



Universidade Federal  
de Campina Grande

**JORDÂNIO INÁCIO MARQUES**

**DILATAÇÃO PUPILAR COMO INDICADOR DE ESTRESSE  
TÉRMICO EM CAPRINOS MESTIÇOS BOER MANTIDOS  
EM CÂMARA CLIMÁTICA**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2017**

**JORDÂNIO INÁCIO MARQUES**

**DILATAÇÃO PUPILAR COMO INDICADOR DE ESTRESSE TÉRMICO EM  
CAPRINOS MESTIÇOS BOER MANTIDOS EM CÂMARA CLIMÁTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Construções e Ambiência, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. José Pinheiro Lopes Neto

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2017**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG**

- M357d Marques, Jordânio Inácio.  
Dilatação pupilar como indicador de estresse térmico em caprinos mestiços boermantidos em câmara climática / Jordânio Inácio Marques. – Campina Grande, 2017.  
50 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.  
"Orientação: Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto".  
Referências.
1. Caprinocultura. 2. Fisiologia Animal. 3. Pupilometria Animal. I. Lopes Neto, José Pinheiro. II. Título.

CDU 636.39(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

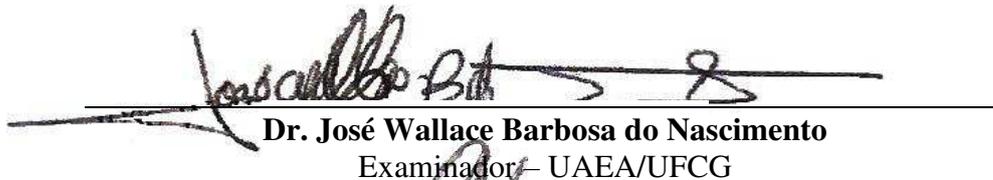
JORDÂNIO INÁCIO MARQUES

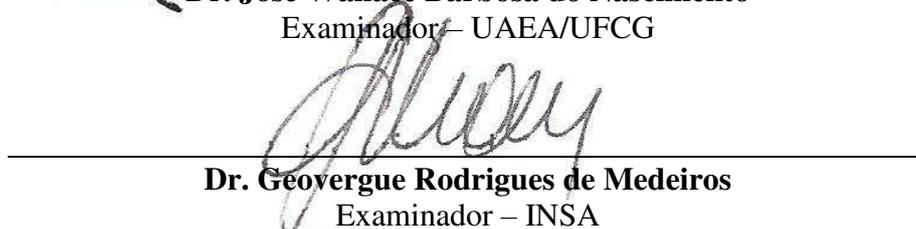
**DILATAÇÃO PUPILAR COMO INDICADOR DE ESTRESSE  
TÉRMICO EM CAPRINOS MESTIÇOS BOER MANTIDOS EM  
CÂMARA CLIMÁTICA**

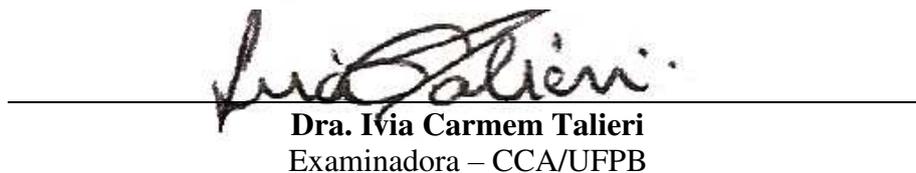
APROVADA: 02 de setembro de 2016

BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Pinheiro Lopes Neto**  
Orientador – UAEA/UFPG

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento**  
Examinador – UAEA/UFPG

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Geovergue Rodrigues de Medeiros**  
Examinador – INSA

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Ivá Carmem Talieri**  
Examinadora – CCA/UFPG

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a meus pais Raimunda Inácio Marques e José Marques Dedé e ao meu  
irmão Jozelio Inácio Marques

## EPÍGRAFE

“Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque tu estás comigo”.

Salmos 23:4

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, ser maravilhoso, fonte de energia e vida, do qual tirei forças em momentos tão difíceis nesta caminhada.

À Universidade Federal de Campina Grande, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos e financiamento da pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto, por sua confiança, amizade, orientação, apoio e disponibilidade constante, fundamental para a realização deste trabalho.

Aos amigos da pós-graduação, Jaciara, Valquíria e Patrício por todo o incentivo prestado e pela importante ajuda na coleta dos dados.

Aos membros do Grupo de Pesquisa em Construções Rurais e Ambiente (GCAMB) por todo o apoio prestado.

Aos meus pais, pelos ensinamentos e valores a mim concedidos, em especial.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

### PARTE 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

Figura 1. Íris canina, onde os melanócitos são concentrados em uma faixa larga anterior ao músculo dilatador, como visto na metade inferior desta imagem (Original ampliado x1000).....21

Figura 2. (A) Pupila de felino, com fenda típica orientada verticalmente na qual os músculos do esfíncter (linhas escuras) se entrelaçam, criando uma ação de fechamento durante a constricção da pupila; (B) musculo do esfíncter circular e musculo dilatador radial, como encontrado em primatas, aves cães, porcos, etc.; (C) musculo esfíncter horizontal característicos dos herbívoros.....22

Figura 3. Músculo dilatador da pupila (DM) de um canino que consiste em uma única camada de fibras musculares lisas sobrepostas. Posteriormente, os núcleos (setas) de cada célula são parcialmente circundados por grânulos de pigmento. PE - Epitélio posterior. (Original ampliado x1000).....23

### PARTE 2 – ARTIGO

Figura 1. (A) Baia metálica para o alojamento dos animais; (B) Ilustração da câmara climática para simulação das condições ambientais; e (C) Disposição das baias no interior da câmara climática.....34

Figura 2. Estrutura de hardware para aquisição das imagens da pupila dos animais.....36

Figura 3. Imagem da pupila de um dos animais com escala de referência fixada ao chifre.....37

|  |    |
|--|----|
| Figura 4. Medidas pupilares de um dos animais avaliados.....   | 38 |
| Figura 5. Termograma da cabeça do animal, destacando as temperaturas mínima, máxima e média da pupila.....                                       | 39 |
| Figura 6. Comportamento da temperatura retal, superficial e pupilar dos animais em função do acréscimo na temperatura ambiente.....              | 44 |
| Figura 7. Correlação entre a área pupilar e: (A) Temperatura do ar (°C); (B) FR (mov min-1); (C) FC (bat min-1); (D) TS (°C); e (E) TR (°C)..... | 47 |
| Figura 8. Categorias de classificação do estresse fisiológico devido a razão de estresse pupilar (REP).....                                      | 48 |

## LISTA DE TABELAS

### PARTE 2 – ARTIGO

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Diâmetro menor (d) e maior (D), Área (A) e Temperatura pupilar (TP) dos animais.....   | 41 |
| Tabela 2. Frequência Respiratória (FR), Frequência Cardíaca (FC), Temperatura Superficial (TS) e Temperatura Retal (TR) dos animais para as condições avaliadas..... | 45 |
| Tabela 3. Ganho de peso e conversão alimentar dos caprinos mestiços submetidos aos três diferentes tratamentos.....  | 49 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                   | <b>12</b> |
| 1.1. CAPRINOCULTURA NO BRASIL.....                   | 12        |
| 1.2. CARACTERÍSTICAS DOS CAPRINOS.....               | 13        |
| 1.3. CAPRINOS MISTIÇOS DAS RAÇAS BOER + SPRD.....    | 14        |
| 1.4. IMPORTÂNCIA DO CLIMA NA PRODUÇÃO ANIMAL.....    | 15        |
| 1.5. TEMPERATURA E ESTRESSE TÉRMICO EM CAPRINOS..... | 16        |
| 1.6. VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS.....                     | 17        |
| 1.7. ÍRIS E DILATAÇÃO PUPILAR.....                   | 19        |
| <b>2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>            | <b>23</b> |
| <b>PARTE 2 – ARTIGO.....</b>                         | <b>28</b> |
| RESUMO.....  | 30        |
| ABSTRACT.....  | 31        |
| INTRODUÇÃO.....                                      | 31        |
| MATERIAL E MÉTODOS.....                              | 34        |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                          | 41        |
| CONCLUSÕES.....                                      | 48        |
| AGRADECIMENTOS.....                                  | 49        |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                      | 49        |

## **PARTE 1 – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **1.1. CAPRINOCULTURA NO BRASIL**

A caprinocultura é uma das práticas pecuárias mais antigas do Brasil, cuja origem remota aos tempos da ocupação portuguesa (Gonçalves Júnior, 2011). Ocorrendo com maior intensidade na região Nordeste do país, onde nove em cada dez cabeças do rebanho caprino brasileiro estão concentradas (IBGE, 2014).

Segundo dados do Ministério da Agricultura (2016), a caprinocultura juntamente com a ovinocultura tem se destacado no agronegócio brasileiro, com um rebanho de aproximadamente 14 milhões de animais, distribuído em 436 mil estabelecimentos agropecuários, atribuindo ao Brasil o 18º lugar no ranking mundial de exportações de carne e leite caprino e ovino.

A criação de caprinos tem sido difundida no mundo, sendo criados nas mais diversas regiões, muitas vezes, em situações inóspitas, tanto nutricionais como ambientais e isso decorre da facilidade dos caprinos adaptarem-se as mais diferentes dietas, associada à sua acentuada capacidade de aclimação (Pereira et al., 2015).

A produção caprina vem se caracterizando como uma importante atividade social e econômica para a região Nordeste brasileira (região de clima semiárido), desempenhando papel fundamental para melhoria da pecuária regional, sendo vista como excelente possibilidade de rentabilidade econômica (Roberto & Souza, 2011).

Mesmo os caprinos sendo considerados animais rústicos e com alta capacidade de aclimação às condições térmicas estressantes, as características climáticas são obstáculos

para a melhoria dos números de produção apresentados uma vez que na maior parte do ano, os dados referentes à temperatura, umidade, radiação solar e velocidade dos ventos combinados proporcionam um ambiente de criação com efeitos desfavoráveis aos animais além da redução na produção de forragens. Tais efeitos podem ser vistos na forma de queda de produção de carne, redução do consumo de alimentos e água, queda da taxa de fertilidade, redução do ganho de peso, dentre outros (Roberto et al., 2010).

## **1.2. CARACTERÍSTICAS DOS CAPRINOS**

Os caprinos são animais homeotérmicos e como tais se caracterizam pela capacidade de manter a temperatura corporal dentro de limites estreitos de variação, utilizando-se para esse fim, uma série de mecanismos de regulação térmica que incluem as respostas fisiológicas e comportamentais. Segundo Scarpellini & Bicego (2010) animais homeotérmicos possuem mecanismos termorreguladores autonômicos que permitem ao organismo evitar amplas variações em sua temperatura do núcleo corporal, mesmo que a temperatura ambiente sofra grandes alterações. Entre esses mecanismos estão os de ganho (conservação e produção) e os de perda de energia, na forma de calor; tais mecanismos são controlados pelo sistema nervoso central (Lucena et al., 2013).

Estudos realizados em regiões de clima tropical apontam que os animais mantidos em condições de estresse térmico (altas temperaturas do ar) apresentaram redução no desempenho produtivo quando comparados às raças semelhantes mantidas em clima temperado, ficando isto relacionado às dietas inadequadas e também as altas amplitudes térmicas a que os animais da primeira situação foram submetidos. Em ambiente quente, caracterizado por alta temperatura e radiação solar, os caprinos sofrem mais com estresse térmico, reduzem a ingestão de alimentos, aumentam o consumo de água, perdem peso, apresentam declínio

significativo na produção de carne e utilizam mecanismos termorreguladores para manter a homeotermia (Souza et al., 2012; Lucena et al., 2013).

Souza et al. (2008) recomenda que a temperatura ambiente ideal para a criação de caprinos deve situar-se entre 20 e 30°C, com umidade relativa entre 50 e 70% sendo esta considerada a zona de conforto (ZCT) para esses animais. Porém, Lucena et al. (2013) relatam que a temperatura de conforto para animais de espécies criadas na região do semiárido brasileiro pode variar entre 20,6 a 27,8°C, sendo dependente do grau de aclimação, nível de produção, estado de prenhez, movimento do ar e umidade relativa. Hafez (1995) descreve que os caprinos conseguem manter sua homeotermia na faixa de temperatura compreendida entre 15 e 25°C. Já Baêta & Souza (2010) recomendam que a zona de conforto térmico para caprinos deve situar-se entre 20 e 30°C, sendo a temperatura efetiva crítica inferior e superior de 20 e 34°C, respectivamente.

### **1.3. CAPRINOS MISTIÇOS DAS RAÇAS BOER + SPRD**

Ao longo dos anos, tem-se observado um maior interesse dos pecuaristas em melhorar a criação dos pequenos ruminantes em função do aumento da demanda de carne no mercado consumidor. Nesse sentido, a carne dos caprinos vem se destacando como uma alternativa de fonte proteica economicamente viável para as condições do Nordeste (Oliveira et al., 2008).

Uma das alternativas capazes de melhorar a produção de carne caprina é o cruzamento das raças locais (adaptadas ao clima regional) com raças exóticas de maior eficiência produtiva de carne (Cardellino, 1989), aliado a uma melhoria na alimentação e nas instalações de exploração dos animais. Tais cruzamentos são utilizados, entre outras razões, para se obter carcaça com melhor conformação e qualidade (Oliveira et al., 2008).

A raça Boer é uma raça exótica originária da África do Sul, resultado do cruzamento de várias raças, principalmente Indiana e Angorá, criada especificamente para produção de carne (Andriquetto et al., 2002). Animais da raça Boer se destacam como melhoradores de plantéis comuns, aumentando, consideravelmente, a produção de carne desses cruzamentos Silva (2008).

De acordo com Silva (2008), a utilização de caprinos Boer, em criações comerciais, se deve principalmente às excelentes características de sua carne, que apresenta baixo teor de gordura e boa palatabilidade e aos índices de produtividade demonstrados, tais como boa conversão alimentar, precocidade e quantidade de carne na carcaça.

Os caprinos da raça Boer são criados principalmente para a exploração de carne, constituindo um mercado especializado na África do Sul (Almeida & Schwalbach, 2000; Barry & Godke, 2000). O Boer possui alta percentagem de rendimento de carcaça quando comparado aos demais pequenos ruminantes, o peso vivo de 38 a 43 kg e 25 kg de carcaça é considerado o melhor peso de comercialização para caprinos jovens, geralmente entre cinco e nove meses, quando apresentam carne saborosa, macia e atrativa em comparação com animais velhos, cuja carne é dura e de sabor desagradável (Barry & Godke, 2000; Sousa et al., 1997).

#### **1.4. IMPORTÂNCIA DO CLIMA NA PRODUÇÃO ANIMAL**

O clima é um dos principais fatores que atua interferindo sobre a vida dos animais, podendo ser favorável ou não à sua sobrevivência, portanto, a capacidade dos animais em se adaptarem a um determinado ambiente depende de um conjunto de ajustes fisiológicos (Silva et al., 2006).

O clima exerce efeito sobre o comportamento, o bem-estar e conseqüentemente sobre a produção e a produtividade do animal, atuando como um fator regulador da exploração animal com finalidade zootécnica (Souza, Salles & Araújo, 2012).

O conhecimento dos fatores ambientais que modificam o desempenho dos animais, bem como a escolha de genótipos adaptados às condições climáticas que lhes são impostas é um ponto que deve ser considerado em um sistema de exploração pecuária (Lima & Barbosa Filho, 2013). Neste sentido torna-se fundamental o conhecimento das espécies e raças que apresentem potencial genético com maior capacidade de adaptabilidade, sendo capazes de sobreviver, produzir e reproduzir-se em condições adversas, principalmente nos ambientes tropicais e intertropicais enfatizando sempre o bem-estar animal (Silva et al., 2006).

### **1.5. TEMPERATURA E ESTRESSE TÉRMICO EM CAPRINOS**

O estresse calórico é um dos fatores que pode limitar a produção caprina nos trópicos, em particular no semiárido. Para que esses animais mantenham sua temperatura interna controlada, faz-se necessário o equilíbrio entre o ganho e a perda de calor. A referência fisiológica dessa variável é obtida mediante a temperatura retal que pode variar, nos caprinos adultos, de 38,5 a 40,0 °C (Souza et al., 2008).

O estresse calórico resulta em um decréscimo na produção de carne, distúrbios reprodutivos e distúrbios alimentares. Esses processos decorrem em função dos efeitos da temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, vento e intensidade/duração do agente estressor. A capacidade do animal de resistir aos rigores do estresse calórico tem sido avaliada fisiologicamente através da temperatura retal e da frequência respiratória, uma vez que a temperatura ambiente representa a principal influência climática sobre essas duas variáveis

fisiológicas, seguidas em ordem de importância, da radiação solar, umidade relativa do ar e da movimentação do ar (Pereira et al., 2011).

Souza et al. (2005) citam que o impacto do calor sobre as variáveis fisiológicas dos caprinos, resulta em um aumento percentual de 3,3% na temperatura retal e 194,0% na frequência respiratória, com alterações, respectivamente, de 38,6 para 39,9 °C e de 32,0 para 94,0 mov min<sup>-1</sup>; logo, a elevação da frequência respiratória pode ser uma maneira eficiente de perder calor por curtos períodos, porém caso seja mantida durante um longo período de tempo, poderá resultar em sérios problemas para os animais.

A frequência respiratória acelerada e ininterrupta pode interferir na ingestão de alimentos e ruminação dos animais, adicionar calor endógeno a partir da atividade muscular e desviar a energia que poderia estar sendo utilizada em outros processos metabólicos e produtivos. Um aumento na temperatura retal (TR) significa que o animal não está eliminando o calor excedente do organismo e se este não é dissipado o estresse por calor se manifesta. Comumente, a frequência respiratória (FR) também é usada como parâmetro para medir o estresse térmico. Assim, se uma FR alta for observada e o animal foi eficiente em eliminar o calor, poderá não ocorrer o estresse calórico (Souza et al., 2005).

## **1.6. VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS**

O ambiente com altas temperaturas causa estresse térmico em caprinos (animais homeotérmicos) alterando suas funções fisiológicas, estando este estresse também associado à alta ou baixa umidade relativa do ar e a elevada incidência da radiação solar. Fato este comprovado por Roberto et al. (2014), ao observarem que a temperatura retal dos caprinos sofreu interação com a hora do dia, apresentando um maior valor durante o período da tarde

em relação ao da manhã, onde ocorre os picos de temperatura do ar e incidência de radiação solar.

A medida da temperatura retal é usualmente utilizada como indicador de adaptabilidade fisiológica dos animais às condições ambientais, pois sua alteração mostra que os mecanismos termorreguladores tornaram-se insuficientes para o controle de sua temperatura interna (Façanha et al., 2013).

Fatores extrínsecos podem atuar na variação da temperatura retal como a hora do dia, ingestão de alimentos e de água, estado nutricional, temperatura ambiente, sombreamento, velocidade dos ventos, estação do ano, exercícios físicos e radiação solar. Fatores intrínsecos também podem estar relacionados com a alteração da temperatura retal de cada animal de modo individual, como por exemplo, a idade, a raça, o sexo, o estado fisiológico e a capacidade de adaptação do animal ao ambiente (Carvalho et al., 1995).

A frequência respiratória (FR) também é usada frequentemente como parâmetro para medir o estresse calórico. De acordo com Silva et al. (2011) a FR é um excelente indicador do estado de estresse em que se encontra o animal, mas deve ser adequadamente interpretada, porque pode ser influenciada pela espécie, idade, excitação, fatores ambientais, ingestão de alimentos, gestação e tamanho do animal.

Outra variável a ser observada é a frequência cardíaca (FC) onde esta pode se elevar devido ao aumento da temperatura corpórea, fato que ocorre quando a temperatura ambiente aumenta acentuadamente. Quando a temperatura ambiente é alta, existe um aumento da intensidade do bombeamento ventricular, de modo que aumenta o fluxo sanguíneo da pele, permitindo maiores perdas de calor ocorrendo, nesta situação, um aumento do débito cardíaco (Lucena, 2012). Silva (2000) cita que, quando um animal se encontra em estresse pelo calor,

ocorre vasodilatação periférica, resultando em baixa pressão sanguínea e, em consequência, o trabalho cardíaco é incrementado ocasionando, nestes animais, aumento na FC.

### **1.7. ÍRIS E DILATAÇÃO PUPILAR**

A íris é um órgão do sistema visual, sendo a porção mais anterior da túnica vascular (Vieth et al., 1995), ela consiste em um anel pigmentado que fica entre a córnea e o cristalino, tendo como principal função de controlar a quantidade de luz que entra no segmento posterior através de uma pupila central. A contração da pupila reduz a quantidade de luz que entra no olho. O estreitamento da pupila também elimina a porção periférica do sistema refrativo e diminui as aberrações lenticulares esféricas e cromáticas. Durante os períodos de luz reduzida, a pupila dilata-se amplamente, permitindo a estimulação máxima das células fotorreceptoras (Samuelson, 1999).

A íris (borda pupilar) possui um musculo liso, esfíntérico, responsável pela contração da pupila; e um de estrutura mioepitelial, dispendo-se radialmente, que ajuda a produzir a dilatação da pupila. A inervação motora da íris é autônoma, com fibras colinérgicas e adrenérgicas inervando tanto o esfínter quanto o musculo dilatador da pupila, embora se atribua ao primeiro a predominância de uma inervação parassimpática e à manutenção da tonicidade do segundo, uma inervação simpática (Bicas, 1997).

Conforme relatado por Dyce et al. (1997), a íris é um anel plano de tecido ligado em sua periferia à esclera pelo ligamento pectíneo e ao corpo ciliar. A íris divide o espaço entre a córnea e a lente em câmara anterior e posterior, respectivamente, que se comunicam pela pupila. Ambas são preenchidas pelo humor aquoso. O local onde a superfície anterior da íris encontra a túnica fibrosa é o ângulo iridocorneano, lá o humor aquoso produzido pelo corpo ciliar é reabsorvido dentro da circulação venosa (Frandsen et al., 2005).

A cor da íris varia consideravelmente entre cada indivíduo e entre as várias raças ou espécie dos animais. A cor depende da quantidade de pigmentação do estroma da íris. A variação de cor resulta principalmente da quantidade de pigmentação presente, do tipo de pigmentação e da densidade de vascularização. Em muitos casos, a coloração da íris dos animais domésticos tende a variar de marrom escuro para marrom dourado, verde-azul e azul-verde (Samuelson, 1999).

A periferia da íris consiste de um círculo arterial anular maior do qual derivam muitos vasos da íris. A localização do anel circular maior varia entre os indivíduos, sendo mais profunda dentro da base da íris, mas ocasionalmente colocada dentro da região anteroinferior do corpo ciliar (Figura 1). Observações da angioarquitetura da íris foram limitadas a uma quantidade limitada de espécies, incluindo primatas, cães, gatos, porcos, cavalos e ratos. As artérias radiais da pupila são geralmente tortuosas na maioria dos animais. O grau de tortuosidade pode refletir diferenças na mobilidade das pupilas entre as espécies. (Samuelson, 1999).



Figura 1. Íris canina, onde os melanócitos são concentrados em uma faixa larga anterior ao músculo dilatador, como visto na metade inferior desta imagem (Original ampliado x1000).

**Fonte:** Adaptado de Samuelson (1999).

O esfíncter pupilar é um músculo plano de finos feixes circulares de fibras musculares não estriadas em mamíferos e fibras musculares estriadas em não mamíferos, ficando localizado no estroma próximo da pupila, podendo sua forma variar entre as espécies de acordo com a forma da pupila. De acordo com Samuelson (1999) nos mamíferos a pupila pode-se apresentar de forma arredondada em primatas, cães e porcos; achatada verticalmente no caso dos felinos; e oval no plano horizontal em herbívoros (cavalos, bois, ovelhas, caprinos), conforme mostrado na Figura 2.

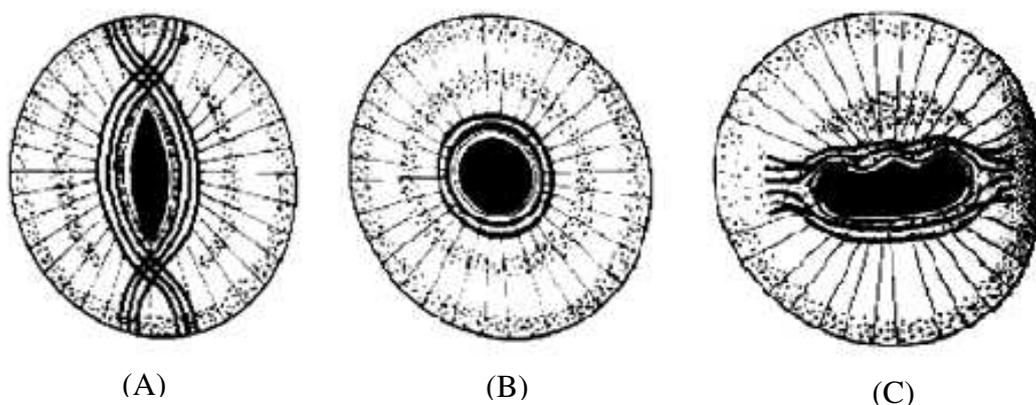


Figura 2. (A) Pupila de felino, com fenda típica orientada verticalmente na qual os músculos do esfíncter (linhas escuras) se entrelaçam, criando uma ação de fechamento durante a constricção da pupila; (B) músculo do esfíncter circular e músculo dilatador radial, como encontrado em primatas, aves cães, porcos, etc.; (C) músculo esfíncter horizontal característicos dos herbívoros.

**Fonte:** Adaptado de Samuelson (1999).

O músculo dilatador da íris é uma única camada de fibras musculares não estriadas no estroma posterior que se estende do esfíncter até a periferia da íris. Estas fibras musculares contêm pigmento ao redor de seus núcleos e são inervadas simpaticamente (Figura 3). A região basal de cada célula, que contém os miofilamentos, se sobrepõe uma sobre a outra de forma semelhante a uma telha. Esta camada celular pode ser considerada como um

mioepitélio pigmentado altamente desenvolvido. A superfície posterior da íris é então coberta por duas camadas de epitélio pigmentado que continuam com o epitélio do corpo ciliar. A camada anterior, que forma o músculo dilatador, é diretamente contínua com o epitélio pigmentado do corpo ciliar, enquanto a camada posterior, densamente pigmentada, é diretamente contínua com o epitélio não pigmentado do corpo ciliar. Em caprinos (herbívoros), ambas as camadas podem estender-se anteriormente ao longo da margem pupilar para formar a região granular da íris (Samuelson, 1999).

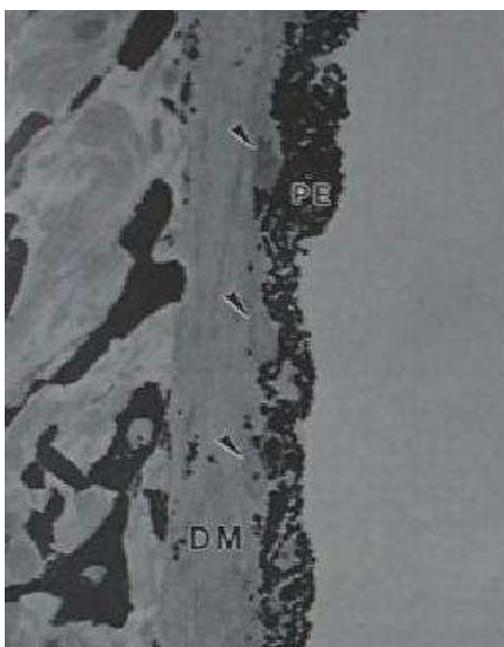


Figura 3. Músculo dilatador da pupila (DM) de um canino que consiste em uma única camada de fibras musculares lisas sobrepostas. Posteriormente, os núcleos (setas) de cada célula são parcialmente circundados por grânulos de pigmento. PE - Epitélio posterior. (Original ampliado x1000).

**Fonte:** Adaptado de Samuelson (1999).

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. M. de; SCHWALBACH, L. Breves considerações sobre a raça caprina Boer. *Veterinária Técnica-Revista do Sindicato Nacional de Medicina veterinária*. 1(2): 10-15, 2000.
- ANDRIGUETTO, J. M. et al. **Nutrição animal**. 5.ed. São Paulo: Nobel, 2002. 395p.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: Conforto animal**. 2.ed. Viçosa: EDUFV, 2010. 269p.
- BARRY, D. M.; GODKE, R. A. **The Boer goat - the potential for cross breeding**. 2000. Department of Animal Science, LSU Agricultural center-Louisiana State University, Louisiana.
- BICAS, H. E. A. Morfologia do sistema visual. In: Simpósio Oftalmologia para o clínico, 1997, Ribeirão Preto: **Anais...** São Paulo, 1997. p.7-15.
- CARDELLINO, R.A. Produccion de carne ovina basada em cruzamientos. In: JAIME, T. R.; JUAN, C. M. **XII Jornadas científicas de la sociedad española de ovinotecnia y Caprinotecnia**. 10.ed. Aragón: Editorial Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Zaragoza, Aragón y Rioja, 1989. 283p.
- CARVALHO, F. A.; LAMMOGLIA, M. A.; SIMÕES, M. J. Breed effects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native cattle subjected to heat stress. **J. Anim. Sci.** 73(12): 3570-3573, 1995.
- DYCE, K. M.; SACK, W. O.; WENSING, C. J. G. **Tratado de Anatomia Veterinária**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. 663p.

FAÇANHA, D. A. E. et al. Tendências metodológicas para avaliação da adaptabilidade ao ambiente tropical. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.** 14(1): 91-103, 2013.

FRANDSON, R. D.; WILKE, W. L.; FAILS, A. D. **Anatomia e Fisiologia dos Animais de Fazenda.** 6.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. 454p.

GONÇALVES JÚNIOR, O. Entre bois e cabras: uma visão histórica sobre mentalidades e valores nos sertões. **Estudos Históricos (Rio de Janeiro)**, 24(47): 49-68, 2011.

HAFEZ, E. S. E. **Reprodução animal.** 6.ed. São Paulo: Manole, 1995. 582p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal.** 2014. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\\_2014\\_v42\\_br.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2014_v42_br.pdf)> Acessado em: 15 de Agosto de 2016.

LIMA, R. de; BARBOSA FILHO, J. A. D. Impacto do manejo pré-abate no bem-estar de caprinos e ovinos. **J. Anim. Behav. Biometeorol.** 1(2): 52-60, 2013.

LUCENA, L. F. de. **Respostas fisiológicas de caprinos nativos em ambiente controlado.** Campina Grande: UFCG, 2012, 77p. Tese de Doutorado.

LUCENA, L. F. et al. Respostas fisiológicas de caprinos nativos mantidos em temperatura termoneutra e em estresse térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17(6): 672-679, 2013.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Caprinos e Ovinos.** 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/caprinos-e-ovinos>> Acessado em: 24 de Novembro de 2016.

- OLIVEIRA, A. N. de; SELAIVE-VILLARROEL, A. B.; MONTE, A. L. S.; COSTA, R.G. COSTA, L. B. A. Características da carcaça de caprinos Anglo-Nubiano, Boer e sem padrão racial definido. **Ciência Rural**, 38(4): 1073-1077, 2008.
- PEREIRA, G. M. et al. Avaliação do comportamento fisiológico de caprinos da raça saanen no semiárido paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. 6(1): 83-88, 2011.
- PEREIRA, F. B. et al. Perfil hematológico de ovelhas Santa Inês suplementadas a pasto no terço final de gestação e no pós-parto. **Ciência Animal Brasileira**. 16(3): 350-357, 2015.
- ROBERTO, J.V.B. et al. Parâmetros hematológicos de caprinos de corte submetidos a diferentes níveis de suplementação no semi-árido paraibano. **Revista Caatinga**. 23(1): 127-132, 2010.
- ROBERTO, J. V. B.; SOUZA, de B. B. Fatores ambientais, nutricionais e de manejo e índices de conforto térmico na produção de ruminantes no semiárido. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**. 6(2): 08-13, 2011.
- ROBERTO, J. V. B. et al. Gradientes térmicos e respostas fisiológicas de caprinos no semiárido brasileiro utilizando a termografia infravermelha. **J. Anim. Behav. Biometeorol**. 2(1): 11-19, 2014.
- SAMUELSON, D. A. Ophthalmic anatomy. In: GELATT, K. N. **Veterinary ophthalmology**. 3.ed. Maryland: Lippincott Williams & Wilkins, 1999. 1782p.
- SCARPELLINI, C. DA S.; BÍCEGO, K. C. Regulação da temperatura corporal em diferentes estados térmicos: ênfase na anapirexia. **Revista da Biologia**. 5(1): 1-6, 2010.

- SILVA, R. G. da. **Introdução à bioclimatologia animal**. 1.ed. São Paulo: Nobel, 2000. 286p.
- SILVA, M. N. da et al. Avaliação da adaptabilidade de caprinos exóticos e nativos no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**. 30(3): 516-521, 2006.
- SILVA, R. G. **Biofísica Ambiental: Os animais e seu ambiente**. 1.ed. Jaboticabal: Editora FUNEP, 2008, 300 p.
- SILVA, C. M. B. A. et al. Efeito das condições climáticas do semiárido sobre o comportamento fisiológico de caprinos mestiços F1 Saanen x Boer. **Revista Caatinga**, 24(1): 195-199, 2011.
- SOUSA, W. H. de; LEITE, R. de M. H.; LEITE, P. R. de M. **Raça Boer - Caprino tipo carne**. 1.ed. João Pessoa: EMEPA-PB, 1997. 30p.
- SOUZA, E. D. de et al. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no semi-árido. **Ciência e Agrotecnologia**. 29(1): 177-184, 2005.
- SOUZA, B. B. de et al. Respostas fisiológicas de caprinos de diferentes grupos genéticos no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**. 32(1): 314-320, 2008.
- SOUZA, P. T.; SALLES, M. G. F.; ARAÚJO, A. A. de. Impacto do estresse térmico sobre a fisiologia, reprodução e produção de caprinos. **Ciência Rural**. 42(10): 1888-1895, 2012.
- VIETH, H.; SALOTI, S. R. A; PASSEAROTTI, S. 1.ed. **Guia de prevenção ocular em hanseníase**. São Paulo: Talmilep, 1995. 67p.

**PARTE 2 – ARTIGO****DILATAÇÃO PUPILAR COMO INDICADOR DE ESTRESSE TÉRMICO EM  
CAPRINOS MESTIÇOS BOER MANTIDOS EM CÂMARA CLIMÁTICA**

Artigo redigido conforme normas da revista Small Ruminant Research

## DILATAÇÃO PUPILAR COMO INDICADOR DE ESTRESSE TÉRMICO EM CAPRINOS MESTIÇOS BOER MANTIDOS EM CÂMARA CLIMÁTICA

### RESUMO

Os caprinos são animais homeotérmicos considerados rústicos do ponto de vista bioclimático, porém em condições térmicas desfavoráveis ocorre a redução de sua eficiência produtiva, devido à necessidade do acionamento e manutenção dos mecanismos termorregulatórios. O presente estudo foi realizado com objetivo de avaliar a dilatação pupilar como indicador do estresse térmico em caprinos mestiços Boer, mantidos em condições ambientais controladas (câmara climática). Foram avaliados 6 caprinos machos mestiços da raça Boer, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado submetidos às temperaturas de 26, 29 e 33 °C e umidade relativa do ar média de 68%. Foram monitoradas a dilatação e temperatura pupilar (DP e TP), Frequência Respiratória (FR), Frequência Cardíaca (FC), Temperatura Superficial (TS) e Retal (TR), Ganho de Peso (GP) e Conversão Alimentar (CA). Constatou-se o aumento da DP dos animais com a elevação da temperatura do ar, observando-se um acréscimo de 26,96 mm<sup>2</sup> de área pupilar quando comparadas as temperaturas de 26 e 33°C. Ocorreu a elevação nas TP, FR, FC, TS e TR, assim como o decréscimo no GP e na CA, em resposta ao aumento da temperatura do ar. A DP mostra-se como uma resposta eficiente para se mensurar o nível de estresse térmico a que os caprinos estão submetidos.

**Palavras-chave:** caprinocultura, fisiologia animal, pupilometria animal

**PUPILARY DILATION AS THERMAL STRESS INDICATOR IN BOER  
CROSSBRED GOATS MAINTAINED IN CLIMATE CHAMBER**

**ABSTRACT**

Goats are homeothermic animals considered to be rustic from the bioclimatic point of view, but in unfavorable thermal conditions the reduction of their productive efficiency occurs due to the need of the activation and maintenance of thermoregulatory mechanisms. The present study was carried out to evaluate pupil dilation as an indicator of thermal stress in Boer crossbred goats maintained under controlled environmental conditions (climatic chamber). Six male crossbred goats of the Boer breed were evaluated, distributed in a completely randomized design submitted to temperatures of 26, 29 and 33 °C and relative humidity of 68%. The pupillary dilation (PD) and pupillary temperature (PT), Respiratory Frequency (FR), Heart Rate (HR), Surface and Rectal Temperatures (ST and RT), Weight Gain (WG) and Feed Conversion (FC) were monitored. It was observed the increase of the PD of the animals with the elevation of the air temperature, observing an increase of 26.96 mm<sup>2</sup> pupillary area when comparing the temperatures of 26 and 33 °C. The increase in PT, RF, HR, ST and RT, as well as the decrease in WG and FC, occurred in response to the increase in air temperature. PD is shown as an efficient response to measure the level of thermal stress to which goats are subjected.

**Keywords:** animal physiology, animal pupillometry, goat

## INTRODUÇÃO

A caprinocultura de corte se destaca como potencial para o desenvolvimento socioeconômico do Nordeste brasileiro, devido ao elevado grau de adaptação da espécie às condições climáticas regionais, sendo essa região caracterizada por apresentar valores elevados de temperatura do ar devido à alta incidência de radiação solar, o que interfere negativamente no desenvolvimento dos animais, onde estes deixam de utilizar suas reservas energéticas para produção, redirecionando-as para o acionamento e manutenção dos mecanismos termorreguladores. A eficiência produtiva é ampliada quando os animais se encontram em condições de conforto térmico, dispensando o acionamento desses mecanismos e destinando maior parte de suas reservas para o seu desenvolvimento (Souza et al., 2012).

A raça Boer é caracterizada por sua eficiência na produção de carne, sendo utilizada no cruzamento com raças nativas menos produtivas a fim de se melhorar os índices zootécnicos. No entanto, para uma melhor produção desta raça em escala comercial no semiárido brasileiro é necessário que o fator climático seja levado em consideração.

Um aspecto relevante para estimativa do estresse em animais mantidos em ambientes térmicos desfavoráveis é a observação de algumas alterações fisiológicas que são moduladas pelo sistema nervoso autônomo (SNA). No entanto, pode-se dizer que os progressos tecnológicos para a aquisição e análise desses sinais biológicos, a fim de inferir significados em relação às condições a que os animais estão acometidos, ainda é um grande desafio e necessita de maior desenvolvimento, podendo-se afirmar que o reconhecimento desses padrões não atingiu ainda níveis satisfatórios (Pedrotti et al., 2014).

Pesquisas que relacionam a dilatação pupilar com o estresse e fatores psicológicos em animais não são comumente encontradas, porém em seres humanos estudos já vêm sendo desenvolvidos há mais de 50 anos (Laeng et al., 2012). A função primária da pupila é a

regulação da quantidade de luz que entra na retina, através da dilatação ou constrição da íris. A reação da pupila a estímulos luminosos ocorre para evitar a exposição excessiva e danos na retina (Helene & Helene, 2011), podendo ser afetada também por fatores como excitação, emoção e estresse.

Laeng et al. (2012) conduzindo experimento com iluminação constante, constataram a ocorrência da dilatação pupilar, quando submeteram pessoas a atividades envolvendo atenção e decisões comportamentais. Isso se justificou pelo aumento na produção e liberação de monoaminas (norepinefrina) nas mediações do *locus coeruleus*, como consequência da liberação desses neurotransmissores, ocorreu a ativação do sistema nervoso autônomo (parte do sistema nervoso que está relacionada ao controle da vida vegetativa), ocasionando a dilatação pupilar.

A pupilometria (medição do diâmetro pupilar) é uma ferramenta viável para o estudo de processos cognitivos e emocionais (Granholm & Steinhauer, 2004). A pupila representa a abertura da íris, a estrutura pigmentada contendo dois grupos musculares antagonistas: os do esfíncter e o músculo dilatador da pupila. A pupila é conhecida de modo a refletir as atividades do SNA: Em particular, foi demonstrado que a pupila amplia-se (midríase) como consequência de esforço mental e exposição a variantes estressoras (Lempert et al., 2015; Pedrotti et al., 2014). Com isso, surge a hipótese de que ocorrerá o aumento substancial nas dimensões da pupila dos animais quando submetidos a situações de estresse térmico. A amplitude média das dimensões da pupila deve aumentar, indicando maiores níveis de estresse conforme se eleva a temperatura do ambiente.

Atualmente é comum avaliar o nível do estresse em animais por meio de avaliações fisiológicas, tais como: frequência cardíaca, frequência respiratória, temperatura retal, temperatura superficial, etc. na busca de avaliações de condições estressantes para animais em

produção industrial. A pupilometria será um dos métodos a ser utilizado no futuro por não proporcionar contato direto do operador com o animal, assim como determinações precisas possibilitando o desenvolvimento de modelos matemáticos para diferentes níveis de estresse.

Esse trabalho teve como objetivo medir através de imagens digitais a dilatação pupilar de caprinos mestiços Boer + SPRD (sem padrão racial definido) submetidos à diferentes temperaturas em câmara climática, correlacionar esta variável com as respostas fisiológicas e estabelecer padrões de variação com o estresse térmico sofrido.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido nas dependências do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *campus* de Campina Grande, Paraíba (7° 13' 51" Sul, 35° 52' 54" Oeste).

Os procedimentos realizados durante esta pesquisa foram aprovados pela Comissão de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Protocolo CEP nº 284-2015.

Inicialmente foram selecionados seis caprinos machos inteiros mestiços de  $\frac{3}{4}$  da raça Boer e  $\frac{1}{4}$  Sem Padrão Racial Definido (SPRD), destinados à reprodução de rebanhos com aptidão à produção de carne, com peso médio de  $25,06 \pm 4,43$  kg e idade média de seis meses sendo estes adquiridos em lotes de três animais divididos em duas fases experimentais.

Os animais foram alojados em baias metálicas com dimensões de 1,15 x 0,50 x 0,84 m de comprimento, largura e altura, respectivamente (Figura 1A), dispostas no interior de uma câmara climática (Figura 1B) que possui 5,70 m<sup>2</sup> de área construída com 2,60 m de pé-direito, conforme mostrado no esquema da Figura 1C, onde os animais foram alojados em

delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos (temperaturas do ar) e seis repetições (animais), considerando-se as duas fases experimentais.

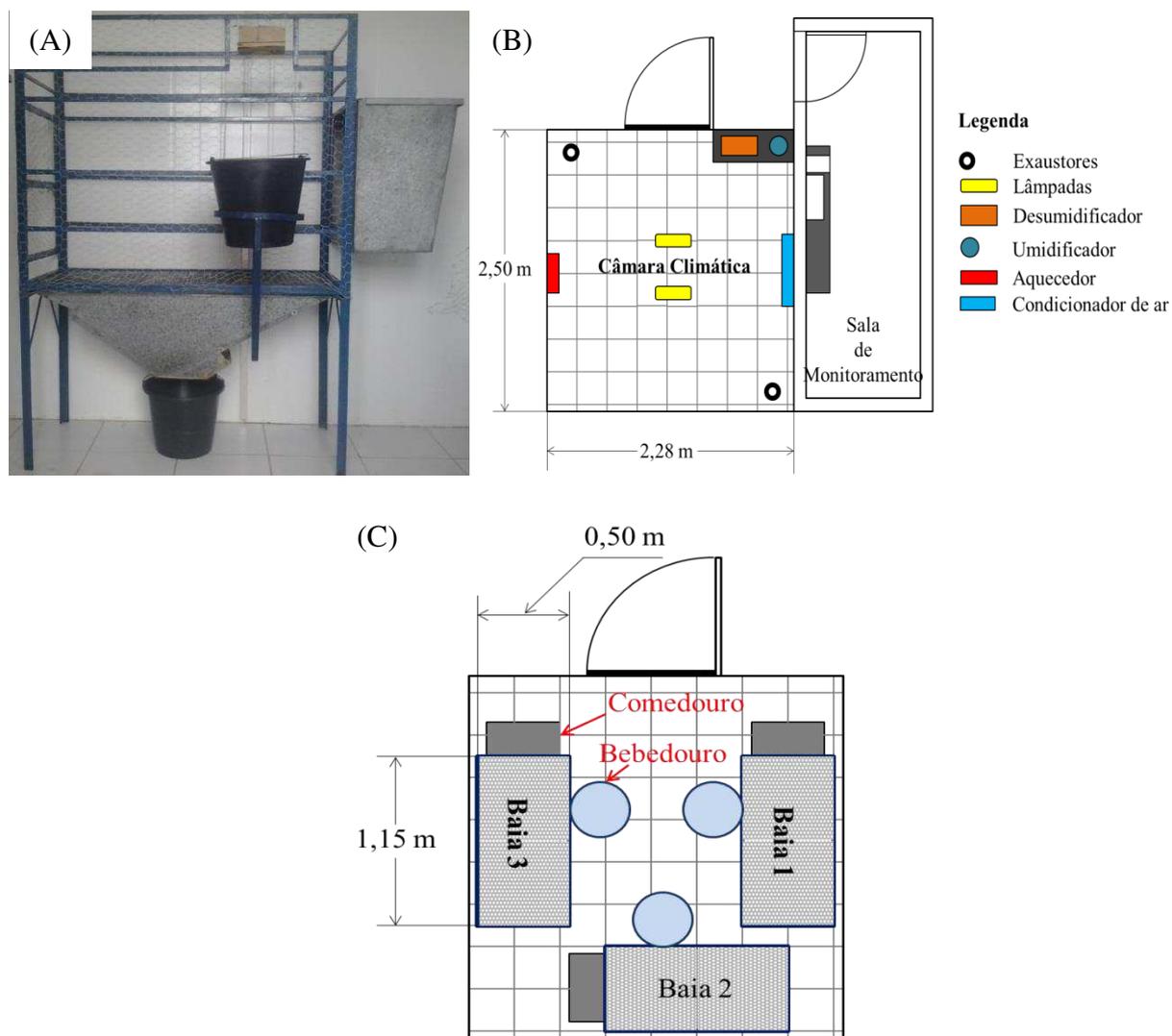


Figura 1. (A) Baia metálica para o alojamento dos animais; (B) Ilustração da câmara climática para simulação das condições ambientais; e (C) Disposição das baias no interior da câmara climática

As temperaturas do ar utilizadas na experimentação foram definidas com base na zona de conforto térmico (ZCT) para caprinos mencionada por Souza et al. (2008) que se situa entre 20 e 30°C com umidade relativa do ar podendo variar entre 50 e 70%. Com isso, os animais foram submetidos a 3 diferentes temperaturas controladas médias, sendo elas: T1 = 26±0,07 °C (zona de conforto térmico), T2 = 29,44±0,06 °C (temperatura limite entre as zonas

de conforto e estresse térmico) e  $T_3 = 33,38 \pm 0,31^\circ\text{C}$  (acima da ZCT) com a umidade relativa do ar e velocidade do vento médias de  $68 \pm 3,89\%$  e  $1 \text{ m s}^{-1}$ , respectivamente.

O procedimento experimental foi realizado em duas etapas separadamente, sendo que em cada etapa foram utilizados 3 animais diferentes totalizando 6 animais ao final da pesquisa.

Para cada temperatura, foi adotado um período de cinco dias de adaptação ao ambiente controlado, manejo e alimentação e dez dias de coleta de dados. No início de cada etapa experimental e entre o final de cada tratamento e início do próximo, os animais ficaram durante cinco dias expostos às condições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente (com a câmara aberta) para a recomposição de suas funções fisiológicas. Desta forma, levando-se em consideração as duas etapas, o experimento teve duração total de 110 dias.

Em cada etapa de estudo na câmara climática, os animais foram submetidos a um programa de 8/16 h (temperatura controlada/temperatura ambiente). Este procedimento visava submeter os animais a cada temperatura experimental por um período de 8 h contínuas. O preparo diário da câmara para o experimento consistia em ligá-la às 7 h da manhã, permitindo um tempo de 1 h para estabilização da temperatura do ar e umidade relativa interna. Após essa estabilização (8 h da manhã), iniciava-se de fato o período de 8 h em temperatura experimental, permanecendo os animais com a câmara fechada até às 16 h onde, a partir deste momento a câmara era desligada e aberta para que fosse iniciado o período de 16 h contínuas em temperatura ambiente.

A ração e água foram fornecidas *ad libitum* às 7 e 16 h, quando também ocorria a limpeza da instalação. A ração ofertada aos animais foi composta por feno de Tifton (*Cynodon dactylon*, (L) Pers) que constituiu 43,0% do volume total da ração, farelo de milho (26,6%), melação (2,5%), farelo de soja (24,0%), óleo de soja (2,0%), sal mineral (1,5%) e calcário calcítico (0,4%), conforme composição indicada pelo NRC (2007).

Durante as 8 h de experimentação diárias, a iluminância no interior da câmara foi mantida constante em 257 lx (medida com luxímetro digital portátil) utilizando-se para isso duas lâmpadas fluorescentes de 15 W cada, com o intuito de evitar a dilatação ou contração da pupila do animal por influência da luz.

As variáveis físicas do ambiente interno da câmara foram monitoradas, controladas e armazenadas através de um microcomputador com o auxílio do software livre SITRAD<sup>®</sup> interligado a um controlador do tipo MT-530 PLUS da *Full Gauge Controls*<sup>®</sup>. O controlador recebia os dados médios de temperatura e umidade relativas do ar através dos sensores, Termistor e Umidiostato, respectivamente, a cada 15 min verificando e controlando essas variáveis de modo a permanecerem sempre na faixa de controle desejada (Setpoint).

A captura das imagens para o monitoramento da dilatação pupilar dos animais ocorreu durante os 10 dias de cada tratamento, no período em que a câmara permanecia fechada. As imagens foram capturadas sem que houvesse o contato direto com os animais e para isso foram montadas estruturas de hardware (Figura 2), sendo esta composta por uma câmera de alta resolução (16 Mp), um micro controlador específico – Arduino UNO, um módulo relé de 5 V, um sensor ultrassônico modelo HC-SR04 e uma fonte/carregador de 5 V de tensão.

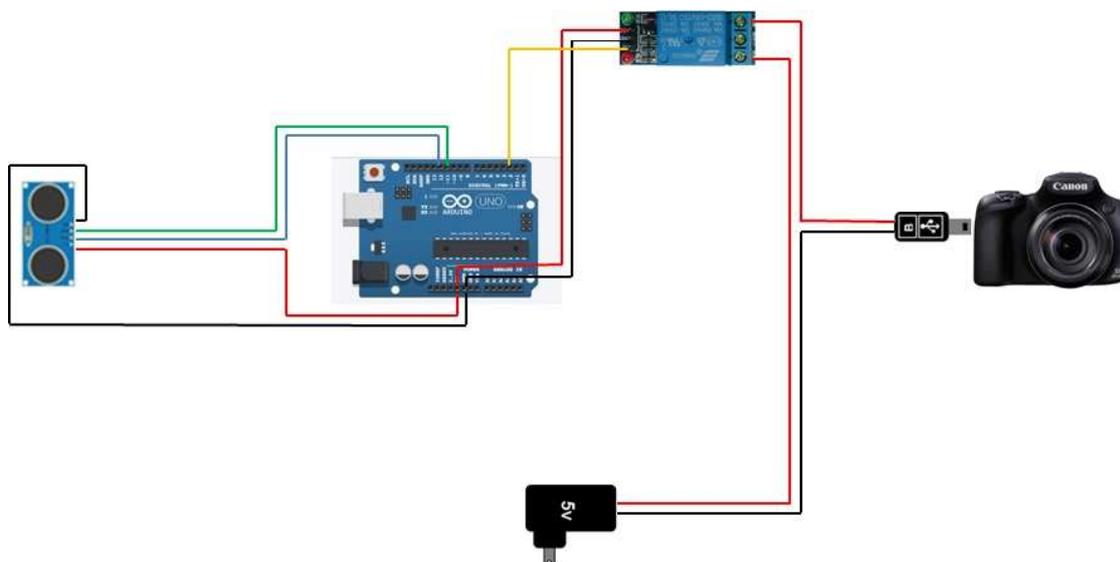


Figura 2. Estrutura de hardware para aquisição das imagens da pupila dos animais

As câmeras foram acopladas em tripés e posicionadas de maneira a captar as imagens das pupilas dos animais. Para o acionamento das mesmas foram instalados os sensores ultrassônicos nas gaiolas (sobre os bebedouros) de modo a captarem a presença dos animais através do envio e recepção de ondas ultrassônicas sempre que houvesse busca por água. Ao identificar a presença do animal, o sonar enviava um pulso elétrico via protocolo de comunicação I<sup>2</sup>C\RS232 – comunicação serial – para o Arduino que enviava pulsos elétricos de 5 V para ativação do módulo relé, liberando o pulso de 5 V do carregador/fonte para a entrada USB das câmeras, ocasionando o disparo e capturando as imagens da pupila dos animais (Figura 3).

Foi fixada uma escala de referência no chifre dos animais (Figura 3) com intervalos de 5 mm para permitir a conversão das dimensões da pupila que foram coletadas nas imagens em escala de pixel e posteriormente convertidas para milímetros em suas reais dimensões.



Figura 3. Imagem da pupila de um dos animais com escala de referência fixada ao chifre

A extração dos dados das dimensões das pupilas dos animais foi feita com o auxílio de um microcomputador, e devido à singularidade da forma do globo ocular e pupila

(elipsoidal) dos caprinos, foram coletadas as dimensões do Diâmetro Maior (horizontal), Diâmetro Menor (vertical) e área pupilar (Figura 4). Para a obtenção dessas dimensões pupilares foram selecionadas para a análise 30 fotos de cada um dos animais em cada tratamento.

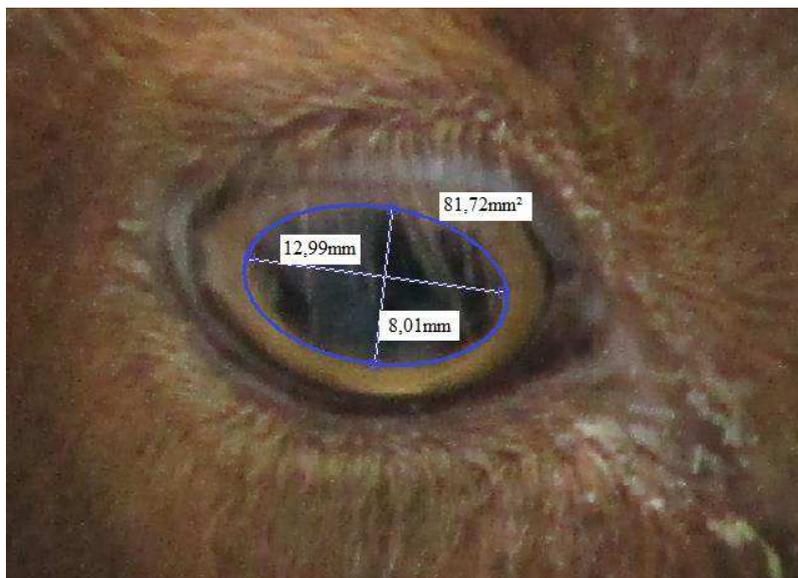


Figura 4. Medidas pupilares de um dos animais avaliados

A temperatura da pupila dos animais foi monitorada através da captura de termogramas do globo ocular, utilizando-se para isso uma câmera termográfica Fluke® modelo Ti55FT. As imagens térmicas foram coletadas a cada três dias em cada tratamento proposto sempre às 9 h da manhã. Os termogramas foram analisados com auxílio do software SmartView® versão 3.1, disponibilizado juntamente com o termovisor, com isso foi obtida a temperatura média da pupila dos animais (Figura 5) nas três condições térmicas avaliadas adotando-se a emissividade de 0,98 (emissividade de tecido biológico).

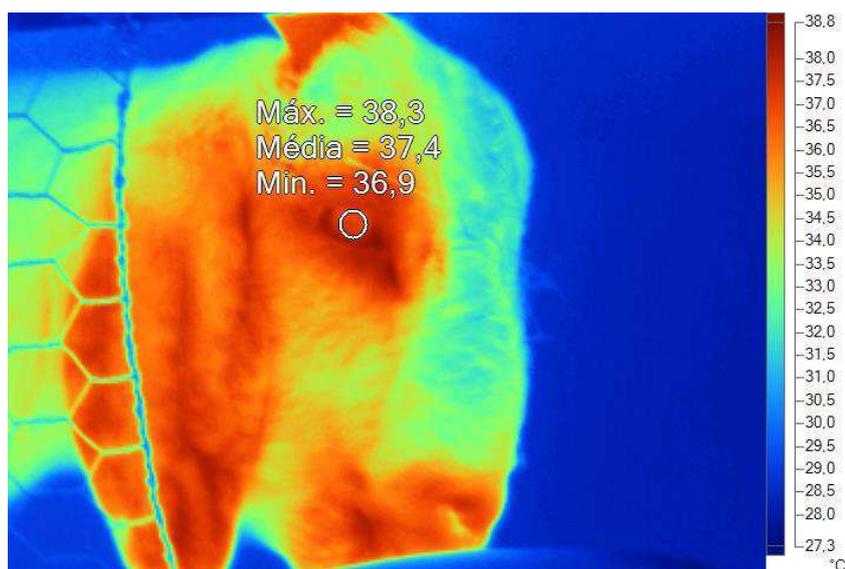


Figura 5. Termograma da cabeça do animal, destacando as temperaturas mínima, máxima e média da pupila

Além das respostas fisiológicas da dilatação e temperatura pupilar, foram coletados dados de frequência respiratória (FR), frequência cardíaca (FC), temperatura superficial (TS) e temperatura retal (TR). Essas variáveis foram coletadas a cada três dias em cada temperatura testada, sendo sempre coletadas no período da manhã (1 h após a estabilização da temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara, com o intuito de evitar interferências e ruídos na observação dos dados).

A frequência respiratória foi obtida por meio da ausculta indireta das bulhas com auxílio de estetoscópio flexível, na região laringo-traqueal durante o período de 20 s, realizando-se a extrapolação para um minuto ( $\text{mov min}^{-1}$ ). O procedimento para obtenção da frequência cardíaca (FC) foi também com o auxílio de um estetoscópio, posicionado diretamente sobre a região torácica esquerda, contando-se o número de movimentos durante 20 s, sendo o valor coletado multiplicado por três para determinação da frequência cardíaca em  $\text{bat min}^{-1}$ .

A temperatura superficial (TS) foi obtida através da média aritmética das temperaturas da frente, do pescoço, do lombo, do costado, do ventre e da canela com auxílio de um termômetro de infravermelho digital, conforme Lucena et al. (2013).

A temperatura retal (TR) foi determinada através da introdução de um termômetro clínico veterinário digital, introduzido diretamente no reto do animal (a uma profundidade de 2 cm) com o bulbo junto à mucosa retal, permanecendo introduzido até a estabilização da leitura.

O consumo de ração foi registrado diariamente e o ganho de peso foi dado pela média diária do ganho de peso adquirido pelos animais durante os dez dias de cada tratamento. Já a conversão alimentar foi dada pela razão entre o consumo de matéria seca e o quando os animais conseguiam convertê-la o alimento em peso vivo, utilizando-se para isso a Equação 1.

$$CA = \frac{CMS}{GP} \quad (1)$$

em que,

CA – Conversão Alimentar, kg kg<sup>-1</sup>;

CMS – Consumo de Matéria Seca, kg;

GP – Ganho de Peso de cada animal, kg.

Com os resultados de área pupilar obtidos em cada situação foi proposto um índice de conforto térmico denominado de Razão de Estresse Pupilar (REP) (Equação 2), sendo este calculado através da razão da área pupilar do animal para a condição em que se encontra e a área pupilar de referência (animal na condição de conforto térmico).

$$REP = \frac{A}{71,88} \quad (2)$$

em que,

REP – razão de estresse pupilar;

A – área pupilar do animal na condição de estresse, mm<sup>2</sup>;

71,88 – corresponde à área pupilar do animal em condição de conforto térmico, mm<sup>2</sup>.

Com isso foram propostas três categorias de classificação do estresse fisiológico devido ao desconforto térmico, levando em consideração o comportamento da REP nas faixas de temperatura estudadas, sendo classificadas em conforto térmico, estresse inicial e estresse pleno.

Os testes de normalidade e de hipótese foram alcançados através da ANOVA utilizando-se o software estatístico Assitat (Silva & Azevedo, 2002), onde os dados foram submetidos a análise de variância e teste F. Utilizou-se o teste de Tukey para comparação das médias a 5% de probabilidade de erro. A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os valores obtidos do Diâmetro Menor (d), Diâmetro Maior (D), Área (A) e Temperatura Pupilar (TP) dos animais seguidos dos respectivos desvios padrão, nas três condições térmicas avaliadas. Pode-se observar uma correlação positiva dessas variáveis fisiológicas com o aumento da temperatura do ar nos animais.

Tabela 1. Diâmetro menor (d) e maior (D), Área (A) e Temperatura pupilar (TP) dos animais

| Temperatura do ar (°C) | d (mm)     | D (mm)      | A (mm <sup>2</sup> ) | TP (°C)     |
|------------------------|------------|-------------|----------------------|-------------|
| 26                     | 7,68±0,27c | 11,90±0,20c | 71,88±2,79c          | 35,13±0,48b |
| 29                     | 8,51±0,17b | 12,87±0,15b | 86,10±1,05b          | 37,13±0,54a |
| 33                     | 9,20±0,33a | 13,67±0,33a | 98,84±3,36a          | 37,71±0,29a |
| CV(%)                  | 3,17       | 1,4         | 3,03                 | 1,23        |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; CV = coeficiente de variação.

Observou-se que o diâmetro menor e maior e a área pupilar dos animais apresentaram diferença significativa (\*P<0,05) para as três temperaturas do ar avaliadas, observando-se um acréscimo de 26,96 mm<sup>2</sup> de área pupilar que corresponde a um aumento de 37%, quando comparadas as temperaturas de 26 °C (dentro da zona de conforto térmico para caprinos) a

temperatura de 33 °C (condição de estresse térmico), o que evidencia a influência da temperatura ambiente nas reações pupilares dos animais em estudo.

A dilatação da pupila dos animais pode estar associada à ativação imediata do eixo neural, frente à situação de estresse térmico, o que implica na ativação principalmente do sistema nervoso autônomo (feixe simpático) e do sistema nervoso periférico, o que pode ocasionar dentre outras respostas fisiológicas, a dilatação das pupilas (Laeng, Sirois & Gredback, 2012). O sistema nervoso autônomo é responsável pela regulação da temperatura corporal dos caprinos, sendo controlado pelo hipotálamo que compõe o sistema de controle central, responsável pela regulação da temperatura interna do organismo do animal.

Desse modo, as alterações fisiológicas dos animais, quando submetidos a modificações de temperatura, estão intensamente relacionadas com as respostas provocadas pelo sistema nervoso autônomo, podendo gerar alterações fisiológicas devido ao esforço realizado pelos animais na tentativa de manter a temperatura corporal constante em resposta às variáveis estressantes (Silva et al., 2016).

O acréscimo na temperatura do ar também ocasionou uma elevação da temperatura superficial da pupila dos animais (Tabela 1) havendo diferença significativa (\* $P < 0,05$ ) da temperatura de 26 °C em relação às duas outras temperaturas do ar (29 e 33 °C). Esse aumento na temperatura pupilar pode ser justificado pelo aumento da irrigação sanguínea no globo ocular devido à vasodilatação que é uma ferramenta de dissipação de calor sensível do núcleo corporal dos animais (devendo esta ser mantida variando dentro de uma faixa estreita de temperatura), que se intensifica devido ao aumento da temperatura do ar.

Stewart et al. (2008) destacam a temperatura pupilar como uma medida precisa para a mensuração do estresse em animais homeotérmicos, por ser facilmente medida e sem a interferência de pele ou pelo, demonstrando ser esta uma medida mais consistente de

mudanças de temperaturas do que em outras áreas anatômicas como nariz, orelha, corpo e casco como resposta ao estresse, com isso os autores sugerem que o aumento da temperatura dos olhos, como resultado do estresse, ocorre devido ao aumento correspondente das atividades no eixo hipotálamo-pituitária-adrenal (HPA) que compõem o sistema de controle central, responsável pela regulação da temperatura corporal.

Na Figura 6, pode-se observar o comportamento das temperaturas retal, superficial e pupilar, podendo-se notar um comportamento semelhante das curvas de TR e TP, quando os animais foram submetidos à condição de estresse térmico, apresentando uma diferença de 1,90 e 1,81 °C entre a TR e TP nas temperaturas de 29 e 33 °C, respectivamente, mostrando-se assim a TP como sendo uma variável capaz de indicar variações sensíveis da temperatura do núcleo corporal dos animais quando estes são mantidos em condições de estresse térmico. Pode-se notar ainda uma diferença brusca no comportamento das curvas de temperatura pupilar e temperatura média da superfície das demais partes do animal, devido à influência direta da temperatura ambiente sobre a variável TS, o que ocorre com menos intensidade na TP, sofrendo esta última maior influência da temperatura do núcleo corpóreo.

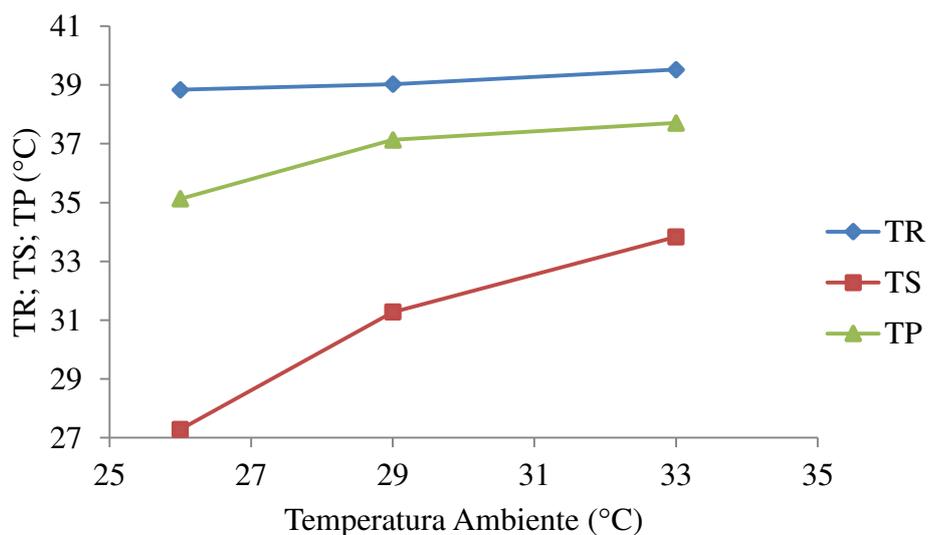


Figura 6. Comportamento da temperatura retal, superficial e pupilar dos animais em função do acréscimo na temperatura ambiente

As médias das respostas fisiológicas frequência respiratória (FR), frequência cardíaca (FC), temperatura superficial (TS) e temperatura retal (TR) estão apresentadas na Tabela 2. Verifica-se que os animais apresentaram uma frequência respiratória significativamente (\* $P < 0,05$ ) mais elevada conforme a temperatura do ar distanciou-se da zona de conforto térmico para os caprinos, que segundo Souza et al. (2008) é entre 20 e 30 °C. Esse aumento da frequência respiratória surge como uma solução do sistema termorregulatório dos animais necessária para se manter a temperatura corporal relativamente constante, devido ao balanço existente entre a quantidade de calor produzido e perdido, ficar em desequilíbrio, impossibilitando a perda de calor dos animais na forma sensível, ocorrendo a necessidade do aumento da perda de calor pela forma evaporativa através do aumento da frequência respiratória (Silva et al. 2006).

Tabela 2. Frequência Respiratória (FR), Frequência Cardíaca (FC), Temperatura Superficial (TS) e Temperatura Retal (TR) dos animais para as condições avaliadas

| Temperatura do ar (°C) | FR (mov.min <sup>-1</sup> ) | FC (bat.min <sup>-1</sup> ) | TS (°C)     | TR (°C)     |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|
| 26                     | 22,78±1,67c                 | 100,67±3,48c                | 27,28±0,45c | 38,84±0,08b |
| 29                     | 28,28±3,62b                 | 108,89±3,48b                | 31,27±0,41b | 39,03±0,05b |
| 33                     | 46,72±2,62a                 | 116,22±2,12a                | 33,83±0,35a | 39,52±0,19a |
| CV(%)                  | 17,43                       | 7,6                         | 3,03        | 0,83        |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; CV = Coeficiente de Variação.

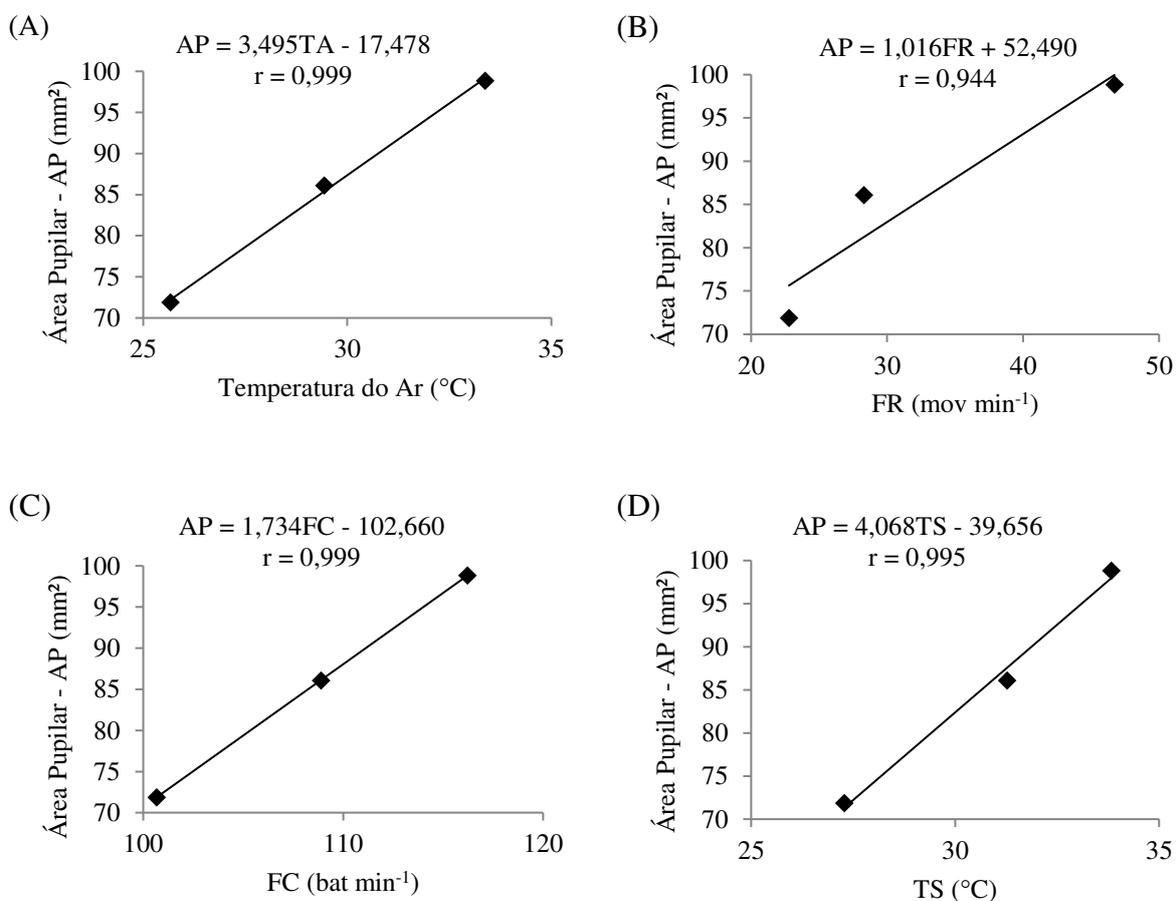
Em relação à FC, verifica-se que também houve diferença significativa (\* $P < 0,05$ ) entre as temperaturas de 26 (dentro da zona de conforto térmico), 29 (zona de transição entre o conforto e o estresse térmico) e 33 °C (acima da zona de conforto térmico), cujos valores mais elevados ocorreram conforme o aumento da temperatura do ambiente.

Lucena et al. (2013) ao conduzirem experimento com caprinos nativos da região Nordeste em ambiente controlado, onde foram avaliadas quatro temperaturas: 20,6; 24,8 e 27,8 °C – todas dentro da ZCT – e 31,6 °C – acima da ZCT – observaram que não houve diferença significativa (\*P<0,05) da frequência cardíaca entre as temperaturas consideradas confortáveis para os animais, porém houve efeito significativo (\*P<0,05) quando estas foram comparadas com a temperatura estressante. Os dados dos autores corroboram com a afirmativa de que os animais avaliados neste trabalho, quando submetidos à temperatura 29 °C se encontram em uma condição de estresse térmico moderado, agravando-se conforme ocorreu o aumento da mesma para 33 °C.

A TS foi diretamente influenciada pela temperatura do ar, elevando-se significativamente (\*P<0,05) quando comparadas as médias obtidas nas três condições avaliadas (Tabela 2). Conforme Souza & Batista (2012), o aumento da temperatura ambiente resulta no aquecimento superficial e endógeno dos animais ocasionado por mudanças fisiológicas e metabólicas como tentativa de se manter a homeostasia do metabolismo.

A temperatura retal não diferiu (\*P<0,05) com o aumento da temperatura do ar de 26 para 29 °C; já em comparação destas com a temperatura ambiente de 33 °C, verificou-se o aumento significativo (\*P<0,05) da TR. Apesar do aumento da temperatura retal a mesma ainda se encontra dentro da normalidade para a espécie que, segundo Dukes & Swenson (2006), pode variar de 38,5 a 39,7 °C. Isso significa que, para manter a TR (temperatura representativa do núcleo corporal dos animais) dentro de uma faixa estreita de variação, os animais tiveram que ativar seus mecanismos de troca de calor, o que pode ser comprovado pelo aumento significativo de 105,10; 15,45 e 24,01% quando comparadas a primeira e a terceira temperaturas para FR, FC e TS, respectivamente.

Ao se analisar o diagrama de dispersão (Figura 7A) constatou-se forte correlação entre a temperatura do ar e a dilatação pupilar, podendo-se verificar o comportamento linear do acréscimo da área pupilar dos animais conforme se aumenta a temperatura do ambiente com coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) entre as duas variáveis, superior a 0,999, o que demonstra que a medição da variação da dilatação pupilar pode ser adotada como um bom indicador do nível de estresse térmico sofrido por caprinos mestiços Boer.



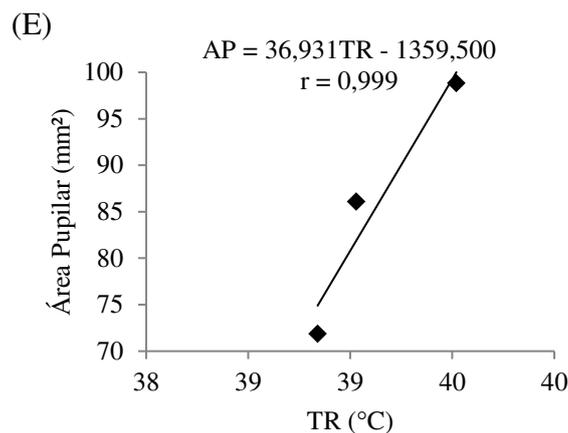


Figura 7. Correlação entre a área pupilar e: (A) Temperatura do ar (°C); (B) FR (mov min<sup>-1</sup>); (C) FC (bat min<sup>-1</sup>); (D) TS (°C); e (E) TR (°C).

A dilatação da pupila também apresentou altas correlações lineares positivas em relação às demais respostas fisiológicas dos animais (Figuras 7B a 7E), constatando-se coeficientes de correlação  $R = 0,944$ ;  $0,999$ ;  $0,995$  e  $0,999$  para FR, FC, TS e TR, respectivamente. Dessa forma, a observação da dilatação pupilar mostra-se viável na descrição do funcionamento dos mecanismos termorreguladores autonômicos dos caprinos mestiços Boer quando submetidos a condições de estresse térmico, podendo ser utilizada como variável para a mensuração de respostas fisiológicas de maneira não invasiva e com alto grau de acurácia.

A Razão de Estresse Pupilar (REP) proposta na Equação 2 foi calculada, tendo como resultado 1; 1,19 e 1,37, respectivamente para os três tratamentos, representando um aumento 19% da primeira para a segunda temperatura e de 18% desta para a terceira temperatura do ar, observando-se um aumento total de 37% na REP, quando comparados o primeiro com o terceiro tratamento. Com isso, foram sugeridas três categorias de classificação do estresse fisiológico em função da Razão de Estresse Pupilar, conforme Figura 8.

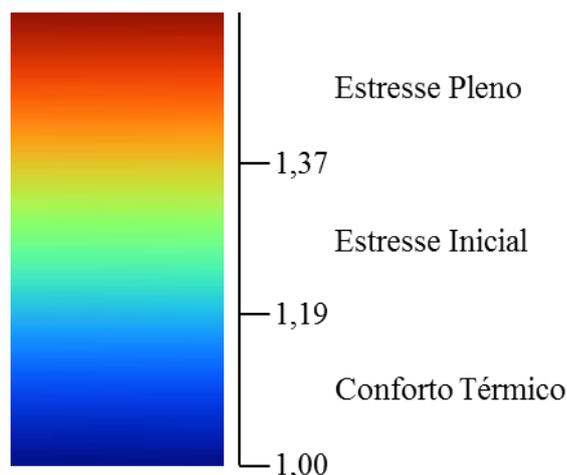


Figura 8. Categorias de classificação do estresse fisiológico devido a razão de estresse pupilar (REP)

Quando a REP variou dentro do intervalo de 1,00 a 1,19, foi categorizado como uma situação de conforto térmico, devido esta faixa de variação na razão de dilatação pupilar ter ocorrido quando os animais estavam submetidos a uma condição de termoneutralidade (26 °C). Já o intervalo compreendido entre 1,19 e 1,37 foi classificado como uma zona de transição entre a condição de conforto e estresse térmico (29 °C), e quando a REP foi constatada como sendo superior a 1,37, indicou que os animais estavam em uma condição de estresse pleno (33 °C), onde passaram a utilizar mais intensamente seus mecanismos de termorregulação e conseqüentemente, despendendo maior quantidade de energia para isso.

Dessa forma, a Razão de Estresse Pupila pode ser adotada como um índice para a mensuração da situação de estresse dos animais e o quanto esse estresse pode influenciar nas respostas produtivas dos animais. Na Tabela 3, pode-se observar que nas temperaturas de 26 e 29 °C, onde o REP variou de 1,00 a 1,37, não houve diferença significativa (\*P<0,05) entre o ganho de peso e a conversão alimentar dos animais. Porém, na terceira condição estudada, pode-se verificar uma redução significativa (\*P<0,05) de 58% no ganho de peso dos animais, assim como o aumento significativo (\*P<0,05) da conversão alimenta, mostrando que os

animais reduziram sua capacidade de converter alimento em carcaça, conforme a REP se distanciou da faixa classificada como zona de conforto térmico.

Tabela 3. Ganho de peso e conversão alimentar dos caprinos mestiços submetidos aos três diferentes tratamentos.

| Temperatura do ar (°C) | Ganho de Peso (kg) | Conversão Alimentar (kg kg-1) |
|------------------------|--------------------|-------------------------------|
| 26                     | 1,55±0,39a         | 5,81±1,58b                    |
| 29                     | 1,32±0,22a         | 6,80±1,25b                    |
| 33                     | 0,90±0,10b         | 9,42±0,85a                    |
| CV%                    | 20,63              | 17,24                         |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; CV = Coeficiente de Variação.

A categorização dessas zonas de classificação de estresse térmico, a partir da observação da dilatação pupilar, é de suma importância, podendo proporcionar a elaboração de equipamentos capazes de observar a pupila do animal e gerar respostas imediatas e precisas em relação ao nível de desconforto térmico a que os animais estão sendo submetidos no ambiente de criação. Com esse suporte tecnológico o produtor poderá agilizar suas tomadas de decisões para a melhoria do conforto térmico no ambiente de criação, tendo como consequência a redução das perdas e aumento da produtividade dos animais, viabilizando mais ainda a exploração da espécie.

## CONCLUSÕES

1. A elevação da temperatura ambiente ocasiona o aumento da área pupilar dos animais;
2. A temperatura pupilar pode ser adotada como resposta para indicar variações sensíveis da temperatura do núcleo corporal dos animais quando mantidos em situação de estresse térmico;
3. Quando submetidos à condição de estresse térmico os animais apresentam um aumento na FR, FC, TS e TR;

4. A área pupilar apresenta elevados coeficientes de correlação com a temperatura do ar, FR, FC, TS e TR, respectivamente;
5. É possível estabelecer categorias de classificação do estresse térmico dos animais por meio do índice REP (razão de estresse pupilar), com escala variando de conforto térmico a estresse pleno;
6. A REP pode ser adotada como um índice para a mensuração da situação de estresse e o quanto esse estresse pode influenciar nas respostas produtivas dos animais.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida e financiamento da pesquisa e ao Grupo de Estudos em Construções Rurais e Ambiente (GCAMB) da Universidade Federal de Campina Grande pelo apoio em prol da realização desta pesquisa.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Dukes, H.H., Swenson, H.J., 2006. Fisiologia dos Animais Domésticos, décima segunda ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Granholm, E., Steinhauer, S.R., 2004. Pupillometric measures of cognitive and emotional processes. *International Journal of Psychophysiology*. 52, 1–6.
- Helene, O., Helene, A.F., 2011. Alguns aspectos da óptica do olho humano. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 33, 1-8.
- Laeng, B., Sirois, S., Gredebäck, G., 2012. Pupillometry: A window to the preconscious?. *SAGE Journals*. 7, 18-27.

- Lempert, K.M., Chen, Y.L., Fleming, S. M., 2015. Relating Pupil Dilation and Metacognitive Confidence during Auditory Decision-Making. *Plos One*, 10, 1-12.
- Lucena, L.F., Furtado, D.A., Nascimento, J.W. do, 2013. Respostas fisiológicas de caprinos nativos mantidos em temperatura termoneutra e em estresse térmico. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*. 17, 672-679.
- National Research Council, 2007. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids, 6<sup>a</sup> ed. National Academy Press, Washington, D. C.
- Pedrotti, M., Mirzaei, M.A., Tedesco, A., Chardonnet, J., Mérienne, F., Benedetto, S., Baccino, T., 2014. Automatic stress classification with pupil diameter analysis. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 30, 220-236.
- Silva, F. de A.S.E., Azevedo, C.A.V. de, 2002. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. 4, 71-78, 2002.
- Silva, G. de A., Souza, B. de, Alfaro, C.E.P., Silva, E.M.N. da, Azevedo, S.A., Azevedo Neto, Silva, R.M.N., 2006. Efeito da época do ano e período do dia sobre os parâmetros fisiológicos de reprodutores caprinos no semiárido paraibano. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*. 10, 1807-1929.
- Silva, M.R., Souza, B.B., Guimarães, L.J., Costa, D.F., Rocha, E.F., Souto, D.V.O., Silva, E.M.N., 2016. Estresse térmico e sua influência na fisiologia de pequenos ruminantes. *J. Anim. Behav. Biometeorol*. 4, 50-54.
- Souza, B.B., Souza, E.D. de, Silva, M.N. da, Cezar, M.F., Santos, J.R.S. dos, Silva, G. de A., 2008. Respostas fisiológicas de caprinos de diferentes grupos genéticos no semi-árido paraibano. *Ciência e Agrotecnologia*. 32, 314-320.

- Souza, B.B., Batista, N.L., 2012. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. *Agropecuária Científica no Semiárido*. 8, 06-10.
- Souza, P.T. de; Salles, M.G.F.; Araújo, A.A. de, 2012. Impacto do estresse térmico sobre a fisiologia, reprodução e produção de caprinos. *Ciência Rural*. 42, 1888-1895.
- Stewart, M., Stafford, K.D., Dowling, S.K., Schaefer, J.R., 2008. Eye temperature and heat rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Physiology & Behavior*. 93, 789-797.