16:00               | 40       | 6,09 <sup>a</sup> ±0,48                         | 53,23 <sup>a</sup> ±3,76                           |

n= número de observações. Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem pelo teste de Tukey ( $P>0,05$ ).

A média geral para a evaporação na superfície cutânea foi de 46,57  $W.m^{-2}$ . A análise de variância mostrou que o efeito do ambiente foi significativo ( $P<0,05$ ) para a  $E_{SC}$ . No entanto, não houve diferença significativa ( $P>0,05$ ) para as classes de hora e cor do pelame. A média para a  $E_{SC}$  ao sol foi de 78,36  $W.m^{-2}$ , enquanto a sombra foi 33,62  $W.m^{-2}$ . A média geral para a evaporação respiratória foi de 6,55  $W.m^{-2}$ . A análise de variância mostrou que o efeito do ambiente foi significativo ( $P<0,05$ ) para a  $E_R$ . No entanto, não houve diferença significativa ( $P>0,05$ ) para as classes de hora e cor do pelame. A média para a  $E_R$  ao sol foi 8,46  $W.m^{-2}$ , enquanto a sombra foi 6,55  $W.m^{-2}$ . A perda de calor na superfície cutânea representou 89,34% da perda evaporativa total quando os animais estavam expostos a radiação solar direta, e 80,52% quando estavam protegidos, sendo o restante perdido por evaporação respiratória.

## 6 DISCUSSÃO

Os dados descritos na tabela 2 mostraram que durante todo o período de observação, as condições ambientais eram muito estressantes para os animais, principalmente quando

estes foram expostos a radiação solar direta, que chegou a atingir valor médio de  $965 \text{ W.m}^{-2}$  nos horários mais quentes do dia. A temperatura ambiente atingiu valores máximos de  $37^{\circ}\text{C}$ , enquanto que a temperatura radiante média atingiu valores próximos a  $82^{\circ}\text{C}$ .

Como exposto, a produção de calor metabólico teve pouca alteração ao longo do dia, apenas a classe de hora 1 diferiu das classes 2, 3 e 4, entanto, quando os animais foram expostos a radiação solar direta, ocorreram alterações significativas no metabolismo, mostrando que o ambiente natural onde os animais vivem normalmente é muito complexo, e nele, não só a temperatura do ar, mas também outros fatores como velocidade do vento, radiação e umidade do ar, podem causar alterações no comportamento fisiológico dos animais. Se os processos fisiológicos e comportamentais em resposta ao estresse não forem eficientes o bastante, o animal decresce o consumo diário de alimento para diminuir sua produção de calor metabólico e assim manter sua homeotermia. Esse provavelmente é um processo evolutivo para reduzir o incremento calórico oriundo da alimentação que acaba resultando em declínio nos desempenhos produtivos e reprodutivos, uma vez que a manutenção da vida é uma prioridade.

Muitos trabalhos tem demonstrado que com a elevação da temperatura do ar ocorre uma diminuição no metabolismo (GONZALEZ-JIMENEZ E BLAXTER, 1962; HOLMES E MCLEAN, 1975; WEBSTER et al., 1978; FINCH 1985; SCHRAMA et al., 1992; MAIA et al., 2005ab). Gayão (1992) verificou uma queda significativa na taxa metabólica de caprinos submetidos a estresse térmico ( $87,84 \text{ mlO}_2 \text{ min}^{-1}\text{kg}^{-0,75}$ ) em relação aos animais controle ( $34,46 \text{ mlO}_2 \text{ min}^{-1}\text{kg}^{-0,75}$ ). Appleman & Delouche (1958), avaliando as respostas de caprinos submetidos a elevação da temperatura ambiente de  $20^{\circ}\text{C}$  para  $40^{\circ}\text{C}$ , concluíram que o limite ao estresse calórico para esta espécie está entre  $35 - 40^{\circ}\text{C}$ . Ocorrendo falhas na regulação do calor em temperaturas ambiente iguais ou superiores a  $40^{\circ}\text{C}$ . Esta diminuição da taxa metabólica dos animais representa um mecanismo de adaptação fisiológica, com a finalidade de diminuir a carga de calor no organismo a ser dissipada, evitando sobrecarga térmica e hipertermia consequente. Os animais com pelame predominantemente preto apresentaram taxa metabólica semelhante aos animais com pelame predominantemente branco. Esses resultados vão de encontro aos encontrados por Dmi'el et al. (1980) que estudando cabras brancas e pretas no inverno do deserto, em Israel, não obtiveram diferença entre elas à sombra quanto ao metabolismo. No entanto, expostas ao sol, as

cabras pretas reduziam 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).

A elevação da  $F_R$  ao sol teve por objetivo aumentar a taxa de ventilação respiratória, com a finalidade de elevar a  $E_R$  e manter a homeotermia. Os resultados encontrados neste estudo para a  $F_R$  discordam de Silva et. al. (2006) que encontraram diferenças para esta variável nos turnos manhã (31 mov/min) e tarde (54 mov/min) em caprinos no semiárido paraibano. Souza et al. (2005), trabalhando com diferentes grupos genéticos de caprinos no semi-árido também verificaram que houve uma variação da  $F_R$  com relação ao período do dia, para os animais em condições de estresse térmico, sendo a média no turno da tarde (60 mov/min) superior ao turno da manhã (42 mov/min). Neiva et al. (2004) ao estudarem o efeito do ambiente sobre ovinos confinados em condição de sol e sombra, encontraram diferenças de ambiente apenas para o turno da tarde, justificando que durante o período da manhã os animais ainda não tinham sido submetidos à alta carga calórica. Os maiores valores da  $F_R$  ao sol, indicam uma necessidade de utilização do sistema termorregulador, e pode ser atribuído ao fato dos caprinos terem absorvido mais calor do ambiente ao sol, fato que pode ser constatado pela temperatura radiante média (tabela 2) necessitando assim, dissipar mais calor por evaporação. Alterações na frequência 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) como sendo a primeira resposta corporal à elevação da temperatura do ar.

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. 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). A habilidade de um animal resistir em ambientes quentes é proporcional à sua capacidade em dissipar calor latente na superfície corporal como resultado da sudação (FINCH et al., 1982; MCLEAN 1963b) ou no sistema respiratório (STEVENS 1981; SILVA et al., 2002) e ao mesmo tempo diminuir a produção de calor metabólico. No presente estudo, a diminuição do

metabolismo ao sol foi acompanhada por uma elevação na perda de calor latente na superfície cutânea. Esse aumento na  $E_{SC}$  pode ser explicado pelo aumento da  $T_s$  ao sol, que foi em média 4°C superior a média da  $T_s$  a sombra. Este ganho é resultado da maior temperatura radiante média. Isto porque a radiação térmica torna-se nessa situação, uma via de ganho de calor.

Para Santos (2005), a temperatura de superfície é um importante parâmetro na avaliação da dissipação de calor. Souza et. al. (2007) avaliando a temperatura superficial de caprinos de diferentes grupos raciais, encontrou médias inferiores para esta característica, quando comparadas ao presente estudo, além disso, estes autores encontraram diferenças entre as médias ao longo do dia, sendo as médias do turno da tarde (31,3°C) superior ao turno da manhã (27,8°C). Estes resultados foram muito parecidos com os encontrados por Silva et. al. (2006), que também encontraram diferenças para a temperatura de superfície de cabras ao longo do dia sendo as médias da tarde (31,4°C) superiores ao do turno da manhã (28,4°C).

Oliveira et. al. (2007) também encontraram diferenças para a temperatura de superfície em cabras Saanen quando avaliadas em dois ambientes, sol e sombra, sendo a média quando expostas a radiação solar superior (33,03°C) a média a sombra (32,77°C).

Os animais expostos à radiação solar ganharam muito mais calor, em adição, aumentaram a temperatura da superfície (tabela 4), o que incrementa a pressão de vapor de água e, conseqüentemente, evaporam água em maior quantidade. A dissipação de calor na forma sensível depende do gradiente térmico entre a superfície do animal e a temperatura do meio. De acordo com McDowell (1972), a condução térmica tem grande importância no processo de dissipação de calor, desde o núcleo central até a superfície exterior do animal, bem como da superfície ao meio que o rodeia. A radiação e a convecção são também importantes nesse processo, desde que a temperatura da superfície supere a do meio. Caso a temperatura do ar se eleve, o gradiente térmico entre a superfície e o meio, decresce. Como conseqüência, a temperatura superficial tende a elevar-se, reduzindo o gradiente térmico entre o núcleo central e a pele, implicando em diminuição da perda de calor pelos meios sensíveis e aumentando pelos meios latentes.

A média geral obtida neste trabalho para a perda de calor por evaporação cutânea foi de 78,36 W.m<sup>-2</sup> quando os animais estavam expostos a radiação solar direta, e 33,62 W.m<sup>-2</sup>

quando estavam protegidos. O valor médio para  $E_{SC}$  encontrado ao sol foi próximo a média geral encontrada por Ligeiro et. al. (2006) trabalhando com caprinos. Silva & Staling (2003) encontraram taxa de perda de calor por evaporação cutânea em cabras de  $46,14 \text{ W.m}^{-2}$ , enquanto Oliveira (2004) estimou taxa de sudação média de  $178,8 \text{ g.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$  para caprinos sob temperaturas entre  $22,0$  e  $33,0^{\circ}\text{C}$ , o que corresponde a uma perda de calor por evaporação cutânea de, aproximadamente,  $119,2 \text{ W.m}^{-2}$ . Esses valores são de difícil comparação, em razão dos diferentes grupos genéticos avaliados, das diferentes condições ambientais e diferentes metodologias empregadas.

Segundo Mitchell et al. (2002), o animal aumenta consideravelmente sua temperatura externa para facilitar a perda de calor latente na superfície cutânea. Resultados similares em que à sombra, os valores de evaporação cutânea apresentaram respostas menores que ao sol foram encontrados por Dmiél & Robertshaw (1983), Borut et al. (1979) e Silva & Starling (2003).

Além disso, outras características podem influenciar a perda de calor, como por exemplo, a movimentação do ar dentro da camada de pêlos, as características morfológicas do pelame, como o diâmetro, número de pêlos, comprimento médio dos pêlos, espessura do pelame. De acordo com Ligeiro et. al. (2006) os caprinos possuem características de pelame favoráveis, sendo pouco densos, formado por pêlos finos e compridos, característica amplamente favorável em ambientes quentes, pois permite maior movimentação do ar entre os pêlos, removendo o ar aprisionado no interior da capa.

A termólise por evaporação respiratória encontrada neste estudo representou apenas 10,66% da evaporação respiratória total quando os animais estavam expostos a radiação solar direta, e 19,48% quando estavam protegidos (tabela 5). Esses valores foram inferiores aos encontrados por Silva & Starling (2003) com ovinos, em que a  $E_{SC}$  representou cerca de 37% da evaporação total. Os valores do presente estudo foram mais próximos aos encontrados por Maia et. al. (2005) trabalhando com vacas Holandesas, mostrando que a evaporação cutânea foi responsável por 80% da perda total de calor, sendo o restante perdido por evaporação respiratória. Esses resultados mostram que com a exposição dos animais ao sol, a evaporação é o único caminho efetivo de eliminação de calor corporal,

não sendo suficiente para manter a homeotermia, se faz necessário diminuir a produção de calor interno. Por outro lado, se o calor interno não for totalmente dissipado para o ambiente, parte dessa energia térmica passa a ser estocada nos tecidos internos. No entanto, nenhuma mudança significativa foi encontrada para a  $T_R$  nas duas condições ambientais, sol e sombra (tabela 4). Para McDowell (1974), uma animal que modifica seus processos até alcançar novo nível, apresentando elevação mínima da temperatura corporal, se considera mais adaptado para viver em ambiente quente, do que outros que variou seu equilíbrio térmico.

Neste estudo, a  $T_R$  tanto ao sol como a sombra, apresentou-se dentro da normalidade, que pode variar nos caprinos adultos de 38,5 °C a 40 °C para Baccari Jr et al. (1996), e entre 37,4 a 40,3 °C para Schmidt-nielsen (2002). Souza et. al. (2005) estudando parâmetros fisiológicos de caprinos no semiárido, não encontrou diferenças significativas para a temperatura retal ao longo do dia, sendo que a média (39,57°C) encontrada por estes autores foi superior ao do presente estudo. Pereira et. al. (2008) avaliando o comportamento fisiológico de caprinos da raça Saanen no Semiárido, não encontraram diferenças para a temperatura retal antes e depois a exposição ao sol. As temperaturas retais encontradas estão ainda bem próximas daquelas encontradas por Souza et al. (2003) e Oliveira et al. (2005) em caprinos mantidos na sombra e no sol no semi-árido. Lu (1989) observou que, com a elevação da temperatura do ar, aumentava a temperatura retal de cabras. 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. Além disto, o animal pode perder energia térmica, ou ainda estocar a energia térmica para diminuir a perda por calor latente.

Segundo Yousef et. al. (1968), o tipo de animal adequado para os trópicos deveria possuir, entre outras características, a habilidade para conservar a produção de calor corporal permitindo que os processos produtivos e reprodutivos ocorram em um nível normal, mesmo quando existam fatores climáticos limitantes. Observações de Kibler e Brody (1954) mostraram que vacas Holandesas produziam o máximo de calor, enquanto



mantinham estável sua temperatura retal em temperatura ambiente entre 4,4 a 15,5; acima dessa zona de termoneutralidade, a temperatura retal se elevava e a produção de calor declinava, enquanto que abaixo dessa faixa a produção de calor aumentava. Davis et. al. (1976) medindo a taxa metabólica através de calorimetria indireta em fêmeas bovinas da raça Hereford, propuseram a seleção de animais adaptados a produção em climas quentes, através da habilidade para manter sua taxa metabólica constante. Os resultados deste estudo mostram que, quando os animais foram expostos a radiação solar direta, os processos fisiológicos em resposta ao estresse térmico não foram eficientes o bastante, logo, os animais tiveram que diminuir a produção de calor metabólico para assim manter a homeotermia. Isto reforça a importância de sistemas de sombreamento em ambiente tropical, sendo essa proteção essencial no semi-árido, devido aos elevados níveis de radiação (SILVA et al., 2010).

## **7 CONCLUSÕES**

Os resultados deste trabalho mostraram que as cabras do semi-árido brasileiro quando expostas a radiação solar direta, aumentaram consideravelmente a perda de calor latente na superfície cutânea e reduziram a produção de calor metabólico numa tentativa de manter a temperatura interna constante, que assim permaneceu independente da hora do dia e das condições ambientais.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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

APPLEMAN, R. D., DELOUCHE, J. C. Behavioral, physiological and biochemical responses of goats to temperature, 0° to 40° C. **J. Anim. Sci.**, v.17, p.326-335, 1958.

AZEVEDO, M.; PIRES, M.F. A; SATURNINO, H.M.S. et al. Estimativa de níveis críticos superiores do índice de temperatura e umidade para vacas leiteiras 1/2, 3/4 e 7/8 holandês-zebu em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2000-2008, 2005.

BACCARI JÚNIOR, F.; GONÇALVES, H.C.; MUNIZ, L.M.R. et al., Milk production, serum concentrations of thyroxine and some physiological responses of Saanen-Native goats during thermal stress. **Revista Veterinária Zootécnica.**; n. 8, p. 9-14, 1996.

BRANSON RD. The measurement of energy expenditure: instrumentation, practical considerations and clinical application. **Respir Care** 1990; 35: 640-59.

BRASIL, L.H.A.; WECHESLER, F.S.W.; BACCARI JÚNIOR, F. et al. 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, n.6, p.1632-1641, 2000.

BROUWER, E. In Energy Metabolism p.441 [K.L. Blaxter, editor]. **London: Academic Press**. 1965.

CAHILL Jr GF. Intermediary metabolism of protein, fat and carbohydrate. In Thorn GH, Adams RD, Braunwald E (eds): *Harrison's Principles of Internal Medicine*. 8th ed. New York, McGraw-Hill Book, 1977; 352-64.

DEVLIN JT, Horton ES. Necesidades energéticas. In: **Conocimientos actuales sobre nutrición**. 6a ed. Washington, OPAS, 1991; 1-7.

DMI'EL, R.; PREVULOTZKY, A.; SHKOLNIK, A. Is a a Black coat in the desert a means of saving metabolic energy? **Nature**, v. 283, n. 5749, p. 761-2, 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.

DMI'EL, R. and SHKOLNIK, A. 1979. Heat balance of resting and walking goats: comparison of climatic chamber and exposure in the desert. **Physiol. Zool.**, 52: 105-112.

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

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.

FREITAS, M. M. S. **Efeito de época do ano e de grupos Genéticos sobre o Comportamento Fisiológico de Caprinos em Condições Naturais do Semi-árido paraibano** Patos –PB CSTR/UFCG, 2007 38p.

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. **J. Thermal Biol.** 26, 537-545, 2001.

GONZALEZ, J.E.; BLAXTER, K.L. The metabolism and thermal regulation of calves in the first month of life. **Brit. J. Nutr.** 16, 199-212, 1962.

HAENLEIN, G.F.W., 2001. Past, present, and future perspectives of small ruminant dairy research. **J. Dairy Sci.** v84, 2097–2115.2001.

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

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

HOLMES, C. W.; MCLEAN, N. A. Effect of air temperature and air movement on the heat produced by young Friesian and Jersey calves, with some measurements of the effects of artificial rain. **N. Z. J. Agric. Res.** 18, 277-288, 1975.

HOUSSAY BA, Caldeyro-Barcia R, Covian MR *et al.* El intercambio material y energético del organismo. In: **Fisiología humana.** Buenos Aires, Libreria El Ateneo Editorial, 1969; 487-502.

JESSEN, C; DMI'EL, R.; CHOSHNIAK, 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.

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.

KERSLAKE, D.McK. **The stress of hot environments**. Cambridge: Cambridge University Press, 1972. 316p.

KIBLER, H.H.; BRODY, S. **Influence of wind on heat exchange and body temperature regulation in Jersey, Holstein, Brown Swiss and Brahman cattle**. Missouri: Missouri Agricultural Experiment Station Research, 1954. 39p.

KLEIBER, M. Bionergetica animal. **Zaragoza: Acribia**, 428p. 1972

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.

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 et al. Perda de calor por evaporação cutânea associada às características morfológicas do pelame de cabras leiteiras criadas em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.2, p.544-549, 2006.

Lighton, J.R.B. 2008: **Measuring metabolic rates: A manual for scientists**. New York: Oxford University Press, 201p.

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.; LOUREIRO, C.M.B. Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v.49, n.5, p.332-336, 2005a.

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, n.1, p.17-22, 2005b.

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

McDOWELL, R. G. **Bases biológicas de la producción animal em zonas tropicales**. Zaragoza: Acríbia, 1972. 692 p.

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

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

MCLEAN, J.A.; DOWNIE, A.J.; JONES, C.D.R.; STOMBOUGH, D.P.; GLASBEY, C.A. Thermal adjustments of steers (*Bos taurus*) to abrupt changes in environmental temperatures. **Journal Agricultural Science** v.100, p.305-314, 1983a.

MCLEAN, J.A.; STOMBOUGH, D.P.; DOWNIE, A.J. Body heat storage in steers (*Bos taurus*) in fluctuating thermal environments. **J. Agric. Sci.** v.100, p.315-322, 1983b.

MEDEIROS, G.R. Peso a cobertura, ganho de peso durante a gestação e prolificidade de cabras nativas, exóticas e mestiças no semiárido. Areia: UFPB, 1996. 50f. **Dissertação** (Mestrado).

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 aridzone mammals. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part B 131, p.571-585, 2002.

Mueller CB, Thomas EJ. Nutritional needs of the normal adult. In Ballinger WF, Collins JA, Drucker WR (eds): **Manual of surgical nutrition**. Philadelphia, WB Saunders, 1975; 142-65.

NEIVA, J. N. M.; TEIXEIRA, M.; TURCO, S. H. N. Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos Santa Inês mantidos em confinamento na região litorânea do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 668- 678, 2004.

NOGUEIRA FILHO, A. Ações de fomento do banco do Nordeste e potencialidades da caprino-ovinocultura. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAPRINOS E OVINOS DE CORTE, 2. 2003. João Pessoa - PB. **Anais...** João Pessoa: Governo do Estado da Paraíba. P. 43-55. 2003.

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., Aiura, F.S., Maia, A.S.C. e Silva, R.G. 2006. Evaporação total em cabras Saanen sob ambientes de sol e a sombra. Em: 43ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, PB.

OLIVEIRA, F.M.M.; DANTAS, R. T.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B.; MEDEIROS, A. N. Parâmetros de conforto térmico e fisiológico de ovinos Santa Inês, sob diferentes sistemas de acondicionamento. **Construções Rurais e Ambiência**, Campina Grande, p.1-13, 2005.

OLIVEIRA, A.A.P., LIMA, V.P.M.S. Aspectos econômicos da caprino-ovinocultura tropical brasileira. In: SEMANA DA CAPRINOCULTURA E DA OVINOCULTURA TROPICAL BRASILEIRA, 1994, Sobral. **Anais...** Sobral: EMBRAPA-CNPC, 1994.

PEREIRA, G.M. **Avaliação do Comportamento Fisiológico de Caprinos da Raça Saanen no Semi -árido paraibano**, 2008. 33f. Graduação em Medicina Veterinária. Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

PORTER, V. **Goats of the World**. London: Farming Press, 1996, p. 151-156.

SANTOS, J.R.S.; SOUZA, B.B.; SOUZA, W.H.; CEZAR, M.F.; TAVARES, G.P. Avaliação da adaptabilidade de ovinos da raça Santa Inês, Morada Nova e mestiços de Dorper, no Semi-árido. In: reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 40, 2003, Santa Maria, RS. **Anais**. Santa Maria: SBZ, 2003. p. 1-5.

SANTOS, F.C.B.; SOUZA, B.B.; ALFARO, C.E.P. et al. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do Nordeste brasileiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.1, p.142-149, 2005.

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.

SCHRAMA, J.W.; VAN DER HEL, W.; ARIELI, A.; VERSTEGEN, M.W.A. Alteration of energy metabolism of calves fed below maintenance during 6 to 14 day of age. **J. Anim. Sci.** 70, 2527-2538, 1992.



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

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

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

SHELTON, J.M.; FIGUEIREDO, E.A.P. Types os sheep and goat in Northesast of Brasil. **International Goat and Sheep Research**, v. 4, n. 1, p. 158- 268, 1986.

SILVA, Elisângela Maria Nunes da; SOUZA, Bonifácio Benicio de; SILVA, G. DE A.; CÉZAR, M. F.; SOUZA, Wandrick Hauss de; BENICIO, T. M. A.; FREITAS, M. M. S.; FREITAS. Avaliação da adaptabilidade de caprinos exóticos e nativos em sistema de criação semi-intensivo no semi-árido paraibano (prot. 3565/05). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 03, p. No-Prelo, 2006.

SILVA, G.A.; SOUSA, B.B.;ALFARO, C.E.P.; SILVA, E.M.N.; AZEVEDO, S.A.; NETO, J.A.; SILVA, R.M.N. Efeito da época do ano sobre os parâmetros fisiológicos de caprinos no semi-árido. In: simcra-simposio de construções rurais e ambiência. Campina Grande, 2004. **Anais...** Campina Grande: UFPB, 2004.

SILVA, E. M.N.; Avaliação de características de adaptabilidade de caprinos exóticos e nativos no Semi-árido paraibano Patos – PB CSTR/UFCG, 78p. 2006.

SILVA R.G ; Guilhermino, Magda Maria ; Moraes, Débora Andréia E. Façanha . Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, p. 5-11, 2010.

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

SIMONSON DC, DeFronzo R. Indirect calorimetry: methodological and interpretative problems. **Am J Physiol** 1990; 258: E399-E412.

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.

SOUZA, B. B.; SOUZA, E. D.; CEZAR, M. F. et al. Temperatura superficial e índice de tolerância ao calor de caprinos de diferentes grupos raciais no semi-árido nordestino. **Ciência e Agrotecnologia**. v.32, n.1, p.275-280, 2008.

SOUZA, B.B.; BRITO SEGUNDO, E.A.; SANTOS, J.R.S.; SOUZA, W.H.; CEZAR, M.F.; CAMARGO, C.A.G. Avaliação da adaptabilidade de ovinos de diferentes genótipos às condições climáticas do semi-árido através de respostas fisiológicas e gradientes térmicos. In: congresso pernambucano de medicina veterinária, 5.; seminário nordestino de caprinoovinocultura . **Anais...** Recife, p. 281-282, 2003.

SOUZA, E. D.; SOUZA, B. B.; SOUZA, W. H. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no Semi- Árido. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.29, n.1, p.177-184. 2005.

YOUNG, B.A.; KERRIGAN, B.; CHRISTOPHERSON, R.J. A versatile respiratory pattern analyzer for studies of energy metabolism of livestock. ***Can. J. Anim. Sci.*** 55:17-22, 1975.

WEBSTER, A.J.F.; GORDON, J.G.; MCGREGOR, R. The cold tolerance of beed and dairy type calves in the first weeks of life. ***Anim. Prod.*** 26, 85-96, 1978.

WELCH GR. Thermodynamics and living systems: problems and paradigms. ***J Nutr*** 1991; 121: 1.902-6.